

PERSISTÊNCIA DA DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA APÓS A ENCHENTE EXTREMA DE 2024 EM PORTO ALEGRE: EFEITO DE CONCENTRAÇÃO EM PERÍODOS DE BAIXA VAZÃO

Louidi Lauer Alborno¹, Lucas Bohnenberger¹, Luana Morais da Rosa¹, Lucia Helena Ribeiro Rodrigues¹, Salatiel Wohlmuth da Silva¹

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (PPG-IPH), - Avenida Bento Gonçalves, 9500. 91501-970, Porto Alegre.

Resumo: As enchentes extremas representam uma ameaça crescente à segurança hídrica urbana, especialmente em sistemas de abastecimento sujeitos a elevada pressão antrópica e vulnerabilidade sanitária. O presente estudo avaliou a persistência da degradação da qualidade da água no sistema Guaíba, principal manancial de abastecimento de Porto Alegre (RS), durante e após a enchente extrema ocorrida em 2024, com foco na ocorrência de efeitos de concentração em períodos de baixa vazão. Foram realizadas sete campanhas de monitoramento entre maio de 2024 e abril de 2025, abrangendo a fase de pico da enchente, recessão hidrológica e condições pós-evento. Foram analisados parâmetros físico-químicos, microbiológicos e metálicos, incluindo turbidez, nitrogênio amoniacal, *Escherichia coli*, mercúrio e condutividade elétrica. Os resultados indicaram degradação severa da qualidade da água durante a enchente, com elevadas concentrações de sólidos suspensos, metais e indicadores microbiológicos. Entretanto, os resultados mais críticos ocorreram durante a fase de baixa vazão, aproximadamente um ano após o evento extremo quando foi observado novo aumento das concentrações de *E. coli* durante condições de baixa vazão e o mercúrio atingiu valores cerca de três vezes superiores aos registrados durante a cheia. Os resultados evidenciam a ocorrência de um efeito de concentração associado à redução da capacidade de diluição do sistema, favorecendo a persistência e reconcentração de contaminantes urbanos após a recessão hidrológica. O estudo demonstra que os impactos de enchentes extremas sobre sistemas urbanos de abastecimento podem persistir por longos períodos após o evento agudo, destacando a necessidade de monitoramentos pós-desastre de médio e longo prazo em cenários de intensificação de eventos climáticos extremos.

Palavras-chave: enchentes extremas; qualidade da água; efeito de concentração; baixa vazão; sistema Guaíba.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

PERSISTENCE OF WATER QUALITY DEGRADATION AFTER THE 2024 EXTREME FLOOD IN PORTO ALEGRE: CONCENTRATION EFFECT UNDER LOW-FLOW CONDITIONS

Louidi Lauer Alborno¹, Lucas Bohnenberger¹, Luana Morais da Rosa¹, Lucia Helena Ribeiro Rodrigues¹, Salatiel Wohlmuth da Silva¹

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (PPG-IPH), - Avenida Bento Gonçalves, 9500. 91501-970, Porto Alegre.

Abstract: Extreme floods represent an increasing threat to urban water security, particularly in water supply systems exposed to high anthropogenic pressure and sanitation vulnerability. This study evaluated the persistence of water quality degradation in the Guaíba system, the main drinking water source for Porto Alegre, southern Brazil, during and after the 2024 extreme flood event, focusing on the occurrence of concentration effects under low-flow conditions. Seven monitoring campaigns were conducted between May 2024 and April 2025, encompassing the flood peak, hydrological recession, and post-event conditions. Physicochemical, microbiological, and metallic parameters were analyzed, including turbidity, ammoniacal nitrogen, *Escherichia coli*, mercury, and electrical conductivity. The results revealed severe water quality degradation during the flood, with high concentrations of suspended solids, metals, and microbiological indicators. However, the most critical conditions occurred during the low-flow phase approximately one year after the extreme event, when *E. coli* reached the highest mean concentration among all monitoring campaigns and mercury concentrations became nearly three times higher than those observed during the flood peak. The results demonstrate the occurrence of a concentration effect associated with reduced dilution capacity, favoring the persistence and reconcentration of urban contaminants after hydrological recession. The study demonstrates that the impacts of extreme floods on urban water supply systems may persist long after the acute event, highlighting the importance of medium- and long-term post-disaster monitoring under scenarios of increasing climate-driven hydrological extremes.

Keywords: extreme floods; water quality; concentration effect; low-flow conditions; Guaíba system.

