



**Quando a Água Redesenha a Paisagem:
Transformações Ambientais na Região Metropolitana de Porto Alegre (RS)**

SESSÃO TEMÁTICA: DIMENSÃO BIOFÍSICA DO PROJETO, DO PLANEJAMENTO E DA
GESTÃO DA PAISAGEM

Raquel Weiss
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: raquel.w@ufrgs.br

Ana Luisa Maffini
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: analuisamaffini@gmail.com

Martiele Wilhelm
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: martiele2014@gmail.com

Maicon Pinto de Moraes
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: maiconmoraescontato@gmail.com

Evelin Fornari
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: evelin.fornari@alumni.usp.br

Ariel Felipe Geraldo Zaghetto
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
E-mail: ariel.gerald@acad.ufsm.br

Bárbara Giacom
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: barbara.giacom@ufrgs.br

Eliane Constantinou
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: eliane.constantinou@ufrgs.br

Eugenia Aumond Kuhn
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: eugenia.kuhn@ufrgs.br

Geisa Zanini Rorato
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: geisa.rorato@ufrgs.br

Maria Paloma Bernardi
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: palmmbe1@gmail.com



Éric Hendrix Ferreira Machado
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: ehfmachado@gmail.com

Nathália Difforeni Leal
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: nadiffle@gmail.com

RESUMO

As inundações extremas de maio de 2024 no Rio Grande do Sul (RS) revelaram fragilidades profundas na estrutura da paisagem. Este artigo analisa a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), ocupada por 36,92% da população do estado e que foi amplamente atingida pelo evento climático extremo. Sob uma perspectiva da arquitetura da paisagem e da ecologia da paisagem, avaliou-se como a inundação contribui para a amplificação dos impactos hidrológicos, considerando as perdas de vegetação, a fragmentação e descontinuidade estrutural da paisagem. Utilizaram-se dados do MapBiomas (2023-2024), mapeamento da extensão da inundação, métricas de paisagem e análise de agrupamento aplicadas em malha hexagonal de 2 km. Os resultados mostram redução de 16,78% da área de formação florestal e 33,55% de formação campestre em relação às manchas que permaneceram após as inundações, distribuídas em 6 regimes ambientais distintos associados às condições prévias da paisagem, considerando ganho e perda de vegetação, estabilidade da cobertura e intensidade da inundação. O estudo reforça a urgência de estratégias integradas de projeto e planejamento da paisagem que restaurem planícies de inundação, ampliem corredores ecológicos e fortaleçam infraestruturas verdes-azuis para adaptação climática.

PALAVRAS-CHAVE: paisagem; conectividade ecológica; fragmentação; inundação; resiliência territorial; planejamento urbano.

ABSTRACT

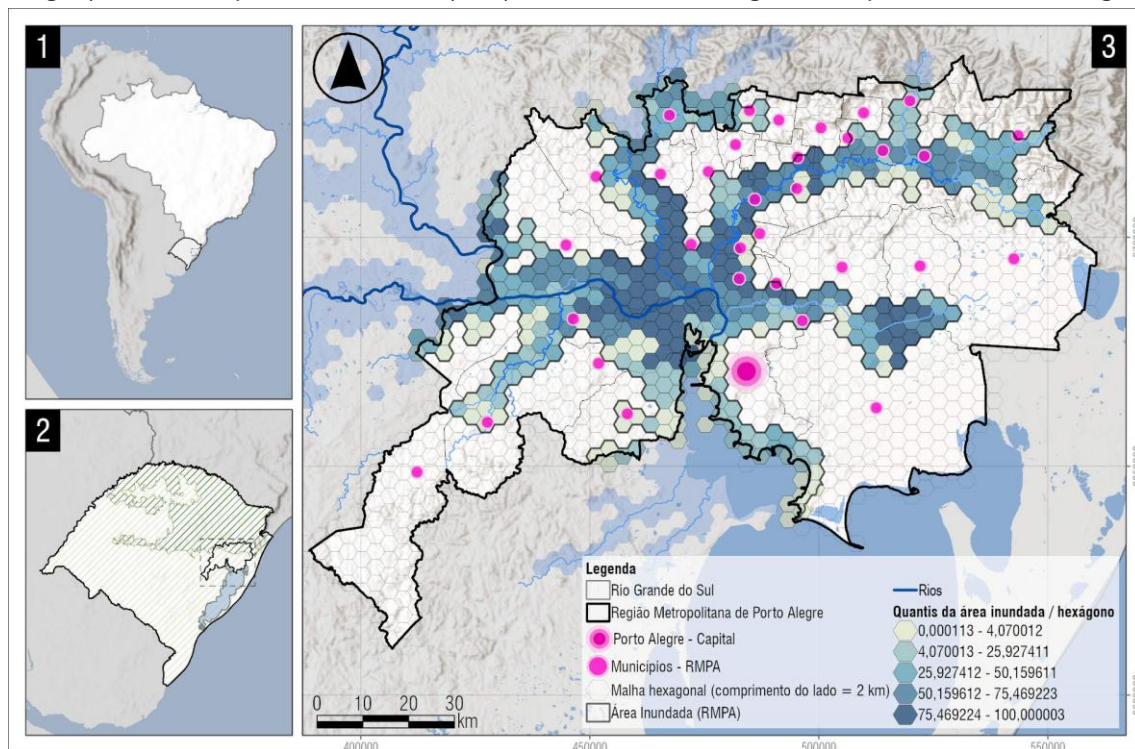
The extreme floods of May 2024 in Rio Grande do Sul (RS) revealed profound structural vulnerabilities in the landscape. This article analyzes the Metropolitan Region of Porto Alegre (RMPA), which concentrates 36.92% of the state's population and was heavily affected by the extreme climatic event. From a landscape architecture and landscape ecology perspective, we assessed how flooding amplified hydrological impacts by examining vegetation loss, structural fragmentation, and landscape discontinuity. We used MapBiomas data (2023-2024), flood-extent mapping, landscape metrics, and cluster analysis applied to a 2-km hexagonal grid. The results show a reduction of 16.78% in forest formations and 33.55% in grassland formations relative to the patches that remained after the floods, distributed across six distinct environmental regimes associated with the landscape's pre-flood conditions, considering vegetation gain and loss, cover stability, and flood intensity. The study underscores the urgency of integrated landscape design and planning strategies that restore floodplains, expand ecological corridors, and strengthen green-blue infrastructures for climate adaptation.

