



# **AS ENCHENTES NO RIO GRANDE DO SUL**

**LIÇÕES, DESAFIOS E CAMINHOS PARA  
UM FUTURO RESILIENTE**



**ANA**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS  
E SANEAMENTO BÁSICO

**República Federativa do Brasil**

*Luiz Inácio Lula da Silva*  
Presidente da República

**Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional**

*Waldez Góes*  
Ministro

**Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**

**Diretoria Colegiada**

*Veronica Sánchez da Cruz Rios (Diretora-Presidente)*

*Ana Carolina Argolo*

*Marcelo Medeiros (Interino)*

*Marco Neves (Interino)*

*Nazareno Araújo (Interino)*

**Capa:** *Satelite Copernicus*

**Contracapa:** *Lauro Alves/SECOM*

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO**  
**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

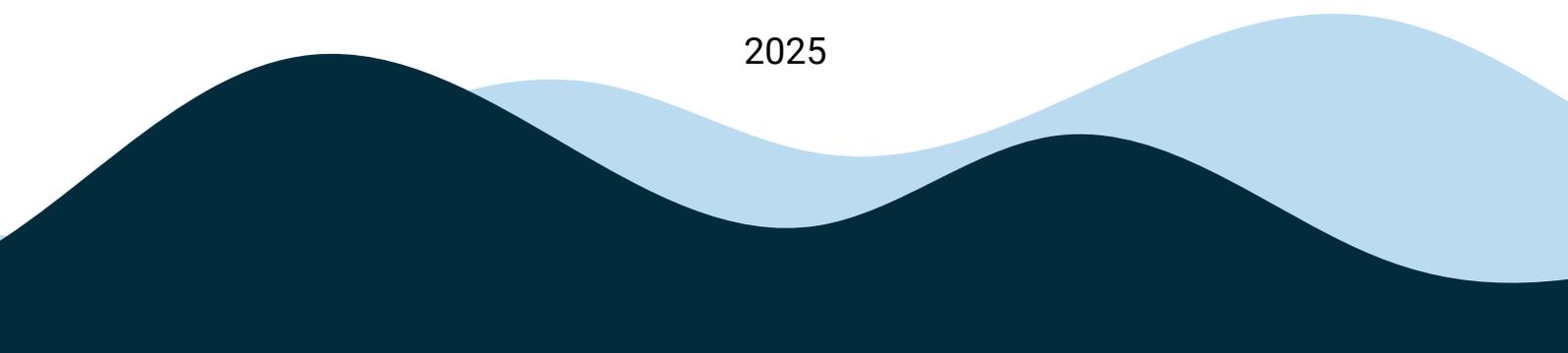
# **AS ENCHENTES NO RIO GRANDE DO SUL**

**LIÇÕES, DESAFIOS E CAMINHOS PARA UM FUTURO RESILIENTE**

Brasília – DF

ANA

2025



© 2025, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).  
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Edifício Sede, Bloco M  
CEP: 70610-200, Brasília - DF  
Telefone: (61) 2109-5400 / (61) 2109-5252  
Endereço eletrônico: <https://www.gov.br/ana/pt-br>

### **Comissão de Editoração**

Joaquim Gondim (Coordenador)  
Humberto Cardoso Gonçalves  
Ana Paula Fioreze  
Mateus Monteiro de Abreu

### **Organização**

Ana Paula Fioreze

### **Autores**

#### **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**

Alexandre Abdalla Araujo  
Ana Paula Fioreze  
Diana Wahrendorff Engel  
Marcos Irineu Pufal  
Saulo Aires de Souza  
Wesley Gabrieli de Souza

#### **Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas**

Fernando Dornelles  
Fernando Mainardi Fan  
Rodrigo Cauduro Dias de Paiva  
Walter Collischonn

#### **Universidade Federal do Rio Grande**

Elisa Helena Fernandes

#### **Serviço Geológico do Brasil**

Andrea de Oliveira Germano  
Francisco Fernando Noronha Marcuzzo  
Karine Pickbrenner  
Marcia Conceição Rodrigues Pedrollo

#### **Universidade Federal de Pelotas**

Leonardo Contreira Pereira

#### **Universidade de Brasília**

Dirceu Silveira Reis Junior

### **Colaboração – instituições participantes do GTA-RS**

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico  
Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Empresa de Pesquisa Energética  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Operador Nacional do Sistema Elétrico  
Serviço Geológico do Brasil

Universidade de Brasília  
Universidade de Passo Fundo  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Universidade Federal da Paraíba  
Universidade Federal de Pelotas  
Universidade Federal do Rio Grande  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Universidade Federal de Santa Maria

### **Editoração**

Beatriz Pufal

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Catálogo na fonte: CEDOC/Biblioteca

**A265e**

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil).  
As enchentes no Rio Grande do Sul: lições, desafios e caminhos  
para um futuro resiliente/Agência Nacional de Águas e  
Saneamento Básico. – Brasília: ANA, 2025.  
57 p.: il.

ISBN: 978-65-88101-73-5

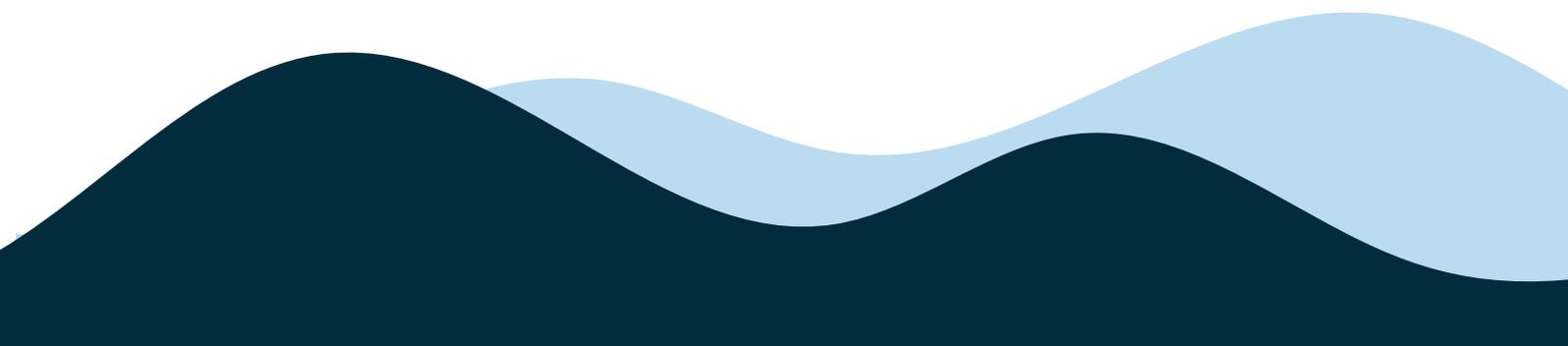
1. Desastres Ambientais. 2. Inundações. I. Título

**CDU 504.4:556.166(816.5)**

Elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864

# SUMÁRIO

---



A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e os membros do GTA-RS apresentam esta publicação como um diagnóstico técnico-científico robusto sobre as enchentes de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul, destacando seus impactos socioeconômicos e ambientais, e como fonte de subsídios concretos para a reconstrução das áreas afetadas. Nosso objetivo é não apenas compreender a tragédia, mas também construir a partir dela a oportunidade de formular políticas públicas e estratégias que priorizem a resiliência hídrica e a prevenção de futuros desastres.

A qualidade e a agilidade na produção das informações aqui compiladas são fruto do trabalho conjunto com universidades, instituições de pesquisa, associações de classe e demais parceiros do Grupo Técnico de Assessoramento para Estudos Hidrológicos e de Segurança de Infraestruturas de Reservação e de Proteção das Cheias no Estado do Rio Grande do Sul (GTA-RS). Em pouco tempo, essa colaboração multidisciplinar permitiu gerar recomendações baseadas em evidências, desde a revisão de critérios para infraestruturas até a melhoria de sistemas de alerta e planejamento urbano. Essa integração demonstra como a ciência e a gestão pública podem, juntas, pavimentar caminhos para um futuro mais seguro e sustentável.

Dirigido aos gestores em todas as esferas de governo, não somente do Rio Grande do Sul, mas de todo o território nacional, este material visa fortalecer a governança local, embasar a captação de recursos e inspirar ações práticas – como a adoção de infraestruturas adaptadas às mudanças climáticas e a criação de sistemas de resposta mais eficazes. A reconstrução do Rio Grande do Sul exige união, inovação e compromisso com as lições aprendidas. Que esta publicação seja um farol nesse desafio coletivo.

**Diretoria da ANA**



As enchentes que atingiram o Rio Grande do Sul em abril e maio de 2024 representaram um dos eventos hidrológicos extremos mais devastadores já registrados no Brasil, com chuvas de intensidade, duração e abrangência sem precedentes. As inundações e deslizamentos causaram impactos socioeconômicos e ambientais de grande magnitude. Diante desse cenário, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em conjunto com instituições parceiras, criou o Grupo Técnico de Assessoramento para Estudos Hidrológicos e de Segurança de Infraestruturas de Reservação e de Proteção das Cheias no Estado do Rio Grande do Sul (GTA RS), por meio da Portaria ANA nº 490, de 27 de maio de 2024, alterada pela Portaria ANA nº 497, de 11 de julho de 2024. O objetivo do GTA RS é analisar os eventos ocorridos e propor diretrizes e estratégias para a reconstrução das áreas afetadas e para a prevenção de futuras ocorrências, com base em evidências técnicas e científicas.

A criação do GTA RS reflete a necessidade de uma abordagem integrada e multidisciplinar para enfrentar os desafios impostos por eventos climáticos extremos, que tendem a se tornar mais frequentes e intensos devido à mudança do clima. O grupo é composto por instituições de ensino, pesquisa, órgãos públicos e associações profissionais, com atuação reconhecida nas áreas de recursos hídricos, hidrologia e gestão de desastres.

Este documento sintetiza os principais resultados e recomendações decorrentes das atividades do GTA-RS. A publicação

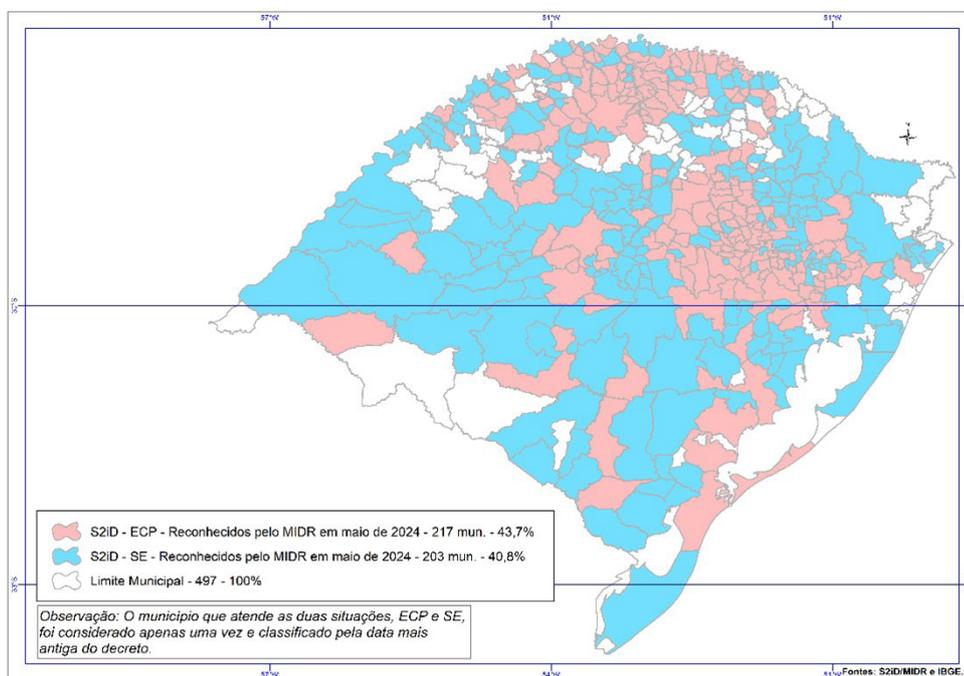
está organizada em eixos temáticos que abordam desde a caracterização do evento e suas consequências até propostas concretas para a prevenção e mitigação de impactos futuros. Aborda também a relação entre eventos extremos e a mudança do clima, destacando a necessidade de preparar-se para eventos além dos já observados e de incluir a perspectiva climática em todas as fases de planejamento. O objetivo é fornecer uma base sólida para a tomada de decisões, tanto no âmbito da reconstrução quanto no planejamento de políticas públicas e ações de gestão de riscos.

O evento de 2024 destacou a importância de uma resposta coordenada e eficiente diante de desastres naturais, além da necessidade de investimentos em infraestruturas resilientes e robustas e sistemas de alerta precoce. Além disso, evidenciou as vulnerabilidades existentes no planejamento urbano, na gestão de recursos hídricos e na comunicação de riscos à população. As lições aprendidas com essa experiência são fundamentais para orientar ações futuras, não apenas no Rio Grande do Sul, mas em todo o país, que se vê diante de eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes.

Esta publicação representa um esforço coletivo para transformar a tragédia de 2024 em uma oportunidade de aprendizado e mudança, com o objetivo de construir um futuro mais seguro e resiliente para o Rio Grande do Sul e para o Brasil.

## O evento de 2024 foi o maior desastre hidrológico da história do Rio Grande do Sul

O estado do Rio Grande do Sul sofreu com o maior desastre natural de sua história em maio de 2024. Os impactos foram catastróficos e abrangentes. Segundo informações dos Boletins sobre o impacto das chuvas no Rio Grande do Sul, emitidos pela Secretaria de Comunicação do Estado (Rio Grande do Sul, 2024), dos 497 municípios gaúchos, 478 foram afetados, com quase 2 milhões e 400 mil pessoas impactadas. Mais de 15.000km<sup>2</sup> ficaram submersos, com perdas humanas e sociais alarmantes: foram 183 mortes confirmadas e 27 desaparecidos, além de 806 feridos. A exposição às águas da inundação causou mais de 15 mil casos registrados de leptospirose. Residências foram severamente atingidas, com milhares de casas destruídas ou danificadas. Cerca de 146 mil pessoas foram desalojadas e mais de 50 mil ficaram desabrigadas.



A economia do estado sofreu um golpe significativo, com prejuízos estimados em bilhões de reais, incluindo perdas agrícolas, fechamento de indústrias, danos à infraestrutura e interrupção de serviços essenciais como transporte, educação e saúde. Os últimos balanços das enchentes mostraram que 577 escolas foram danificadas, afetando cerca de 225 mil alunos matriculados. O número de escolas da rede estadual usadas como abrigo chegou a ultrapassar 80.

Ocorreu grande destruição da infraestrutura viária, comprometendo mais de 250 trechos de estrada e 140 pontes, isolando comunidades e dificultando o acesso a áreas críticas.

Durante o evento, quase a totalidade das barragens do estado, seja para geração de energia, abastecimento ou irrigação, apresentaram elevado risco de rompimento. A inundação gerou um volume extremo de resíduos sólidos nas áreas urbanas, que comprometeu a recuperação das áreas afetadas por meses. Infraestruturas estratégicas foram afetadas e serviços básicos foram interrompidos. Várias regiões ficaram sem abastecimento de água potável por semanas. O aeroporto Salgado Filho, responsável pela maioria dos voos da região, ficou fechado por cerca de 6 meses. Mais de 200 mil veículos foram danificados ou destruídos. Hospitais tiveram que ser evacuados, interrompendo o funcionamento desses serviços por semanas.

Levantamento da Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2024) estimou, em agosto de 2024, um impacto econômico de R\$ 13,3 bilhões. O setor privado foi o mais atingido, com perdas de R\$ 6 bilhões, sendo R\$ 4,9 bilhões na agricultura, R\$ 514,8 milhões na pecuária, R\$ 293 milhões na indústria e R\$ 143,4 milhões no comércio local. No setor habitacional, os prejuízos chegaram a R\$ 4,7 bilhões, afetando 113,6 mil residências. O setor público contabilizou R\$ 2,6 bilhões em danos, incluindo infraestrutura, transportes e energia.

Por sua vez, em avaliação dos impactos das enchentes e inundações sobre produção, PIB e emprego, o Data Research & Insights (DRI), da Universidade de Passo Fundo (Montoya *et al.*, 2024), estimou os impactos econômicos em R\$ 35,614 bilhões na produção (redução de 2,61%), R\$ 15,744 bilhões no PIB (queda de 2,46%) e a eliminação de 152.017 postos de trabalho (queda de 2,35%). Segundo os autores, os setores mais afetados foram serviços (66,51% das perdas no PIB) e comércio (28,18% no PIB e 43,96% no emprego), seguidos pela indústria e agropecuária, esta última com perdas relativamente maiores na produção (-4,25%). O efeito multiplicador amplificou os prejuízos, indicando que cada R\$ 1 milhão perdido reduziu a renda estadual em R\$ 2,25 milhões, enquanto cada emprego perdido gerou 2,1 desempregados no sistema econômico.