1. INTRODUÇÃO

Eventos hidrológicos extremos representam uma das principais ameaças atuais à segurança hídrica urbana, especialmente em regiões altamente urbanizadas e com infraestrutura sanitária vulnerável. Inundações de grande magnitude alteram significativamente a qualidade das águas superficiais por meio da remobilização de sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, metais e microrganismos patogênicos, além de promoverem o extravasamento de sistemas de drenagem e esgotamento sanitário (Crawford et al., 2022; Olds et al., 2018). Em sistemas de abastecimento urbano, esses processos comprometem a eficiência do tratamento de água e ampliam os riscos de contaminação microbiológica e química, com potenciais impactos à saúde pública (Cann et al., 2013).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Nas últimas décadas, diversos estudos têm demonstrado que a intensificação das mudanças climáticas tem aumentado a frequência e severidade de eventos extremos de precipitação em escala global (IPCC, 2021). Em ambientes urbanos, os impactos hidrológicos são amplificados pela impermeabilização do solo, pela elevada densidade populacional e pelo envelhecimento da infraestrutura sanitária, fatores que favorecem o rápido transporte de contaminantes para os corpos hídricos durante episódios de cheia (Islam et al., 2025; Liu et al., 2023). Além disso, enchentes compostas, caracterizadas pela ocorrência sucessiva de múltiplas ondas de cheia, prolongam o tempo de inundação e intensificam os processos de degradação ambiental devido à manutenção prolongada de elevadas vazões e à maior conectividade hidrológica entre áreas urbanas, planícies de inundação e tributários (Collischonn et al., 2025).

Entre abril e maio de 2024, o sul do Brasil enfrentou o maior desastre hidrológico já registrado na região. Chuvas extremas e persistentes em diferentes sub-bacias do sistema Guaíba produziram ondas de cheia sincronizadas nos rios Jacuí, Taquari, Caí e Sinos, resultando em níveis d'água sem precedentes em Porto Alegre, superiores inclusive à enchente histórica de 1941 (Collischonn et al., 2024; Collischonn et al., 2025). O evento afetou milhões de pessoas, provocou colapso parcial da infraestrutura urbana e comprometeu severamente os sistemas de drenagem, esgotamento sanitário e abastecimento público de água (Pereira et al., 2024; RS, 2025). Durante a enchente, o sistema Guaíba apresentou aumentos expressivos de turbidez, sólidos suspensos, fósforo, alumínio e indicadores microbiológicos, associados à remobilização de sedimentos e à intrusão de esgoto doméstico nas águas superficiais (Fagundes et al., 2025).

Embora os impactos imediatos de enchentes sobre a qualidade da água sejam relativamente bem documentados (Moreira et al., 2023), a maior parte dos estudos concentra-se apenas na fase aguda do evento hidrológico. Apesar dos avanços recentes, ainda existem poucas informações sobre a persistência da degradação da qualidade da água após a recessão das cheias, especialmente em sistemas urbanos sujeitos a pressões crônicas de contaminação. Estudos anteriores demonstram que a dinâmica microbiológica e química em ambientes aquáticos depende fortemente da interação entre processos de diluição, transporte hidrológico e concentração de contaminantes (Levy et al., 2009). Em condições de baixa vazão, a redução da capacidade de diluição pode favorecer a reconcentração de poluentes e prolongar os riscos sanitários mesmo após o encerramento da enchente.

No sistema Guaíba, campanhas de análises de amostras de campo realizadas até um ano após a enchente de 2024 indicaram um comportamento distinto daquele normalmente esperado em processos de recuperação hidrológica. Durante períodos de níveis reduzidos do sistema, parâmetros como *Escherichia coli*, nitrogênio amoniacal e Hg apresentaram novos aumentos de concentração, sugerindo a ocorrência de um efeito de concentração associado à persistência de aportes urbanos e à remobilização de contaminantes sedimentares. Os resultados sugerem que períodos de baixa vazão após enchentes podem representar uma fase crítica e frequentemente negligenciada de vulnerabilidade sanitária para sistemas urbanos de abastecimento.