KEYWORDS: landscape; ecological connectivity; fragmentation; floods; territorial resilience; urban planning.

1 INTRODUÇÃO

O evento geohidrológico extremo ocorrido no Rio Grande do Sul em abril-maio de 2024 constitui um marco na história ambiental e territorial do sul do Brasil. Mesmo em uma região acostumada à variabilidade hidrológica, a magnitude e a extensão do evento superaram registros históricos e a capacidade adaptativa de uma paisagem profundamente transformada por ações antrópicas nas últimas décadas. As chuvas intensas, a inundação prolongada (e.g., Collischonn et al., 2025), os movimentos de massa (e.g., Andr des Filho et al, 2025) e as perdas socioecon micas atraíram atenção nacional e internacional; contudo, o desastre não se explica apenas por condições meteorológicas extremas. Ele expressou processos territoriais mais profundos, como fragmentação da paisagem, supressão da cobertura vegetal, planejamento espacial inadequado e insuficiente conectividade ecológica na Região Hidrográfica do Guaíba (RHG) e, em especial, na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), composta por 34 municípios (Figura 1).

Figura 1: Localização: 1) América Latina / Brasil, 2) Rio Grande do Sul / Região Metropolitana de Porto Alegre (Biomas Pampa e Mata Atlântica), e 3)  rea inundada na Região Metropolitana de Porto Alegre.



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Esses efeitos locais convergem com uma tendência global: maior frequência e gravidade de inundações, afetando a vegetação, a regeneração dos ecossistemas e a provisão de serviços ecossistêmicos (Chen et al., 2023; Olokeogun et al., 2020). Nesse contexto ampliado, as inundações de 2024 expõem não são a vulnerabilidade regional, mas também um ponto crítico na reconfiguração hidrológica mundial, acelerada pelas mudanças climáticas e pelo uso intensivo da terra e manejo inadequado.

A RMPA situa-se na interface de dois grandes biomas, Mata Atlântica e Pampa, formando um mosaico socioecológico heterog neo (Figura 1). A densificação urbana, a expansão



agrícola, infraestruturas hidrelétricas, rotas de navegação e atividade industrial sobrepõem-se às florestas remanescentes, áreas úmidas e corredores ripários/azuis. Esse mosaico sustenta dinamismo econômico, mas impõe desafios à funcionalidade ecológica, à regulação hidrológica e à resiliência climática. As inundações evidenciaram que a capacidade estrutural do território de absorver, armazenar e liberar água gradualmente mostrou-se comprometida, resultando em danos à vegetação, à infraestrutura e reforçando a necessidade urgente de políticas públicas adaptativas e de recuperação ambiental.

Localizada no setor centro-oriental do estado, a RMPA articula municípios ao longo do eixo hidrográfico do Guaíba e de áreas de transição para o Vale do Sinos, Vale do Caí e Encosta da Serra. Com 36,92% da população estadual (4.026.697 habitantes), concentra fluxos de trabalho, serviços, logística e produção industrial que ultrapassam seus limites administrativos, ao mesmo tempo em que sua inserção em áreas ecologicamente sensíveis amplia sua vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos.

No campo da arquitetura da paisagem, o desastre reforça a urgência de compreender o território como sistema socioecológico integrado, onde a estrutura espacial da vegetação, a configuração da paisagem e a conectividade ecológica são determinantes para a resiliência hidrológica. Nesse sentido, esse artigo analisa, portanto, como as inundações de 2024 alteraram processos, configuração e vulnerabilidade da paisagem na RMPA, por meio da comparação do uso e cobertura da terra (2023–2024), análises multivariadas e métricas da ecologia da paisagem.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os fundamentos teóricos deste estudo combinam ecologia da paisagem, teoria da resiliência socioecológica, estudos de paisagem e a arquitetura da paisagem, fornecendo ferramentas para analisar como a estrutura da paisagem condiciona processos ecológicos, vulnerabilidade socioambiental e respostas a eventos climáticos extremos.

Inundações extremas têm sido associadas a danos generalizados na cobertura vegetal e a alterações estruturais em ecossistemas ribeirinhos (Lee et al., 2023; Cosgriff et al., 2006), pois provocam perda imediata de vegetação por destruição física, deposição de sedimentos e alterações hidrológicas, com efeitos modulados pela geomorfologia e pela estrutura da vegetação. Entretanto, há relatos de recuperação rápida, sobretudo em comunidades herbáceas de várzea (Franceschi et al., 2000; Franceschi et al., 2005), embora também se observe degradação persistente ou recuperação lenta em contextos de distúrbios antropogênicos ou mudanças hidrológicas intensas (Pavlek et al., 2024; Gregory et al., 2019; Dixon et al., 2015). Essa variabilidade depende da intensidade e duração das inundações, do contexto climático, da composição das comunidades vegetais e do grau de pressão humana.

Nesse contexto, a ecologia da paisagem oferece um quadro útil para entender por que respostas a inundações variam espacialmente. Ao conceber territórios como mosaicos heterogêneos de fragmentos, corredores e matriz (Forman; Godron, 1986; Peres et al., 2016), a ecologia da paisagem destaca que o tamanho, a forma e a conectividade desses elementos influenciam processos-chave como dispersão de sementes, escoamento superficial e retenção hídrica (Forman, 1995). A fragmentação, configurada pela quebra de



habitat contínuo em manchas menores e isoladas (Forman, 1995; Forman; Olson; Dramstad, 1996; Forman, 2019), reduz a resiliência ao comprometer fluxos ecológicos e o equilíbrio hidrológico, podendo assim intensificar os efeitos das inundações, acelerar a erosão e dificultar a regeneração da vegetação (Forman, 2008), o que contribui para explicar padrões de recuperação rápida em alguns locais e degradação persistente em outros.