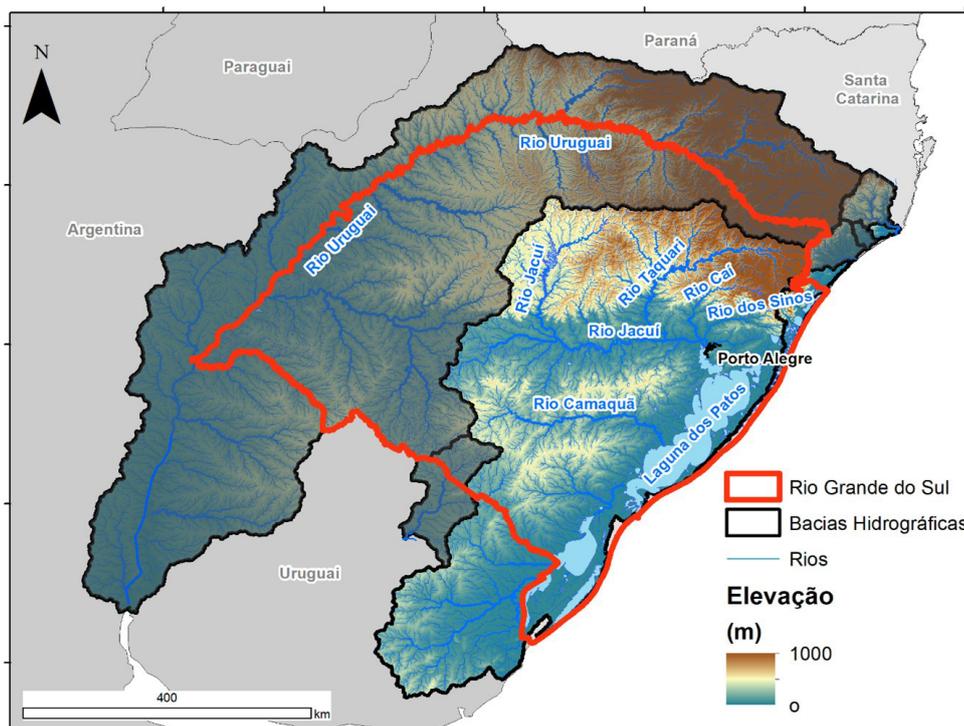
## **O Rio Grande do Sul é particularmente suscetível a cheias rápidas e intensas**

É possível identificar nas séries históricas de estações de monitoramento da rede hidrometeorológica nacional pelo menos uma cheia em um grande rio no Rio Grande do Sul por ano.

O estado do Rio Grande do Sul é composto por duas grandes bacias hidrográficas. A primeira é a bacia do rio Uruguai que engloba toda a metade norte e oeste do estado, e sofre de notórias grandes cheias principalmente nas regiões mais baixas, como as cidades de Uruguaiana, São Borja e Alegrete. Nestes locais as cheias ocorrem principalmente em função de chuvas nas regiões de cabeceira no alto rio Uruguai ou no rio Ibicuí, que escoam em direção às cidades mais

suscetíveis com tempos de propagação de 2 a 5 dias desde o início das chuvas (Guimarães *et al.*, 2018).

Já a segunda grande bacia que compõem o Rio Grande do Sul é a bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos, com exutório nos Molhes da Barra de Rio Grande (Lopes *et al.*, 2018). A bacia da Lagoa dos Patos compõe a porção central, leste e sul do estado. Ela possui suas cabeceiras com maiores altitudes no alto rio Jacuí e rios Taquari-Antas, Caí e Sinos. As águas do alto rio Jacuí desaguam no médio rio Jacuí, recebendo contribuições do rio Vacacaí e outros afluentes menores, e percorrem uma região de grandes planícies de inundação, até receberem contribuições dos rios Taquari, já no baixo Jacuí, e desaguarem no rio Guaíba, junto com as águas dos rios Caí, Gravataí e Sinos. O rio Guaíba banha a capital do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, além das cidades de Eldorado, Guaíba e Barra do Ribeiro. As águas do Guaíba desaguam na Lagoa dos Patos, corpo de água de grandes proporções territoriais, ao longo do qual se desenvolvem cidades da chamada costa doce do estado, passando pela cidade de Pelotas, até finalmente desaguarem no mar em Rio Grande através dos Molhes da Barra.



Estado do Rio Grande do Sul (RS) e suas grandes bacias hidrográficas, com destaque para a bacia da Lagoa dos Patos, onde ocorreu o desastre de 2024.

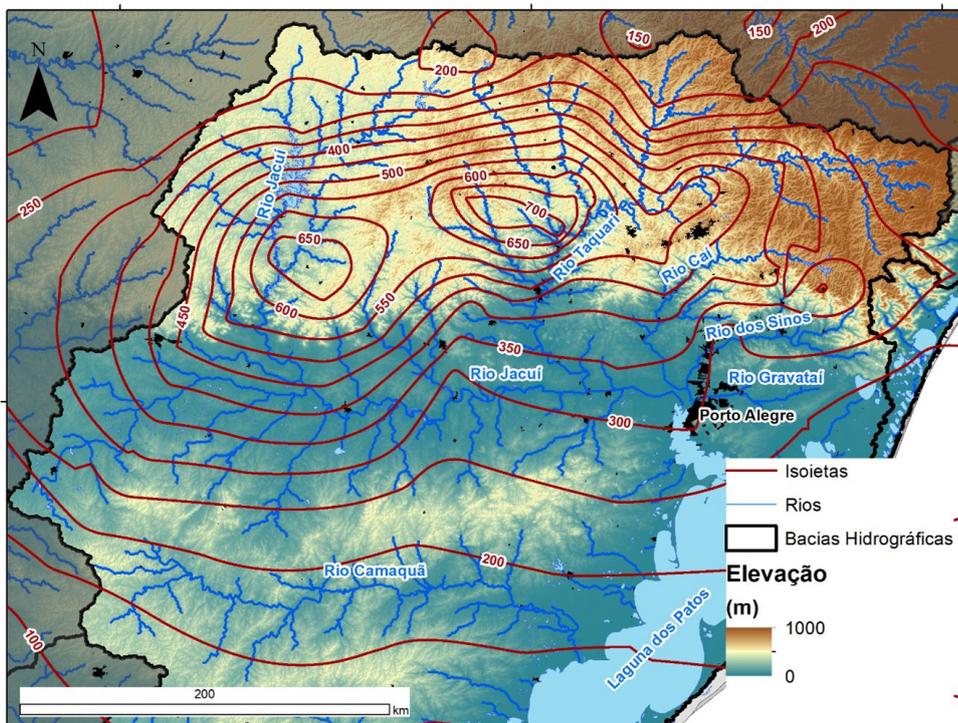
Fonte: Miron *et al.*, 2025

Em função das grandes altitudes, elevadas declividades e baixa profundidade dos solos que se desenvolvem nestes ambientes, em especial nas partes altas das bacias dos rios Uruguai, Jacuí e Sinos, e na quase totalidade da área das bacias dos rios Taquari e Caí, o estado é muito suscetível à ocorrência de inundações. Isto acontece porque as condições descritas favorecem o escoamento rápido das águas, que em pouco tempo chegam aos rios, promovendo elevação dos níveis e rápida propagação para jusante.

De fato, segundo Miranda *et al.* (2024), o Rio Grande do Sul é o estado onde ocorrem as maiores elevações dos rios em intervalo de tempo de 24h. É o único do país onde podem ser verificadas elevações maiores que 5 metros em grandes rios em intervalos de tempo iguais ou menores que um dia.

## O desastre de 2024 foi causado pela maior chuva já observada no país

O desastre de 2024 foi causado por chuvas com uma combinação de magnitude, duração, intensidade e abrangência espacial que jamais foi observada no Brasil (Collischonn *et al.*, 2024a). Essas chuvas caíram justamente nas regiões mais elevadas, declivosas e com solos mais rasos da bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos, produzindo altos volumes de escoamento.



Mapa do volume de chuva acumulada no período de 5 dias entre 28 de abril e 02 de maio de 2024, onde cada linha vermelha representa uma isoietas (linha sobre a qual os valores de chuva são constantes) de precipitação de 50 em 50 mm. Fonte: Collischonn *et al.*, 2024a

Os acumulados de chuva superaram 700 mm na parte norte do estado. Em alguns casos (por exemplo, chuva de 3 dias em 10.000 km<sup>2</sup>), a precipitação de 2024 foi 47% maior que o recorde anterior de precipitação. A chuva de 2024 foi mais volumosa e mais intensa que a chuva do grande evento de cheia registrado anteriormente na região, que ocorreu em 1941 (Collischonn *et al.*, 2024b).

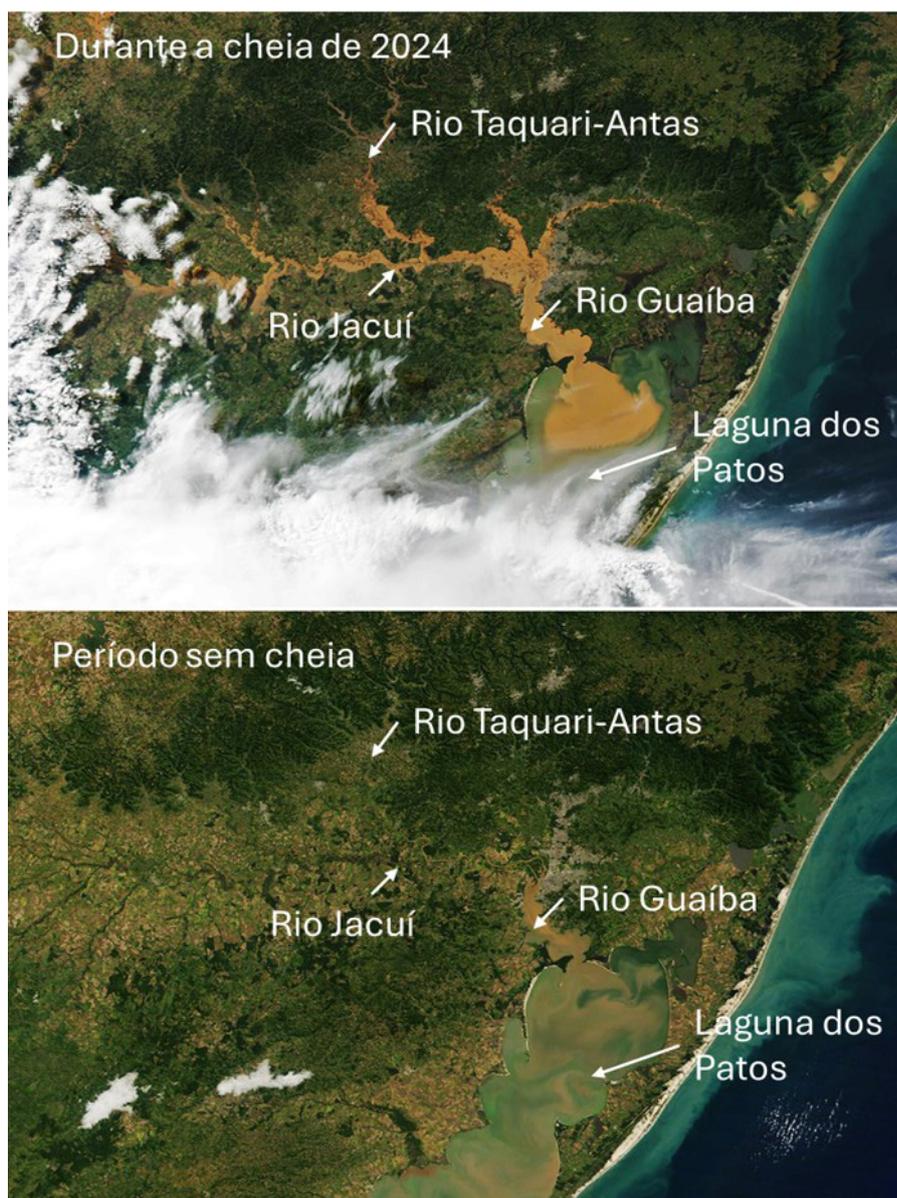
Destacam-se os seguintes acumulados de chuvas em estações de monitoramento entre 25 de abril e 15 de maio de 2024:

- 1062,0 mm, na estação pluviométrica Muçum, localizada no município de Muçum (8 vezes a média histórica calculada para abril e maio, que é de 126,2 e 137,6mm respectivamente)
- 748,0 mm em Soledade
- 687,6 mm, na estação de Nova Palmira, em Caxias do Sul
- 634,4 mm em Santa Maria
- 339,0 mm, em Taquari, próximo a confluência com o rio Jacuí

## Cheias rápidas, com grande elevação de níveis e elevada velocidade de escoamento causaram grande destruição na região da serra e nos vales

A região serrana do Rio Grande do Sul e os vales dos rios alto Jacuí, Taquari e Caí foram as primeiras a serem afetadas pelas cheias. Essas regiões foram as que receberam diretamente as chuvas recorde observadas, e onde foram verificadas as maiores subidas dos rios em termos de nível total, com elevação dos rios de até cerca de 20 metros em poucas horas, além de elevada velocidade de escoamento que gerou grande destruição.

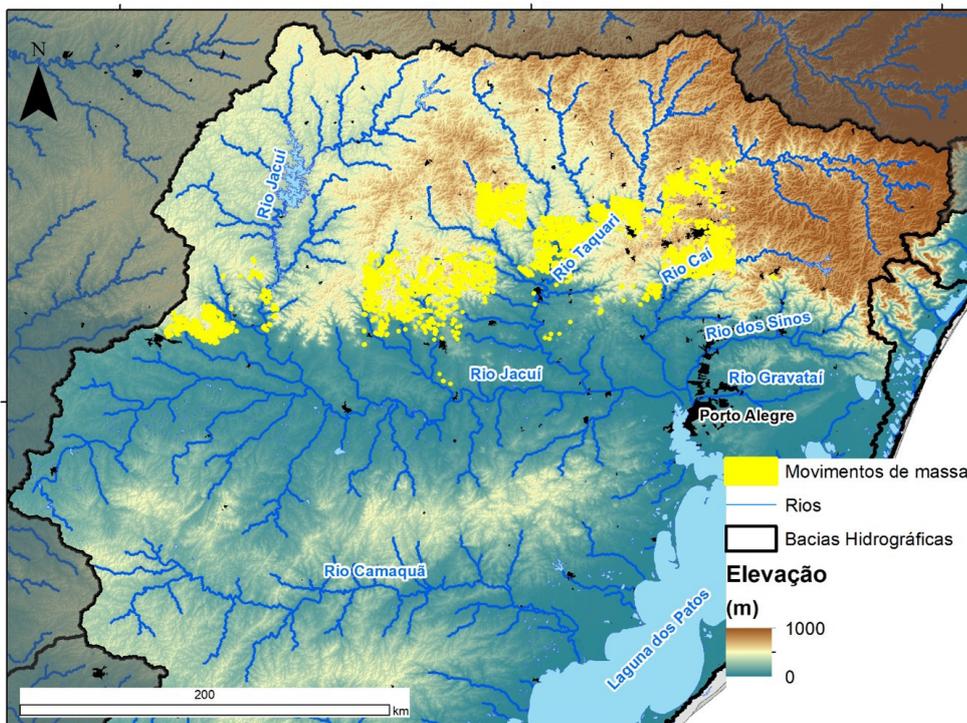
Um fenômeno pouco observado naturalmente ocorreu em função da grande vazão: nas várzeas inundáveis destas áreas ocorrem, tipicamente, baixas velocidades de escoamento; porém, na ocasião da cheia de 2024, foram observadas altas velocidades da água nestes locais. Aliado aos elevados níveis da água, o fenômeno ocasionou efetivamente muita destruição de paisagens naturais e de infraestruturas construídas.



A extensão das inundações no Rio Grande do Sul mostrada em imagem obtida por satélite. Fonte: Divulgação/Nasa (2024)

## Foram observadas mais de 15 mil áreas com movimentos de massa em função do desastre

Uma característica notável do evento é que os volumes de chuva na região serrana produziram a maior área já registrada no Brasil em termos de cicatrizes de inundação. Segundo os trabalhos de Andrades Filho *et al.* (2024), foram identificados mais de 15 mil movimentos de massa nas encostas.