Nesse contexto, o presente estudo avalia a persistência da degradação da qualidade da água no sistema Guaíba após a enchente extrema de 2024, com foco na dinâmica temporal de parâmetros microbiológicos e químicos ao longo do período pós-evento. O trabalho busca investigar a ocorrência de efeitos de concentração durante condições hidrológicas de baixa vazão e subsidiar estratégias de

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

monitoramento ambiental e gestão da segurança hídrica em cenários de intensificação de eventos climáticos extremos.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo e contexto hidrológico

O estudo foi conduzido no sistema Guaíba, localizado na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. O sistema recebe contribuição dos rios Jacuí, Taquari, Caí e Sinos, drenando uma bacia hidrográfica altamente urbanizada e industrializada antes do deságue na Lagoa dos Patos (RS, 2021). O Guaíba constitui a principal fonte de abastecimento público de água para aproximadamente 1,32 milhão de habitantes de Porto Alegre (IBGE, 2025).

Entre abril e maio de 2024, precipitações extremas atingiram simultaneamente diferentes sub-bacias do sistema, produzindo uma enchente composta caracterizada pela ocorrência sucessiva de múltiplas ondas de cheia. Os níveis hidrométricos atingiram valores recordes de até 5,35 m em Porto Alegre, superando a máxima histórica registrada em 1941 (Collischonn et al., 2024; Collischonn et al., 2025). O evento provocou inundação prolongada de áreas urbanas, colapso parcial da infraestrutura sanitária e extravasamento de sistemas de drenagem e esgotamento sanitário, favorecendo a introdução de contaminantes nas águas superficiais (Pereira et al., 2024; RS, 2025).

2.2. Campanhas de monitoramento

O monitoramento da qualidade da água foi realizado em sete campanhas amostrais (S1–S7) entre maio de 2024 e abril de 2025, abrangendo a fase de pico da enchente, recessão hidrológica e condições pós-evento. As campanhas ocorreram nas seguintes datas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Datas das campanhas de monitoramento realizadas no sistema Guaíba entre maio de 2024 e abril de 2025.

Amostragem	Data de amostragem
S1	08 a 12/05/2024
S2	21/05/2024
S3	06/06/2024
S4	27/06/2024
S5	28/08/2024
S6	29/11/2024
S7	25/04/2025

O espaçamento temporal entre as campanhas permitiu acompanhar tanto os impactos imediatos da enchente quanto a evolução da qualidade da água ao longo do período pós-evento (Collischonn et al., 2025).

As coletas foram realizadas em 22 pontos distribuídos ao longo do sistema Guaíba, contemplando diferentes sistemas de abastecimento e regiões urbanas de Porto Alegre. As amostras foram coletadas entre 20 e 30 cm abaixo da superfície utilizando frascos de polietileno previamente

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

descontaminados, sendo posteriormente acondicionadas sob refrigeração e transportadas ao laboratório para análise em até 6 h após a coleta. Os procedimentos seguiram o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA e CETESB, 2023).

2.3. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados

O presente estudo concentrou-se principalmente na avaliação dos parâmetros associados à persistência da contaminação pós-enchente e ao efeito de concentração observado em condições de baixa vazão. Foram analisados os parâmetros de pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, nitrogênio amoniacal (N-NH₃), mercúrio (Hg), coliformes totais, *Escherichia coli* e carbono orgânico dissolvido (COD). Os parâmetros físico-químicos foram determinados conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2017). As análises microbiológicas foram realizadas pelo método Colilert®, enquanto os metais foram quantificados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Os níveis hidrométricos do sistema Guaíba foram obtidos a partir da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025), utilizando-se os valores médios diários correspondentes às datas de amostragem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Dinâmica hidrológica e persistência da degradação pós-enchente

A primeira campanha de monitoramento (S1) foi realizada durante o pico da enchente de maio de 2024, quando os níveis do sistema Guaíba variavam entre 4,60 e 5,08 m, próximos ao valor máximo histórico de 5,35 m registrado em Porto Alegre (Collischonn et al., 2024; Collischonn et al., 2025). O evento caracterizou-se pela ocorrência sucessiva de múltiplas ondas de cheia, mantendo níveis hidrométricos elevados por aproximadamente 30 dias e prolongando significativamente o tempo de inundação nas áreas urbanas (Figura 1).

Após o pico inicial, os níveis d'água apresentaram redução gradual até atingirem condições hidrológicas de baixa vazão durante as campanhas S6 e S7. Entretanto, diferentemente do comportamento esperado em processos convencionais de recuperação hidrológica, diversos parâmetros de qualidade da água não retornaram às condições pré-evento ao longo do período monitorado.