A literatura mostra que a riqueza de espécies e a funcionalidade diminuem à medida que as manchas de habitat se tornam menores e mais isoladas, e que a substituição de espécies raramente compensa a perda de biodiversidade em paisagens fragmentadas (Forman, 1995; Gonçalves-Souza et al., 2025). Essa redução de diversidade tem consequências diretas para os serviços ecossistêmicos, pois comunidades menos diversas apresentam menor capacidade de resposta a perturbações e menor redundância funcional (Forman, 1995).

Em particular, nos sistemas hidrológicos a fragmentação interrompe a continuidade da vegetação ripária e das florestas de planície, que são elementos-chave para amortecer picos de vazão e atuar como barreiras naturais contra inundações. Assim, a perda de conectividade estrutural traduz-se em menor capacidade de retenção e dissipação de energia hídrica, agravando riscos de inundação (Forman, 1995).

Essa fragilidade ecológica conecta-se diretamente à teoria da resiliência socioecológica, que define resiliência como a capacidade de um sistema absorver distúrbios mantendo sua estrutura e funções. Em paisagens fragmentadas, a redução da diversidade e da conectividade compromete a redundância funcional necessária para a recuperação após choques, enquanto que paisagens mais conectadas e diversas tendem a adaptar-se melhor (Holling, 1973).

De acordo com Ahern (2013), intervenções que aumentem a multifuncionalidade e adaptabilidade, como infraestruturas verde-azuis e corredores ecológicos, são recomendadas para restaurar resiliência e restabelecer fluxos ecológicos essenciais. Nesse sentido, a arquitetura da paisagem contribui para essa agenda, ao integrar estrutura ecológica, dinâmicas socioespaciais e estratégias de projeto voltadas à reintegração de processos naturais. Por exemplo, por meio da restauração de áreas de retenção hídrica, corredores verdes e azuis e zonas úmidas (Herzog, 2013).

Hidrologia e geomorfologia reforçam esse quadro. A conversão de planícies de inundação em áreas urbanas ou monoculturas reduz a absorção natural de água. A remoção de vegetação diminui a permeabilidade do solo e amplia a magnitude das inundações e a degradação de áreas úmidas elimina o efeito-esponja que regula o movimento da água, afetando diretamente a relação entre regimes de inundação e perda de cobertura vegetal em ambientes ribeirinhos e de várzea (Huang et al., 2023; Bendix; Hupp, 2000).

Finalmente, a dimensão socioespacial evidencia que desastres atingem desproporcionalmente populações vulneráveis em áreas de menor qualidade ambiental e infraestrutura limitada, gerando uma “dupla exposição”: a social e a ecológica (Acserald, 2002). Apesar de avanços em sensoriamento remoto e modelagem, persistem lacunas sobre padrões de perda de vegetação e trajetórias de recuperação, bem como controvérsias sobre o peso relativo de eventos extremos versus fatores antropogênicos, o que limita previsões e estratégias de manejo (Chen et al., 2023; Lee et al., 2023; Hooke, 2023; Pavlek et al., 2024; Hubble; Rutherford, 2010; Entwistle, 2017; Hawkins et al., 1997; Tonkin et al., 2017).

3 ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS

O estudo concentra-se na mancha de inundação gerada pelo evento extremo de maio de 2024 na RHG, com ênfase na RMPA. A delimitação da inundação baseou-se no mapeamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS (Possantti et al., 2024). Para analisar as mudanças ambientais associadas ao evento, foram utilizados dados de uso e cobertura da terra do “MapBiomas Coleção 10” referentes a 2023 e 2024, com resolução espacial de 30 m, além das bases cartográficas oficiais do IBGE. A interseção entre a RMPA, a mancha de inundação e as classes de vegetação natural permitiu mensurar ganhos, perdas e áreas estáveis ao longo do período.

Cabe destacar que os registros de ganho devem ser interpretados com cautela. O incremento pode estar associado a ruídos nos dados, decorrentes de limitações na leitura dos sensores ou na classificação automática do MapBiomas. Conforme a literatura, em apenas um ano é pouco provável que a cobertura vegetal apresente regeneração expressiva, sobretudo na formação florestal. Ainda assim, para fins metodológicos, manteve-se a leitura espacial produzida pelo MapBiomas, reconhecendo-se possíveis imprecisões inerentes ao processo de detecção remota.

Para padronizar a escala de análise e permitir comparações consistentes, adotou-se uma malha de células hexagonais com lado de 2 km (10,39 km²), conforme metodologia de discretização espacial proposta por Lopes et al. (2023). Essa resolução foi considerada adequada para representar a dinâmica hidrológica regional e as transições de cobertura da terra associadas ao evento. Para cada célula foram calculados a proporção de área inundada, os valores absolutos e relativos de perda e ganho de vegetação natural e um conjunto de métricas estruturais da paisagem. O processamento espacial foi realizado em ambiente de SIG, utilizando QGIS 3.x e ArcGIS Pro para operações de geoprocessamento, e Python 3.12, com as bibliotecas geopandas, shapely e esda, para análises avançadas e cálculo de autocorrelação.

A identificação dos padrões multivariados de resposta da paisagem foi realizada no *software* GeoDa, por meio de análise de agrupamentos não hierárquica (*K-means*), aplicada aos valores das células hexagonais que compõem a malha espacial de análise. Inicialmente, as variáveis ganho natural, perda natural, ausência de mudança e proporção de área inundada foram padronizadas por transformação *Z-score* (Hair et al., 2009), de modo a eliminar efeitos de escala e garantir igual peso na formação dos grupos.

O algoritmo *K-means* agrupou as células hexagonais com base na minimização da variância *intracluster* e maximização da dissimilaridade *intercluster*, considerando a similaridade multivariada entre os vetores de atributos ambientais de cada célula. O número de *clusters* foi definido a partir da avaliação exploratória da estabilidade dos agrupamentos e da coerência espacial e ambiental dos padrões resultantes, resultando na identificação de regimes ambientais distintos, associados a diferentes graus de vulnerabilidade e dinâmica de mudança da paisagem.