Movimentos de massa identificados no desastre de 2024 no RS.  
Fonte: Andrades Filho *et al.*, 2024

## As vazões máximas atingiram valores comparáveis a recordes globais

As vazões máximas de diversos rios na bacia do Guaíba atingiram valores comparáveis a recordes globais (Lima *et al.*, 2024), como nos rios Jacuí, Taquari e Guaíba. As vazões extremas colocaram em situação de perigo as inúmeras barragens da região. Na barragem da usina hidrelétrica Dona Francisca, localizada no Rio Jacuí, a capacidade máxima de descarga do vertedor não chegou a ser superada, em razão do amortecimento da cheia promovido pelo reservatório da usina hidrelétrica de Passo Real (a única com capacidade de regularização de vazões na bacia), mas o Plano de Ação Emergencial (PAE) teve que ser acionado em função das altas vazões. No Rio das Antas, na barragem Castro Alves, localizada entre os municípios de Nova Pádua e Nova Roma do Sul, a capacidade máxima de descarga do vertedor havia sido superada em setembro de 2023, mas foi menor na cheia de 2024. Já a barragem 14 de Julho, localizada mais a jusante, entre Cotiporã e Bento Gonçalves, sofreu um rompimento parcial na cheia de 2024, embora a vazão afluente tenha sido inferior à capacidade do vertedor. Esse rompimento parcial motivou o Governo Estadual a emitir um alerta para os moradores do Vale do Taquari (Rio Grande

do Sul, 2024b), mas o efeito da ruptura parcial nos fluxos e níveis máximos a jusante foi relativamente pequeno quando comparado à magnitude da enchente que já estava ocorrendo (Lima e Paiva, 2024; Collischonn *et al.*, 2025).

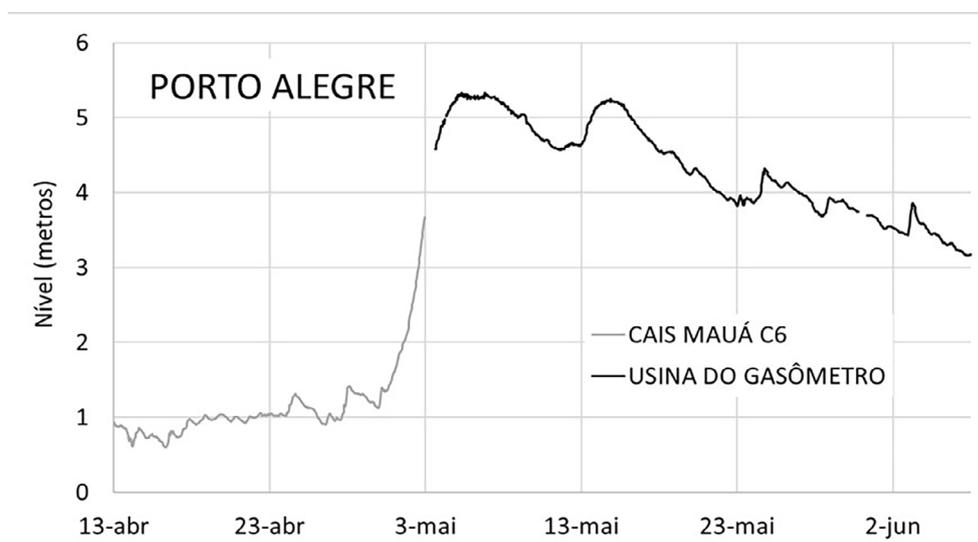
## O elevado volume de água causou inundação extensa e duradoura nas áreas de planície

Nas áreas de planícies, como no médio e baixo rio Jacuí e na Região Metropolitana de Porto Alegre, o elevado volume de água gerou uma inundação extensa e de longa duração (mais de um mês). Também ocorreram alagamentos em áreas urbanas, especialmente em Porto Alegre, em períodos de precipitação intensa, amplificados pelo represamento causado pelas águas do Guaíba e por sistemas de drenagem comprometidos pela lama da inundação e pela grande quantidade de resíduos sólidos.

## O Guaíba atingiu o maior nível d'água já observado, superando a cheia de 1941

Segundo levantamento pós-evento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), o nível atingido pelo Guaíba em Porto Alegre foi de 5,37 metros na estação Cais Mauá C6. Este valor foi mais de 60 cm superior ao valor de 4,75 m utilizado como consenso para o mesmo local para a cheia de 1941 no centro da cidade.

Além do nível mais elevado, a própria subida das águas do Guaíba em Porto Alegre se deu de forma mais acelerada, em apenas 2 dias, enquanto durante a cheia de 1941 as águas ficaram subindo por 10 dias. Também em relação à duração da cheia, a condição de 2024 foi mais crítica do que a de 1941: a cheia de 2024 teve duração aproximada de 30 dias, enquanto a cheia de 1941 durou cerca de 20 dias.



Níveis do Guaíba em Porto Alegre durante o desastre de 2024.

Fonte: Serviço Geológico do Brasil (SGB)

## **A cheia no Guaíba possui características únicas**

O Guaíba é um corpo d'água com largura relativamente grande considerando seu comprimento, que durante os períodos de baixas e médias vazões desenvolve declividades baixas. Todavia, durante as cheias as declividades do Guaíba acentuam-se enormemente.

No trabalho apresentado em Laipelt *et al.* (2025) foram usadas observações do recém disponibilizado satélite SWOT (Surface Water and Ocean Topography) para detectar mudanças hidrológicas significativas durante a inundação sem precedentes em 2024 no sul do Brasil. Nos rios Jacuí e Guaíba, as inclinações da água aumentaram drasticamente - até 11 vezes (de 0,82 a 9,59 cm/km) e 21 vezes (0,31 a 6,58 cm/km) em comparação com condições de águas baixas. As elevações da água superficial derivadas do SWOT capturaram 99% da variabilidade do nível da água em comparação com observações in situ.

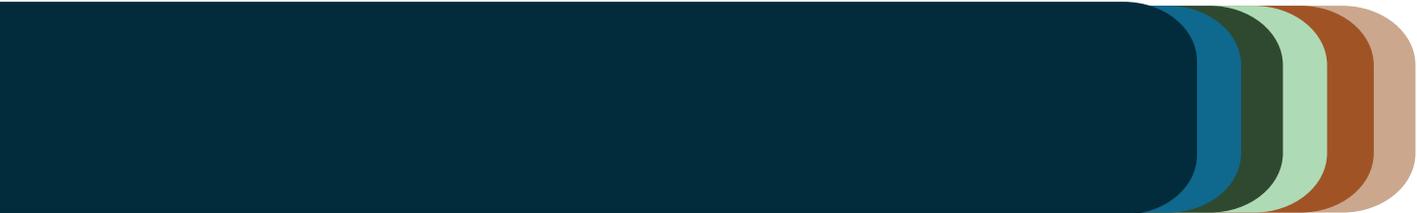
A ação dos ventos NE-SW teve influência nos níveis monitorados no Guaíba principalmente durante o período de recessão da cheia. Neste período, as oscilações ocasionadas pelo vento chegaram a 40 cm.

Esta última observação indica que a diferença entre cotas de atenção, alerta e de inundação nas cidades que estão nas margens do Guaíba, incluindo Porto Alegre, devem levar em consideração variações súbitas nos níveis da ordem de 40 cm em função de mudanças no regime de ventos.

## **A Lagoa dos Patos teve fluxos de vazante sem precedentes**

Na Lagoa dos Patos, localizada numa planície costeira, a resposta ao aumento do nível das águas foi mais lenta, e sua propagação levou de 7 a 10 dias para atingir os municípios mais ao sul, como Pelotas e Rio Grande. O nível da água na Lagoa dos Patos, entretanto, estava tão elevado que os fluxos de vazante para o oceano foram predominantes, atingindo mais de 20.000 m<sup>3</sup>/s - equivalente a 10 vezes o fluxo médio de vazante - mesmo durante os prolongados períodos de ventos do quadrante sul. Nesse contexto, os Molhes da Barra do Rio Grande desempenharam papel crucial no estabelecimento destes fluxos de vazante sem precedentes para a região costeira adjacente.

A dimensão e a severidade das enchentes de 2024 evidenciaram a necessidade de atualizar as políticas públicas de mitigação e adaptação, incluindo a revisão dos critérios de projeto de infraestruturas hidráulicas e de sistemas de defesa contra enchentes, a importância de investimentos em monitoramento hidrológico e meteorológico, sistemas de previsão e alerta precoce, e planejamento urbano resiliente. Eventos dessa magnitude, antes considerados excepcionais, precisam ser incorporados à gestão de risco, reconhecendo a intensificação das chuvas e vazões extremas na região Sul do Brasil como impactos da mudança do clima.



## **2024 foi considerado o ano mais quente dos registros históricos**

Segundo Copernicus (2025), em 2024, pela primeira vez a temperatura global excedeu em 1,5°C os níveis pré-industriais, e ocorreram inúmeros extremos climáticos ao redor do mundo como cheias, secas, ondas de calor e incêndios. As projeções relacionadas à mudança climática apontam para o aumento de desastres naturais como os associados às precipitações e cheias extremas (Arias, 2021; Brêda *et al.*, 2023).

Além disso, em 2023/2024 se observou a atuação do fenômeno climático El Niño (WMO, 2024). Períodos de El Niño são tipicamente marcados por ocorrência de maiores volumes de precipitação e maior probabilidade de cheias no Sul do Brasil (Kuchinski, 2024).

## **A mudança do clima torna as enchentes e inundações mais frequentes e mais intensas – é preciso conhecer e se preparar para eventos nunca vistos**

Os eventos extremos de chuvas e cheias que atingiram o Rio Grande do Sul em 2024 evidenciaram a crescente influência das mudanças climáticas na hidrologia da região. As precipitações extremas resultaram em cheias recorde em rios como o Guaíba, Taquari e Jacuí, com vazões próximas ou superiores aos valores de projeto de barragens e usinas hidrelétricas, projetados para tempos de retorno de até 10.000 anos.

Pesquisadores do Brasil, Reino Unido, Suécia, Países Baixos e Estados Unidos, associados à iniciativa World Weather Attribution (2024), conduziram uma análise para determinar o impacto da mudança climática nos eventos de chuvas intensas que resultaram em inundações no Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. O estudo concluiu que a mudança climática induzida pelo homem tornou essas chuvas duas vezes mais prováveis e aumentou sua intensidade em 6 a 9%. Além disso, o fenômeno El Niño também contribuiu significativamente para a ocorrência dessas precipitações extremas. Esses achados destacam a influência combinada das alterações climáticas e de fenômenos naturais na intensificação de eventos climáticos extremos na região.

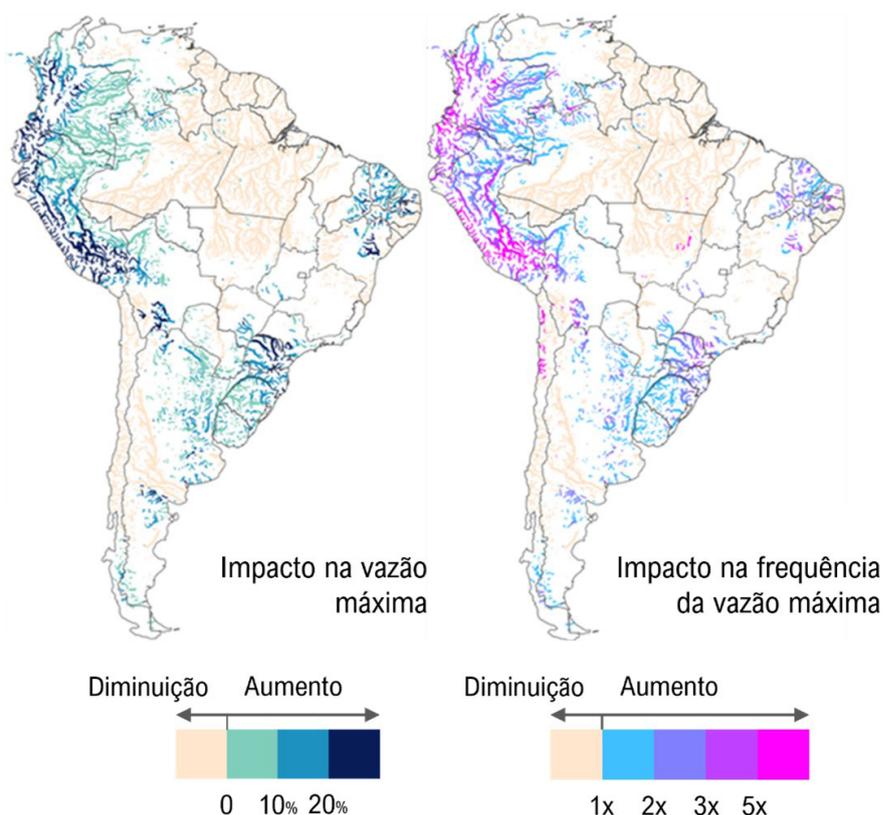
## Cheias extremas são crescentes e mais frequentes que o esperado

A série histórica de níveis d'água no Guaíba revela um aspecto preocupante, conforme Paiva *et al.* (2025). Ela demonstra que, no período recente, as cheias extremas podem estar se tornando maiores e mais frequentes do que previamente esperado. A década mais recente, entre 2015 e 2024, foi um período abundante em cheias na região, em que ocorreram níveis d'água muito superiores, em média, aos observados anteriormente.

Além disso, enquanto no período anterior, de 1899 a 2014, a cota de inundação de 3 m foi superada apenas em cinco dos 115 anos, no período recente, de apenas dez anos, essa marca já foi atingida ou superada quatro vezes. Esse padrão de aumento da frequência das cheias pode ser observado em outras séries históricas da região. A tendência recente de aumento das cheias no Guaíba não é um caso isolado. Diversos estudos (e.g. Chagas *et al.*, 2022) identificaram tendências de crescimento na magnitude e frequência das cheias na região Sul do Brasil.

## O Sul do Brasil é o local com maior projeção de aumento de cheias pela mudança climática

Projeções do impacto da mudança climática nos recursos hídricos nacionais foram elaboradas recentemente pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme documentado em Paiva *et al.* (2024 a, b), Paiva *et al.* (2025) e Petry *et al.* (2025).



Alteração de cheias severas em rios médios e grandes no Brasil e na América do Sul.  
Fonte: ANA e IPH/UFRGS

Conforme essas projeções, é justamente na região Sul do Brasil onde há o maior sinal de aumento de cheias em consequência da mudança climática. É esperado um aumento nas precipitações intensas de curta duração (por exemplo, um dia) em praticamente todo o Brasil. O aumento nas chuvas intensas traz preocupações sobre a intensificação de cheias em bacias pequenas e alagamentos em áreas urbanas.

Quando se avaliam as cheias em rios de médio a grande porte, causadoras de grandes inundações como a ocorrida no evento de 2024, são projetados aumentos na região Sul, incluindo Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, e também no Uruguai e parte da Argentina, em partes do Nordeste brasileiro, no Peru, Bolívia e Equador. Por outro lado, é esperada a redução de cheias nos grandes rios do centro do Brasil e partes da Amazônia, causado pelo aumento das perdas d'água por evapotranspiração e redução da umidade do solo antecedente ao período de cheia (Brêda *et al.*, 2023). Essas projeções para o futuro são coerentes com as observações de tendências recentes (e.g. Chagas *et al.*, 2022).

## **Vazões de cheia podem aumentar em 20% e serem até 5 vezes mais frequentes**

Ainda de acordo com os resultados descritos por Paiva *et al.* (2025), as projeções indicam que o aumento da magnitude das vazões máximas dos rios da região Sul durante as cheias pode ser da ordem de 20%, ampliando os impactos de eventos como o de 2024.

Por exemplo, isso poderia causar um acréscimo da ordem de três metros no nível d'água máximo nos rios da região da Serra, equivalente ao tamanho de um andar de uma edificação. A área inundada e população afetada seriam maiores, podendo haver maior destruição por escoamento com maior velocidade e altura. Pessoas que se salvariam buscando abrigo em um segundo pavimento não teriam essa alternativa no caso desse acréscimo.

Em outras regiões, como a Região Metropolitana de Porto Alegre banhada pelo Guaíba, um aumento de 20% na vazão pode resultar em um aumento da ordem de 50 cm a um metro nos níveis d'água, e uma ameaça adicional pela superação dos níveis dos sistemas de proteção contra cheias atuais, que foram dimensionados considerando o clima passado. Além disso, as cheias extremas podem se tornar até 5 vezes mais frequentes. Isso significa que um evento extremo que atualmente ocorre, em média, a cada 50 anos, no futuro poderia ocorrer, em média, a cada 10 anos, aumentando os impactos negativos.

## **A reconstrução e o planejamento devem considerar critérios hidrológicos para a adaptação à mudança climática**

Com efeito, as chuvas e vazões observadas nos últimos anos, sobretudo em 2024, bem como as chuvas e vazões estimadas a partir das projeções dos modelos climáticos, têm o potencial de mudar os critérios de projeto, apontando a necessidade de atualização dos valores de referência para o dimensionamento de obras.

Enquanto o Rio Grande do Sul vivenciava os impactos do desastre, já se iniciava o debate em relação à reconstrução da infraestrutura afetada após a grande cheia. Entre os cientistas das universidades e da ANA, havia uma preocupação para se reconstruir melhor com maior resiliência, incorporando a adaptação à mudança climática. Neste sentido, Paiva *et al.* (2024b) e ANA (2024) apresentaram notas técnicas com critérios hidrológicos simples e objetivos para adaptação à mudança climática e impactos de chuvas e cheias extremas. Os critérios são sugeridos para aplicações em projetos de infraestrutura, mapeamento de áreas de risco e planejamento durante e após a recuperação dos desastres de 2023 e 2024 na região Sul do Brasil. Esses foram os primeiros documentos propondo critérios hidrológicos objetivos para a adaptação a mudança climática no Brasil.