Os parâmetros associados à remobilização sedimentar, como turbidez, sólidos suspensos totais e alumínio, apresentaram seus maiores valores durante S1 (Tabela 2), refletindo o intenso transporte de sedimentos promovido pelas vazões extremas e pela elevada conectividade hidrológica entre tributários, planícies de inundação e áreas urbanas (Fagundes et al., 2025).

Figura 1 - Dinâmica do nível da água no sistema Guaíba durante e após a enchente extrema de 2024, evidenciando as sete campanhas de monitoramento realizadas desde o pico da inundação até o período de baixa vazão, quando foi observado o efeito de concentração de contaminantes.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



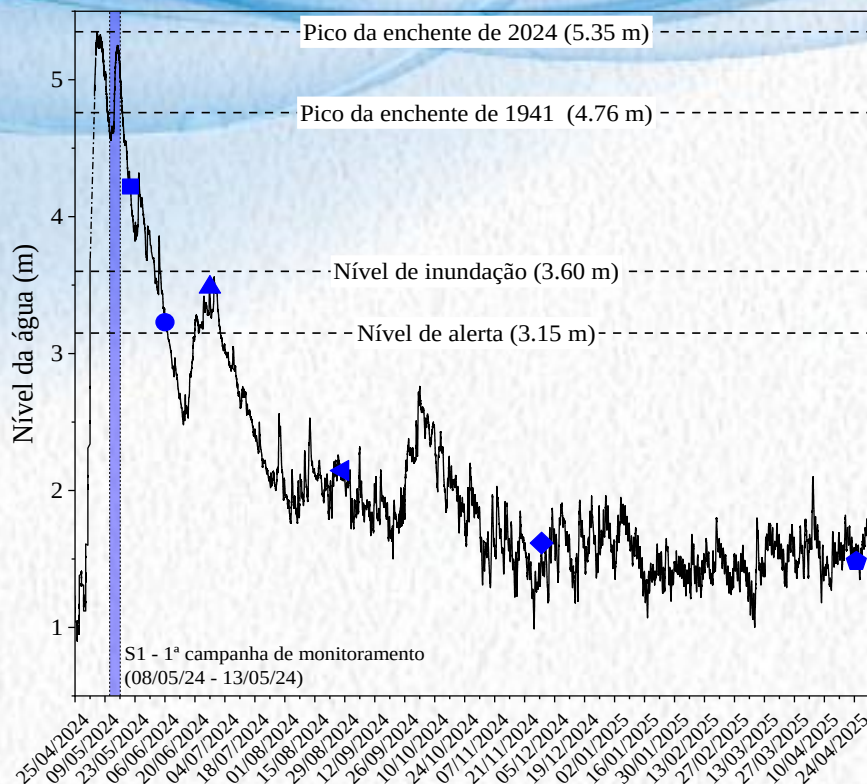
(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



Durante o pico da enchente, a turbidez atingiu valores de até 475 UTN, superando amplamente os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas destinadas ao abastecimento público (Brasil, 2005). Resultados semelhantes foram observados em outros eventos extremos reportados internacionalmente, nos quais enchentes promoveram intensa remobilização de sedimentos e deterioração da qualidade da água (Abirhire et al., 2020; Salem e Mageed, 2021).

Apesar da redução progressiva dos parâmetros associados ao material particulado ao longo das campanhas posteriores, observou-se comportamento distinto para variáveis relacionadas à contaminação microbiológica e nitrogenada. As concentrações de *E. coli* e nitrogênio amoniacal permaneceram elevadas durante grande parte do período monitorado, apresentando novo aumento em S7, aproximadamente um ano após o evento extremo.

Embora a maior concentração média de *E. coli* tenha sido registrada durante a fase inicial de recessão (S2), observou-se novo aumento expressivo durante S7, aproximadamente um ano após a enchente, mesmo sob condições de baixa vazão. Esse comportamento reforça a hipótese de persistência da contaminação e ocorrência de efeito de concentração. Simultaneamente, o NH_3 retornou a concentrações comparáveis às registradas durante a fase aguda da enchente. Esse resultado indica que a redução da vazão pode ter favorecido a reconcentração de contaminantes relacionados aos aportes urbanos contínuos e às limitações estruturais do sistema sanitário.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Tabela 2 - Evolução temporal do nível do sistema Guaíba e dos principais indicadores de qualidade da água utilizados para avaliar o efeito de concentração após a enchente extrema de 2024.