A caracterização estrutural das formações florestais e campestres foi realizada com métricas de área, perímetro, índice de forma e distância ao vizinho mais próximo, aplicadas às manchas que permaneceram de 2023 para 2024. Essas métricas oferecem compreensão sobre fragmentação, isolamento e transformação morfológica da



vegetação. Fragmentos menores indicam subdivisão da cobertura natural, enquanto métricas de distância evidenciam continuidade ou ruptura das redes ecológicas. O índice de forma contribui para identificar irregularidades geométricas associadas ao aumento das bordas e à instabilidade estrutural.

Para assegurar consistência espacial, polígonos com área inferior a 1 m² ou perímetro menor que 1 m foram descartados e fragmentos separados por menos de 1 m foram fundidos, reduzindo ruídos de vetorização e garantindo maior acurácia na avaliação da fragmentação e conectividade da paisagem antes e durante o evento de inundação.

4 RESULTADOS

A RHG totaliza cerca de 8.473.852,43 hectares, o que representa 29,7% do território estadual. Sobre esse recorte, a inundação extrema de maio de 2024, mapeada pela UFRGS (Possantti et al., 2024), atingiu 608.231,71 ha, equivalentes a 7,18% da área da RHG. Na escala metropolitana, a RMPA, com 1.034.603,04 ha, registrou 141.510,06 ha de áreas inundadas, correspondendo a 13,68% de sua extensão.

Nesse contexto, analisaram-se as dinâmicas de ganho e perda natural na cobertura da terra entre 2023 e 2024 para a RMPA, ou seja, antes e depois das inundações. Os resultados indicam perdas naturais de 94.018,93 ha (10,30%). A maior parcela do território permaneceu sem alterações significativas, abrangendo 794.457,40 ha (87,01%), enquanto se registrou um ganho natural de 24.603,34 ha (2,69%).

A partir da leitura espacial, a análise de agrupamento *K-Means* ($k = 6$; 71,8% de variância total explicada), aplicada às métricas de ganho e perda de vegetação, estabilidade da cobertura (permaneceram) e intensidade da inundação, permitiu identificar 6 regimes ambientais associados às condições prévias da paisagem (2023) e à perturbação hidrológica extrema de 2024. Esses agrupamentos, sintetizados no Quadro 1, revelam respostas contrastantes do território, compondo um gradiente que vai de áreas altamente resilientes a regiões de colapso hidrológico (Figura 2).

O Cluster 3, de maior resiliência, combina estabilidade da cobertura natural e ganhos pontuais, baixas perdas e inundação mínima. Essas áreas funcionam como núcleos de estabilidade ecológica, preservando sua estrutura mesmo diante da inundação.

O Cluster 1 agrupa áreas submetidas a estresse hidrológico moderado, combinando perdas intermediárias e inundação significativa, porém sem ruptura completa da estrutura ecológica. Reflete zonas de impacto relevante, mas com potencial de reorganização.

O Cluster 4 destaca um padrão de degradação estrutural não associado à inundação, marcado por perdas muito elevadas e baixa influência hidrológica. Sugere pressões antrópicas prévias ou fragilidades já estabelecidas na paisagem antes do evento.

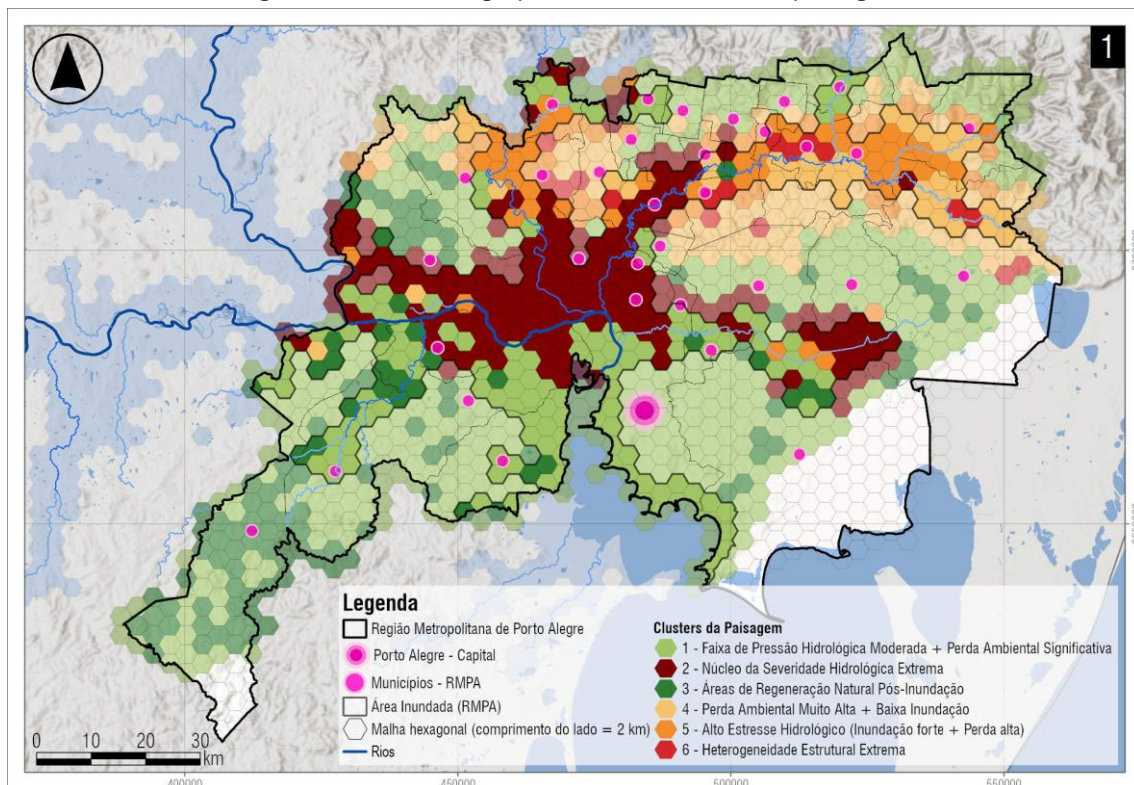
O Cluster 5 expressa um regime de impacto hidrológico severo, no qual perdas ambientais e intensidade de inundação são simultaneamente elevadas, representando áreas críticas e altamente suscetíveis ao evento de 2024.