Um primeiro passo é a adoção de diretrizes para a atualização de parâmetros hidrológicos, como vazões e precipitações máximas, considerando os impactos climáticos, como:

- **Inclusão de eventos recentes:** As séries históricas utilizadas para análises estatísticas devem incluir os eventos extremos mais recentes, como as cheias de 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul, para refletir as tendências atuais.
- **Aumento da magnitude:** Para projetos de infraestrutura, recomenda-se aumentar a magnitude das vazões e precipitações máximas em 15% a 20%, dependendo do tempo de retorno, para incorporar os efeitos das mudanças climáticas.
- **Majoração dos tempos de retorno calculados para a série presente:** O tempo de retorno adotado em projetos deve ser majorado para refletir o aumento da frequência de eventos extremos. A título de exemplo, um projeto dimensionado para um tempo de retorno de 1.000 anos, poderá ter que considerar, para o futuro, um tempo de retorno correspondente a 6.000 anos da série presente, a depender da região.
- **Flexibilidade e adaptabilidade:** As infraestruturas devem ser projetadas de forma flexível, permitindo futuras ampliações ou ajustes para lidar com eventos ainda mais extremos.

## **Projetos adaptados a riscos em constante transformação**

Num ambiente em que os riscos mudam ao longo do tempo, seja pelo desenvolvimento econômico de uma região que pode vir a ser afetada por uma grande cheia, pelo aumento da vulnerabilidade das populações em áreas de risco, pelo processo de urbanização intenso ou pela mudança do clima, que tende a exacerbar o nível de perigo, faz-se necessária uma nova estratégia para avaliar e dimensionar um projeto de infraestrutura.

As técnicas de análise normalmente adotadas na engenharia para esses fins não são capazes de lidar de maneira adequada com o grau de incerteza sobre os extremos hidrológicos no futuro. A engenharia brasileira deve iniciar um processo de desenvolvimento de técnicas baseadas em gestão de risco adaptativa, seguindo o exemplo de outros países que já iniciaram esse processo de forma mais sistemática, mudando o paradigma de operação e dimensionamento das infraestruturas.

A Associação Americana de Engenheiros Civis (ASCE), por exemplo, iniciou há mais de uma década esse processo, gerando uma estruturação do conhecimento sobre o tema, contribuindo para o avanço metodológico da análise e dimensionamento de infraestruturas sob influência da mudança do clima (Ayyub, 2018; Olsen, 2015; Surampalli *et al.*, 2013), e permitindo o refinamento metodológico para o dimensionamento de estruturas adaptáveis ao longo do tempo. Ao longo desse processo, outras instituições responsáveis pela manutenção e implementação de infraestrutura, não necessariamente hídrica, desenvolveram seus próprios métodos de avaliação, resultando, por exemplo, numa nova Circular (Kilgore *et al.*, 2023), emitida pelo Departamento de Transporte dos Estados Unidos, com recomendações sobre as análises hidrológicas a serem adotadas em estudos e projetos de pontes e infraestrutura de drenagem, que incorporam novos métodos específicos para levar em consideração as mudanças do clima.

## **Reavaliação das curvas IDF e vazões máximas é uma necessidade para a gestão do risco climático e hidrológico**

As curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) são instrumentos essenciais para dimensionar estruturas de drenagem e controle de enchentes, como bacias de retenção, diques e comportas. Tradicionalmente, estas curvas avaliam padrões de chuvas intensas a partir de dados históricos, assumindo que tendências passadas se repetirão no futuro - uma premissa que já não é mais válida.

Pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba, trabalhando com o GTA-RS, descobriram que as chuvas extraordinárias de abril e maio de 2024 elevaram significativamente as curvas IDF nas bacias dos rios Jacuí e Taquari-Antas. Este fato evidencia a urgente necessidade de reavaliar os parâmetros de projeto utilizados atualmente.

Com as mudanças climáticas alterando os padrões de precipitação, os métodos tradicionais de planejamento tornaram-se insuficientes. O desenvolvimento de curvas IDF que incorporem diferentes cenários climáticos futuros, não apenas dados históricos, em projeções mais realistas das precipitações futuras, é fundamental para a construção de resiliência hídrica e adaptação a extremos climáticos.

Para reconstruir infraestruturas danificadas de forma mais resiliente, também é preciso estimar vazões máximas considerando estes novos padrões climáticos. A reavaliação destes parâmetros não é opcional, mas uma necessidade imediata para dimensionar obras hidráulicas, criar sistemas de alerta eficazes contra inundações e garantir a viabilidade de projetos em um cenário onde os extremos climáticos se tornam mais frequentes e intensos.

## **Abordagens mais simples para incorporação do risco estão disponíveis e já são usadas em várias partes do mundo**

Não há dúvidas sobre os impactos da mudança do clima na ocorrência de eventos hidrológicos intensos. No cenário científico internacional, ocorre uma busca intensa por métodos para melhor estimar suas magnitudes. Esses métodos são baseados em modelos climáticos ou em alternativas mais simples, como a majoração das curvas IDF ou das vazões máximas já existentes para o clima presente. Essas abordagens mais simples são geralmente as adotadas por países ou agências devido ao nível elevado de incerteza nas projeções futuras de magnitudes dos eventos provenientes de modelos climáticos, mas costumam adotar fatores de majoração baseados em estudos que tenham empregado tais modelos (Luca *et al.*, 2024; Madsen *et al.*, 2014; Martel *et al.*, 2021).

Bélgica (Willems, 2013), Reino Unido (UK Department of Infrastructure, 2020) e a cidade de Quebec (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2017) adotaram estratégias similares para adequação de suas curvas IDF – também de vazões no caso da Bélgica (Madsen *et al.*, 2014) – definindo um fator de majoração único para toda região: 30% na Bélgica, 20% no Reino Unido e 18% em Quebec. No Reino Unido, um fator de segurança adicional pode ser adicionado dependendo da região e do período de planejamento.

Outros países resolveram adotar fatores de majoração que podem variar de acordo com a região específica onde o projeto se encontra, ou com base no período de retorno adotado no estudo, ou ainda dependente de alguma variável meteorológica que possa sofrer

mudanças no futuro, como é o caso da temperatura. De acordo com (Martel *et al.*, 2021), a Dinamarca adotou fatores de majoração de 20%, 30% e 40% nas curvas IDF para períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos, respectivamente, enquanto a Suécia adotou valores de majoração entre 5 e 30%, dependendo da região. Alemanha (Hennegriff *et al.*, 2006) e Noruega (Lawrence & Hisdal, 2011) adotaram estratégias similares para a definição das vazões de projeto com fatores de majoração que variam com o período de retorno e a bacia hidrográfica. A Austrália, por sua vez, em seu guia de estimativa de vazões (Ball *et al.*, 2019), recomenda fatores de majoração associados à expectativa de mudança de temperatura no futuro: 5% para cada 1°C de aumento de temperatura.



## **Redes de monitoramento do clima e dos corpos d'água são a primeira linha de defesa contra desastres**

A rede de estações hidrometeorológicas desempenha um papel crucial no acompanhamento dos níveis dos rios, vazões, chuvas e outras variáveis necessárias para a tomadas de decisão em situações de crise e para o planejamento de ações de prevenção e mitigação de danos. Dados precisos e em tempo real são fundamentais para a emissão de alertas precoces, a modelagem hidrológica e hidrodinâmica e tomada de decisão durante eventos extremos. Além disso, séries históricas consistentes são necessárias para a análise de tendências e a elaboração de políticas públicas eficazes.

A rede hidrometeorológica no estado do Rio Grande do Sul é composta por estações telemétricas e convencionais, gerenciadas e operadas por diversas instituições públicas e privadas, nos níveis estadual e federal, dentre as quais a ANA, o SGB, a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA-RS), empresas do setor de energia elétrica e universidades. As estações telemétricas coletam dados em tempo real, permitindo o monitoramento contínuo das condições hidrológicas e a emissão de alertas precoces em caso de eventos extremos, enquanto as estações convencionais dependem de ação humana para leitura dos dados, o que pode se tornar inviável justamente durante os eventos extremos, como observado no evento de 2024.

A eficácia do monitoramento hidrológico depende da manutenção adequada das estações, da modernização dos equipamentos e da ampliação da cobertura espacial da rede. Durante os eventos de enchentes ocorridos em abril e maio de 2024, foram identificadas lacunas na cobertura de monitoramento, especialmente em áreas críticas onde os impactos das cheias foram mais severos. A falta de dados em tempo real, especialmente de chuvas, nas regiões de cabeceiras, dificultou a resposta rápida e a emissão de alertas precisos, o que poderia ter evitado parte dos danos ocorridos.

### **O que funcionou:**

- Dados em tempo real: A transmissão telemétrica de dados de estações automáticas permitiu o monitoramento contínuo dos níveis dos rios e da precipitação, subsidiando a emissão de alertas e a tomada de decisões durante a crise. Estações hidrológicas localizadas no rio Guaíba e suas bacias afluentes, na bacia do rio Uruguai e na Lagoa dos Patos forneceram informações críticas para a previsão de inundações e a mobilização de recursos de emergência.

- Resiliência parcial: Apesar dos danos causados pelas cheias, 18 das 19 estações da ANA/SGB que foram avariadas foram recuperadas em um período relativamente curto, graças a esforços coordenados entre os atores. Melhorias estruturais, como a elevação das plataformas de coleta de dados (PCDs) e a instalação de sensores redundantes ou complementares, ajudaram a garantir a continuidade do monitoramento em algumas áreas. A disponibilidade de dados telemétricos das estações operadas pela Cia Energética do Rio das Antas – CERAN, avariadas durante o evento, também foi restabelecida.
- Integração de redes: A colaboração entre instituições, como a ANA, a SEMA-RS, a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), a Universidade federal de Pelotas (UFPel) e o setor elétrico, permitiu a integração de dados de diferentes redes de monitoramento, ampliando a cobertura e a qualidade das informações disponíveis para a gestão da crise.

### O que falhou:

- Danos às estações: A magnitude das cheias causou danos significativos a várias estações de monitoramento, interrompendo a transmissão de dados em momentos críticos. Em alguns casos, como na estação Balsa do Prata, a interrupção durou meses, comprometendo a capacidade de monitoramento em áreas estratégicas.
- Falhas na redundância: A falta de redundância em algumas estações resultou em períodos de indisponibilidade de dados, especialmente em locais onde os sensores foram danificados ou as PCDs foram inundadas. Isso limitou a capacidade de acompanhamento contínuo das condições hidrológicas durante o pico do evento.
- Limitações na cobertura: A rede de monitoramento ainda apresenta lacunas de cobertura, especialmente em bacias menores e em áreas rurais, onde a instalação de estações pluviométricas e fluviométricas é mais escassa. Isso dificultou a previsão mais acurada de inundações em algumas regiões.



Estação fluviométrica no Rio Taquari em Muçum, destruída pela enchente.  
Fonte: SGB e ANA



Estação fluviométrica no Rio Taquari em Muçum, reconstruída após a enchente, de forma mais segura para garantir a continuidade da operação.  
Fonte: SGB e ANA

## **Um monitoramento mais robusto e inteligente é necessário para lidar com o futuro mais crítico e incerto**

As interrupções no monitoramento, principalmente em razão das avarias sofridas pelas estações, prejudicaram a capacidade de resposta durante o evento, especialmente na emissão de alertas precisos e na tomada de decisões em tempo hábil. A falta de dados em tempo real em algumas áreas críticas pode ter contribuído para a subestimação dos riscos e para a demora na mobilização de recursos de emergência. Além disso, falhas nas séries de algumas estações, especialmente causadas por problemas de continuidade de manutenção ao longo dos anos, dificultam a modelagem hidrológica e a avaliação dos impactos das cheias com maior precisão.

Melhorias nas estações hidrometeorológicas para aumentar sua resiliência durante eventos extremos começaram a ser implementadas ainda no decorrer das enchentes, incluindo a reinstalação de réguas, a elevação das plataformas de coleta de dados (PCDs) por meio da utilização de postes, a utilização de sensores redundantes e complementares para medição de níveis dos rios e a instalação emergencial da estação hidrológica Usina do Gasômetro para medição do nível do rio Guaíba, tendo em vista a descontinuidade

da estação Cais Mauá C6 por questões operacionais . Além disso, foi aumentada a frequência de transmissão de dados via satélite em estações estratégicas, passando de 1 hora para 15 minutos, o que permite um acompanhamento mais detalhado e em tempo real das condições hidrológicas.

A partir de junho até outubro de 2024, o Serviço Geológico do Brasil e a ANA trabalharam na reconstrução das estações hidrometeorológicas, convencionais e/ou telemétricas que foram destruídas parcial ou totalmente durante o evento de abril/maio de 2024. Embora as estruturas de sustentação dos equipamentos fossem consideradas robustas, muitas delas, como outras obras de infraestrutura, não suportaram a força das águas. Os danos neste nível de prejuízo ocorreram majoritariamente nas sub-bacias dos rios Taquari e Caí, devido à elevação muito rápida do nível dos rios.

Passado um ano das enchentes, o monitoramento hidrológico na região ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de recursos financeiros e humanos para a manutenção das estações e expansão da rede. A redução contínua de investimentos nas redes de monitoramento compromete a produção de dados e a formação de séries históricas confiáveis, essenciais para a emissão de alertas hidrológicos, o dimensionamento de infraestruturas, a modelagem de manchas de inundação, o gerenciamento de recursos hídricos e de risco, a análise de tendências, bem como a elaboração de políticas públicas eficazes e sua avaliação.

É necessário ampliar e modernizar a rede de monitoramento, com a instalação de estações telemétricas em áreas críticas e a implementação de medidas de redundância para garantir a continuidade do monitoramento durante eventos extremos; criar protocolos de publicação tempestiva e compartilhamento de dados e a integração de redes existentes; e garantir recursos humanos – cientistas, técnicos, especialistas em comunicação – qualificados e em número suficiente, além de recursos financeiros para a manutenção e expansão da rede em longo prazo. Especificamente na região da Lagoa dos Patos, verificou-se a necessidade de instalar maior número de estações meteorológicas, expandir a rede de linígrafos e unir esforços das diferentes instituições e regiões, pois a enchente deve ser analisada e respondida de maneira conjunta e coordenada. Além disso, ficou evidente a necessidade de atualizar dados batimétricos, pois os dados do corpo lagunar são da década de 80.

Há que se ressaltar, ainda, a importância de modernização do Sistema de Dados Hidrológicos – HIDRO, integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, de forma a agregar segurança às informações da Rede Hidrometeorológica Nacional e possibilitar a divulgação dos dados de maneira simples e amigável.

Outro ponto que se destaca é a importância de evoluir e intensificar as estratégias de comunicação com a sociedade nos temas de

monitoramento e alerta. Em muitos casos, as autoridades locais e a população receberam alertas referentes à enchente, mas não dispunham dos instrumentos para compreendê-los e agir.

## **Marcas de cheia registram o passado e alertam para o futuro**

A determinação das marcas de cheia dos rios se mostra uma ferramenta de comunicação dos riscos importante para a população. Em especial, essa determinação é essencial para o planejamento e a segurança da população, pois permite compreender os níveis máximos atingidos pelas águas em eventos extremos. Diante da inundação de maio de 2024, SGB, em parceria com a ANA, realizou um esforço conjunto para levantar essas informações com precisão. Utilizando a técnica de nivelamento geométrico, as equipes de campo aferiram as marcas de cheia em estações fluviométricas afetadas, garantindo a padronização dos dados em um referencial vertical comum. Esse trabalho foi conduzido simultaneamente à reconstrução das estações fluviométricas e pluviométricas impactadas, reforçando a importância da cooperação institucional para aprimorar a gestão dos recursos hídricos e a prevenção de desastres. As cotas das marcas de cheia aferidas estão disponíveis em anexo a esta publicação.

O acompanhamento da altura da inundação do Guaíba entre as estações Cais Mauá C6 e Usina do Gasômetro foi particularmente importante para que as pessoas compreendessem a dimensão das enchentes e seu comportamento. Estudo realizado em parceria entre o SGB e o 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro determinou a cota máxima alcançada na região central de Porto Alegre na cheia de maio de 2024, que ocorreu em 5 de maio de 2024, atingindo 5,37 m na estação Cais Mauá C6 (operada pela SEMA-RS), 5,12 m no Portão Principal SPH-RS (local em que está materializada a marca da cheia de 1941), e 4,59 m na estação Usina do Gasômetro (operada pelo SGB).

No rio Taquari, em Lajeado, foram registrados 3 picos de nível: o máximo histórico registrado de 33,67 m, em 2 de maio de 2024 às 13h30; o primeiro repique com 27,75 m, em 13 de maio às 5h; e nova cheia com 24,19 m, em 17 de junho às 22h30.