Campanha	Nível do Guaíba (m)	Turbidez UTN	N-NH ₃ mg L ⁻¹	Hg mg L ⁻¹	<i>E. coli</i> NMP/100 mL	log ₁₀ <i>E. coli</i>	Interpretação hidrológica
S1	4.96	198.7	5.4	0.014	2191	3.34	Pico da enchente
S2	4.05	48.5	2.6	0.011	45792	4.66	Recessão inicial
S3	3.20	34.4	3.1	0.011	6598	3.82	Abaixo da cota de inundação
S4	3.33	68.7	1.7	0.010	14100	4.15	Segunda elevação do nível
S5	1.86	42.2	0.3	0.010	875	2.94	Baixa vazão
S6	1.44	27.4	1.0	0.010	6284	3.80	Menor nível observado
S7	1.54	24.7	3.1	0.031	14878	4.17	Efeito de concentração

Segundo Levy et al. (2009), a dinâmica microbiológica em sistemas aquáticos urbanos é fortemente controlada pela interação entre processos de transporte hidrológico, diluição e concentração de poluentes. Durante o pico da enchente, o elevado volume hídrico promoveu efeito de diluição parcial sobre alguns contaminantes microbiológicos. Entretanto, à medida que os níveis hidrométricos diminuíram, a persistência de aportes de esgoto doméstico e a redução da capacidade de dispersão favoreceram o aumento gradual das concentrações bacteriológicas.

Esse comportamento torna-se particularmente relevante sob a perspectiva sanitária. De acordo com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011), concentrações de *E. coli* superiores a 1000 NMP/100 mL representam elevado risco de infecção em águas de inundação. Esse limite foi excedido em praticamente todas as campanhas avaliadas, incluindo períodos muito posteriores ao encerramento da enchente.

Entre os metais analisados, o Hg apresentou o comportamento temporal mais crítico. Diferentemente dos demais elementos associados à remobilização sedimentar, o Hg apresentou aumento expressivo apenas durante S7, atingindo concentrações aproximadamente três vezes superiores às observadas durante a fase de cheia. Esse resultado indica forte influência do chamado efeito de concentração em períodos de baixa vazão, nos quais a redução da capacidade de diluição favorece a acumulação ou liberação de contaminantes previamente associados aos sedimentos urbanos e industriais (Tiecher et al., 2022; Kobierski et al., 2025).

De forma geral, os resultados indicam que os impactos das enchentes extremas sobre sistemas urbanos de abastecimento podem persistir muito além da fase aguda do evento. Em ambientes sujeitos a pressões urbanas crônicas, períodos posteriores de baixa vazão podem representar uma janela secundária de vulnerabilidade sanitária, caracterizada pela reconcentração de contaminantes microbiológicos e químicos. Esse comportamento evidencia a necessidade de ampliar temporalmente

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

os programas de monitoramento pós-desastre, tradicionalmente limitados às semanas imediatamente posteriores às enchentes.

3.2 Implicações do efeito de concentração para o monitoramento pós-desastre

Os resultados obtidos durante 1 ano de monitoramento mostram que a recuperação hidrológica do sistema Guaíba não foi acompanhada por recuperação equivalente da qualidade da água. Embora a redução dos níveis hidrométricos tenha sido acompanhada pela diminuição progressiva de parâmetros associados à carga sedimentar, como turbidez e sólidos suspensos, observou-se persistência, e, em alguns casos, intensificação tardia, da contaminação microbiológica e química durante períodos de baixa vazão (Figura 2).

Esse comportamento demonstra a existência de um período secundário de vulnerabilidade ambiental após eventos extremos, caracterizada pelo chamado efeito de concentração. Em sistemas urbanos altamente impactados, a redução da capacidade de diluição favorece a acumulação de contaminantes oriundos de aportes contínuos de esgoto doméstico, drenagem urbana e remobilização de sedimentos historicamente contaminados (Olds et al., 2018; Crawford et al., 2022).

A persistência de concentrações elevadas de *E. coli* ao longo de praticamente todo o período monitorado indica que os impactos sanitários da enchente permaneceram ativos mesmo após a recessão hidrológica. O comportamento observado em S7 sugere que o sistema urbano continuou submetido a pressões crônicas de contaminação microbiológica, provavelmente associadas à sobrecarga e degradação da infraestrutura sanitária que já era evidente mesmo antes do desastre. Segundo Cann et al. (2013), eventos extremos podem comprometer sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário por períodos prolongados, favorecendo a ocorrência de doenças de veiculação hídrica e ampliando a exposição da população a patógenos ambientais.

