

## ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DILÚVIO, PORTO ALEGRE (RS): ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MORFOLOGIA ORIGINAL E ANTROPOGÊNICA

Carolina Martinelli dos Santos<sup>1</sup>, Nina Simone Vilaverde Moura<sup>1\*</sup>, Felipe Casanova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. *E-mails:* carolina.martinelli@ufrgs.br, nina.moura@ufrgs.br

<sup>2</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CEP 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *E-mail:* felipecasanovageo@gmail.com

\*Autor correspondente



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

### RESUMO

Este estudo analisa as mudanças hidrogeomorfológicas de cunho antropogênico na Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. O principal objetivo é identificar e analisar alterações na rede hidrográfica causadas pela urbanização, usando geoprocessamento e análise morfométrica. A metodologia incluiu coleta de dados históricos, digitalização e georreferenciamento, com ferramentas de Sistema de Informações Geográficas, especialmente através do *software ArcGIS Pro*, para manipulação de Modelos Digitais de Terreno (MDT), modelagem hidrológica, interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, vetorização e produção de mapas temáticos. Os resultados mostram mapas que permitem uma análise comparativa entre a situação original e a antropogênica, revelando que cerca de um terço dos cursos d'água foram alterados por retificação ou tamponamento nas últimas décadas, havendo uma diminuição significativa da sinuosidade do canal principal e uma redução de 5,39 km no comprimento total do Arroio Dilúvio, rio principal da bacia, fruto da retilinação. As mudanças no relevo, como a construção de aterros e a retilinação e tamponamento dos rios, modificaram a morfologia da bacia e impactaram os processos geomorfológicos e hidrológicos, afetando a infiltração, o escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo. O estudo contribui para compreender os efeitos da urbanização no ambiente natural e oferece subsídios para políticas públicas de ordenamento territorial e gestão sustentável dos recursos hídricos frente à emergência das mudanças climáticas.

*Palavras-chave:* Relevo tecnogênico; Geomorfologia antropogênica; Cartografia geomorfológica retrospectiva; Geomorfologia urbana; Antropoceno.

### ABSTRACT

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE ARROIO DILÚVIO RIVER BASIN, PORTO ALEGRE (RS): A COMPARATIVE STUDY BETWEEN ORIGINAL AND ANTHROPOGENIC MORPHOLOGY. This study analyzes anthropogenic hydrogeomorphological changes in the Arroio Dilúvio River Basin, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. The main goal is to identify and analyze alterations in the hydrographic network caused by urbanization, utilizing geoprocessing and morphometric analysis. The methodology included collecting historical data, scanning and georeferencing, using Geographic Information Systems (GIS) tools, particularly ArcGIS Pro software to model the Digital Terrain Models (DTM), hydrological

modeling, interpretation of aerial photographs and satellite imagery, vectorization, and thematic map production. The results are presented as maps that allow a comparative analysis between the original and anthropogenic situations. They reveal that approximately one-third of the watercourses have been altered by rectification or culverting in recent decades, demonstrating a significant decrease in the main channel's sinuosity and a reduction of 5.39 km in the total length of the Arroio Dilúvio due to channel straightening. Changes in the relief, such as landfill construction and the straightening and culverting of rivers, modified the basin's morphology and have induced geomorphological and hydrological processes, affecting infiltration, surface runoff, subsurface flow, and groundwater flow. This study contributes to understanding the effects of urbanization on the natural environment and provides subsidies for public policies concerning territorial planning and sustainable water resource management in the face of emerging climate change.

*Keywords:* Technogenic landforms; Anthropogenic geomorphology; Retrospective geomorphological mapping; Urban geomorphology; Anthropocene.

## RESUMEN

ANÁLISIS MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ARROYO DILÚVIO, PORTO ALEGRE (RS): ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MORFOLOGÍA ORIGINAL Y ANTROPOGÉNICA. Este estudio analiza los cambios hidrogeomorfológicos antropogénicos en la Cuenca del Arroyo Dilúvio, ubicada en Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. El objetivo principal es identificar y analizar las alteraciones en la red hidrográfica causadas por la urbanización, utilizando el geoprocesamiento y el análisis morfométrico. La metodología incluyó la recopilación de datos históricos, su digitalización y georreferenciación con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), particularmente usando ArcGIS Pro para la manipulación de Modelos Digitales del Terreno (MDT), modelado hidrológico, interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, vectorización y producción de mapas temáticos. Los resultados se presentan como mapas que permiten un análisis comparativo entre el estado original y el antropogénico. Revelan que aproximadamente un tercio de los cursos de agua han sido alterados por rectificación o entubamiento en las últimas décadas, mostrando una disminución significativa en la sinuosidad del canal principal y una reducción de 5.39 km en la longitud total del Arroyo Dilúvio, el río principal de la cuenca, debido a la rectificación del canal. Los cambios en el relieve, como la construcción de superficies planas y la rectificación y tamponamiento de los ríos, modificaron la morfología de la cuenca e indujeron procesos geomorfológicos e hidrológicos, afectando la infiltración, la escorrentía superficial, el flujo subsuperficial y el flujo de aguas subterráneas. Este estudio contribuye a la comprensión de los efectos de la urbanización en el medio ambiente natural y proporciona subsidios para políticas públicas relacionadas con la planificación territorial y la gestión sostenible de los recursos hídricos frente a la emergencia del cambio climático.

*Palavras chave:* Relieve tecnogénico; Geomorfología antropogénica; Cartografía geomorfológica retrospectiva; Geomorfología urbana; Antropoceno.

## 1 INTRODUÇÃO

A Geomorfologia Antropogênica se apresenta como um campo disciplinar relativamente recente no escopo da Geomorfologia, com maior desenvolvimento a partir da década de 1970,

quando, com a ascensão das preocupações a respeito da questão ambiental, os efeitos da agência humana foram inseridos nas pesquisas em geomorfologia como “fator antrópico”. Embora o fator antrópico tenha sido incluído na pesquisa em Geografia Física com o desenvolvimento da

abordagem sistêmica no início do século XX, no contexto da Geomorfologia, verifica-se um aumento dessas pesquisas a partir da década de 1970 (Suertegaray, 2018). A partir dos anos 2000, com a ampliação das discussões a respeito do Antropoceno, a época geológica em que o ser humano é considerado um agente de mudanças geológicas e geomorfológicas, a Geomorfologia Antropogênica ganha ainda maior destaque e corpo teórico no contexto dos estudos ambientais e, sobretudo, nas pesquisas em Geografia (Crutzen & Stoermer, 2000; Goudie & Viles, 2016; Moura et al., 2023; Rodrigues, 2024; Szabó, 2010).

Está no escopo da Geomorfologia Antropogênica a compreensão da tríade geomorfológica (forma, processo e material) frente às mudanças ocasionadas pela agência humana, que resulta na criação do relevo tecnogênico. Considera-se que, a partir de diferentes ações, propositais ou não, os agentes humanos podem criar, intensificar, atenuar, bloquear ou induzir os processos geomorfológicos, acarretando diferentes formas tecnogênicas em diferentes ambientes (Moura et al., 2023; Szabó, 2010). Nesse sentido, a Geomorfologia Antropogênica possui campo bastante amplo e pode investigar tanto os impactos nos sistemas fluviais, quanto nos sistemas de encosta ou costeiros, por

exemplo, desde que esses sistemas tenham sido modificados pela agência humana.

Este estudo analisa as mudanças hidrogeomorfológicas na Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A área drenada pela Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio abrange 81,67 km<sup>2</sup>, representando cerca de 16% da área total do município de Porto Alegre, caracterizada por uma intensa ocupação urbana, onde vive cerca de um terço da população do município (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022). O Arroio Dilúvio, canal principal da bacia hidrográfica, cruza a cidade de Porto Alegre de leste a oeste, tendo suas nascentes no Parque Natural Municipal Saint'Hilaire, no município vizinho, Viamão. O arroio percorre uma extensão de 17,6 km até desaguar no Lago Guaíba (Figura 1).

Grande parte das intervenções na Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, especialmente no curso inferior da bacia, está ligada à urbanização de Porto Alegre, intensificada a partir de 1940, após a enchente de 1941 (Bublitz, 2019). Na enchente de 1941, o nível da água do lago Guaíba alcançou 4,76 m de altura. Como resposta, a cidade criou um *Sistema de Proteção Contra as Cheias* com 68 quilômetros de diques, 2,5 km de muros, 14 comportas e 19 casas de bombas. Essas obras retificaram cerca de 12 km do curso inferior do Ar-

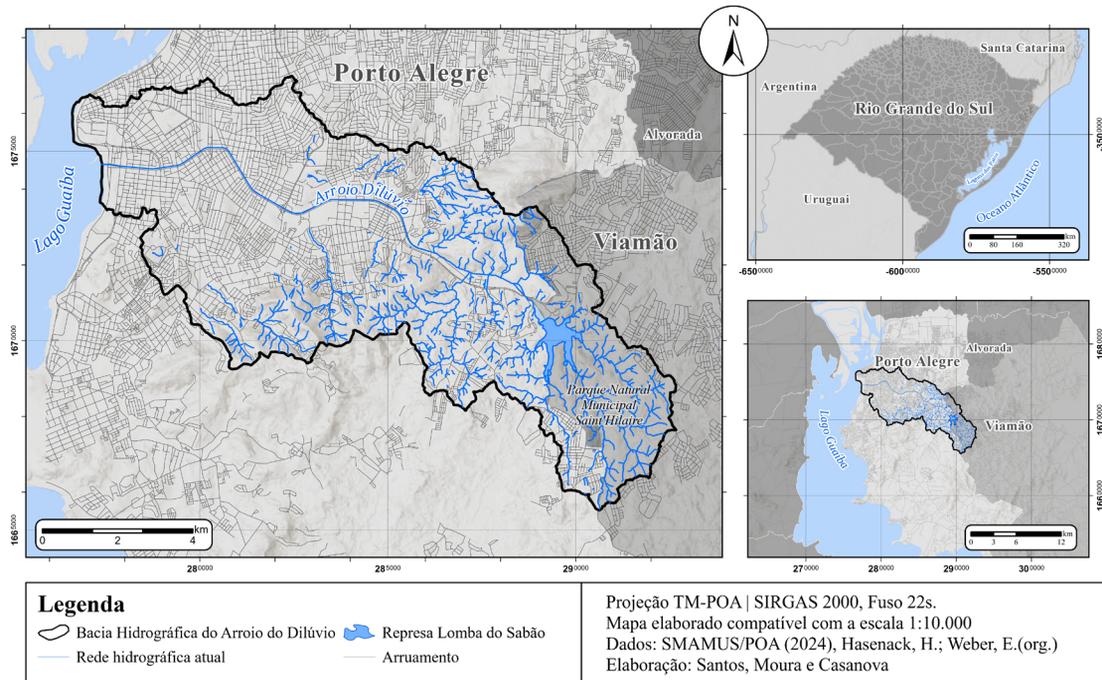


FIGURA 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio.