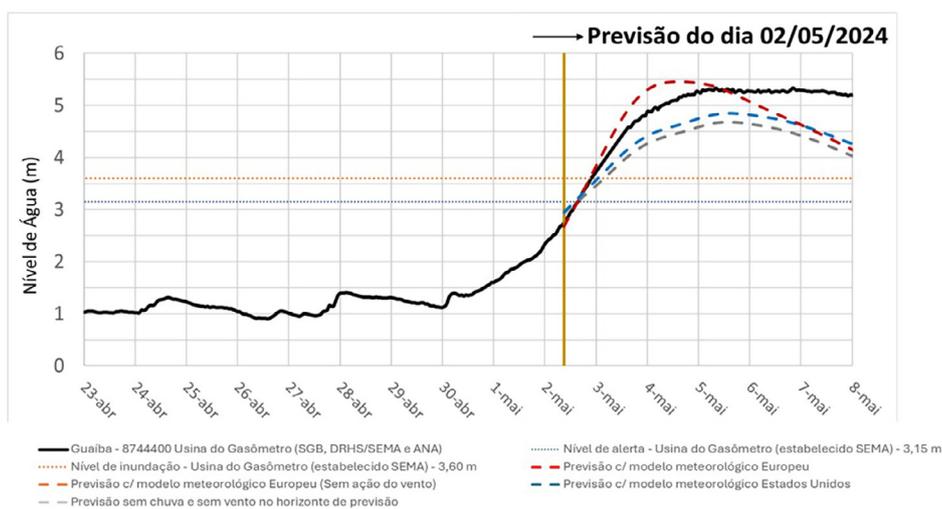


Marca da cheia de maio de 2024 em Porto Alegre na Av. Getúlio Vargas, Bairro Menino Deus.  
Fonte: SGB

## Previsão e alerta de cheias reduzem os impactos negativos

A modelagem hidrológica e hidrodinâmica, combinada com modelos digitais de elevação do terreno, é a ferramenta para determinar as áreas inundáveis em uma região, permitindo estimar quais serão as cotas de inundação nas ruas e cidades em diferentes situações hidrometeorológicas (Fernandes & Gonçalves, 2025). Tanto na Região Metropolitana de Porto Alegre quanto na Lagoa dos Patos, modelos permitiram prever o desenrolar das inundações ao longo do tempo e ajudaram os governos locais e a defesa civil a prepararem as ações mais imediatas. Os modelos foram desenvolvidos ao longo de anos pelas universidades da região, notadamente pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Rio Grande e pela Universidade Federal de Pelotas, e adequadas ao evento por essas instituições a partir de uma organização interinstitucional para a construção de um modelo colaborativo e integrado para atender a demanda de conhecimento sobre o fenômeno e seus impactos sobre o território.

Em um exemplo de previsão emitida dia 2 de maio para o Guaíba pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, antecipou-se em 3 dias a ocorrência de níveis acima de 5 metros, e estimou-se que os níveis acima de 6 metros (cota de coroamento do sistema de proteção) não ocorreriam durante a cheia. Essas experiências demonstraram que a capacidade técnica necessária para a emissão de previsões acuradas e úteis para a sociedade está disponível e precisa ser integrada ao planejamento e preparação para a ocorrência de desastres.



Previsão emitida dia 02 de maio para o Guaíba pelo IPH/UFRGS, onde antecipou-se em 3 dias a ocorrência de níveis acima de 5 metros, e que os níveis acima de 6 metros (cota de coroamento do sistema de proteção) não ocorreriam durante a cheia.  
Fonte: Miron *et al.*, 2025

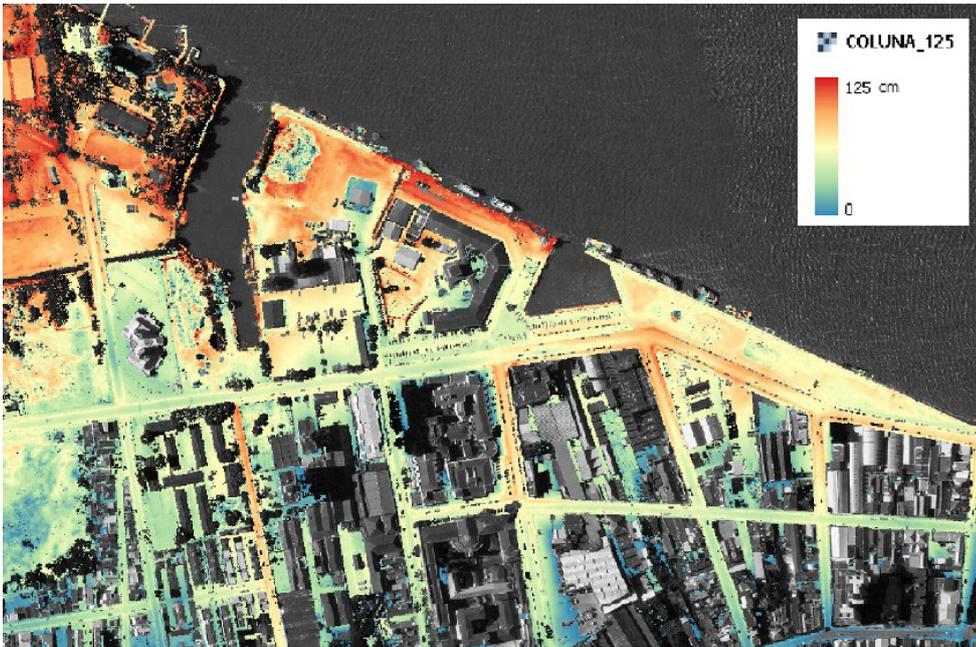
Em outro aspecto, uma avaliação de pesquisadores do SGB (Silva e Buffon, 2020) sobre a operação do Sistema de Alerta de Eventos Críticos - SACE para o rio Caí indicou que o sistema de previsão evitou a perda de R\$ 112,00 para cada R\$ 1,00 investido no sistema entre os anos de 2009 e 2020. Este valor de dano evitado em prevenção foi superior aos outros esperados a partir de medidas estruturais de mitigação de cheias na região. Outra pesquisa envolvendo o estado

do Rio Grande do Sul indicou que atualmente o desenvolvimento e a operação de um sistema estadual de previsão de enchentes pode economizar de R\$ 18,00 a R\$ 41,00 para cada R\$ 1,00 nele investido (Nonnemacher e Fan, 2023). Recentemente, no projeto intitulado “Inventário e Avaliação de Custos e Benefícios da Rede Hidrometeorológica Nacional e da Rede Nacional de Qualidade de Água”, financiado pela ANA e desenvolvido IPH/UFRGS, concluiu-se que o emprego dos dados na configuração e implementação de sistemas de alerta para eventos climáticos extremos, como secas e inundações, pode evitar perdas de até R\$ 661,00 para cada R\$ 1 investido, relação quantificada a partir das perdas e custos evitados em decorrência de alertas para inundações em áreas urbanas (ANA, 2024).

No caso da região da Lagoa dos Patos, os municípios se beneficiaram de dados de nível, previsões numéricas do comportamento hidrológico e hidrodinâmico do corpo d’água e de resultados de um modelo computacional de inundação combinados sob o conceito do Digital Twin Lagoa dos Patos DT – LAGOA (Fernandes & Gonçalves, 2025), para avaliar as melhores alternativas para a segurança da população e infraestrutura da cidade, garantindo mobilidade e segurança durante a maior catástrofe natural dos últimos séculos e aproximando o paradigma do risco de inundações aos gestores e defesas civis da região.

Os dados de nível em diferentes estações ao longo da Lagoa dos Patos, sob responsabilidade da ANA, SGB, FURG e UFPEL, permitiram validar em tempo real as previsões e indicaram excelente reprodutibilidade do modelo hidrodinâmico em diferentes áreas do corpo lagunar durante o evento de inundação.

As informações compartilhadas com as autoridades locais e forças de segurança na região da Lagoa dos Patos foram apresentadas em formatos adequados à maximização do seu uso, como em mapas com a extensão da mancha de inundação no centro da cidade de Rio Grande e a altura da água (expressa em escala de cores) sobre o terreno em cada ponto da cidade inundada, e mapas com as ruas e as classes de veículos que poderiam circular sobre elas em diversos cenários, permitindo traçar rotas seguras para deslocamento das equipes de atendimento à população.



As cores da imagem, conforme a legenda, indicam a altura da lâmina d'água nas ruas da cidade de Rio Grande no dia de máxima inundação (16 de maio).  
 Fonte: Fernandes & Gonçalves, 2025



Mapa de segurança para a circulação dos diversos veículos sobre a área inundada do centro da cidade de Rio Grande no dia de máxima inundação (16 de maio).  
 Fonte: Fernandes & Gonçalves, 2025

O sucesso da modelagem hidrodinâmica no contexto da enchente de maio de 2024, tanto no Guaíba quanto na Lagoa dos Patos, aliado à integração entre universidades e autoridades locais, demonstra a importância do conhecimento presente nesses centros de pesquisa no enfrentamento ao evento de inundação, bem como destaca a necessidade de replicar essa abordagem em eventos futuros e em outras regiões do País, garantindo a segurança das comunidades com custos relativamente baixos. Dadas as experiências e benefícios já validados com sucesso, a implantação de sistemas de previsão operacionais e perenes para a mitigação dos impactos dos eventos extremos no Rio Grande do Sul, para os quais já existe capacidade técnica e tecnológica instalada, deve ser uma das prioridades na construção da resiliência contra cheias.



## **Armazenamento da cheia nas várzeas naturais é a principal solução baseada na natureza para diminuir os impactos das inundações**

Fato relevante observado durante as cheias de 2024 no sul do Brasil é que boa parte da cheia que ocorreu na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) foi amortecida pelas várzeas do Rio Jacuí (o Parque Estadual Delta do Jacuí, formado por um conjunto de ilhas, atua como uma área de expansão das águas dos rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí antes de chegarem ao Guaíba). Ou seja, o armazenamento da água nas várzeas naturais foi um fator decisivo para que os níveis não fossem mais elevados do que os valores observados.

Este fato demonstra a importância da manutenção das várzeas do rio Jacuí como amortecimento para futuras cheias na região. Tomadas de decisão de medidas para diminuição das cheias não devem comprometer a capacidade de armazenamento das águas nestas várzeas. Por exemplo, não devem ser construídos diques que evitem a conexão destas regiões com o rio ou a realização de aprofundamentos do leito que evitem a saída das águas em direção às várzeas, sob risco de intensificação dos problemas na RMPA.

Em outros países existe uma solução para cheias conhecida como “room for the river”, que, traduzindo, significa “lugar para o rio”. As várzeas do Rio Jacuí são exatamente os locais onde o rio possui espaço para fluir e tem lugar para ele. A solução “room for the river” no Rio Grande do Sul seria justamente não alterar os fluxos de água para estas várzeas, que possuem papel fundamental para amortecimento das cheias.

## **Práticas conservacionistas reduzem a velocidade do escoamento superficial, promovendo a infiltração da água e conservando o solo**

Outras áreas naturais desempenharam funções similares. As matas ciliares ao longo dos principais rios funcionaram como barreiras naturais, ajudando a conter o transbordamento e estabilizar as margens. Os banhados e áreas alagáveis na região sul do estado também contribuíram para a dissipação da energia das inundações, reduzindo a velocidade de escoamento e protegendo diversas infraestruturas.

Programas de conservação, como o Protetor das Águas, têm demonstrado benefícios na mitigação dos impactos de chuvas intensas, promovendo a recuperação de áreas ripárias e a retenção de sedimentos. Por exemplo, experiências na bacia do arroio Andreas, em Vera Cruz, na bacia do Rio Pardo, na porção central do Estado, evidenciaram que propriedades participantes apresentaram maior estabilidade das margens e menor erosão durante os eventos extremos de 2024, mesmo com chuvas maiores que 500 mm em maio, ao contrário das áreas sem proteção, que sofreram severos processos erosivos (Kronbauer et al., 2024).



Vista aérea de propriedade integrante (primeira foto) e não integrante (segunda foto) do Protetor das Águas, que destaca os impactos de erosão, solapamento de margens e transporte de sedimentos após as chuvas extremas.

Fonte: Kronbauer et al., 2024



Embora os efeitos locais dessas ações sejam positivos, a magnitude das enchentes de 2024 demonstrou que a escala territorial e a intensidade do evento podem superar a capacidade de mitigação dessas áreas. Programas de conservação ambiental são fundamentais para reduzir impactos em eventos menores e moderados, mas não substituem a necessidade de ações de preparação, sistemas de alerta precoce, infraestrutura de proteção robusta e planejamento urbano adequado para enfrentar eventos hidrológicos de grande magnitude.

Além da sua função hidrológica, as áreas verdes também são fundamentais para dificultar a fixação de populações em zonas de risco, especialmente onde as enchentes são rápidas e destrutivas. Em cidades como Roca Sales e Muçum, severamente afetadas pela cheia de 2024, com inundações atingindo rapidamente as áreas urbanas e causando perdas significativas, o planejamento da reconstrução deve considerar a criação de zonas de amortecimento verdes para reduzir os danos futuros. Áreas ribeirinhas podem ser transformadas em parques de inundação, reduzindo o impacto das cheias e criando espaços seguros para a população.



## **A tragédia das enchentes de 2024 não foi apenas um desastre natural, mas também um reflexo de fragilidades estruturais e falhas na gestão do risco. A urbanização estabelecida, problemas na manutenção de infraestruturas de proteção contra cheias e alertas ineficazes ampliaram os danos e comprometeram a segurança da população**

As enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul evidenciaram uma série de fragilidades que ampliaram seus impactos sobre a população e as estruturas urbanas. Entre os fatores que contribuíram para o agravamento do desastre, destacam-se aspectos relacionados ao planejamento urbano, à manutenção das infraestruturas de proteção e drenagem pluvial urbana, à eficiência dos sistemas de alerta e resposta, e à comunicação do risco.

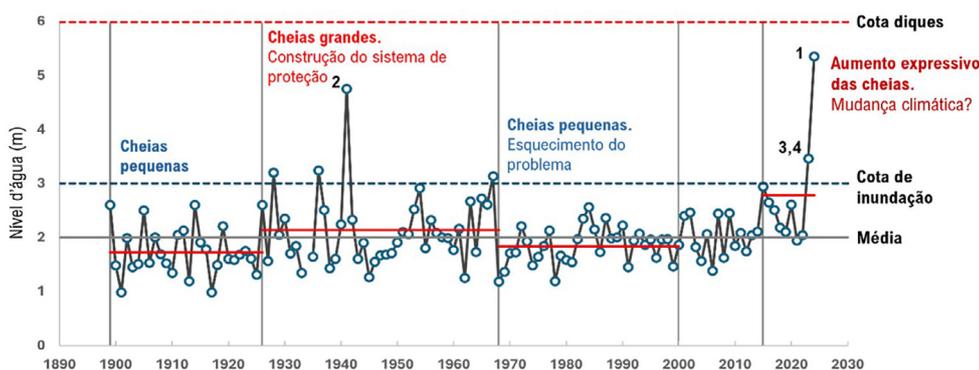
O crescimento urbano, nem sempre cumprindo o ordenamento territorial adequado, resultou no aumento da população exposta a inundações, principalmente em áreas ribeirinhas e de planícies inundáveis. A expansão das cidades sobre essas áreas, sem medidas adequadas de mitigação, amplificou as consequências das cheias. Municípios como Roca Sales e Muçum, situados no Vale do Taquari, tiveram suas áreas urbanas completamente submersas quando as zonas de risco foram atingidas pelo rápido aumento do nível do rio Taquari.

## **As cheias históricas esquecidas causando maior vulnerabilidade**

Um dos aspectos do desastre de 2024 que chama a atenção foi a falta da percepção de risco pela população. Relatos trazidos por Malionsky *et al.* (2024) demonstram claramente que grande parte das pessoas afetadas na Região Metropolitana de Porto Alegre não sabia que estava em uma área inundável, nem como funcionava o sistema de proteção contra cheias. Além disso, não havia planos efetivos de contingência para ações de evacuação. Diversas instituições estratégicas como hospitais, quartel do corpo de bombeiros, tribunais, centro de processamento de dados e prédios de governo e justiça também se encontravam em áreas inundáveis. De alguma forma, pode-se interpretar que, para grande parte da população gaúcha, esse tipo de evento extremo era inimaginável, considerado impossível de ocorrer.

Entretanto, cheias dessa magnitude já ocorreram no passado, conforme discutido por Paiva *et al.*, (2025). O caso mais emblemático é o da cheia de 1941, que era, até 2024, a maior cheia já registrada na região, chegando a cerca de 4,75 metros no Cais Mauá em Porto Alegre. As décadas entre 1920 e 1970 foram marcadas por grandes cheias, ocorrendo cinco eventos que alcançaram a cota de inundação na região do Guaíba. As enchentes desse período motivaram a construção de sistemas de controle de cheias para a região, que ocorreu nos anos seguintes ao projeto desenvolvido no final da década de 1960, compostos principalmente por diques para impedir a entrada das águas do Guaíba e seus afluentes em Porto Alegre e algumas das cidades da região metropolitana.