Além da contaminação microbiológica, o aumento tardio das concentrações de Hg reforça a relevância dos processos de remobilização e reconcentração de contaminantes sedimentares em períodos de estiagem relativa. O sistema Guaíba possui histórico de influência industrial e urbana, incluindo atividades metalúrgicas, efluentes industriais e transporte hidroviário, fatores que favorecem o acúmulo de metais em sedimentos de fundo (Tiecher et al., 2022). Durante períodos de baixa vazão, alterações nos parâmetros físico-químicos e redução da dispersão hidráulica podem favorecer a liberação desses contaminantes para a coluna d'água (Kobierski et al., 2025).

Os resultados obtidos também indicam limitações importantes dos modelos convencionais de monitoramento pós-desastre. Em geral, campanhas emergenciais concentram-se apenas nas semanas imediatamente posteriores às enchentes, priorizando a fase aguda da crise hidrológica. Entretanto, os dados deste estudo demonstram que processos de deterioração secundária podem ocorrer meses após o evento extremo, especialmente em sistemas urbanos sujeitos a elevadas cargas difusas e deficiências estruturais de saneamento.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

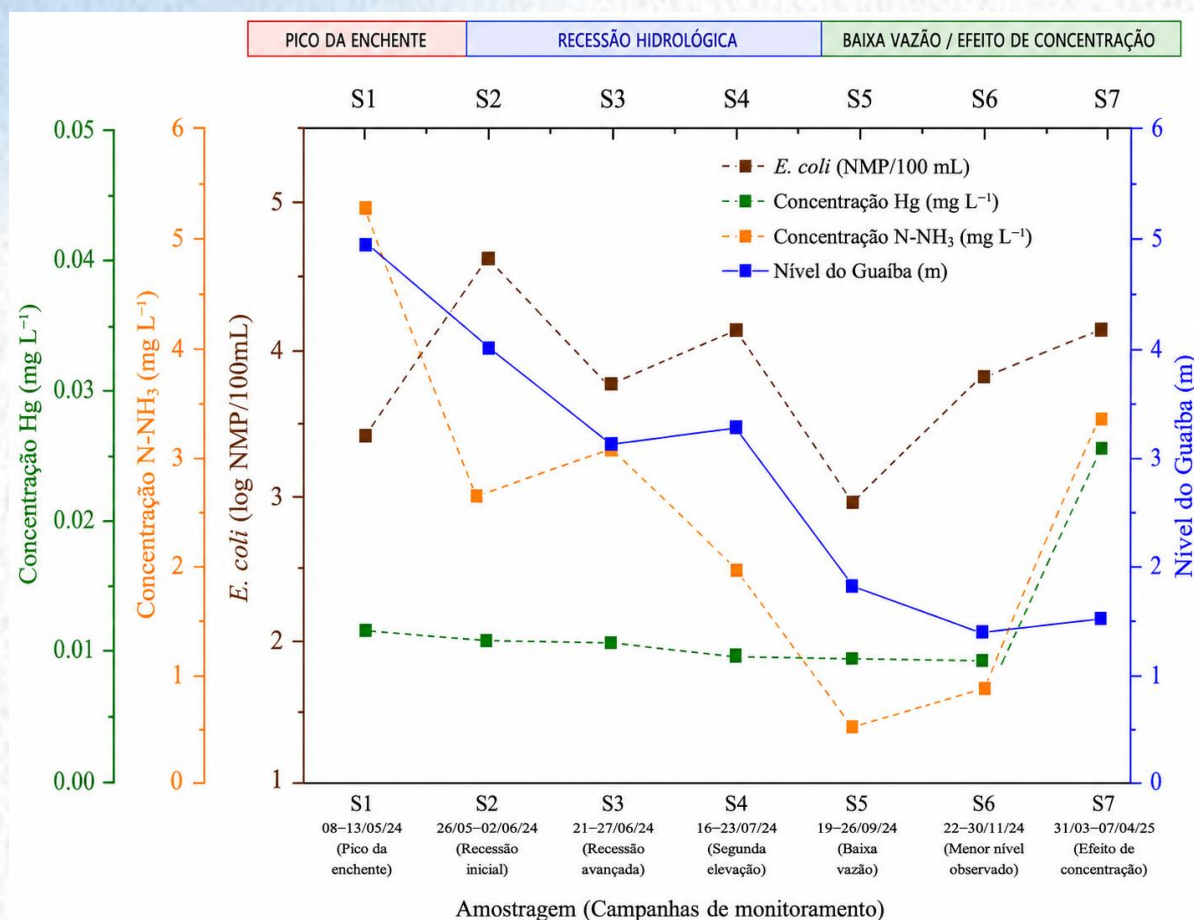


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 2 – Evolução temporal das concentrações de *Escherichia coli*, representada em escala logarítmica (log NMP/100 mL), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e mercúrio (Hg), em comparação com o nível do sistema Guaíba, durante as sete campanhas de monitoramento realizadas entre maio de 2024 e abril de 2025. A barra superior representa as fases hidrológicas do evento (pico da enchente, recessão hidrológica e baixa vazão/efeito de concentração), destacando a persistência da degradação da qualidade da água após a recessão da enchente.



Sob a perspectiva da gestão de recursos hídricos, os resultados reforçam a necessidade de ampliação temporal das estratégias de monitoramento ambiental em cenários de eventos climáticos extremos. O acompanhamento prolongado de parâmetros microbiológicos, nutrientes e metais torna-se importante para identificar riscos tardios à segurança hídrica e subsidiar ações preventivas nos sistemas de abastecimento público.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Além disso, a recorrência crescente de eventos extremos no sul do Brasil amplia a relevância desse tipo de abordagem. Estudos recentes indicam aumento da frequência e intensidade de precipitações extremas na região em decorrência das mudanças climáticas e da atuação combinada de variabilidades climáticas como o *El Niño* (Clarke et al., 2026; IPCC, 2021). Nesse contexto, eventos hidrológicos extremos deixam de representar episódios isolados e passam a constituir elementos estruturantes da dinâmica ambiental urbana contemporânea.