FIGURE 1 – Location map of the Arroio Dilúvio Watershed.

roio Dilúvio, desviando e alterando a localização de sua foz.

Recentemente, durante o evento de inundação ocorrido em maio de 2024 em Porto Alegre, a marca histórica onde o nível da água chegou em 1941 (4,76 m) foi superada em quase um metro pelas chuvas de 2024 (5,3 m). Embora o *Sistema de Proteção Contra as Cheias* tenha sido projetado para resistir a inundações de até seis metros, o sistema de contenção das inundações não foi eficiente. As falhas se deram nos pontos de abertura do muro. As comportas não foram bem vedadas. E no momento crucial não teve energia elétrica para bombear água de dentro para fora do sistema, conforme Collischonn em entrevista para o *GI* (Pontes, 2024)<sup>1</sup>.

Este trabalho analisa comparativamente a rede hidrográfica original (pré-urbanização) e a rede de hidrográfica antropogênica (pós-urbanização) da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio (Figura 1), tendo como objetivo principal identificar as mudanças antropogênicas nos canais fluviais e as consequentes alterações nos processos hidrogeomorfológicos. A metodologia incluiu coleta de dados históricos, digitalização e georreferenciamento, com ferramentas de SIG, especialmente ArcGIS Pro, para manipulação de Modelos Digitais de Terreno (MDT), interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, vetorização e criação de mapas temáticos.

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) assegura que as atividades de agência humana aumentaram a temperatura global média em 1°C no último século, afetando a dinâmica climática e, consequentemente, intensificando os eventos extremos, entre outras consequências. Com base na abordagem da Geomorfologia Antropogênica, este estudo é fundamental para identificar impactos ambientais e ajudar na adaptação e mitigação de desastres naturais associados aos processos fluviais e de encosta, pois avaliam a suscetibilidade natural aos referidos processos (Moura & Moran, 2017). O produto desta pesquisa contribui para a elaboração de políticas de planejamento urbano e ambiental voltadas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas em escala local diante dos riscos indicados pelo IPCC (2023).

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS

A Geomorfologia Antropogênica investiga os impactos da agência humana sobre a dinâmica geomorfológica, considerando o funcionamento da tríade geomorfológica: forma, processo e material, reconhecendo as modalidades de intervenção urbana e situação de instabilidade a elas associadas (Rodrigues, 1997). Essa abordagem considera que o agenciamento humano é capaz de criar formas e depósitos tecnogênicos; induzir, acelerar, atenuar ou bloquear os processos geomorfológicos (Moura et al., 2023; Szabó, 2010).

Para identificar e compreender as mudanças no relevo ocasionados por agentes humanos, a Geomorfologia Antropogênica recorre à Cartografia Geomorfológica Retrospectiva. Essa abordagem histórica, geomorfológica e cartográfica se constitui na utilização de documentos cartográficos antigos, fotografias aéreas históricas, pinturas, relatos e descrições a respeito de uma paisagem pretérita e quaisquer outros documentos capazes de descrever a paisagem anterior ao agenciamento humano (Gouveia, 2011; Moura, 2011; Rodrigues, 2011; Rodrigues et al., 2024). Dessa forma, torna-se possível a retrospectiva do relevo anterior às intervenções humanas, possibilitando dimensionar e temporalizar as mudanças geomorfológicas em múltiplas escalas temporais e espaciais.

No estudo comparativo entre a situação original e antropogênica, são identificados feições e processos que são de interesse da geomorfologia fluvial, a qual engloba o estudo dos cursos de água e o das bacias hidrográficas. Enquanto o primeiro se detém nos processos fluviais e nas formas resultantes do escoamento das águas, o segundo considera as principais características das bacias hidrográficas que condicionam o regime hidrológico.

O desenvolvimento dos métodos e técnicas da pesquisa relacionada à geomorfologia fluvial permite analisar as variabilidades espacial e temporal das mudanças e os mecanismos dos processos de mudança no sistema fluvial. Entre as técnicas que envolvem os estudos da Geomorfologia Fluvial se encontra a fisiografia fluvial e a análise morfométrica. Para Guerra e Cunha (1994), a fisiografia fluvial pode ser entendida sob o ponto de

<sup>1</sup> É importante esclarecer que embora as intervenções antropogênicas no relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio estejam relacionadas com os impactos na inundação de maio de 2024, a escala dos fenômenos de precipitação é significativamente maior, deste modo, não se atribui exclusivamente à urbanização o aumento do nível do Guaíba. O presente trabalho não busca explicar diretamente as inundações, mas sim analisar como as modificações morfológicas podem influenciar o tempo de retenção das águas nas partes baixas da bacia, como nas planícies de inundação e nas superfícies planas aterradas.

vista dos tipos de leito (vazante, leito menor, maior e excepcional), canal (retilíneo, anastomosado e meândrico) e a geometria da rede hidrográfica (dendrítica, retangular, paralela, radial etc.).

As análises morfométricas das bacias hidrográficas estão relacionadas aos estudos quantitativos da Geomorfologia Fluvial que permitem inferir aspectos da morfodinâmica e hidrodinâmica de uma bacia hidrográfica (Christofoletti, 1980). Os parâmetros das bacias hidrográficas, como área, forma, hipsometria, comprimento e declividade do canal, são cruciais para analisar a duração do pico de cheia. Além disso, o comprimento dos canais influencia a sedimentação; a forma da bacia, o gradiente topográfico, a litologia e as estruturas geológicas determinam o escoamento e a descarga das bacias.

A aplicação de parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas indicam tendências de comportamentos hidrológicos em decorrência das intervenções urbanas, tais como a construção de pavimentos, prédios e moradias ao longo dos canais fluviais, os quais favorecem problemas de enchentes, perdas materiais, vetores hídricos de doenças gravíssimas e até perdas de vidas humanas em casos de maior extremidade.

No contexto dos estudos sobre os rios urbanos brasileiros, Luz (2024), Pelech e Peixoto (2020) e Simas et al. (2024) demonstram a importância da integração das abordagens da Geomorfologia Antropogênica e da Geomorfologia Fluvial,

visto que ainda há uma carência de investigações nesse campo, abrindo inúmeras possibilidades de integração e de pesquisa. O uso das abordagens da cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva no contexto da Geomorfologia Fluvial oferece um olhar geográfico sobre a evolução da paisagem fluvial tecnogênica, considerando os aspectos dos sistemas sócio-biofísicos na configuração dos rios urbanos, da dinâmica fluvial, das formas resultantes e das suscetibilidades criadas e induzidas através da agência humana.

### 3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

#### 3.1 Materiais

A primeira etapa deste trabalho consistiu na coleta e tratamento de documentos cartográficos históricos da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, que foram georreferenciados e vetorizados em *software* de SIG. Com a utilização desses dados foi possível, posteriormente, identificar as mudanças hidrogeomorfológicas na fisiografia fluvial e morfométrica após a urbanização. O Quadro 1 mostra os materiais cartográficos, escala, ano e fonte usados na pesquisa.

Salientamos que o MDT foi gerado pelo Consórcio Guaíba através do serviço de mapeamento e atualização cadastral do município de Porto Alegre

QUADRO 1 – Materiais cartográficos analógicos e digitais utilizados na pesquisa. Elaboração dos autores (2025).

BOX 1 – Analog and digital cartographic materials used in the research. Prepared by the authors (2025).

<i>Material</i>	<i>Escala</i>	<i>Ano</i>	<i>Fonte<sup>2</sup></i>
Planta da Cidade de <i>Porto-Allegre</i>	1:250 braça <sup>3</sup>	1839	IHGRS
Planta de Porto Alegre	1:20.000	1888	IHGRS
Planta da Cidade de Porto Alegre	1:13.400	1906	IHGRS
Cartas Topográficas de Porto Alegre (VI, X, XI, XV, XVI, XX e XX)	1:10.000	1941	SMAMUS/POA
Cartas do Aerolevante Fotogramétrico de Porto Alegre	1:1.000	2010	SMAMUS/POA
Modelo Digital do Terreno (resolução 1m)	1:1.000	2010	Consórcio Guaíba
Cartas Topográficas e Ortofotos de Porto Alegre e Viamão (PORTO ALEGRE - SH-22-Y-B-III-2-NO - 2987-2-NO / PORTO ALEGRE - SE - SH-22-Y-B-III-2-SE - 2987-2-SE / VIAMÃO - SH-22-Y-B-III-2-NE - 2987-2-NE)	1:25.000	2019	IEDE/RS

<sup>2</sup> IHGRS - Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul; SMAMUS/POA - Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade de Porto Alegre; IEDE/RS - Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais do Rio Grande do Sul.