Entretanto, entre 1967 e 2014 ocorreram apenas cheias ordinárias. Em quase meio século, não ocorreram cheias que superassem a cota de inundação, que é de três metros na região do Guaíba (referência régua do Cais Mauá). As inundações mais recentes atingiram as populações em zonas de risco de inundação frequente (com tempo de retorno menor que 10 anos), não causando repercussão e sensibilização social importantes. A não ocorrência de cheias causadoras de inundação de grande magnitude na história recente da região pode ter motivado um esquecimento em relação a essa problemática e aumento da exposição e vulnerabilidade.



Série temporal de nível d'água máximo anual em Porto Alegre (círculos azuis). O gráfico mostra três cotas de referência: (i) Cota do sistema de proteção contra cheias; (ii). Cota de inundação; e, (iii) Nível médio da série. A série histórica foi dividida em cinco janelas temporais distintas, ressaltando a variabilidade temporal das cheias no local. Os quatro maiores eventos registrados (2024, 1941 e dois em 2023) estão enumerados na figura. Fonte: Paiva et al (2025).

## Falhas nos sistemas de proteção contra cheias amplificaram os impactos negativos

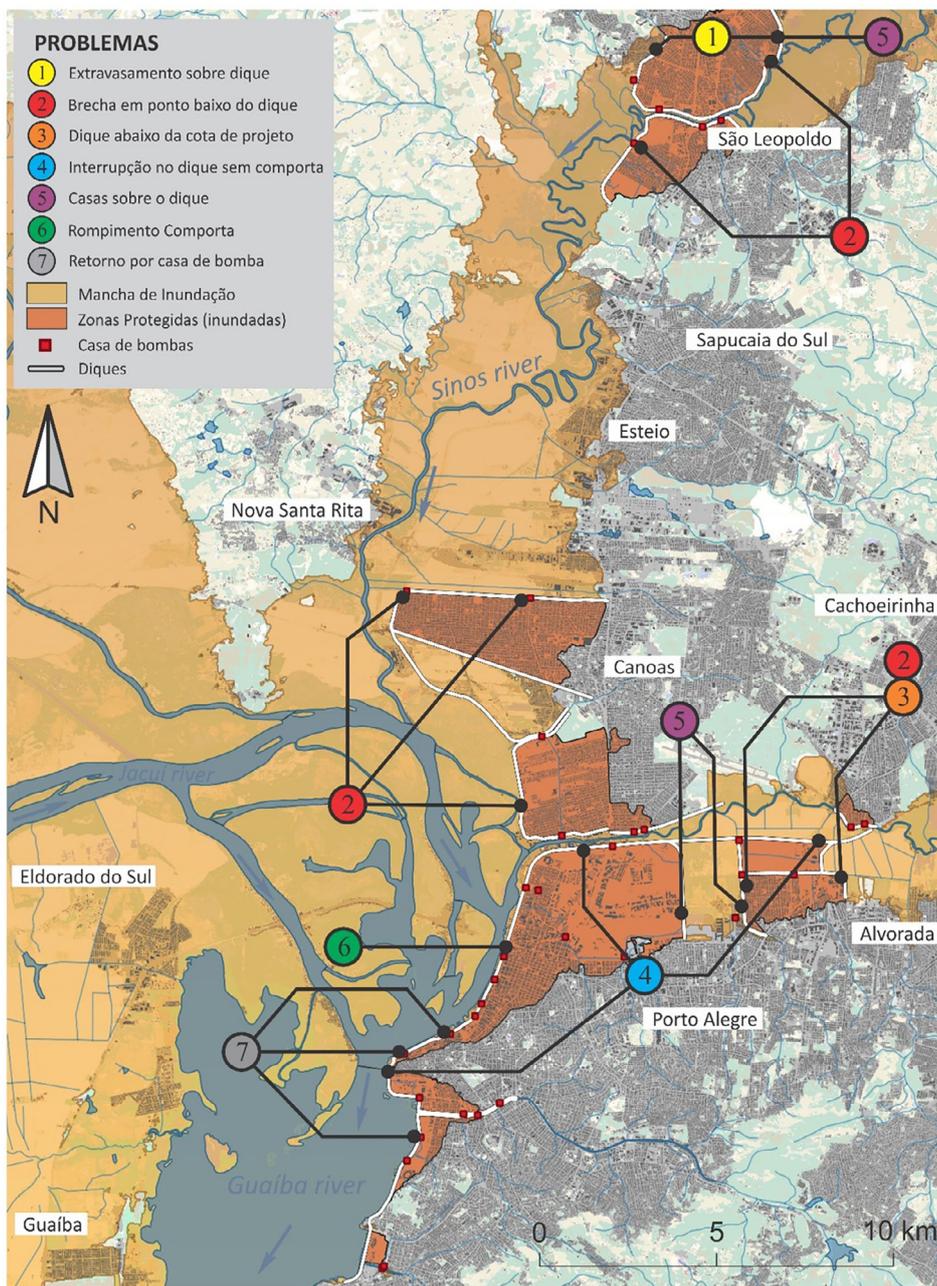
Porto Alegre e outras cidades da região metropolitana possuem sistemas de proteção contra inundação projetados na década de 1960 e implantados de fato nas décadas de 1970 e 1980, porém com alguns pontos não concluídos até hoje.

O único local onde possivelmente o nível superou as cotas de coroamento do projeto foram no rio dos Sinos em São Leopoldo. Na maioria dos locais, incluindo Porto Alegre, os níveis da água não atingiram as cotas máximas do sistema de proteção.

Infelizmente os sistemas de proteção falharam em vários pontos e por motivos diversos. Em algumas áreas as águas entraram na cidade por vãos e ruptura completa em comportas, refluxo através das galerias de descarga de casas de bombas, através de pontos rebaixados nos

diques, fragilização por ocupação com edificações sobre os diques e conexões diretas de redes pluviais de dentro do polder para fora. Ainda, na região norte de Porto Alegre foi identificado que alguns diques estavam construídos abaixo das cotas de projeto (Collischonn *et al.*, 2025; Fan *et al.*, 2025).

PROBLEMAS OCORRIDOS EM 2024  
SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INUNDAÇÕES DA RMPA



As falhas do sistema de proteção contra cheias na área metropolitana, mostrando inundações em áreas protegidas (laranja escuro) e desprotegidas (laranja claro), e os locais e tipos de falhas.

Fonte: Collischonn, *et al.*, 2025

Boa parte da população que acreditava estar protegida pelos sistemas de proteção, ou nem imaginava estar em uma área inundável em caso de falha do sistema, foi afetada, ampliando o impacto causado pelas inundações, já que atingiram populações despreparadas em função da falsa sensação de segurança. Segundo Fan *et al.*, (2025), estima-se que cerca de 35% a 40% da população do Rio Grande do Sul diretamente atingida pelo evento de inundação de 2024 se encontrava em áreas cobertas pelos sistemas de proteção contra cheias que falharam.



Inundação na região central de Porto Alegre. Na imagem, a esquerda o prédio em branco é uma casa de bombas, na direita o muro consiste na cortina de proteção (conhecida como Muro da Mauá).  
Fonte: IPH/UFRGS

## **A comunicação durante desastres – tanto entre autoridades quanto com a população – precisa ser mais eficiente**

Outro aspecto crítico foi a falta de alertas claros e resposta tempestiva. Limites na integração eficaz entre diferentes instituições e níveis de governo dificultou a mobilização e a evacuação das áreas mais vulneráveis nos vales dos rios e na RMPA. A rápida elevação do nível dos rios não foi acompanhada por um sistema de alerta eficiente, resultando na exposição direta da população aos impactos da inundação.

Em 28 e 30 de abril de 2024, avisos meteorológicos emitidos pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul alertaram sobre temporais isolados e elevação de rios com risco de transbordamento, sinalizando risco alto de alagamentos e deslizamentos de terra. Em 2 de maio foi emitido alerta para evacuação nas cidades do Vale do Taquari em função do rompimento de parte do vertedor da PCH 14 de julho. Durante a nova onda de chuvas e elevação dos rios, já em 10 de maio, a Defesa Civil emitiu alerta para o risco de novas inundações, repetido em 23 e 24 de maio pelo mesmo motivo. Passado o evento, percebe-se que os primeiros alertas não deram uma ênfase suficiente sobre a magnitude do evento, de forma que a população não foi evacuada preventivamente em grande escala antes do agravamento das inundações. As medidas para retirada das pessoas das áreas de risco foram lentas e descoordenadas, resultando em alto número de mortos e desalojados, em especial em cidades como Canoas, São Leopoldo, Eldorado do Sul e Roca Sales, onde a população foi exposta ao pior momento da cheia.

Por sua vez, a decretação de estado de calamidade pública, em 5 de maio, permitiu maior mobilização de recursos em todos os níveis de governo, bem como internacionais. Com o passar dos dias, também a

coordenação entre os entes melhorou, de forma que a mitigação dos danos pôde ser mais efetiva. No entanto, tal arranjo deveria fazer parte de protocolos previamente estabelecidos, para que as medidas de resposta ao desastre resultassem em redução, em primeiro lugar, de perdas de vidas, mas também de prejuízos materiais. A incorporação e o constante aprimoramento desses protocolos são medidas urgentes de proteção das pessoas e seus meios de vida diante da evidente possibilidade de repetição de eventos similares ou maiores.

O que se percebeu, de maneira geral, foi que a comunicação do risco se mostrou deficiente tanto para autoridades quanto para a população. Informações sobre o avanço da cheia e medidas de precaução foram divulgadas tardiamente ou de forma imprecisa. Também a circulação de desinformações entre a população acabou contribuindo para reduzir a capacidade de resposta da sociedade. Muitas pessoas não receberam alertas em tempo hábil para evacuação e muitas não conseguiram acessar informações pela interrupção de fornecimento de energia e serviços de internet e telefonia, o que contribuiu para o elevado número de desalojados e perdas humanas. Por outro lado, muitos dos que receberam os alertas não compreenderam sua gravidade, optando por permanecer nos locais de risco, visto que o abandono da residência a deixa vulnerável a saques, que ocorreram de forma generalizada. Em todos os casos, trata-se de uma cadeia de deficiências na informação e nos planos de ação emergencial, que precisa ser sanada em todos os seus elos.

Por outro lado, a lenta propagação das águas pela Lagoa dos Patos, combinada com o eficiente sistema de previsões e comunicação estabelecidos, deu origem a um cenário diferente, permitindo que estratégias de segurança fossem tomadas com antecipação e garantindo a segurança da população nos municípios às suas margens.



- **A chuva extrema de 2024 deve ser considerada como cenário possível para o planejamento não só no Rio Grande do Sul, mas também em outras regiões**

Considerando certo grau de imprevisibilidade do comportamento da atmosfera e o tipo climático da região sul do Brasil, tudo indica que a chuva recorde observada poderia ter ocorrido em qualquer outro lugar na região sul do Brasil, incluindo os estados do Paraná e Santa Catarina. Ainda, as tendências apontadas por estudos de impactos mudança do clima no Brasil são unânimes em apontar o aumento da frequência e da intensidade de chuvas em patamares nunca vistos. Assim é possível que eventos semelhantes ocorram também em outras regiões do País.

A reconstrução das áreas afetadas no RS deve ser uma oportunidade para fortalecer a resiliência da infraestrutura e das comunidades e servir de exemplo para um incremento de ações de preparação e prevenção. A incorporação de critérios climáticos no planejamento de obras, a ampliação de sistemas de previsão e alerta, e a promoção de infraestruturas verdes são passos fundamentais para enfrentar os desafios impostos pela mudança do clima e por outros fatores que aumentam vulnerabilidade das populações, e garantir um futuro mais seguro e sustentável.

- **Monitoramento contínuo é a base para a preparação e para decisões rápidas**

A rede hidrometeorológica do Rio Grande do Sul mostrou-se essencial durante as enchentes de 2024, mas revelou fragilidades. É preciso ampliar a cobertura em áreas críticas (como cabeceiras de bacias), implementar redundância nos sensores e reduzir o intervalo de transmissão de dados, como feito emergencialmente em algumas estações.

- **Conhecimento e tecnologia como aliados na prevenção de novos desastres e na reconstrução após a tragédia**

Os modelos hidrológicos e hidrodinâmicos aplicados para o acompanhamento das enchentes de 2024 se mostraram adequados e capazes de gerar informações qualificadas para emitir os alertas necessários. Informações melhores, obtidas de satélites e de

medições mais precisas, agregadas a ferramentas de predição para cenários extremos e plataformas de compartilhamento de dados, por exemplo, podem gerar resultados ainda melhores e mais tempestivos para a proteção das pessoas, além de orientar o planejamento urbano e de infraestrutura.

- **Sistemas de alerta para reduzir perdas e danos**

O conhecimento científico, os modelos e o monitoramento se traduzem para a população na forma de alertas tempestivos, claros e abrangentes no território. Isso demanda a existência de mapeamento e zoneamento prévio de áreas de risco, plataformas de alerta com geolocalização precisa para identificação das vulnerabilidades, protocolos automáticos de evacuação vinculados a cotas pré-definidas nos corpos d'água, articulação adequada entre os diferentes atores e níveis de governo e comunicação efetiva com a população.

- **Planos de contingência salvam vidas quando atualizados e testados**

Protocolos claros de evacuação reduzem as vítimas das enchentes. Deve-se criar simulações regulares que envolvam Defesa Civil, saúde e educação, incluindo mapeamento prévio de rotas de fuga e abrigos. A permanência de instituições estratégicas em áreas inundáveis comprova a necessidade de revisão periódica desses planos de contingência, já previstos na Lei nº 12608, de 2012.

- **Manutenção preventiva evita falhas em sistemas de proteção**

Os sistemas de proteção contra inundações não são a resposta única para a prevenção de desastres, mas certamente fazem parte do conjunto de soluções necessárias em várias cidades. Em 2024, 35-40% dos afetados estavam em áreas onde diques falharam por problemas como comportas mal vedadas ou estruturas abaixo do projeto original. Recomenda-se inspeções periódicas nos sistemas de contenção e investimento contínuo na sua manutenção, com ênfase nas conexões entre estruturas e pontos críticos identificados no pós-evento.

- **Marco legal para garantir a eficácia permanente dos sistemas de proteção**

A atenção a diques, barragens e estruturas de contenção não pode ser apenas reativa a desastres. É preciso haver leis que definam responsabilidades claras para municípios, estados e União e para os operadores das estruturas, incluindo vistorias periódicas, manutenção preventiva e planos de ação emergencial. A governança dos sistemas de proteção deve incluir cooperação multinível, com atuação coordenada em bacias hidrográficas e regiões afetadas para evitar, por exemplo, que obras a montante aumentem riscos a jusante.

- **Financiamento contínuo para estruturas operantes**

Sistemas de proteção exigem recursos estáveis para a manutenção de equipamentos (comportas, bombas, diques) e disponibilização de equipes suficientes e capacitadas. Fundos dedicados, vinculados a taxas de recursos hídricos ou orçamentos públicos, além de incentivos fiscais para municípios que adotarem medidas de adaptação (como infraestruturas híbridas e reassentamento em áreas seguras) devem ser considerados como alternativas.

- **Cultura de prevenção começa na educação**

O desconhecimento sobre riscos fez muitas vítimas - 40% dos atingidos em Porto Alegre ignoravam estar em áreas inundáveis. Campanhas permanentes usando marcas de cheia como material pedagógico e inclusão do tema no currículo escolar, assim como divulgação e treinamento periódico dos planos de contingência e de emergência podem mudar a capacidade de resposta e reduzir a exposição ao risco de desastres.

- **Colaboração institucional e conhecimento local multiplicam resultados**

O conhecimento desenvolvido nas universidades locais se mostrou capaz de responder ao evento catastrófico enquanto acontecia, permitindo respostas eficazes em tempo real e assegurando bases para uma reconstrução resiliente. A experiência acumulada ao longo de décadas de estudos dedicados às peculiaridades regionais foi um diferencial decisivo, como demonstrado pela aplicação de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos precisos, capazes de prever com antecedência os níveis do Guaíba e da Lagoa dos Patos. Esse êxito foi possível graças ao modelo colaborativo entre universidades, Defesa Civil e prefeituras, que permitiu o compartilhamento de dados e ações coordenadas durante a crise.

Centros regionais de pesquisa fortalecidos, comitês permanentes e plataformas únicas de compartilhamento de dados, que consolidem redes de estudo dedicadas à prevenção de desastres, capazes de gerar informações qualificadas em alta resolução e em tempo real, poderão subsidiar o sistema de proteção e defesa civil em todas as esferas. Essa mesma cooperação deve ser replicada em outras regiões vulneráveis a enchentes, transformando o conhecimento local, desenvolvido ao longo dos anos, em maior segurança para as populações e seus meios de vida.

- **Governança articulada protege vidas e economias**

Desastres maiores e mais frequentes impõem a necessidade de protocolos automáticos para mobilização de recursos humanos, de insumos e financeiros. Planos de emergência e contingência devem estabelecer papéis claros e recursos a serem acionados a partir de cotas ou eventos que sirvam como gatilho.