Dessa forma, estratégias de adaptação climática voltadas à segurança hídrica devem incorporar não apenas mecanismos de resposta imediata às enchentes, mas também protocolos de monitoramento de médio e longo prazo capazes de identificar efeitos residuais e processos de reconcentração de contaminantes após a recessão hidrológica.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A enchente extrema ocorrida no sistema Guaíba em 2024 promoveu degradação severa e prolongada da qualidade da água utilizada para abastecimento público em Porto Alegre. Embora os maiores impactos físico-químicos tenham ocorrido durante a fase de cheia, os resultados demonstraram que a recuperação hidrológica não foi acompanhada pela recuperação equivalente da qualidade da água ao longo do período monitorado.

Os parâmetros associados à remobilização sedimentar, como turbidez, sólidos suspensos e alumínio, apresentaram forte relação com as condições hidrológicas extremas observadas durante as primeiras campanhas. Entretanto, os resultados mais críticos foram observados durante períodos posteriores de baixa vazão, quando concentrações elevadas de *Escherichia coli*, nitrogênio amoniacal e Hg indicaram a persistência de pressões urbanas e a ocorrência de um efeito de concentração associado à redução da capacidade de diluição do sistema.

A campanha realizada aproximadamente um ano após a enchente apresentou os maiores valores médios de *E. coli* entre todas as etapas monitoradas, enquanto o Hg atingiu concentrações consideravelmente superiores às registradas durante a fase aguda do evento. Esses resultados demonstram que períodos pós-enchente de baixa vazão podem representar um período secundário e subestimado de vulnerabilidade sanitária em sistemas urbanos de abastecimento.

Os resultados obtidos reforçam que os impactos ambientais de enchentes extremas não devem ser avaliados apenas durante a fase imediata da crise hidrológica. Em ambientes altamente urbanizados e sujeitos a aportes contínuos de contaminação, processos de reconcentração de poluentes podem prolongar os riscos à segurança hídrica por vários meses após a recessão das águas.

Nesse contexto, torna-se importante ampliar as estratégias convencionais de monitoramento pós-desastre, incorporando campanhas de médio e longo prazo, incluindo parâmetros microbiológicos, nitrogenados e metálicos, especialmente em cenários urbanos vulneráveis às mudanças climáticas. Além disso, os resultados destacam a necessidade de integração entre gestão de recursos hídricos, infraestrutura sanitária e planejamento climático urbano, visando aumentar a resiliência dos sistemas de abastecimento frente à intensificação de eventos hidrológicos extremos no sul do Brasil.

Os resultados demonstram que a avaliação dos impactos de enchentes extremas deve ultrapassar a fase aguda do desastre, incorporando períodos prolongados de monitoramento capazes de identificar processos tardios de reconcentração de contaminantes e seus riscos à segurança hídrica.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa.

