



A CONSTRUÇÃO DO RELEVO TECNOGÊNICO: ANÁLISE ATRAVÉS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO MOINHO, PORTO ALEGRE/RS

THE CONSTRUCTION OF THE TECHNOGENIC RELIEF: AN ANALYSIS THROUGH RETROSPECTIVE GEOMORPHOLOGICAL MAPPING IN THE ARROIO MOINHO WATERSHED, PORTO ALEGRE/RS

LA CONSTRUCCIÓN DEL RELIEVE TECNOGÉNICO: ANÁLISIS A TRAVÉS DE LA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ARROIO MOINHO, PORTO ALEGRE/RS

Felipe Casanova¹

¹Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e-mail: felipecasanovageo@gmail.com



<https://orcid.org/0000-0002-3626-7853>

Nina Simone Vilaverde Moura²

²Professora titular do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: nina.moura@ufrgs.br



<https://orcid.org/0000-0002-5109-7178>

RESUMO

O presente artigo analisa a evolução urbana e a construção do relevo tecnogênico na Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho, em Porto Alegre/RS, nos anos de 1956, 1982 e 2024, através das abordagens da Cartografia Geomorfológica Retrospectiva. Foram utilizados mapas antigos e fotografias aéreas, vetorizados e analisados em software de SIG. Identificou-se um crescimento de 285% da área urbana no período analisado, que atualmente corresponde a 71% da área da bacia. Foram identificados relevos tecnogênicos classificados como elevações e superposições tecnogênicas, cicatrizes e depressões tecnogênicas e equiformas tecnogênicas, além de uma intensificação dos processos erosivos e do escoamento superficial, direcionando a ocorrência do risco geomorfológico e a necessidade de um planejamento urbano que integre as condicionantes do meio físico as questões socioeconômicas da área da bacia.

Palavras-chave: Geomorfologia Antropogênica. Geomorfologia Urbana. Mapeamento Geomorfológico. Impactos Ambientais Urbanos. Geografia Física Crítica.

ABSTRACT

This article aims to analyze the urban evolution and the construction of technogenic relief in the Arroio Moinho Watershed, in Porto Alegre/RS, for the years 1956, 1982, and 2024, through the approaches of Retrospective Geomorphological Mapping. Old maps and aerial photographs were vectorized and analyzed in GIS software. A 285% growth in the urban area was identified in the analyzed period, which currently corresponds to 71% of the basin's area. Technogenic landforms were identified and classified as technogenic elevations and superpositions, technogenic scars and depressions, and technogenic equiforms. An intensification of erosive processes and runoff was also identified, directing the occurrence of geomorphological risk and highlighting the need for urban planning that integrates the physical environment's conditioning factors with the socioeconomic issues of the basin area.

Keywords: Anthropogenic Geomorphology. Urban Geomorphology. Geomorphological Mapping. Urban Environmental Impacts. Critical Physical Geography.



RESUMEN

El presente artículo analiza la evolución urbana y la construcción del relieve tecnogénico en la Cuenca Hidrográfica del Arroio Moinho, en Porto Alegre/RS, en los años 1956, 1982 y 2024, a través de los enfoques de la Cartografía Geomorfológica Retrospectiva. Se utilizaron mapas antiguos y fotografías aéreas, que fueron vectorizados y analizados en software SIG. Se identificó un crecimiento del 285% del área urbana en el período analizado, que actualmente corresponde al 71% del área de la cuenca. Se identificaron relieves tecnogénicos clasificados como elevaciones y superposiciones tecnogénicas, cicatrices y depresiones tecnogénicas, y “equiformas” tecnogénicas. Además, se observó una intensificación de los procesos erosivos y de la escorrentía superficial, direccionando la ocurrencia del riesgo geomorfológico y la necesidad de una planificación urbana que integre los condicionantes del medio físico con las cuestiones socioeconómicas del área de la cuenca.

Palabras clave: Geomorfología Antropogénica. Geomorfología Urbana. Mapeo Geomorfológico. Impactos Ambientales Urbanos. Geografía Física Crítica.

INTRODUÇÃO

A Geomorfologia Antropogênica considera que a agência humana é capaz de alterar a dinâmica geomorfológica através de mudanças nas formas, nos processos e nos materiais, levando à formação do relevo tecnogênico. Nessa perspectiva, a criação e o desenvolvimento de cidades acabam por transformar a paisagem geomorfológica, ocasionando impactos ambientais urbanos, como a intensificação de enxurradas, de alagamentos e de inundações, além de induzir à ocorrência de movimentos de massa.

Nas metrópoles brasileiras, o desenvolvimento e o crescimento metropolitano marcado pela segregação socioespacial direcionaram a ocupação às encostas íngremes e às planícies de inundação. Essas áreas são sensíveis às mudanças promovidas pela agência humana, o que leva a criação de áreas de risco, deixando populações vulneráveis suscetíveis à ocorrência de desastres ambientais. Portanto, consoante a Ashmore e Dodson (2017), as cidades podem ser caracterizadas como sócio-naturezas, onde a análise do meio físico deve ser integrada à análise dos processos sociopolíticos e econômicos que produzem o ambiente urbano, para construir uma Geografia Física Crítica (Lave, Wilson e Barron, 2019).