<sup>3</sup> 250 braça equivale a aproximadamente 550 metros.

realizado em 2010, cujo controle de qualidade foi realizado por Zanardi et al. (2014). Esse modelo foi gerado a partir do método de LiDAR (Light Detection and Ranging), que consiste em levantamentos aéreos que utilizam laser para medir distâncias e criar modelos de elevação de alta precisão. Nesse sentido, a escolha por esse modelo consiste, fundamentalmente, em sua resolução e acurácia<sup>4</sup>.

Destaca-se que por serem mais antigos, os mapas de 1839, 1888 e 1906 foram utilizados no processo de validação e conferência dos canais fluviais que foram vetorizados a partir das Cartas Topográficas de Porto Alegre do ano de 1941. As cartas do aerolevante fotogramétrico de Porto Alegre de 2010 e as ortofotos de Porto Alegre e Viamão em resolução espacial de 1m foram utilizados para a identificação e vetorização dos canais fluviais atuais, junto da modelagem hidrológica do MDT.

### 3.2 Procedimentos operacionais

Este artigo foi elaborado em quatro etapas: revisão da literatura, reconstituição da rede hidrográfica original e atual da bacia hidrográfica, caracterização do relevo e uso da terra, e análise dos parâmetros morfométricos originais e antropogênicos da rede hidrográfica, fundamentado na abordagem da Geomorfologia Antropogênica.

#### 3.2.1 Rede hidrográfica original e antropogênica

A digitalização e o georreferenciamento dos mapas históricos foram realizados no *ArcGIS Pro*, utilizando, como base cartográfica, as cartas do aerolevante fotogramétrico de Porto Alegre do ano de 2010 em escala 1:1.000 (SMAMUS/POA, 2010) na projeção oficial do município de Porto Alegre (Transversa de Mercator para Porto Alegre). O modelo de transformação adotado para o georreferenciamento foi polinomial de 1º ordem, foram distribuídos em média 20 pontos de controle nas bordas e no centro das cartas, visando garantir uma cobertura espacial adequada. Foi obtida uma acurácia horizontal global de 3,4 m. Considerando a área total da bacia hidrográfica, a escala do mapeamento e os objetivos do trabalho, consideramos esta acurácia satisfatória.

A hidrografia original do Arroio Dilúvio foi obtida e vetorizada diretamente a partir das cartas topográficas de 1941 em escala 1:10.000. A escolha pela vetorização dessas cartas e não dos

mapas mais antigos é pela riqueza de detalhes deste produto. Os mapas mais antigos, de 1839, 1888 e 1906 foram referências históricas para a complementação da interpretação e vetorização das cartas de 1941, visto que, mesmo naquele momento, alguns canais fluviais já haviam sido modificados, sobretudo no trecho inferior da bacia. Salientamos que embora o sistema de referência geodésica das cartas e mapas antigos sejam anteriores ao atual SIRGAS 2000, devido a escala de detalhe deste trabalho (1:10.000), possíveis distorções devido a técnicas pretéritas na produção desses mapas não comprometem o resultado geral do que será apresentado. Esses aspectos já foram observados e descritos por Rodrigues (2024) em trabalho sobre o uso de cartografia histórica na Geomorfologia Antropogênica.

Para complementar a identificação dos cursos d'água originais foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT) e as ferramentas *ArcHydro Tools* no *ArcGIS Pro*. Inicialmente, aplicou-se a operação *Fill Sinks* para eliminar depressões no MDT. Em seguida, a ferramenta *Flow Direction* gerou um *raster* indicando a direção predominante do fluxo, enquanto a *Flow Accumulation* identificou áreas de maior concentração hídrica.

A definição do limiar de fluxo foi realizada no *Raster Calculator*, sendo posteriormente refinada com a função condicional (*Con*), que categorizou as células excedentes do limiar como parte da rede hidrográfica. Por fim, a conversão para formato vetorial ocorreu por meio da ferramenta *Stream to Feature*, permitindo a comparação entre a hidrografia original e a rede atual obtida por fotointerpretação. A partir desses procedimentos, percebeu-se que o modelo hidrológico correspondeu às vetorizações realizadas das cartas de 1941 e com os mapas de 1839, 1888 e 1906. Nesse sentido, esse procedimento foi fundamental na complementação da rede hidrográfica original, sobretudo nos pontos em que canais fluviais já haviam sido tamponados ou retelinizados em 1941.

A rede de drenagem atual foi obtida através da vetorização das cartas do aerolevante fotogramétrico de 2010 e das ortofotos de Porto Alegre e Viamão de 2019 (PORTO ALEGRE - SH-22-Y-B-III-2-NO - 2987-2-NO / PORTO ALEGRE - SE - SH-22-Y-B-III-2-SE - 2987-2-SE / VIAMÃO - SH-22-Y-B-III-2-NE - 2987-2-NE).

<sup>4</sup> Ressalta-se que, embora produzido pelo Consórcio Guaíba, o MDT foi disponibilizado já georreferenciado com a projeção TM-POA pela Prof. Dra. Andrea Lopes Iescheck, do Departamento de Geodésia da UFRGS.

### 3.2.2 Relevo e uso da terra

A análise da hipsometria da área de estudo foi realizada de acordo com a variação média das altitudes do relevo estabelecida a partir da distribuição espacial das curvas de nível e dos pontos cotados do terreno. Desse modo foram discriminadas classes hipsométricas com intervalos de 20 m.

O estudo das declividades do relevo definiu 4 intervalos de declividades: até 6% que correspondem às áreas muito planas, no qual predominam processos de deposição; de 6 a 12% com área planas com risco baixo à erosão; de 12 a 20% com um risco moderado à erosão; de 20 a 30% com risco alto à erosão e movimentos de massa e; acima de 30% com risco muito alto à erosão e movimentos de massa.

O mapa geomorfológico foi adaptado do Mapa Geomorfológico de Porto Alegre, Viamão e Alvorada de Moura et al. (2013) para a área de estudo. Através da sobreposição de vetores e ar-

quívos *shapefiles*, foi possível trazer à análise a dinâmica fluvial com as formas de relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio.

O Mapa de Uso da Terra foi produzido a partir de fotointerpretação das ortofotos de 2019 citadas no quadro 1; devido a escala de trabalho (1:25.000), foram determinadas três classes de uso da terra (área edificada/solo exposto, campos e florestas) e, posteriormente, vetorizadas através do *software ArcGIS PRO*, dando ênfase à área da bacia.

### 3.2.3 Parâmetros morfométricos

Os parâmetros morfométricos foram aplicados na rede hidrográfica original e antropogênica da bacia hidrográfica, indicando as tendências de comportamentos hidrológicos em decorrência das intervenções urbanas. As variáveis, parâmetros e conceitos adotados para a análise desta pesquisa estão detalhados no Quadro 2.

QUADRO 2 – Parâmetros morfométricos adotados nesta análise. Elaboração dos autores (2025).

BOX 2 – Morphometric parameters adopted in this analysis. Prepared by the authors (2025).

Variável/ Parâmetro	Sigla/ Fórmula	Unidade	Conceito
Área	$A$	km <sup>2</sup>	Superfície total ocupada pela bacia hidrográfica, projetada em um plano (Christofoletti, 1980).
Perímetro	$P$	km	Comprimento total da linha que delimita a bacia, também conhecido como divisor de águas (Christofoletti, 1980).
Amplitude Altimétrica	$H = H_{max} - H_{m}$	m	Diferença entre a elevação máxima ( $H_{max}$ ) e mínima ( $H_{m}$ ) dentro da bacia. Amplitudes maiores indicam relevos mais acidentados, que podem influenciar o escoamento e a erosão (Christofoletti, 1980).
Hierarquia Fluvial	–	ordem	Ordena os cursos d'água dentro de uma bacia hidrográfica de acordo com sua ordem e estrutura. Strahler (1952) propõe que a classificação começa pela menor ordem (1ª ordem) para os canais mais simples, sem afluentes e quando dois cursos d'água de mesma ordem se encontram, o curso resultante recebe uma ordem superior (2ª ordem). Esse sistema continua até a formação de rios de maior ordem, refletindo a complexidade e o grau de desenvolvimento da rede hidrográfica.
Comprimento total da rede hidrográfica	$L_t$	km	Soma de todos os canais de drenagem presentes na bacia (Christofoletti, 1980).
Comprimento do canal principal	$C_p$	km	Medida do arroio principal da bacia (Christofoletti, 1980).
Densidade de drenagem	$D_d = L_t/A$	km/km <sup>2</sup>	Indica a eficiência com que a bacia drena. Bacias com alta densidade têm redes de drenagem mais ramificadas e podem responder mais rapidamente a eventos de precipitação (Vilella & Mattos, 1975).
Índice de sinuosidade (S)	$S = C_p/L_r$	adimensional	Compara o comprimento real do canal principal ( $C_p$ ) com seu comprimento em linha reta ( $L_r$ ). Índices superiores a 1 indicam maior sinuosidade (Vilella & Mattos, 1975).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Características do relevo e uso da terra

A Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio está situada principalmente sobre terrenos cristalinos do Planalto Uruguaio Sul-riograndense, compostos por rochas graníticas e gnáissicas pré-cambrianas (Marth, 2017). Também abrange a Planície e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul, com sedimentos das formações Laguna-Barreira I, II, III e IV retrabalhados ao longo do Quaternário (Moura, 2022; Villwock & Tomazelli, 1995). As nascentes se relacionam com as formas dos morros e colinas do Planalto Uruguaio Sul-Riograndense. Já as planícies e os terraços fluviais do Arroio Dilúvio estão sobre a Planície e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul. A Figura 2 mostra a bacia hidrográfica no mapa geomorfológico de Porto Alegre de Moura et al. (2013).