- **Infraestrutura deve dialogar com o clima do futuro**

As projeções de impacto da mudança do clima indicam chuvas mais intensas com tempos de recorrência mais baixos – ou seja, mais frequentes – e aumento importante nas vazões máximas no Rio Grande do Sul, exigindo revisão dos parâmetros de projeto. Os sistemas de drenagem, estruturas de proteção, barragens, pontes, estradas e sistemas de fornecimento de água e energia, entre outros, serão diretamente afetados e precisam de reavaliação para a adaptação, revisando-se as regras originais de projeto e operação de estruturas hidráulicas de alto risco e sistemas de defesa contra inundações. Outro estudo que deve ser empreendido por responsáveis pela segurança de estruturas hidráulicas no sul do Brasil consiste no reposicionamento da pior chuva ocorrida no Rio Grande do Sul sobre a bacia hidrográfica em que se localiza a estrutura hidráulica e a comparação com valores e parâmetros de projeto atualmente adotados.

- **Legado da tragédia: reconstruir melhor**

As perdas de vidas devem ser evitadas e as perdas econômicas podem ser minimizadas. Não há uma só solução para a prevenção de desastres, mas a tomada de decisão deve lançar mão de um conjunto de medidas que incluem o reassentamento de comunidades em zonas seguras, o mapeamento de vulnerabilidades e zoneamento de áreas de risco, os sistemas de alerta, a implementação de infraestrutura híbrida cinza + verde (por exemplo, barragens de controle de cheias + diques + áreas de amortecimento natural), a criação de fundos ou mecanismos financeiros para a manutenção adequada de estruturas de proteção e para as ações emergenciais e a incorporação de impactos da mudança do clima como fator de majoração do risco em projetos estruturais.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Avaliação de custos e benefícios da Rede Hidrometeorológica Nacional: Estudos de casos – Sumário executivo**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/arquivos-externos/avaliacao-de-custos-e-beneficios-da-rede-hidrometeorologica-nacional-2013-estudos-de-casos-sumario-executivo.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Diretrizes para a consideração de impactos da mudança do clima na adaptação ao risco hidrológico de eventos extremos de máxima na Região Sul do Brasil**. Nota Técnica N° 3/2024/COMUC/SHE. Documento n° 02500.030195/2024-92. Brasília, 4 jun. 2024.

ANDRADES FILHO, C. O. *et al.* **Nota técnica conjunta IGEO/CEPSRM Mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa decorrentes do acumulado de chuva no RS entre 27/04 e 13/05 de 2024**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.10472.89609>. Acesso em: 26 fev. 2025.

ARIAS, P. A. *et al.* Technical Summary. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 33-144. DOI: 10.1017/9781009157896.002.

AYYUB, B. M. **Climate-resilient infrastructure: adaptive design and risk management**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2018. (ASCE manuals and reports on engineering practice, n. 140). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784415191>.

BALL, J. *et al.* **Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation**. Commonwealth of Australia (Geoscience Australia), 2019.

BOLAND, J. J.; LOUCKS, D. P. Infrastructure capacity planning for reducing risks of future hydrologic extremes. **Water Policy**, v. 23, n. S1, p. 188–201, 2021. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.242>.

BRÊDA, J. P. L. *et al.* Assessing climate change impact on flood discharge in South America and the influence of its main drivers. **Journal of Hydrology**, v. 619, p. 129284, 2023.

BROWN, C. *et al.* Resilience by design: A deep uncertainty approach for water systems in a changing world. **Water Security**, v. 9, p. 100051, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2019.100051>.

BROWN, C. *et al.* Achieving robust project design through iterative climate-informed performance assessment. **Millennium Challenge Corporation Cooperative Agreement Product**, 2024.

CHAGAS, V. B.; CHAFFE, P. L.; BLÖSCHL, G. Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 5136, 2022.

COLLISCHONN, W. *et al.* Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 29, p. e50, 2024a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119>. Acesso em: 21 nov. 2024.

COLLISCHONN, W. *et al.* **Nota técnica: Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de na bacia hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre: UFRGS-IPH; Serviço Geológico do Brasil, 2024b. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/06/Comparacao-2024-e-1941-final.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

COLLISCHONN, W. *et al.* O desastre hidrológico excepcional de abril-maio de 2024 no sul do Brasil. **HydroShare**, 2024. Disponível em: <http://www.hydroshare.org/resource/d9e5c2ffb49a4b729b240f3eb3084ff4>. Acesso em: 26 fev. 2025.

COLLISCHONN, W. *et al.* A cheia de 2024 no Rio Grande do Sul. In: FERRER, J.; DANÉRIS, M.; MARQUES, P. R. (Org.). **Resiliência & sustentabilidade: reflexões para a reconstrução do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Libretos, 2025.

COLLISCHONN, W. *et al.* The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 1, 2025. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). **CNM atualiza prejuízos dos municípios com as chuvas no RS; impacto é de R\$ 13,3 bilhões**. 2024. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/cnm-atualiza-prejuizos-dos-municipios-com-as-chuvas-no-rs-impacto-e-de-r-13-3-bilhoes>. Acesso em: 18 dez. 2024.

COPERNICUS. **2024 is the first year to exceed 1.5°C above pre-industrial level Global Climate Highlights 2024**. 2025. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-first-year-exceed-15degc-above-pre-industrial-level>. Acesso em: 14 jan. 2025.

DOSS-GOLLIN, J. *et al.* Robust Adaptation to Multiscale Climate Variability. **Earth's Future**, v. 7, n. 7, p. 734–747, 2019. <https://doi.org/10.1029/2019ef001154>.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; PAIVA, R. C. D.; RUHOFF, A. L. A cheia de 2024 no Rio Grande do Sul. In: João Ferrer, Marcelo Danéris, Pedro Romero Marques. (Org.). **Resiliência & sustentabilidade - reflexões para a reconstrução do Rio Grande do Sul**. 1ed. Porto Alegre: Libretos, 2025, v. 1, p. 47-63.

FERNANDES, E. H.; GONÇALVES, G. A. Aplicação de um Digital Twin para prognóstico e mitigação dos efeitos da inundação nas cidades às margens da Lagoa dos Patos. In: FERRER, J.; DANÉRIS, M.; MARQUES, P. R. (Org.). **RS: Resiliência & Sustentabilidade – Reflexões para a reconstrução do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Libretos, 2025. 296p.

FLETCHER, S.; LICKLEY, M.; STRZEIPEK, K. Learning about climate change uncertainty enables flexible water infrastructure planning. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1782, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09677-x>.

FRANÇOIS, B. *et al.* From many futures to one: climate-informed planning scenario analysis for resource-efficient deep climate uncertainty analysis. **Climatic Change**, v. 177, n. 7, p. 111, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03772-9>.

GERMANO, A. de O. *et al.* **Nota técnica: Avaliação indireta do nível máximo das águas do delta do rio Jacuí na região central de Porto Alegre, entre as estações Cais Mauá C6 e Usina do Gasômetro, na grande cheia de maio de 2024.** 2. ed. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2024. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24911>. Acesso em: 26 fev. 2025.

GUIMARAES, G. M. *et al.* Com qual antecedência conseguimos prever cheias no rio Uruguai usando um modelo hidrológico de grande escala? In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais do I Encontro Nacional de Desastres - ABRHidro**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. v. 1. p. 1-8.

HATHWAY, J. M. *et al.* A Synthesis of Climate Change Impacts on Stormwater Management Systems: Designing for Resiliency and Future Challenges. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, v. 10, n. 2, p. 04023014, 2024. <https://doi.org/10.1061/jswbay.sweng-533>.

HENNEGRUFF, W. *et al.* Climate Change and Floods – Findings and Adaptation Strategies for Flood Protection. **KA-Abwasser, Abfall**, v. 53, n. 8, p. 770–779, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS. PAIVA, R. *et al.* **Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil.** Nota Técnica. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024b.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas do Brasil.** Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 21 nov. 2024.

KELDER, T. *et al.* How to stop being surprised by unprecedented weather. **Nature Communications**, v. 16, n. 1, p. 2382, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57450-0>.

KILGORE, R. *et al.* **Highway Hydrology: Evolving Methods, Tools, and Data.** FHWA HIF-23-050, 2023.

KOURTIS, I. M.; TSIHRINTZIS, V. A. Update of intensity-duration-frequency (IDF) curves under climate change: a review. **Water Supply**, v. 22, n. 5, p. 4951–4974, 2022. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.152>.

KRONBAUER, M. L. *et al.* **Nota Técnica Programa Protetor das Águas.** Vera Cruz, 2024. Não publicado.

KUCHINSKI, V. **Análise de Características das Inundações no Extremo Sul do Brasil.** 2024. 166 f. Tese (Doutorado) - PPGRHSA, IPH, UFRGS, Porto Alegre, 2024.

LAIPELT, L. *et al.* SWOT Reveals How the 2024 Disastrous Flood in South Brazil Was Intensified by Increased Water Slope and Wind Forcing. **Geophysical Research Letters**, v. 52, p. 1-11, 2025. <http://dx.doi.org/10.1029/2024gl111287>.

LAWRENCE, D.; HISDAL, H. **Hydrological projections for floods in Norway under a future climate**. Oslo, Norway: Norwegian Water Resources and Energy Directorate, 2011. (Report no. 5 – 2011).

LIMA, S., & PAIVA, R. **Análise dos impactos em cenários de rompimento hipotéticos da UHE 14 de julho no rio Taquari-Antas – Nota técnica**. Porto Alegre: UFRGS-IPH, 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/nota-tecnica-analise-dos-impactos-em-cenarios-de-rompimento-hipoteticos-da-uhe-14-de-julho-no-rio-taquari-antas/>. Acesso em: 29 jul. 2024.

LOPES, V. A. R. *et al.* A first integrated modelling of a river-lagoon large-scale hydrological system for forecasting purposes. **Journal of Hydrology**, v. 565, p. 177-196, 2018.

LUCA, D. L. D. *et al.* Climate change effects on rainfall extreme value distribution: the role of skewness. **Journal of Hydrology**, v. 634, p. 130958, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130958>.

MADSEN, H. *et al.* Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 3634–3650, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.003>.

MALINOSKI, A.; GONZATTO, M.; LOPES, R. **A enchente de 24: a história da maior tragédia climática de Porto Alegre**. 1. ed. Porto Alegre: BesouroBox, 2024. 176 p. ISBN 978-8555271519.

MARCUZZO, F. F. N. *et al.* **Nota Técnica: aferição direta e avaliação indireta do nível máximo de rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024**. 10. ed. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2024. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24939.11>. Acesso em: 26 fev. 2025.

MARTEL, J.-L. *et al.* Climate Change and Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves: Overview of Science and Guidelines for Adaptation. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 26, n. 10, p. 03121001, 2021. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0002122](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0002122).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). **Manuel de calcul et de conception des ouvrages municipaux de gestion des eaux pluviales**. Quebec, 2017.

MIRANDA, P. T. *et al.* Rios da região sul possuem as cheias mais abruptas do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES DA ABRHIDRO, 4., 2024, Curitiba. **Anais do IV Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro**. Curitiba: ABRHidro, 2024. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=17110>. Acesso em: 26 fev. 2025.

MIRON, L. I. G. *et al.* Diretrizes do planejamento urbano e regional para uma transição sociotécnica resiliente na Região Hidrográfica do Guaíba. In: FERRER, João; DANÉRIS, Marcelo; MARQUES, Pedro Romero (Org.). **RS: Resiliência & Sustentabilidade – reflexões para a reconstrução do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Libretos, 2025.

MONTOYA, M. A. *et al.* Enchentes e Inundações no Rio Grande do Sul – Avaliação dos Impactos sobre a Produção, PIB e Emprego. **Data Research & Insights (DRI) - Instituto de Ciência de Dados e Inteligência Artificial**. Passo Fundo: UPF, n. 1, p. 1-31, jun. 2024.

NASA Earth Observatory. **Floods engulf Porto Alegre**. 2024. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/152795/floods-engulf-porto-alegre>. Acesso em: 2 abr. 2025.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change—Guidebook**. Washington D.C.: The National Academies Press, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/25744>.

NONNEMACHER, L. C.; FAN, F. M. Análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no Rio Grande do Sul. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, p. e8, 2023. <https://doi.org/10.21168/reg.v20e8>.

OLSEN, J. R. **Adapting Infrastructure and Civil Engineering Practice to a Changing Climate**. American Society of Civil Engineers, 2015. <https://doi.org/10.1061/9780784479193>.

PAIVA, R. C. D. *et al.* Adaptação e resiliência a cheias no Rio Grande do Sul no contexto da variabilidade e mudança climática. In: FERRER, J.; DANÉRIS, M.; MARQUES, P. R. (Org.). **Resiliência & sustentabilidade: reflexões para a reconstrução do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Libretos, 2025. v. 1, p. 263-291.

PAIVA, R. C. D. *et al.* **Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional. CLIMA: Impactos de Mudanças Climáticas em Extremos de Vazão (Cheias e Estiagens) – Relatório Final**. IPH-ANA-HGE-CLIMA-A3. Porto Alegre: IPH/UFRGS; Brasília: ANA, 2024a.

PAIVA, R. C. D. *et al.* **Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional. CLIMA: Sensibilidade de vazões a variabilidade e mudanças climáticas – Relatório Final**. IPH-ANA-HGE-CLIMA-A2. Porto Alegre: IPH/UFRGS; Brasília: ANA, 2024b.

PAIVA, R. C. D. *et al.* **Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil – Nota técnica**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2024c. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/CriteriosAdaptacaoMudancaClimaticaChuvasCheiasExtremasSul.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2024

PETRY, I. *et al.* Changes in Flood Magnitude and Frequency Projected for Vulnerable Regions and Major Wetlands of South America. **Geophysical Research Letters**, v. 52, p. 1-11, 2025. <http://dx.doi.org/10.1029/2024GL112436>.

RIO GRANDE DO SUL. **Boletins sobre o impacto das chuvas no RS**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/boletins-sobre-o-impacto-das-chuvas-no-rs>. Acesso em: 18 dez. 2024.

SHABESTANIPOUR, G. *et al.* Risk-based hydrologic design under climate change using stochastic weather and watershed modeling. **Frontiers in Water**, v. 6, p. 1310590, 2024. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1310590>.

SILVA, E. D.; BUFFON, F. T. Avaliação econômica da operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí entre os anos de 2009 e 2020. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 2., 2020, Rio de Janeiro. **Anais do II Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro**. Porto Alegre: ABRHidro, 2020.

SILVEIRA, A. L. L. Chuvas e vazões da grande enchente de 1941 em Porto Alegre/RS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 35, p. 69-90, 2020.

SURAMPALLI, R. Y. *et al.* (Ed.). **Climate Change Modeling, Mitigation, and Adaptation**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2013. <https://doi.org/10.1061/9780784412718.ch17>.

UK DEPARTMENT OF INFRASTRUCTURE. **Design of highway drainage systems**. CG 501, 2020.

WILLEMS, P. Revision of urban drainage design rules after assessment of climate change impacts on precipitation extremes at Uccle, Belgium. **Journal of Hydrology**, v. 496, p. 166–177, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.037>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **El Niño weakens but impacts continue**. WMO, 2024. Disponível em: <https://wmo.int/news/media-centre/el-nino-weakens-impacts-continue>. Acesso em: 13 jan. 2025.

WORLD WEATHER ATTRIBUTION. **Climate change made the floods in southern Brazil twice as likely**. 2024. Disponível em: <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-made-the-floods-in-southern-brazil-twice-as-likely/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

**Adaptação:** Processo de ajuste de sistemas naturais ou humanos a novas condições ambientais, como a mudança global do clima.

**Alagamento:** Acúmulo de água em áreas urbanas ou rurais devido à incapacidade dos sistemas de drenagem de escoar o excesso de água.

**Bacia hidrográfica:** Área de drenagem de um rio principal e seus afluentes.

**Cheia rápida (flash flood):** Inundação súbita, geralmente em poucas horas, causada por chuvas intensas.

**Cota de inundação:** Nível de água (em metros) que, quando atingido, caracteriza o transbordamento para áreas habitadas. Usada como referência em sistemas de alerta e projetos de infraestrutura.

**Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência):** Relação matemática que descreve a intensidade da chuva com base em sua duração e frequência de ocorrência.

**Deslizamento:** Movimento descendente de massa de solo ou rocha em encostas, provocado por chuvas, erosão ou intervenções humanas.

**Digital Twin:** Modelo virtual dinâmico que simula um sistema físico (como uma bacia hidrográfica) em tempo real.

**Drenagem pluvial urbana:** Conjunto de infraestruturas e medidas destinadas a captar, conduzir e dispor adequadamente as águas das chuvas nas áreas urbanas, visando prevenir alagamentos, proteger a integridade de vias públicas e edificações e reduzir impactos ambientais.

**Enchente:** Aumento temporário do nível de água em rios, sem transbordamento para áreas adjacentes.

**Evento extremo:** Fenômeno climático com intensidade significativamente maior que os padrões históricos (ex.: chuvas intensas, secas prolongadas).