Os autores também agradecem ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) pelo suporte técnico e operacional durante as campanhas emergenciais de monitoramento realizadas ao longo da enchente de 2024 no sistema Guaíba.

4. REFERÊNCIAS

ABIRHIRE, O.; DAVIES, J. M.; GUO, X.; HUDSON, J. Understanding the factors associated with long-term reconstructed turbidity in Lake Diefenbaker from Landsat-imagery. *Science of the Total Environment*, v. 724, p. 138222, 2020.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Hidroweb: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos*. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 06 jun. 2025.

ANA; CETESB. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. 2. ed. Brasília: ANA/CETESB, 2023.

APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

CANN, K. F.; THOMAS, D. R.; SALMON, R. L.; WYN-JONES, A. P.; KAY, D. Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology and Infection*, v. 141, p. 671–686, 2013.

CLARKE, B.; BARNES, C.; RODRIGUES, R.; et al. Climate change and El Niño behind extreme precipitation leading to major floods in southern Brazil in 2024. *NPJ Natural Hazards*, v. 3, p. 1–20, 2026.

COLLISCHONN, W.; RUHOFF, A.; CABELEIRA FILHO, R.; et al. *Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba*. Porto Alegre, 2024.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTTI, I.; et al. The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. *RBRH*, v. 30, 2025.

CRAWFORD, S. E.; BRINKMANN, M.; OUELLET, J. D.; et al. Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. *Journal of Hazardous Materials*, v. 421, p. 126691, 2022.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

FAGUNDES, H. O.; MACIEL, D. A.; FASSONI-ANDRADE, A. C.; et al. Simulating suspended sediment transport during the 2023–2024 floods in southern Brazil. *International Soil and Water Conservation Research*, 2025.

FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. *Sistema de divulgação de dados de monitoramento da qualidade da água superficial do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 2025. Disponível em: <https://gis.fepam.rs.gov.br/RSAgua/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Portal IBGE*. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 mar. 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

ISLAM, T.; ZELEKE, E. B.; AFROZ, M.; MELESSE, A. M. A systematic review of urban flood susceptibility mapping: remote sensing, machine learning, and other modeling approaches. *Remote Sensing*, v. 17, 2025.

KOBIERSKI, M.; PIEKARCZYK, M.; KAWAŁKO, D.; GARCÍA-FERNANDEZ, G. River transport of Hg as a potential contamination pathway for sediments, soils and vegetation: management practices. *Journal of Environmental Management*, v. 393, p. 127133, 2025.

LEVY, K.; HUBBARD, A. E.; NELSON, K. L.; EISENBERG, J. N. S. Drivers of water quality variability in northern coastal Ecuador. *Environmental Science & Technology*, v. 43, p. 1788–1797, 2009.

LIU, W.; FENG, Q.; ENGEL, B. A.; et al. A probabilistic assessment of urban flood risk and impacts of future climate change. *Journal of Hydrology*, v. 618, 2023.

MOREIRA, C. V. M.; COSTA, M. R. A.; BECKER, V. Impacts of extreme precipitation events in water quality: a scientometric analysis in global scale. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 35, 2023.

OLDS, H. T.; CORSI, S. R.; DILA, D. K.; et al. High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: a quantitative survey with sewage specific bacterial indicators. *PLoS Medicine*, v. 15, p. 1–23, 2018.

PEREIRA, R. H. M.; HERSZENHUT, D.; FERREIRA, P. C. G.; et al. *Uma estimativa da população atingida pelas enchentes do Rio Grande do Sul em 2024*. Rio de Janeiro: IPEA, 2024.

RS – GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 2021.

RS – GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *Defesa Civil atualiza lista de óbitos e desaparecidos decorrentes da inundação de 2024*. Porto Alegre, 2025. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SALEM, T. A.; MAGEED, A. A. A. Assessment of the impact of the Nile flood on food chain in Lake Nasser—Egypt, with special reference to turbidity. *Open Journal of Ecology*, v. 11, p. 41–51, 2021.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



13º Simpósio
Internacional de
Qualidade Ambiental

Tecnologias Ambientais e Inovação

23, 24 e 25 de setembro de 2026

TIECHER, T.; RAMON, R.; ANDRADE, L. C.; et al. Tributary contributions to sediment deposited in the Jacuí Delta, Southern Brazil. *Journal of Great Lakes Research*, v. 48, p. 669–685, 2022.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4. ed. Geneva: WHO, 2011.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br