Quadro 1: Clusters da paisagem e sua vulnerabilidade.

CLUSTERS DA PAISAGEM	PERFIS DOMINANTES	INTERPRETAÇÃO ECOLÓGICA	VULNERABILIDADE
3	Aparente regeneração; baixas perdas; inundação mínima	Núcleos de resiliência ecológica	Muito baixa
1	Perda moderada; inundação moderada; baixa estabilidade	Zona de estresse intermediário	Baixa
4	Altíssima perda; pouca inundação; estabilidade alta	Degradação estrutural pré-evento	Média
5	Perda elevada; inundação forte (54%)	Impacto hidrológico relevante	Alta
6	Perda extrema + estabilidade alta + inundação intermediária	Mosaico fragmentado associado à inundação	Muito Alta
2	Perda alta + inundação extrema (73%)	Núcleo de colapso hidrológico	Extrema

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Figura 2: Análise de agrupamentos e *clusters* da paisagem.



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

O Cluster 6 apresenta a maior heterogeneidade interna, combinando perdas intensas, alta estabilidade e inundação intermediária. Reflete uma paisagem fragmentada, com trechos mais vulneráveis e setores que mantiveram parte de sua estrutura.

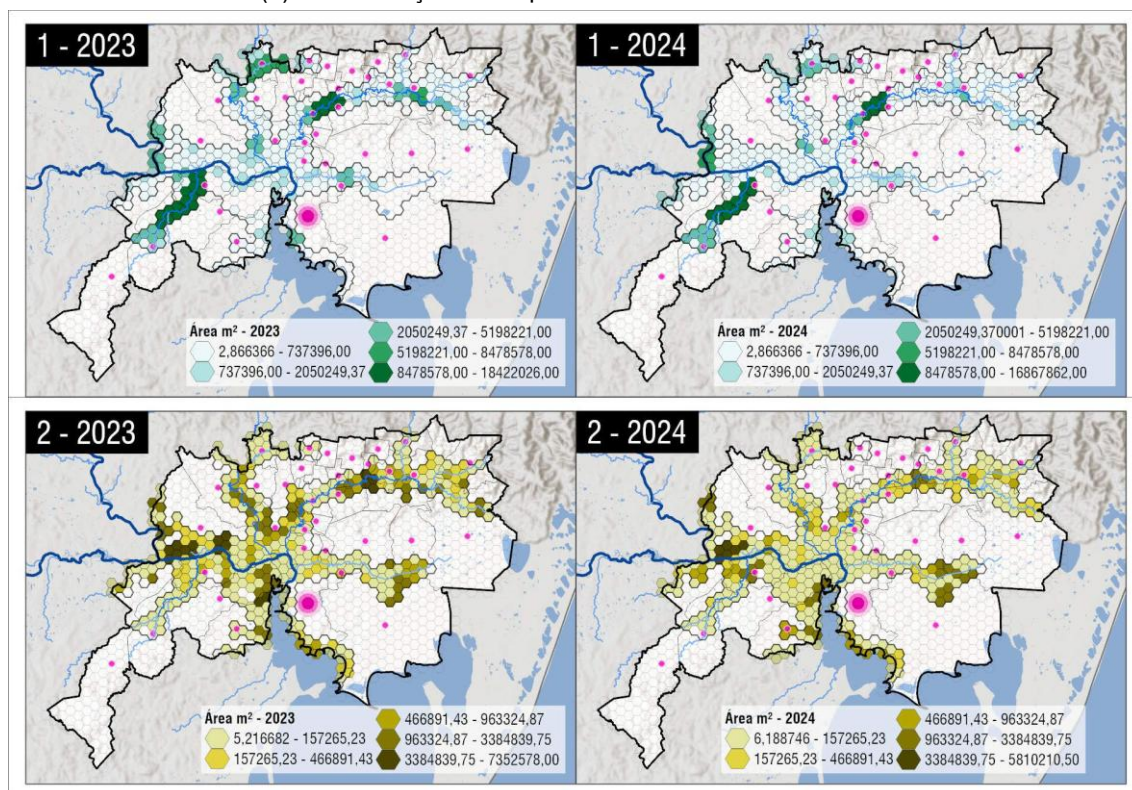
O Cluster 2 configura o núcleo do colapso hidrológico, com os maiores valores de inundação e perdas ambientais. O agrupamento sintetiza as áreas mais intensamente impactadas, onde a integridade ecológica foi substancialmente comprometida.

No conjunto, os seis *clusters* revelam a diversidade de respostas da paisagem ao evento extremo, permitindo distinguir gradientes de impacto, resiliência e vulnerabilidade, elementos fundamentais para orientar o planejamento territorial e a priorização de ações de mitigação e restauração.

4.1 Métricas da paisagem aplicadas à formação florestal e campestre

Os dados quantitativos da análise espaço-temporal entre 2023 e 2024 registram perda de cobertura das formações florestal e campestre nas margens dos rios e nas planícies de inundação. A formação florestal (Figura 3) sofreu uma redução de 4.293,54 ha, o que corresponde a 16,78% em relação à área total de 2023 (25.581,76 ha). Esse fato também se reflete no aumento do número de manchas, que passou de 3.691 para 4.152, representando um acréscimo de 12,55%.

Figura 3: Comparações entre: Métricas de área: (1) em Formações Florestais, e (2) em Formações Campestres nos anos de 2023 e 2024.