Os mapas hipsométrico e clinográfico revelam altitudes de 0 a 311 m na bacia hidrográfica e declividades predominantes nos intervalos menores que 6% e entre 6% e 20%. As maiores altitudes (superior a 150m) e declividades (maiores que

20%) estão representadas no compartimento de morros (Figura 3). O Morro Santana possui a maior elevação da bacia hidrográfica e do município de Porto Alegre (311 m). As áreas de terraços e planícies fluviais possuem altitudes muito baixas, ou seja, próximas ao nível médio das águas do Lago Guaíba.

O Arroio Dilúvio atravessa diferentes compartimentos de relevo (morros, colinas, terraços e planícies), desde as nascentes nas colinas no limite com o município de Viamão, até desembocar no Lago Guaíba (Figura 2). Nas áreas de morros e colinas, predominam canais mais estreitos e vales encaixados, com maiores declividades, o que favorece o escoamento rápido das águas e processos erosivos mais intensos. Conforme os afluentes e o canal principal se aproximam das áreas de terraços e planícies, observa-se um alargamento progressivo do vale, com canais mais sinuosos e menor declividade, permitindo maior deposição de sedimentos e o desenvolvimento de áreas úmidas. Essa variação do relevo também condiciona o uso da terra nas margens do arroio, que vai desde ocupações urbanas densas até remanescentes significativos de vegetação florestal (incluindo mata ciliar) e campos (Figura 4).

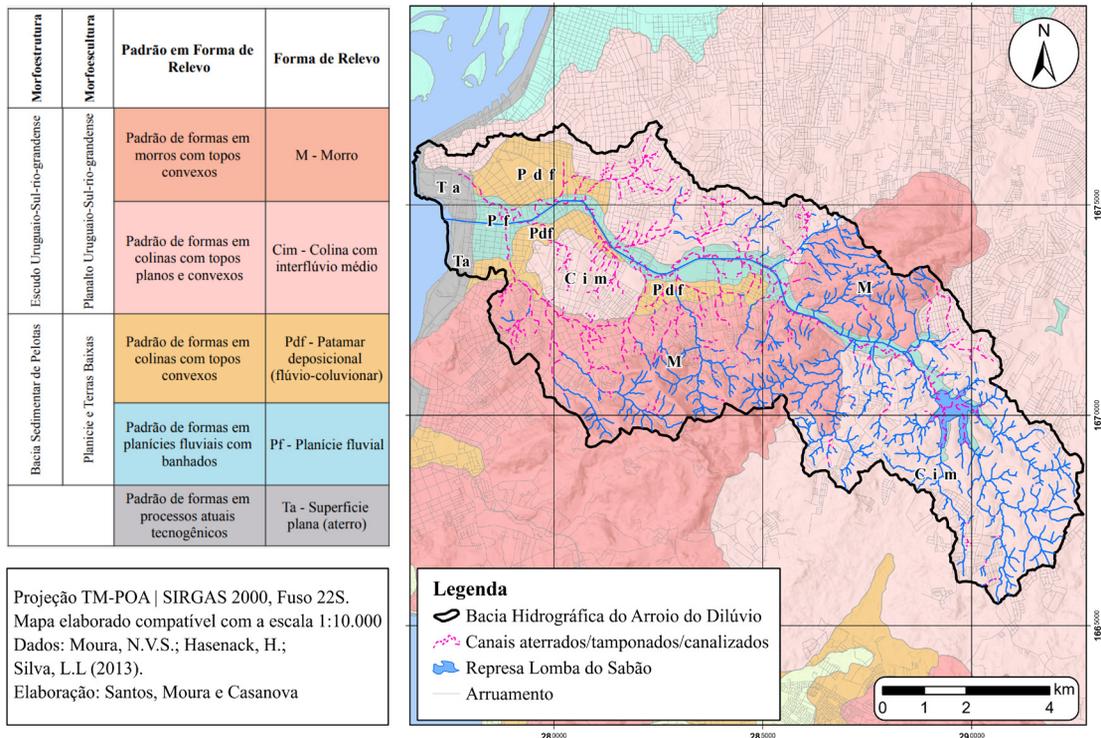


FIGURA 2 – Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio.

FIGURE 2 – Geomorphological map of the Arroio Dilúvio Watershed.

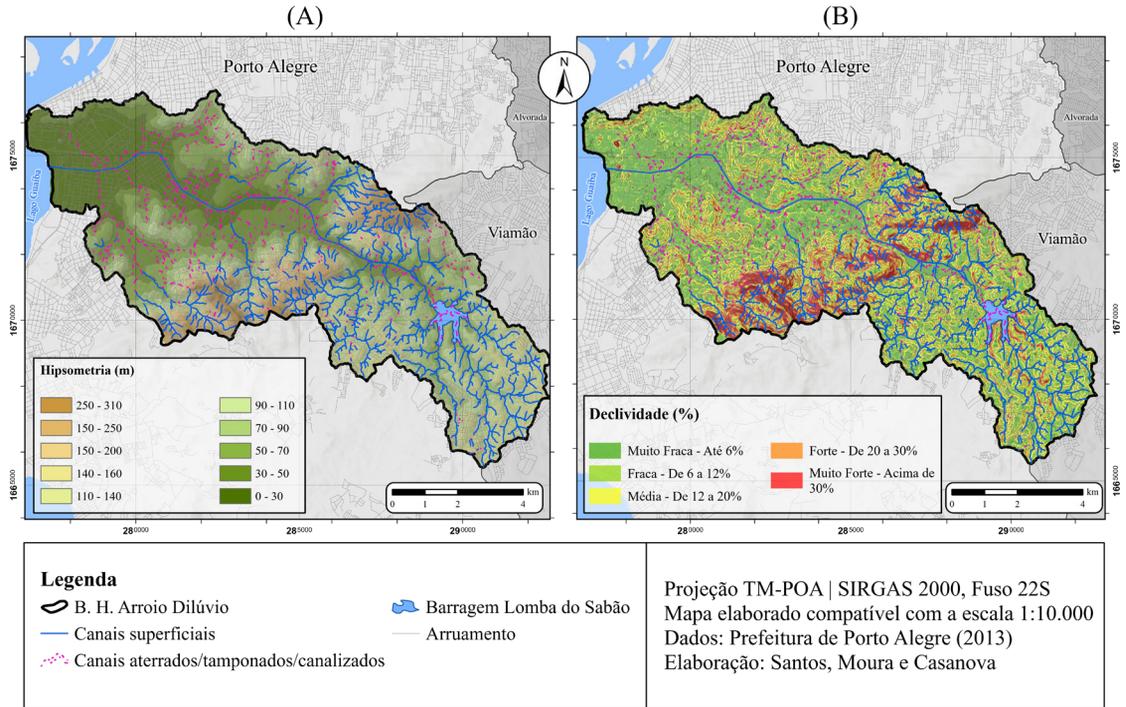


FIGURA 3 – Mapa hipsométrico (A) e clinográfico (B) da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio.

FIGURE 3 – Hypsometric map (A) and slope map (B) of the Arroio Dilúvio Watershed.

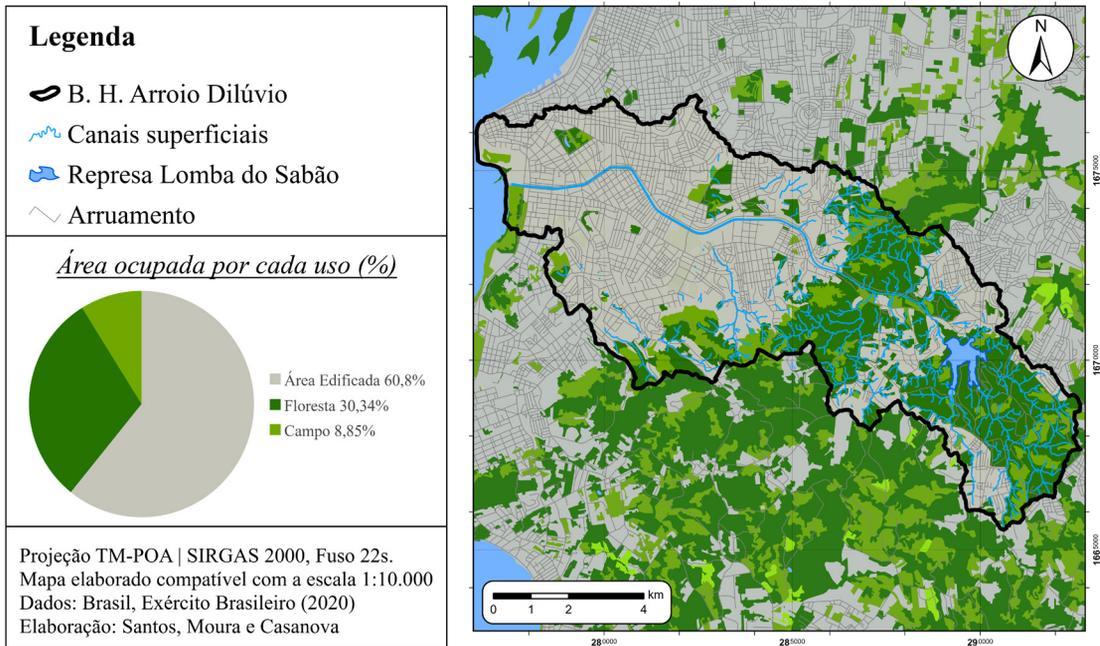


FIGURA 4 – Mapa do uso da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio.