**Gerenciamento/gestão de risco:** Processo contínuo para identificar, avaliar e mitigar riscos associados a desastres naturais.

**Infraestrutura resiliente:** Sistemas projetados para resistir, adaptar-se e recuperar-se rapidamente de impactos adversos.

**Infraestrutura robusta:** Estruturas construídas para suportar condições extremas sem falhas críticas.

**Inundação:** Transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo áreas marginais (planície de inundação ou área de várzea).

**Inundação fluvial:** quando o volume de água em um rio excede a capacidade de seu leito, transbordando para as áreas adjacentes.

**Inundação pluvial:** resultado de chuvas intensas e prolongadas que superam a capacidade de infiltração do solo e de drenagem urbana

**Mancha de inundação:** Área geográfica afetada por um evento de inundação, delimitada por modelos hidrodinâmicos, sensoriamento remoto ou aferições no local.

**Marcas de cheia:** Registros físicos ou instrumentais do nível máximo atingido pela água durante uma inundação.

**Mitigação:** Ações para reduzir a probabilidade ou os impactos de eventos adversos (ex.: construção de diques, redução de emissões). No contexto das mudanças climáticas a mitigação refere-se às ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) ou a aumentar a absorção desses gases da atmosfera, com o objetivo de limitar o aquecimento global e suas consequências.

**Modelagem hidrodinâmica:** Processo computacional que simula o movimento da água em rios, lagos, estuários e zonas costeiras, com base nas equações da física de fluidos. Representa com maior detalhe o comportamento dinâmico da água, incluindo velocidades, vazões, níveis e efeitos de curta duração.

**Modelagem hidrológica:** Processo matemático e computacional que simula o comportamento da água em uma bacia hidrográfica, considerando variáveis como precipitação, infiltração, escoamento superficial e interações com o solo e a vegetação.

**Modelo Digital de Elevação do Terreno:** Representação tridimensional da superfície terrestre obtida por sensoriamento remoto. O MDT é utilizado em análises hidrológicas para extração de redes de drenagem, delimitação de bacias e identificação de áreas suscetíveis a inundações.

**Plano de Ação Emergencial (PAE):** Conjunto de procedimentos para resposta rápida a desastres, incluindo prevenção, resposta e recuperação.

**Resiliência hídrica:** Capacidade de um sistema ou comunidade de se adaptar a eventos extremos (como enchentes) e recuperar-se rapidamente.

**Sistema de alerta:** Ferramentas para detecção precoce e comunicação de riscos iminentes (ex.: enchentes, deslizamentos).

**Sistema de proteção contra enchentes:** Conjunto de estruturas (diques, barragens), medidas naturais (matas ciliares), medidas não estruturais (planejamento urbano, educação, seguros, planos de contingência) e sistemas de monitoramento e alerta (estações de monitoramento, modelagem, sirenes, avisos) empregados para prevenir os impactos das inundações.

**Solução baseada na natureza (SbN):** Estratégias que usam ecossistemas naturais (como várzeas ou manguezais) para reduzir riscos de desastres, em vez de apenas infraestruturas convencionais.

**SWOT (Surface Water and Ocean Topography):** Missão satelital desenvolvida em parceria pela NASA, CNES, CSA e UKSA, com o objetivo de mapear, em escala global, a elevação da superfície da água em corpos hídricos continentais (rios e lagos) e nos oceanos. A missão fornece dados de alta resolução espacial e temporal que contribuem para o monitoramento hidrológico, a modelagem de cheias e a gestão de recursos hídricos.

**Tempo de retorno:** Período estatístico (em anos) em que um evento extremo (como cheias ou chuvas intensas) tem probabilidade de ocorrer ou ser superado. Usado para dimensionar obras hídricas e mapear riscos.

**Várzea:** Área plana próxima a rios que periodicamente é inundada.

**Vazão de projeto:** Vazão de referência usada para dimensionar estruturas hidráulicas, baseada em estatísticas de eventos extremos.

**Vertedor:** Estrutura em barragens ou reservatórios que controla o excesso de água, evitando transbordamentos perigosos.

## INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE A RECONSTRUÇÃO DE ESTAÇÕES HIDROMETEOROLÓGICAS E NIVELAMENTO DAS MARCAS DE CHEIA

Autoria: Serviço Geológico do Brasil (SGB)

### 1. Reconstrução das estações destruídas no evento

A tabela a seguir relaciona as estações hidrometeorológicas e o tipo de equipamento e estrutura (convencionais ou telemétricas) que foram reconstruídos. A denominação convencional se refere a réguas linimétricas.

Estações hidrometeorológicas reconstruídas				
Estação		Tipo de Estrutura		Bacia
Código	Nome	Convencional	Telemétrica	
86160000	Passo Tainhas		X	Taquari
86472000	Linha José Julio	X	X	
86472600	Santa Tereza		X	
86500000	Passo Carreiro	X		
86510000	Muçum		X	
86510000	Muçum	X	X	
86560000	Linha Colombo	X		
86720000	Encantado	X	X	
86780000	Barra do Fão	X	X	
86879300	Estrela	X	X	
86881000	Bom Retiro do Sul Montante	X		
86895000	Porto Mariante	X	X	
86950000	Taquari	X	X	
87150000	Linha Gonzaga;	X	X	
87168000	São Vendelino	X	X	
87170000	Barca do Caí	X	X	
87230000	Costa do Rio Cadeia Montante	X	X	
87270000	Passo Montenegro	X	X	
02951142	Morro Reuter		X	

## 2. Nivelamento das marcas de cheia da inundação de maio de 2024/ SGB

Diante da necessidade de coletar em campo informações precisas das marcas de cheia dos rios, para se estabelecer, de forma confiável, os níveis em que as águas dos rios chegaram em estações fluviométricas, e de alguns municípios atingidos, o Departamento de Hidrologia (DEHID) do SGB tomou a iniciativa de coordenar suas equipes de campo para a execução destes levantamentos concomitantemente ao trabalho de reconstrução das estações fluviométricas e pluviométricas atingidas (Marcuzzo *et al.*, 2024).

Neste trabalho de aferição dos níveis máximos (marcas de cheia) dos rios com estações fluviométricas, operadas pelo SGB, em parceria com a ANA, utilizou-se a técnica de topografia de nivelamento geométrico, relacionando todas as medidas a um mesmo referencial vertical (Referencial de Nível – RN) de cada estação fluviométrica que teve sua marca de cheia nivelada. Um maior detalhamento deste trabalho de nivelamento das marcas de cheia da inundação de maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul e em sua capital Porto Alegre, pode ser verificado em Marcuzzo *et al.* (2024) e em Germano *et al.* (2024). Uma análise detalhada destas cotas de marcas de cheia, para algumas estações fluviométricas, pode ser observada em Collischonn *et al.* (2025).

Essas cotas das marcas de cheia nas estações fluviométricas, podem ser observadas na Tabela a seguir, publicada nas notas técnicas da hidrologia do SGB em Marcuzzo *et al.* (2024) e em Germano *et al.* (2024).

**Cotas da grande cheia do início de maio de 2024, em estações fluviométricas operadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), e de responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), niveladas nos meses seguintes ao evento de inundação**

Código	Nome da Estação	Nome do Curso D'Água	Nome do Município	Latitude Geodésica	Longitude Geodésica	Cota Nivelada Cheia de Maio de 2024 (m)
72680000	PASSO COLOMBELLI	Rio Apue ou Ligeiro	Marcelino Ramos	-27°33'43"	-51°51'28"	11,34
74205000	LINHA CESCO	Arroio Caturete	Sarandi	-27°48'47"	-53°01'46"	10,01
74270000	PASSO RIO DA VÁRZEA	Rio da Várzea	Frederico Westphalen	-27°16'43"	-53°19'13"	15,18
74370000	PALMITINHO	Rio Guarita	Palmitinho	-27°19'58"	-53°38'40"	13,70
74460000	PONTE DO RIO TURVO	Rio Turvo	Santo Augusto	-27°49'29"	-53°43'49"	7,28

74470000	TRÊS PASSOS	Rio Turvo	Três Passos	-27°23'32"	-53°52'51"	9,49
75155000	PASSO FAXINAL	Rio Ijuí	Ajuricaba	-28°17'13"	-53°46'51"	8,28
75200000	CONCEIÇÃO	Rio Conceição	Ijuí	-28°27'16"	-53°58'23"	9,29
75600000	PASSO DAS TURMAS	Rio Icamaguã	Santiago	-28°50'14"	-54°51'18"	8,72
75650000	ITACURUBI	Rio Icamaguã	Bossoroca	-28°44'33"	-55°09'43"	12,70
75700000	PASSO DO NOVO	Rio Icamaguã	São Borja	-28°40'58"	-55°34'46"	7,90
76100000	VILA CLARA	Rio Toropi	São Pedro do Sul	-29°33'22"	-54°20'32"	15,21
76460000	ERNESTO ALVES	Rio Jaquarizinho	Santiago	-29°21'45"	-54°44'07"	13,24
76500000	JACAQUÁ	Rio Ibicuí	Alegrete	-29°41'13"	-55°11'46"	13,45
76560000	MANOEL VIANA	Rio Ibicuí	Manoel Viana	-29°35'45"	-55°28'53"	14,84
76650000	PASSO DA CACHOEIRA	Rio Itu	Manoel Viana	-29°18'31"	-55°42'25"	8,58
76800000	PASSO MARIANO PINTO	Rio Ibicuí	Itaqui	-29°18'33"	-56°03'19"	11,71
77590000	BARRA DO QUARAÍ	Rio Quaraí	Barra do Quaraí	-30°12'48"	-57°33'12"	10,48
85470000	PONTE SÃO GABRIEL	Rio Vacacaí	São Gabriel	-30°21'35"	-54°18'48"	9,21
85480000	PASSO DO ROCHA	Rio Vacacaí	São Gabriel	-30°13'53"	-53°59'07"	9,38
85600000	PASSO DAS TUNAS	Rio Vacacaí	Formigueiro	-29°55'33"	-53°25'00"	10,60
85623000	SÃO SEPÉ - MONTANTE	Rio São Sepé	São Sepé	-30°11'39"	-53°33'48"	12,04
85642000	PASSO SÃO LOURENÇO	Rio Jacuí	Cachoeira do Sul	-30°00'28"	-53°00'56"	15,45
85735000	CANDELÁRIA MONTANTE	Rio Pardo	Candelária	-29°39'28"	-52°47'12"	10,24
85830000	SANTA CRUZ MONTANTE	Rio Pardinho	Santa Cruz do Sul	-29°42'22"	-52°28'05"	8,99
85900000	RIO PARDO	Rio Jacuí	Rio Pardo	-29°59'42"	-52°22'32"	20,21
86160000	PASSO TAINHAS	Rio Tainhas	Jaquirana	-28°52'05"	-50°27'22"	6,51
86472000	LINHA JOSÉ JÚLIO	Rio das Antas	Santa Tereza	-29°05'52"	-51°41'59"	25,82

86472600	SANTA TEREZA	Rio Taquari	Santa Tereza	-29°10'41"	-51°43'56"	22,42
86500000	PASSO CARREIRO	Rio Carreiro	Guaporé	-28°50'56"	-51°49'57"	13,10
<sup>1</sup> 86510000	MUÇUM	Rio Taquari	Muçum	-29°10'02'	-51°52'07"	26,00
86560000	LINHA COLOMBO	Rio Guaporé	Guaporé	-28°54'44"	-51°57'11"	8,80
86720000	ENCANTADO	Rio Taquari	Encantado	-29°14'04"	-51°51'18"	23,14
86745000	PASSO DO COIMBRA	Rio Forqueta	Pouso Novo	-29°12'58"	-52°09'44"	14,21
86780000	BARRA DO FÃO	Rio Forqueta	Travesseiro	-29°13'26"	-52°09'44"	15,14
<sup>2</sup> 86879300	ESTRELA	Rio Taquari	Estrela	-29°28'24"	-51°57'44"	33,67
<sup>3</sup> 86881000	BOM RETIRO DO SUL	Rio Taquari	Bom Retiro do Sul	3	3	<sup>2</sup> 22,09
86895000	PORTO MARIANTE	Rio Taquari	Venâncio Aires	-29°41'32"	-51°58'12"	20,50
86950000	TAQUARI	Rio Taquari	Taquari	-29°48'25"	-51°52'33"	16,99
87020000	SÃO JERÔNIMO	Rio Jacuí	São Jerônimo	-29°57'12"	-51°43'29"	12,75
87150000	LINHA GONZAGA	Rio Caí	Caxias do Sul	-29°18'27"	-50°59'45"	9,32
87160000	NOVA PALMIRA	Rio Caí	Caxias do Sul	-29°20'08"	-51°11'20"	10,78
87163000	VALE REAL	Rio Caí	Vale Real	-29°23'59,66"	-51°15'13,08"	15,71
87165000	FELIZ	Rio Caí	Feliz	-29°27'20"	-51°18'23"	15,47
87168000	SÃO VENDELINO	Arroio Forromeco	São Vendelino	-29°22'58"	-51°22'08"	6,36
87170000	BARCA DO CAÍ	Rio Caí	São Sebastião do Caí	-29°35'24"	-51°23'00"	17,51
87230000	COSTA DO RIO CADEIA	Rio Cadeia	São Sebastião do Caí	-29°35'26"	-51°18'49"	12,16
87270000	PASSO MONTENEGRO	Rio Caí	Montenegro	-29°42'04"	-51°26'28"	10,02
87309000	ITATI	Rio Três Forquilhas	Três Forquilhas	-29°30'34"	-50°05'27"	7,43
87374000	TAQUARA - MONTANTE	Rio dos Sinos	Taquara	-29°43'12"	-50°44'03"	9,52

87380000	CAMPO BOM	Rio dos Sinos	Campo Bom	-29°41'30"	-51°02'46"	8,54
87382000	SÃO LEOPOLDO	Rio dos Sinos	São Leopoldo	-29°45'32"	-51°08'54"	8,11
87399000	PASSO DAS CANOAS AUXILIAR	Rio Gravataí	Gravataí	-29°57'52"	-50°58'40"	6,25
<sup>4</sup> 87450004	CAIS MAUÁ C6	Rio Jacuí	Porto Alegre	-30°01'16"	-51°13'16"	45,37
<sup>5</sup> 87444000	USINA DO GASÔMETRO	Rio Jacuí	Porto Alegre	5	5	4,59
87450005	ILHA DA PINTADA	Rio Jacuí	Porto Alegre	-30°01'48"	-51°15'02"	4,99
87460007	CRISTAL	Rio Guaíba	Porto Alegre	-30°05'33"	-51°14'58"	4,22
87460120	IPANEMA	Rio Guaíba	Porto Alegre	-30°08'07"	-51°13'58"	3,97
87460200	ARROIO DO SALSO	Arroio do Salso	Porto Alegre	-30°10'09"	-51°04'26"	4,65
87500020	PONTA DOS COATIS	Rio Guaíba	Porto Alegre	-30°15'33"	-51°09'21"	3,67
87540000	ARAMBARÉ	Laguna dos Patos	Arambaré	-30°54'24"	-51°29'34"	2,93
87915000	PACHECA	Rio Camaquã	Camaquã	-31°07'50"	-51°47'19"	9,45
87921000	SÃO LOURENÇO	Laguna dos Patos	São Lourenço do Sul	-31°22'40"	-51°57'32"	2,91
87955000	LARANJAL	Laguna dos Patos	Pelotas	-31°46'21"	-52°13'31"	2,88

1 Cota não nivelada. Leitura feita diretamente na seção de régua existente.

2 Cota nivelada em Lajeado/RS, da cheia de 02/05/2024, considerando o nível da estação fluviométrica Estrela (86879300) foi de exatos 33666 mm.

3 Estação fluviométrica com código e/ou coordenada que necessita verificação e/ou em fase de implementação.

4 Cota da marca de cheia oficial da capital Porto Alegre, na grande cheia de maio de 2024 no Rio Grande do Sul. Cota nivelada pelo SGB, em parceria com o Exército Brasileiro, e publicado pelo SGB no Repositório Institucional em Geociências (RIGEO) em <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24911>. Estação fluviométrica com telemetria sob responsabilidade e operação da SEMA-RS.

5 Manutenção do código 87444000 para a estação instalada emergencialmente e operada desde maio de 2024, preservando a série histórica sem correção. Além disso, será incluído no nome o complemento “CHEIA 2024”, e o histórico de operação será atualizado com informações relevantes sobre o procedimento adotado à época.

6 Atribuição de um novo código (87450020) para estação Usina Gasômetro, a ser operada pelo SGB. Esse código será utilizado após as reinstalações em campo (março/2025), cujo referencial será o zero do nível do mar.

Atenção: Os dados de coordenadas de localização das estações fluviométricas são oriundos do último inventário de estações da rede hidrometeorológica nacional, disponível on line, no endereço: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>.



MINISTÉRIO DA  
INTEGRAÇÃO E DO  
DESENVOLVIMENTO  
REGIONAL

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

ISBN 978-658810173-5



9 786588 101735