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

A formação campestre (Figura 3) sofreu impactos mais severos, perdendo 7.686,72 ha (22.911,93 ha - 15.225,21 ha), o que representa 33,55% do total existente em 2023. Esse processo de fragmentação e desarticulação da paisagem da região metropolitana, cuja área já é frágil pela sua configuração espacial de interrupção de contínuos de áreas



naturais de campos, aliados a áreas urbanas conurbadas, mostra-se contundente: o número de fragmentos passou de 3.884 para 6.146, um aumento de 2.262 manchas, equivalente a um acréscimo de 58,24%.

Os resultados indicam impactos substanciais nas áreas de cobertura vegetal que permaneceram em 2024, com perdas na integridade ecológica em apenas um ano. A formação florestal teve uma perda de área de 4.943,89 ha (19,74% da área de 2023) e a formação campestre perdeu 9.519,63 ha (43,94% da área de 2023), totalizando 14.463,52 ha, ou seja, 30,96% da área existente, antes das inundações. Também houve aumento no número de manchas (2.562 – 3.827; 2.480 – 4.124), redução da área média das manchas (9,78 – 7,85 ha; 8,74 – 4,9 ha), diminuição da área de mancha máxima (1.842,20 – 1.705,09 ha; 735,26 - 362,86 ha) e maior isolamento, com aumento da distância média ao vizinho mais próximo (74,74 – 118,27 m; 80,75 – 148,82 m), respectivamente para formação florestal e formação campestre.

O processo de fragmentação fica mais evidente ao computar-se a relação espacial das manchas e seu comportamento de fracionamento, ou seja, uma mancha em 2023 passou a ser dividida em média para aproximadamente uma mancha e meia (1,49 formação florestal e 1,66 formação campestre) em 2024. Verificou-se que uma única mancha de formação florestal espacialmente fragmentou-se em 40 manchas, assim como para a formação campestre, 37 manchas em 2024.

A combinação das métricas da paisagem apontam para uma perda e remoção de grandes manchas, um aumento da fragmentação e um pequeno aumento da irregularidade das bordas das manchas registradas pelo índice da forma (2,79 – 3,03: formação florestal e 2,78 – 2,97: formação campestre), tendendo a um leve aumento do efeito de borda. As variações quantitativas apontam para perda de conectividade dos corredores verdes e azuis, com implicações negativas para a integridade ecológica da formação florestal e campestre, refletindo na resiliência estrutural e configuracional dos arranjos espaciais das planícies alagadas e das margens dos recursos hídricos.

5 DISCUSSÃO

Os resultados reforçam um argumento central: as inundações de 2024 não foram apenas fenômenos hidrológicos, mas moldadas pela estrutura da paisagem. Os extremos observados não podem ser dissociados dos processos históricos de transformação do uso da terra, fragmentação e degradação ecológica que os antecederam. A fragmentação da cobertura vegetal, a redução das áreas, a supressão de corredores azuis e a ocupação das planícies de inundação contribuíram para uma paisagem cada vez menos capaz de regular a água. Nesse sentido, as mudanças registradas na RMPA antes e depois das inundações representam o ápice de um processo cumulativo de impactos antrópicos, resultantes da apropriação e uso do solo que alteraram a estrutura e a funcionalidade da paisagem metropolitana.

A fragilidade estrutural tornou-se evidente durante as inundações, quando a RMPA sofreu maior fragmentação: redução da cobertura vegetal e aumento do número de manchas observadas. Os *clusters* confirmam a heterogeneidade, distinguindo setores mais resilientes, com maior estabilidade da cobertura e menores perdas, de áreas críticas, onde



a inundação coincidiu com intensa degradação estrutural. A sobreposição entre métricas e agrupamentos evidencia setores de menor estabilidade e maior magnitude de inundação, que sofreram os impactos do grande volume e da velocidade do escoamento das  guas. A paisagem foi submetida a intenso estresse ecológico, agravado por ocupações antrópicas em margens e várzeas de inundação, em áreas com declividades inadequadas, especialmente vinculadas à agricultura.

A redução de área é particularmente preocupante, considerando que formações florestais desempenham papéis essenciais na regulação hidrológica, como aumento da infiltração, estabilização do solo, redução do escoamento superficial e manutenção de corredores ripários. No bioma Pampa,  nico da região Sul do país, reconhecido por sua biodiversidade e relevância ecossist mica, observa-se perda significativa de área em decorrência das investidas agrícolas, situação cuja fragilidade é intensificada pelos eventos climáticos recentes. Esse processo tende a se agravar diante da ocupação agrícola das áreas atingidas p s-inundações, o que ajuda a explicar alterações expressivas nas métricas da paisagem para a formação campestre.

O aumento do número de manchas, a redução das áreas máximas e a diminuição das áreas m dias da cobertura florestal e campestre apontam a subdivisão ou remoção de grandes manchas, produzindo múltiplos fragmentos menores. Esses padrões clássicos registrados pela ecologia da paisagem, como fragmentação e atrito, reforçam a leitura de baixa resiliência estrutural encontrada pelos agrupamentos, caracterizando a RMPA pela perda de qualidade paisagística, habitat, área núcleo, biodiversidade, conectividade e integridade.

O  ndice de forma reforça o aumento da irregularidade dos remanescentes e dos efeitos de borda, intensificando a exposição da cobertura natural a interferências externas, como degradação do solo e pressão antrópica. A estabilidade da vegetação ripária tende a declinar com fragmentações sucessivas, enfraquecendo funções hidrológicas e reduzindo a capacidade de resposta da paisagem ao evento extremo.

A integração entre *clusters* e métricas aponta para instabilidade sist mica:  reas degradadas concentram impactos mais severos e demonstram que a resiliência ou vulnerabilidade da paisagem depende também da estrutura prévia. Historicamente, a urbanização ocorreu em conflito com a lógica hidrológica, e a agricultura converteu vegetação nativa em monoculturas, reduzindo infiltração e intensificando escoamento. Canais, drenagens e diques muitas vezes exacerbam o risco.