FIGURE 4 – Land use map of the Arroio Dilúvio Watershed.

Nesse contexto, a fisiografia fluvial do arroio Dilúvio apresenta uma diversidade em suas características (canais, padrão de drenagem, altitude e declividade), que podem ser caracterizados em três setores, segundo Menegat et al. (1998): no curso superior, no segmento das cabeceiras, seus afluentes possuem canais pouco sinuosos e planícies fluviais quase inexistentes, com leitos rochosos e algumas quedas d'água, onde predominam processos erosivos; no curso médio, o Arroio Dilúvio atravessa perpendicularmente (NE-SO) um compartimento de morros, reduzindo a planície fluvial. Nas altitudes mais elevadas no compartimento de morros, observa-se a rede hidrográfica se próxima da original com cobertura vegetal significativamente preservada e, no trecho inferior do Arroio Dilúvio, os afluentes têm suas nascentes localizadas em áreas de colinas caracterizadas por menores altitudes e declividades. Essas regiões correspondem ao núcleo urbano, atual Centro Histórico, que apresenta grande densidade ocupacional. A área passou por diversas intervenções, como retificação de cursos d'água, implantação de dispositivos de controle de cheias, além do tamponamento, aterramento e canalização de um número significativo de afluentes do Arroio Dilúvio, especialmente os canais de 1ª e 2ª ordens.

No segmento final, antes da retificação, o curso principal apresentava-se de forma meandrante em uma planície fluvial de cerca de 2,5 km de largura. Esta planície fluvial era constantemente inundada na época das cheias, quando o volume de água ultrapassava a capacidade de transporte do canal. A planície fluvial do Arroio Dilúvio era formada por extensas áreas úmidas (banhados). A foz do arroio era marcada por bancos de areia que se formavam paralelos à margem. Esses bancos eram constantemente retrabalhados pelo fluxo do canal ou pela subida do nível do lago ocasionada pelo vento ou por inundações periódicas (Menegat et al., 1998).

A Figura 4 ilustra o uso atual da terra na bacia hidrográfica. O mapa indica que 60,8% da área é ocupada por edificações, enquanto as florestas representam 30,34% e os campos compreendem 8,85%, localizados principalmente nas proximidades das nascentes no Parque Municipal Saint'Hillaire, em Viamão. Observa-se que os cursos d'água localizados no trecho superior e médio da bacia hidrográfica apresentam maior cobertura vegetal em comparação com o curso inferior, que é predominantemente urbanizado.

Esses dados refletem a intensa ocupação urbana e a conseqüente pressão sobre os recursos naturais, indicando a predominância de áreas edificadas

que resultam na redução das superfícies permeáveis, que altera os padrões de escoamento e intensifica os eventos de inundação, alagamentos e enxurradas.

#### 4.2 Padrão de drenagem, canais fluviais e hierarquia fluvial

A Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio possui um padrão de drenagem dendrítico, comum em áreas com topografia e substrato rochoso homogêneos, facilitando a distribuição de fluxos de água (Christofolletti, 1980). A análise da rede hidrográfica em relação ao relevo sugere que as áreas de maior elevação contribuem significativamente para o fluxo hídrico, afetando tanto a velocidade quanto a capacidade de transporte de sedimentos. A Figura 5 (a e b) apresenta a rede hidrográfica original em comparação com a situação atual, demonstrando as mudanças na rede hidrográfica decorrentes da agência humana. Verifica-se que aproximadamente 37% dos cursos d'água foram tamponados, aterrados e/ou integrados à rede de esgoto pluvial.

Além disso, todo o percurso inferior do Arroio Dilúvio foi canalizado, alterando seu trajeto e transformando um padrão de canal meândrico em retilíneo. A redução da sinuosidade implica na maior velocidade de fluxo de água, reduzindo o tempo de concentração da água na bacia hidrográfica. O aumento da velocidade de água à jusante, intensifica os processos erosivos à montante, acarretando aumento da deposição de materiais nos canais fluviais, reduzindo a profundidade do trecho inferior. O assoreamento do Arroio Dilúvio se apresenta como um problema ambiental, sanitário e econômico para a cidade de Porto Alegre; somente no ano de 2022, foram gastos cerca de R\$ 9.000.000,00 em dragagens para o seu desassoreamento, de onde se tirou cerca de 250.000 m<sup>3</sup> de sedimentos nesse mesmo ano, de acordo com o Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre (DMAE, 2022).

A drenagem possui hierarquia fluvial de 6ª ordem, conforme a classificação de Strahler (1952 apud Christofolletti, 1980), com orientação do canal principal no sentido leste a oeste, tendo suas nascentes no Parque Natural Municipal Saint'Hillaire, no município vizinho, Viamão, até desaguar no Lago Guaíba (Figura 6 e Tabela 1).

A rede hidrográfica original é composta por 837 segmentos de canais fluviais que juntos apresentam extensão de 304,88 km, enquanto a rede hidrográfica atual possui 651 segmentos de canais fluviais com extensão de 191,68 km. Observa-se uma diminuição significativa nos comprimentos

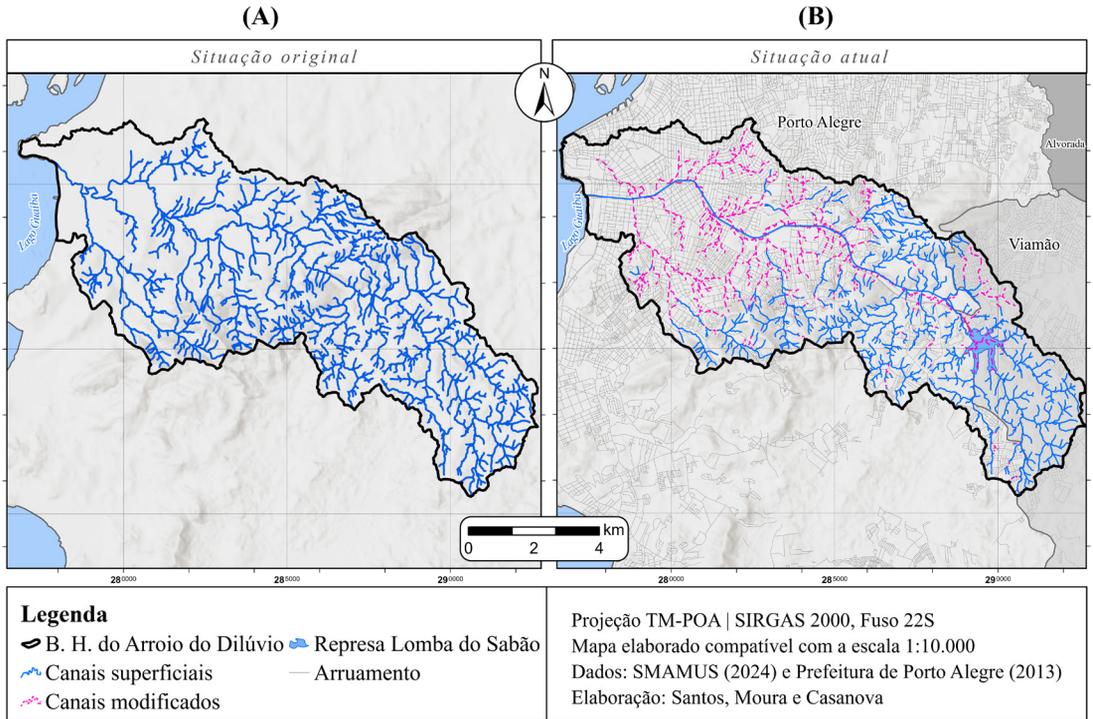


FIGURA 5 – Mapa da rede hidrográfica original (A) e atual (B).

FIGURE 5 – Original (A) and current (B) hydrographic network map.

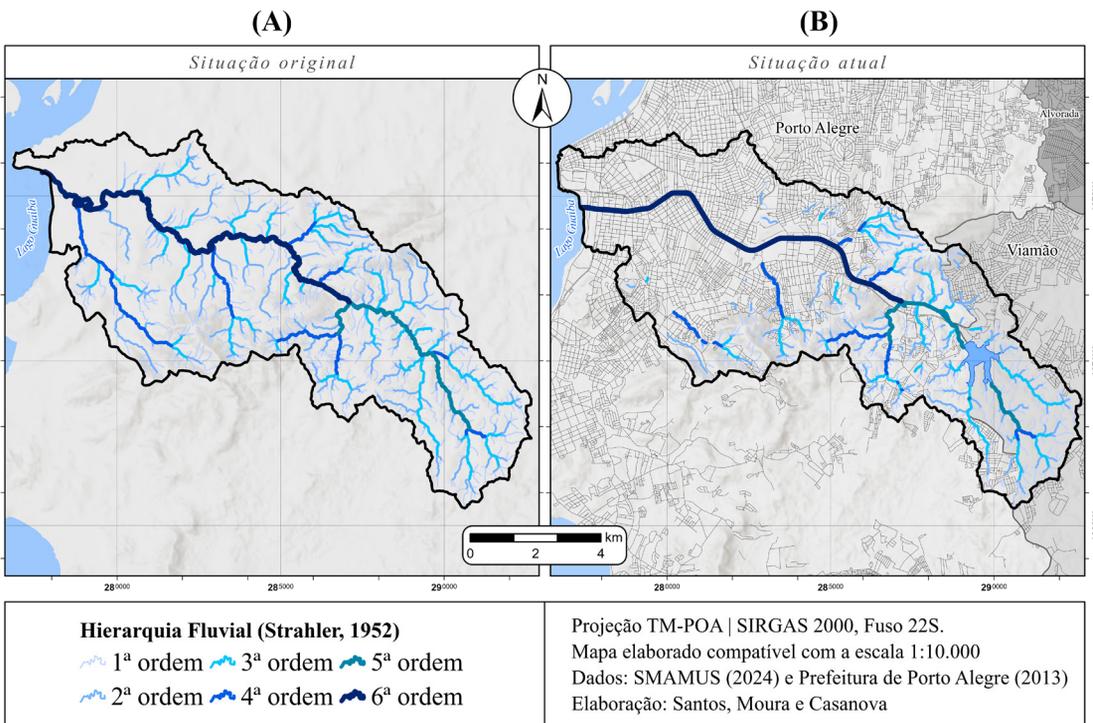


FIGURA 6 – Mapa da hierarquia fluvial original (A) e atual (B).