Para reconstruir a resiliência,   necessário combinar restauração ecológica e planejamento pela lógica da paisagem: restaurar planícies de inundação, recriar áreas úmidas, reflorestar corredores azuis, ampliar continuidade vegetacional e projetar corredores verde-azuis multifuncionais. Por fim, a justiça ambiental deve orientar o planejamento, garantindo proteção ecológica e equidade social, com políticas de mitigação, educação ambiental e gestão sustentável dos recursos hídricos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inundações de 2024 na RMPA evidenciam a urgência de reorientar o planejamento territorial e as práticas de arquitetura da paisagem em direção à conectividade ecológica, à lógica hidrológica e à resiliência socioecológica. A análise mostra que a perda e a fragmentação da vegetação ampliaram a vulnerabilidade dos territórios a eventos extremos, contrariando a necessidade de estruturas ecológicas robustas.

A jornada futura exige uma abordagem baseada na lógica da paisagem. A restauração de zonas ripárias deve ser prioridade, reforçando a continuidade ecológica e hidrológica dos corredores azuis. As planícies de inundação precisam ser recuperadas como paisagens funcionais, capazes de absorver picos de vazão. A expansão urbana deve ser reconciliada com a lógica das bacias hidrográficas, integrando infraestruturas verde-azuis. As práticas agrícolas devem adotar modelos compatíveis com a paisagem, protegendo a estrutura ecológica e mantendo produtividade.

O desastre de 2024 constitui tanto um alerta quanto uma oportunidade: um alerta sobre as consequências de ignorar a estrutura ecológica e uma oportunidade para reconstruir paisagens de modo a restaurar a resiliência, fortalecer a continuidade ecológica e proteger comunidades. Restaurar a integridade da paisagem na RMPA não é apenas uma estratégia ambiental, mas um imperativo socioespacial.

AGRADECIMENTOS

À FAPERGS - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, projetos T.O. nº 25/2551-0000929-4 e T.O. nº 25/2551-0001468-9.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ACSERALD, H. Justiça ambiental: ação coletiva e estratégias discursivas. In: Acserald, H.; Mello, C.; Bezerra, G. (orgs.). **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

AHERN, J. Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. **Landscape Ecology**, v. 28, p. 1203-1212, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9799-z>.

ANDRADES-FILHO, C. O.; MEXIAS, L. F. S.; QUEVEDO, R. P.; HERRMANN, P. B.; DE OLIVEIRA, G. G.; CREMON, É. H.; CARGNIN, B. R.; REIS, M. DA S.; NOVAKOSKI, K. R.; DOS SANTOS, D. C.; SLUTER, C. R.; IESCHECK, A. L.; GUASSELLI, L. A.; RIBEIRO JUNIOR, M.; GRUBER, N. L. S.; PHILIPP, R. P.; MICHELIN, C. R. L.; VIERO, A. P.; GONZATTI, C.; ROSA, M. L. C. DA C.; BARBOZA-PINZON, E.; SCHUMACHER, R. G.; CÁRDENAS, S. M. M.; SOARES, V. M.; NÚÑEZ, W. P.; MENDONÇA, R. R.; RIGHI DA SILVA, M. O.; DA SILVA, M. C.; BRESSANI, L. A.; PERES, L. D. DA S.; MEVEL, L. B.; DORNELES, J. I.; CACCIATORE, J. A.; JACQUES, F. DE M.; DUARTE, L. DA C.; DINIZ, F. DE C.; PETRY, L.; SCHWARZER, G.; CARNEIRO, M.; GIACCOM, B. The biggest landslide event in Brazil: preliminary analysis of the Rio Grande do Sul mega disaster in May 2024. **Landslides**, v.22, p.3615-3624, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-025-02587-8>.

ANSELIN, L. Indicadores Locais de Associação Espacial – LISA. **Análise Geográfica**, v. 2, p. 93-115, 1995. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.

BENDIX, J.; HUPP, C. R. Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities. **Hydrological Processes**, v.14, n.16-17, p.2977-2990, 2000. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/17<2977::AID-HYP130>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2977::AID-HYP130>3.0.CO;2-4).

CHEN, J.; SHAO, Z.; HUANG, X.; CAI, B.; ZHENG, X. Assessing the impact of floods on vegetation worldwide from a spatiotemporal perspective. **Journal of Hydrology**, v.622, 129715, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129715>.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M. S.; MICHEL, G. P.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; MORAES, S. R.; MARCUZZO, F. F. N.; MICHEL, R. D. L.; BESKOW, T. L. C.; BESKOW, S.; FERNANDES, E. H.L.; SANTOS, L. L.; KOBAYAMA, M.; COLLARES, G. L.; BUFFON, F.; DUARTE, E.; LIMA, S.; MEIRELLES, F. S. C.; PICCILLI, D. G. A. The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v.30, e.1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119>.

COSGRIFF, R. J.; NELSON, J. C.; YIN, Y. Floodplain Forest Response to Large-Scale Flood Disturbance. **Transactions of the Illinois State Academy of Science**, v. 100, p. 47-70, 2007. <http://ilacadofsci.com/wp-content/uploads/2013/03/100-05MS-2618-print.pdf>.

DIXON, M. D.; BOEVER, C. J.; DANZEISEN, V. L.; KERKORD, C. L.; MUNES, E. C.; SCOTT, M. L.; JOHNSON, W. C.; COWMAN, T. C. Effects of a 'natural' flood event on the riparian ecosystem of a regulated large-river system: the 2011 flood on the Missouri River, USA. **Ecohydrology**, v.8, n.5, p.812-824, 2015. <https://doi.org/10.1002/eco.1613>.

ENTWISTLE, N. S. The impact of floodplain degradation on flooding in the UK. In: Proceedings of the 37th IAHR World Congress, Kuala Lumpur, 2017. Disponível em: <https://usir.salford.ac.uk/43710>.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

FORMAN, R. T. T. **Towns, ecology, and the land**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2019.