FIGURE 6 – Map of the original (A) and current (B) fluvial hierarchy.

dos canais de todas as ordens, com destaque aos cursos de 1ª e 2ª ordem, situados nos segmentos de vertentes superiores dos compartimentos de colinas, os quais correspondem às áreas mais urbanizadas do município. Essas mudanças demonstram que a rede perdeu parte significativa de sua extensão, havendo uma redução no comprimento total da rede hidrográfica de 113,2 km e uma redução de 186 canais. Embora o número de segmentos fluviais de 5º e 6º ordem não tenha sido alterado, estes tiveram seus canais modificados devido à pressão urbana. Isso acarreta consequências diretas na dinâmica hidrológica, como a redução da infiltração, aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, da ocorrência de inundações. Além disso, observa-se a aceleração dos processos erosivos e a alteração nos padrões de sedimentação, gerando impactos adicionais sobre a qualidade da água (Tabela 1).

#### 4.3 Análise dos parâmetros morfométricos

Parâmetros como área, perímetro, amplitude altimétrica, comprimento do canal, densidade de

drenagem e índice de sinuosidade são fundamentais para prever como a bacia responde a chuvas intensas, como se formam os escoamentos superficiais e qual é o seu potencial de erosão. A comparação entre esses parâmetros fornece uma base para avaliar o impacto de intervenções humanas e mudanças geomorfológicas na região. A Tabela 2 apresenta alguns índices morfométricos da Bacia Hidrográfica do Arroio do Dilúvio na drenagem original em comparação com a rede hidrográfica antropogênica. Os parâmetros foram calculados com base nas variáveis apresentadas no Quadro 2.

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Dilúvio tem sofrido diversas alterações que afetam seus parâmetros morfométricos, refletindo mudanças significativas na dinâmica hidrológica e geomorfológica. Grande parte dessas modificações é causada por intervenções humanas ao longo do processo de urbanização.

A área e o perímetro da bacia aumentaram de 79,57 km<sup>2</sup> para 81,67 km<sup>2</sup> e de 58,32 km para 59,02 km, respectivamente, devido à construção de aterros à margem leste do Lago Guaíba. A im-

TABELA 1 – Hierarquia fluvial da bacia. Elaboração dos autores (2025).

TABLE 1 – Fluvial hierarchy of the basin. Prepared by the authors (2025).

Parâmetro	Valor Original	Valor Atual
Comprimento dos canais de 1ª Ordem	146,31 km	91,48 km
Comprimento dos canais de 2ª Ordem	77,68 km	47,68 km
Comprimento dos canais de 3ª Ordem	40,57 km	24,46 km
Comprimento dos canais de 4ª Ordem	16,04 km	9,68 km
Comprimento dos canais de 5ª Ordem	8,59 km	6,69 km
Comprimento dos canais de 6ª Ordem	16,08 km	11,65 km
Comprimento total da rede hidrográfica	304,88 km	191,68 km
Número dos canais de 1ª Ordem	622	474
Número dos canais de 2ª Ordem	165	134
Número dos canais de 3ª Ordem	37	32
Número dos canais de 4ª Ordem	10	8
Número dos canais de 5ª Ordem	2	2
Número dos canais de 6ª Ordem	1	1
Número de canais da bacia	837	651
Ordem da bacia	6ª ordem	6ª ordem

TABELA 2 – Parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio<sup>5</sup>. Elaboração dos autores (2025).

TABLE 2 – Morphometric parameters of the Arroio Dilúvio Watershed. Prepared by the authors (2025).

Parâmetro	Situação Original	Situação Atual
Área	79,57 km <sup>2</sup>	81,67 km <sup>2</sup>
Perímetro	58,32 km <sup>2</sup>	59,02 km <sup>2</sup>
Amplitude altimétrica	320,00 m	320,00 m
Comprimento total da rede hidrográfica	304,88 km	191,68 km
Comprimento do canal principal	25,94 km	20,55 km
Densidade de drenagem	3,83 km/km <sup>2</sup>	2,34 km/km <sup>2</sup>
Índice de sinuosidade	1,57	1,27

<sup>5</sup> Os dados dos parâmetros morfométricos foram obtidos com base na metodologia descrita no texto, por meio de ferramentas do software ArcGIS Pro e posterior tabulação e cálculos no Excel.

plantação dos aterros de Porto Alegre teve início em 1956, sendo executada por meio da deposição de materiais provenientes de outras áreas e do remanejamento de sedimentos locais. Este relevo tecnogênico consiste em uma faixa alongada e plana com declividade inferior a 2% e altitudes que não ultrapassam até 30 m, localizada na margem leste do Lago Guaíba, formada pelo processo de aterramento e retificação da orla. Sua superfície é predominantemente plana, sendo composta principalmente por depósitos arenosos de origem tecnogênica (Moura & Dias, 2012). Os aterros, implementados após a inundação de 1941 como parte do plano de expansão urbana de Porto Alegre, são responsáveis por mudanças significativas na morfologia e hidrodinâmica da bacia (Bublitz, 2019).

Desde a década de 1980, Suertegaray et al. (1988), destacaram que os aterros, pela sua topografia plana e extensão dificultam o escoamento das águas pluviais dos arroios que fluem das colinas e morros em direção ao arroio Dilúvio e ao

Guaíba. Além disso, salientaram que o alagamento das áreas baixas se torna mais acentuado devido, além dessa baixa declividade, ao grande acúmulo de detritos e entulhos que atingem os bueiros receptores de águas do escoamento superficial. Dessa maneira, áreas originalmente alagáveis foram impermeabilizadas, comprometendo a dinâmica natural de drenagem e intensificando os impactos de chuvas intensas (Casanova et al., 2024).

A Figura 7 mostra dois pontos do Arroio Dilúvio antes da canalização e retificação, destacando as mudanças no canal principal e a expansão de áreas impermeáveis na bacia. As fotografias A (meados da década de 1950) e B mostram a Ponte de Pedra, originalmente perto da foz do Arroio Dilúvio no Lago Guaíba. Hoje, essa área é um lago artificial e espaço de lazer em Porto Alegre, com grande parte do entorno impermeável, o que aumenta o escoamento superficial e reduz a infiltração em uma área naturalmente inundável. A fotografia C (meados da década de 1930) mostra



FIGURA 7 – Mudanças no canal do Arroio Dilúvio. Fonte: A) Acervo do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo, B) Usuário do Instagram: Drones & Afins Photos, C) Acervo do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo, D) Cunha/Rede Brasil Sul de Televisão (RBS).

FIGURE 7 – Changes in the Arroio Dilúvio channel. Source: A) Collection of the Joaquim Felizardo Museum of Porto Alegre, B) Instagram User: Drones & Afins Photos, C) Collection of the Joaquim Felizardo Museum of Porto Alegre, D) Cunha/Rede Brasil Sul de Televisão (RBS)

o trecho inferior do Arroio Dilúvio localizado em uma área residencial na Rua da Margem, atualmente conhecida como Rua João Alfredo, situada no bairro Cidade Baixa, conforme ilustrado pela fotografia D. A retificação e canalização do Arroio Dilúvio, ocorrida entre as décadas de 1940 e 1960, impactou significativamente as condições naturais do bairro Cidade Baixa. Esta intervenção resultou no aterramento dos cursos d'água, na redução da área do Lago Guaíba e na expansão das áreas impermeáveis.

As maiores transformações ocorreram na rede hidrográfica, com destaque para a redução de aproximadamente 20% no comprimento do canal principal (de 25,94 km para 20,55 km). Essa redução drástica é consequência das canalizações e retificações realizadas no Arroio do Dilúvio, que impactaram diretamente a capacidade de drenagem da bacia e alteraram os processos geomorfológicos ao longo do canal. A Figura 8 apresenta o trecho inferior do Arroio Dilúvio, destacando o canal fluvial original e o canal fluvial atual, retificado e

com mudança na localização da foz no Lago Guaíba; destaca-se o tamponamento de um afluente na margem esquerda e a supressão dos meandros que caracterizavam o canal original. O assoreamento, o aumento da velocidade do fluxo e os processos erosivos a montante são respostas esperadas a essas intervenções.