FORMAN, R. T. T. **Urban regions: Ecology and planning beyond the city**. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

FORMAN, R. T. T.; OLSON, J. D.; DRAMSTAD, W. **Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning**. Washington, DC: Island Press / Harvard University Graduate School of Design, 1996.

FRANCESCHI, E. A.; TORRES, P. S.; LEWIS, J. P. Recovery and stability of Paraná river floodplain grasslands twenty years after a catastrophic flood. **Community Ecology**, v.6, n.2, p.209-217, 2005. <https://doi.org/10.1556/ComEc.6.2005.2.9>.

FRANCESCHI, E. A.; TORRES, P. S.; PRADO, D. E.; LEWIS, J. P. Disturbance, succession and stability: a ten-year study of temporal variation of species composition after a catastrophic flood in the river Paraná, Argentina. **Community Ecology**, v.1, n.2, p.205-214, 2001. <https://doi.org/10.1556/ComEc.1.2000.2.10>.

GONÇALVES-SOUZA, T.; CHASE, J. M.; HADDAD, N. M.; VANCINE, M. H.; DIDHAM, R. K.; MELO, F. L. P.; AIZEN, M. A.; BERNARD, E.; CHIARELLO, A. G.; FARIA, D.; GIBB, H.; DE LIMA, M. G.; MAGNAGO, L. F. S.; MARIANO-NETO, E.; NOGUEIRA, A. A.; NEMÉSIO, A.; PASSAMANI, M.; PINHO, B. X.; ROCHA-SANTOS, L.; RODRIGUES, R. C.; SAFAR, N. V. H.; SANTOS, B. A.; SOTO-WERSCHITZ, A.; TABARELLI, M.; UEHARA-PRADO, M.; VASCONCELOS, H. L.; VIEIRA, S.; SANDERS, N. J. Species turnover does not rescue biodiversity in fragmented landscapes. **Nature**, v.640, p.702-706, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08688-7>.

GREGORY, S.; WILDMAN, R.; HUKSE, D.; ASHKENAS, L.; BOYER, K. Historical changes in hydrology, geomorphology, and floodplain vegetation of the Willamette River, Oregon. **River Research and Applications**, v.35, n.8, p.1279-1290, 2019. <https://doi.org/10.1002/rra.3495>.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAWKINS, C. P.; BARTZ, K. L.; NEALE, C. M. U. Vulnerability of Riparian Vegetation to Catastrophic Flooding: Implications for Riparian Restoration. **Restoration Ecology**, v.5, n.4S, p.75-84, 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1997.00075.x>.

HERZOG, C. P. **Cidade para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza**. Rio de Janeiro: Mauad, 2013.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 1-23, 1973. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>.

HOOKE, J. Flood impacts on vegetation and hydraulics in ephemeral channels and dynamics of recovery. **Journal of Ecohydraulics**, v.8, n.2, p.89-104, 2023. <https://doi.org/10.1080/24705357.2023.2189168>.

HUANG, S.; XIA, J.; WANG, G.; LEI, J. The impact of flood regime on river floodplain vegetation coverage: Insights from a 30-year Landsat record. **Journal of Hydrology**, v.626, 130355, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130355>.

HUBBLE, T. C. T.; RUTHERFORD, I. D. Evaluating the relative contributions of vegetation and flooding in controlling channel widening: the case of the Nepean River, southeastern Australia. **Australian Journal of Earth Sciences**, v.57, n.5, p.525-541, 2010. <https://doi.org/10.1080/08120099.2010.492910>.

LAURANCE, W.; SAYER, J.; CASSMAN, K. G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. **Trends in Ecology & Evolution**, v.29, n.2, p.107-116, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>.

LEE, K.; LEE, C.; BAEK, D.; PARK, G.; SHIM, T.; KIM, W.; CHO, K.; KIM, D. Vegetation destruction during an extreme flood: Multilevel modelling of an entire river in southern Korea. **Hydrological Processes**, v.37, n.12, e15051, 2023. <https://doi.org/10.1002/hyp.15051>.

LOPES, C.; TEIXEIRA, Z.; PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Identifying Optimal Cell Size for Geodiversity Quantitative Assessment with Richness, Diversity and Evenness Indices. **Resources**, v.12, n.6, 65, 26p., 2023. <https://doi.org/10.3390/resources12060065>.

OLOKEOGUN, O. S.; AYANLADE, A.; POPOOLA, O. O. Assessment of riparian zone dynamics and its flood-related implications in Eleyele area of Ibadan, Nigeria. **Environmental Systems Research**, v.9, n.1, 6, 11p., 2020. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00167-4>.

PAVLEK, K.; GAŠPAROVIĆ, M.; POEPPL, R. E. Assessing river corridor changes after anthropogenic vegetation removal: an object-based mapping approach. In: **EGU General Assembly 2024**, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-4096. 2025. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-4096>.

PERES, L. G. M.; LAQUES, A. E.; GURGEL, H. DA C. A PAISAGEM como ferramenta de análise de políticas públicas de conservação ambiental: o caso da fronteira Brasil – França. In: Castro, C. E.; Masullo, Y. A. G. (orgs.). **Gestão ambiental: uma diversificada ferramenta na consolidação de paradigma ecológico inovador**. São Luís: EDUEMA, 2016. 63-97. Disponível em: <http://imesc.ma.gov.br/portal/Post/view/6/114>. Acesso em: 2 fev. 2026.

POSSANTTI, I.; MÜLLER, J.; RUHOFF, A. (eds.) Cheias no Rio Grande do Sul - Base de dados e informações geográficas na Região Hidrográfica do Lago Guaíba e na Lagoa dos Patos em 2024. UFRGS, 2024. Disponível em: <https://storymaps.arcgis.com/stories/a81d69f4bccf42989609e3fe64d8ef48>. Acesso: 2 fev. 2026.

TONKIN, J. D.; MERRITT, D. M.; OLDEN, J. D.; REYNOLDS, L. V.; LYTLE, D. A. Flow regime alteration degrades ecological networks in riparian ecosystems. **Nature Ecology & Evolution**, v.2, n.1, p.86-93, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0379-0>.

VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 1998.