O comportamento hidrológico das rochas reflete na densidade de drenagem, visto que rochas com menor capacidade de infiltração permitem que haja um maior escoamento superficial e, por conseguinte, a formação de mais canais fluviais. A densidade de drenagem sofreu uma redução de cerca de 35% (de 3,83 km/km<sup>2</sup> para 2,34 km/km<sup>2</sup>), indicando uma simplificação considerável da rede fluvial, agora menos ramificada. A simplificação observada está associada a processos de impermeabilização e tamponamento de canais secundários, os quais são recorrentes em áreas urbanas. Ademais, verificou-se uma redução expressiva na densidade de rios, passando de 10,51 canais/km<sup>2</sup> para 7,97 canais/km<sup>2</sup>, o que evidencia a tendência

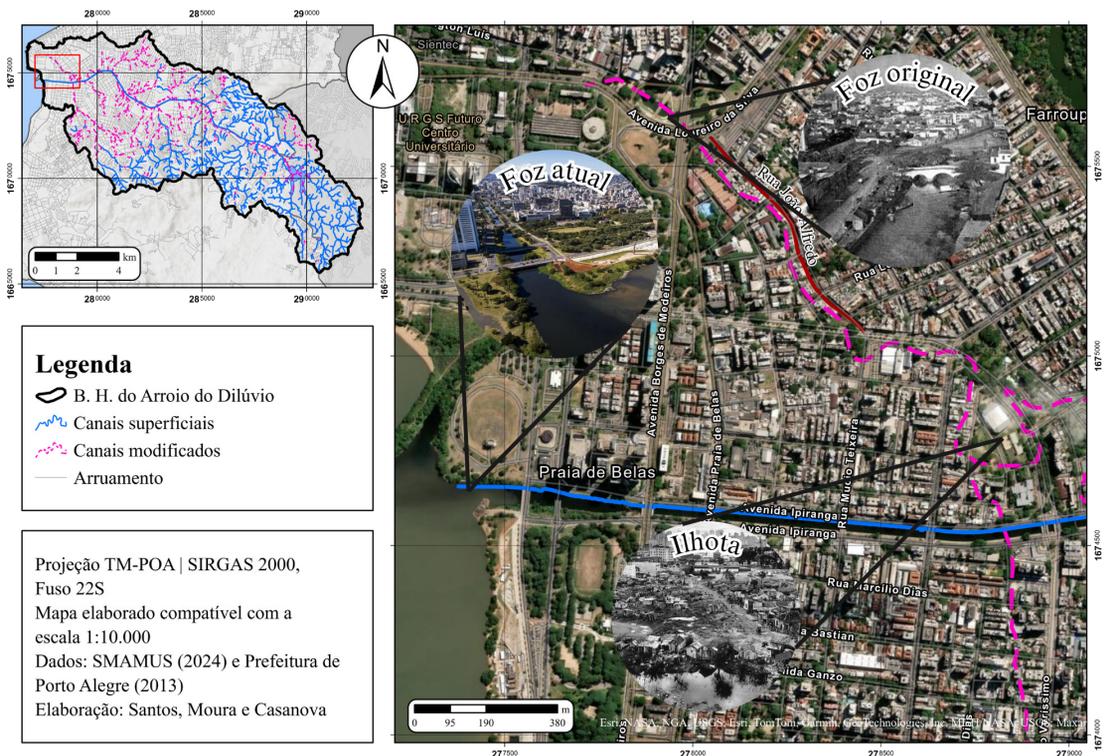


FIGURA 8 – Mudanças na foz do Arroio Dilúvio. Fonte: Elaboração própria (2025); Imagens históricas no mapa: Foz atual (Gaúcha Zero Hora [GZH], 2021), Foz original (Acervo do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo) e Ilhota (Luiz Abreu / CP Memória).

FIGURE 8 – Changes at the mouth of the Dilúvio Stream. Source: Own elaboration (2025); Historical images on the map: Current mouth (Gaúcha Zero Hora [GZH], 2021), Original mouth (Porto Alegre Joaquim Felizardo Museum Collection), and Ilhota (Luiz Abreu / CP Memória).

de diminuição da complexidade da rede hidrográfica natural.

Conforme Villela e Mattos (1975), o índice de circularidade serve de fator para indicar o quão sinuoso é o canal, o que se estabelece como fator controlador da velocidade do escoamento superficial. A redução do índice de sinuosidade do canal principal, de 1,57 para 1,27, evidencia uma perda na sua sinuosidade devido às canalizações. Quando este índice apresenta valores próximos a 1, indica que os canais fluviais tendem a ser retilíneos. Já os valores superiores a 2,0 indicam que os canais fluviais tendem a ser sinuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Essa simplificação geométrica reduz a capacidade natural de dissipação de energia do canal, podendo intensificar processos erosivos a jusante e aumentar a vulnerabilidade da bacia a eventos extremos.

A modificação direta e indireta nos canais e na bacia hidrográfica, mais frequentes nas últimas décadas, têm intensificado mudanças nos processos fluviais, especialmente em áreas urbanas. Estudos pioneiros realizados por Christofolletti (1980), Tucci (1995), Vieira e Cunha (2001), indicavam que em decorrência do crescimento urbano, os cursos d'água vem sendo modificados, perdendo características naturais. As obras de engenharia realizadas sem considerar toda a rede de drenagem alteram seções transversais e o perfil longitudinal dos rios, impactando a eficiência do fluxo. Dessa forma, analisar os processos fluviais em áreas urbanas é relevante para embasar projetos de planejamento, restauração e recuperação. Enchentes urbanas configuram impactos importantes para a sociedade e podem ser causadas por fatores como aumento da precipitação, elevação do pico de cheia e restrição das seções transversais dos rios devido à canalização, assoreamento, aterros e resíduos sólidos. A expansão de superfícies impermeáveis reduz a infiltração de água, favorece o escoamento superficial, aumenta a concentração de enxurradas e a ocorrência de picos de cheia, além de alterar o funcionamento do ciclo hidrológico ao modificar os armazenamentos e a trajetória das águas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da pesquisa geomorfológica e cartográfica, foi possível resgatar as características originais da rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio e, através dessas, avaliar as modificações nos processos geomorfológicos,

em função das mudanças impressas nas formas e materiais. As alterações nos índices morfométricos refletiram um ambiente original cada vez mais alterado, com consequências para a capacidade de escoamento, a resposta a chuvas intensas e os processos erosivos.

Esses resultados mostram que as alterações antrópicas, associadas às obras de engenharia e à urbanização, impactaram profundamente o ciclo hidrológico e, conseqüentemente, a dinâmica hidrogeomorfológica da Bacia Hidrográfica do Arroio do Dilúvio. Nesse sentido, a agência humana sobre o relevo é o tema central das pesquisas nessas temáticas. As soluções baseadas na natureza como a restauração das áreas de captação de água e a ampliação de espaços verdes são essenciais para a adaptação às mudanças climáticas nas cidades. Portanto, a identificação das formas de relevo antropogênicas se torna um dos principais subsídios para a mitigação dos riscos hidrogeomorfológicos, para a sustentabilidade das cidades e para a melhoria da qualidade de vida urbana, pois estas pesquisas identificam não somente as áreas que mais foram modificadas pela ação humana, mas também as áreas com maior suscetibilidade natural aos processos geomorfológicos.

Estudos desse tipo são essenciais para compreender os efeitos das intervenções humanas e guiar práticas de manejo mais sustentáveis das bacias hidrográficas. Esse contexto ressalta a necessidade de uma gestão territorial integrada e da implementação de políticas públicas voltadas à mitigação de impactos na Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio.

Salientamos que esse estudo consistiu em uma exploração cartográfica a partir dos mapeamentos realizados e disponíveis no âmbito da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio para que fosse possível realizar a análise morfométrica da rede hidrográfica original e antropogênica. Os principais desafios encontrados se relacionam com a disponibilidade de dados para a realização desse tipo de trabalho, que necessita abordagens históricas e arquivísticas, para além do acesso aos mapas, o acesso a relatórios de obras e às plantas dos sistemas de drenagem artificial/sistema de esgotamento sanitário, o que nem sempre é possível devido à dificuldade imposta ao acesso a esse tipo de material.

Como potencial ampliação para pesquisas futuras estão a possibilidade de análise sedimentar e de estudos relacionando a hidrodinâmica original e antropogênica do Arroio Dilúvio, considerando aspectos como vazão, volume e carga de sedimen-

tos. Esses estudos podem ser realizados através do acesso aos relatórios das obras que modificaram os canais fluviais e a rede hidrográfica.

Esta pesquisa faz parte do avanço dos estudos em Geomorfologia Antropogênica no Brasil, área que tem sido expandida recentemente por diferentes universidades e centros de pesquisa. Os autores apontam a importância da integração e colaboração para o desenvolvimento deste campo, destacando que essas interações podem ocorrer nos âmbitos teórico, metodológico e técnico.

Por fim, destaca-se que esse trabalho contribui para os estudos ambientais da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio e propõe melhorias metodológicas na Geomorfologia Antropogênica, usando a análise morfométrica para estudar mudanças antropogênicas na rede hidrográfica.

## 6 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica (CNPq) através do Edital Universal (2023) pelo apoio financeiro na realização da pesquisa e na participação de eventos científicos nacionais. À Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPESq) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo apoio na concessão de bolsa de iniciação científica ligada ao Programa *Meninas na Ciência*, que promove a inclusão e o incentivo à participação de jovens pesquisadoras nas áreas de ciência e tecnologia. Ao Departamento de Geografia e Geodésia, ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS pela logística necessária na realização de todas as atividades. À professora Andrea Lopes Iescheck, pela disponibilização do MDT. À revista e aos pareceristas pelas sugestões que enriqueceram a escrita deste artigo.

## 7 REFERÊNCIAS

- Bublitz, C. E. (2019). *Geohistória do Arroio Dilúvio: uma análise socioambiental* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Lume – Repositório Digital. <http://hdl.handle.net/10183/204067>
- Casanova, F., Santos, C., & Moura, N. S. V. (2024). A abordagem da geomorfologia antropogênica e os eventos extremos de precipitação em Porto Alegre/RS. *Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente*. Realize Editora. <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/117674>
- Christofolletti, A. (1980). *Geomorfologia* (2. ed.). Edgard Blucher.
- Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2000). The Anthropocene. *IGBP Global Change Newsletter*, 41, 17–18.
- Departamento Municipal de Água e Esgoto. (2022, 12 de abril). Dragagem do Arroio Dilúvio tem início em mais um ponto da Avenida Ipiranga. *Notícias DMAE*. <https://prefeitura.poa.br/dmae/noticias/dragagem-do-arroio-diluvio-tem-inicio-em-mais-um-ponto-da-avenida-ipiranga> Acesso em: 26 nov. 2024
- Gaúcha Zero Hora. (2021, 5 de agosto). Projeto quer superparque náutico, passeios de helicóptero e despoluição da foz do Arroio Dilúvio. *Gaúcha Zero Hora*. <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/jocimar-farina/noticia/2021/08/projeto-quer-superparque-nautico-passeios-de-helicoptero-e-despoluicao-da-foz-do-arroio-diluvio-ckrz0a7km00440193j4vbqvo9.html>
- Goudie, A. S., & Viles, H. A. (2016). *Geomorphology in the Anthropocene* (1 ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316498910>
- Gouveia, I. C. M. C. (2011). *Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí, na região metropolitana de São Paulo* [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. <https://doi.org/10.11606/T.8.2010.tde-31012011-123012>
- Guerra, A. J. T., & Cunha, S. B. C. (Orgs.). (1994). *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil.
- Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais - RS. (2013). *Modelo Digital do Terreno de Porto Alegre* (Resolução de 1 metro). Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão/RS.
- Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais - RS. (2021). *Carta Topográfica de Porto Alegre* (Escala 1:25.000). Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão/RS.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo 2022: informações de população e domicílios por setores censitários*. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39525-censo-2022-informacoes-de-populacao-e-domicilios-por-setores-censitarios-auxiliam-gestao-publica>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Luz, R. A. (2024). A cartografia geomorfológica pré-urbana e antropogênica da planície do rio Pinheiros, São Paulo (SP). *Derbyana*, 45, Artigo e834. <https://doi.org/10.69469/derb.v45.834>
- Marth, J. D. (2017). *Mapeamento dos padrões de forma do Escudo Sul-Riograndense (RS) com auxílio de geotecnologias: um estudo das inter-relações dos processos morfoestruturais e morfoesculturais na conformação do relevo* [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Lume – Repositório Digital. <http://hdl.handle.net/10183/173564>.
- Menegat, R., Porto, M. L., Carraro, C. C., & Fernandes, L. L. D. (1998). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Editora da Universidade. [https://www.ufrgs.br/atlas/atlas\\_digital.html](https://www.ufrgs.br/atlas/atlas_digital.html)
- Moura, N. S. V. (2011). Estudos geográficos com ênfase na geomorfologia: questões teóricas, metodológicas, mapeamentos e aplicações em estudos ambientais. *Brazilian Geographical Journal*, 2(1), 171–181. <https://seer.ufu.br/index.php/braziangeojournal/article/view/11471>
- Moura, N. S. V. (2022). Mapeamento geomorfológico da Planície e Terras Baixas Costeiras do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Espaço Aberto*, 12(2), 229–246. <http://dx.doi.org/10.36403/espacoaberto.2022.54584>
- Moura, N. S. V., & Dias, T. S. (2012). Elaboração do mapa geomorfológico do município de Porto Alegre – RS. *Ciência e Natura, Edição especial*, 219–233.
- Moura, N. V. S., Hasenack, H., & Silva, L. L. (2013). *Mapa geomorfológico dos municípios de Porto Alegre, Viamão e Alvorada – RS* [Mapa]. UFRGS – Instituto de Biociências – Centro de Ecologia. <https://www.ufrgs.br/labgeo/>
- Moura, N. S. V., & Moran, E. F. (2017). Problemas ambientais urbanos: questões metodológicas nos estudos geomorfológicos com ênfase na análise geomorfológica e nas mudanças do uso da terra. In L. A. Basso, N. S. V. Moura, & T. M. Strohaecker (Orgs.), *Geografia: dinâmica, conflitos e proposições* (pp. 12–30). wwlivros. <http://hdl.handle.net/10183/170787>
- Moura, N. S. V., Silva, T. M., Gouveia, M.C. Peixoto, M. N. O., Felipe, M. F. Oliveira, A. M. S., Peloggia, A. U. G., & Nolasco, M. C. (2023). Diretrizes para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas no Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(4), 1–16. <https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v24i4.2466>
- Pelech, A. S., & Peixoto, M. N. O. (2020). Rios urbanos: contribuições da antropogeomorfologia e dos estudos sobre os terrenos tecnogênicos. *Revista Brasileira de Geografia*, 65(1), 2–22. [https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375\\_2020\\_n1\\_2-22](https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2020_n1_2-22)
- Pontes, N. (2024, 18 de maio). *Por que o sistema contra cheias não funcionou em Porto Alegre*. <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2024/05/18/por-que-sistema-contra-cheias-nao-funcionou-em-porto-alegre.ghtml>
- Rodrigues, C. (1997). *Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiro* [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo].
- Rodrigues, C. (2011). Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. *Revista do Departamento de Geografia*, 17, 101–111. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0008>
- Rodrigues, C. (2024). Mapas geomorfológicos de paisagens antrópicas: metodologia, bases conceituais, conteúdos e estrutura de legenda. *Derbyana*, 45, Artigo e844. <https://doi.org/10.69469/derb.v45.844>

- Rodrigues, C., Luz, R. A. da, Moroz Caccia-Gouveia, I. C., Veneziani, Y., Simas, I. T. H., & Carvalho, D. (2024). Abordagem histórica e fontes de informação para o mapeamento geomorfológico retrospectivo de áreas urbanizadas. *Derbyana*, 45, Artigo e841. <https://doi.org/10.69469/derb.v45.841>
- Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade. (2021). *Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Alegre (PMSB-POA)*. SMAMUS/POA. <https://prefeitura.poa.br/smam/diretrizes-e-planos/plano-municipal-de-saneamento-basico-pmsb-poa>
- Simas, I. T. H., Rodrigues, C., & Hooke, J. (2024). Geotecnologias e maior precisão no mapeamento de morfologias originais e antropogênicas aplicadas à avaliação do risco de inundações. *Derbyana*, 45, Artigo e824. <https://doi.org/10.69469/derb.v45.824>
- Suertegaray, D. M. A. (2018). *Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura*. Compasso Lugar-Cultura. <http://hdl.handle.net/10183/224517>
- Suertegaray, D. M. A., Nunes, J. O. R., & Moura, N. S. V. (1988). Implicações ambientais: uma avaliação do Projeto “Praia do Guaíba”. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 16, 45–59. <http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/37982/24477>
- Szabó, J. (2010). Anthropogenic Geomorphology: Subject and System. In J. Szabó, L. Dávid, & D. Lóczy (Eds.), *Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-made Landforms* (pp. 3-10). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3058-0>
- Tucci, C. E. M. (1995) Inundações Urbanas. In: C. E. M. Tucci, R. L. Porto, & M. T. Barros (Orgs.), *Drenagem Urbana* (pp. 15–36). Editora da Universidade.
- Vieira, V. T. & Cunha, S. B. (2001). Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In A. J. T. Guerra, & S. B. Cunha (Orgs.), *Impactos ambientais urbanos no Brasil* (pp. 111–145). Bertrand Brasil.
- Villela, S. M., & Mattos, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. McGraw Hill do Brasil.
- Villwock, J. A. Tomazelli, L. J. (1995). *Geologia Costeira do Rio Grande do Sul* (Notas Técnicas, 8). CECO/UFRGS.
- Zanardi, R. P., Schneider, A. H., Salomoni, C. S., Mallmann, D. S., Salomoni, T. R., Reiss, M. L. L., Rocha, R. S., Iescheck, A. L., Tavares, M. M., Peixoto, E. B. A., Távora, F. C., Martinski, P., & Skroch, J. (2014). Análise da Qualidade dos Modelos Digitais de Terreno e de Superfície do Município de Porto Alegre. *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia*. [https://www.researchgate.net/publication/274001028\\_Analise\\_da\\_Qualidade\\_dos\\_Modelos\\_Digitais\\_de\\_Terreno\\_e\\_de\\_Superficie\\_do\\_Municipio\\_de\\_Porto\\_Alegre](https://www.researchgate.net/publication/274001028_Analise_da_Qualidade_dos_Modelos_Digitais_de_Terreno_e_de_Superficie_do_Municipio_de_Porto_Alegre)

*Manuscrito submetido em 26 de março de 2025, aceito em 15 de agosto de 2025.*

*Como citar:*

Santos, C. M., Moura, N. S. V., & Casanova, F. (2025). Análise morfométrica da bacia hidrográfica do arroio dilúvio, Porto Alegre (RS): estudo comparativo entre morfologia original e antropogênica. *Derbyana*, 46, Artigo e854.

*Contribuição dos autores:*

C.M.S.: Conceituação, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Redação - revisão e edição. N.S.V.M.: Conceituação, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Redação - revisão e edição. F.C.: Conceituação, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Redação - revisão e edição.

*Conflito de interesses:*

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