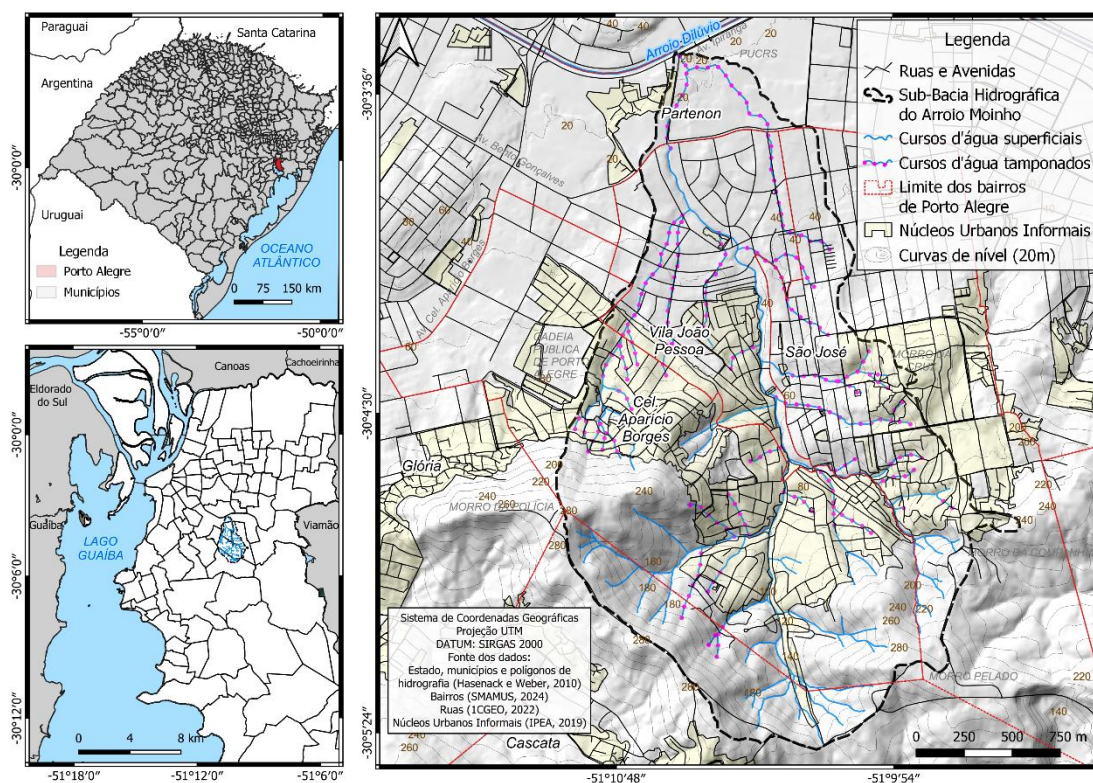
Nesse contexto, os estudos em Geomorfologia Antropogênica e Urbana oferecem subsídios para uma análise ambiental urbana com destaque ao relevo tecnogênico, evidenciando as transformações ambientais ao longo do processo de ocupação. A abordagem da Cartografia Geomorfológica Retrospectiva permite conectar o processo histórico de urbanização com as formas e com os processos atuais que levam à ocorrência do risco, sendo estudos fundamentais para a mitigação das mudanças climáticas em âmbito local.

A bacia hidrográfica do Arroio Moinho, sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, na cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, se insere no contexto das periferias metropolitanas, apresentando características como a precariedade de habitações e a existência de áreas de risco. Essa área foi classificada como prioritária nas ações municipais no Relatório do Plano de Ação Climática de Porto Alegre no âmbito da redução do risco de desastres ambientais (Porto Alegre, 2024). Este trabalho, portanto, visa identificar, analisar e mapear a evolução do relevo tecnogênico na bacia do Arroio Moinho, vinculando os estágios do processo de urbanização (Nir, 1983) à tipologia das formas tecnogênicas geradas, discutindo as suas implicações socioambientais e apresentando-se como um instrumento de ação e planejamento urbano.

Contextualização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Arroio Moinho (figura 1) se localiza na cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com coordenadas geográficas centrais 30° 04' 19" de Latitude Sul e 51° 10' 05" de Longitude Oeste. A área drenada pelo Arroio Moinho e seus afluentes contempla 4,861km².

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho



Fonte: IBGE 2022, adaptação dos autores.

No contexto urbano municipal, os bairros pertencentes à área drenada pela bacia são: Partenon, Vila João Pessoa, São José e Coronel Aparício Borges; onde vivem aproximadamente 30.000 pessoas, de acordo com os dados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022), apresentando uma alta densidade demográfica. Do total da bacia ocupado por usos urbanos, cerca de metade da área é classificada como Núcleo Urbano Informal (NUI) pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2019), conforme destacado pela figura 1. São considerados NUIs aqueles loteamentos irregulares os quais não foi possível realizar a titulação de seus ocupantes. A imensa maioria deles está presente em áreas de risco a movimentos de massa ou enxurradas (Bellettini *et al.*, 2022), aumentando a vulnerabilidade da população.

FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

No contexto do Antropoceno, em que o ser humano se consolida como um agente geológico-geomorfológico de transformações na superfície terrestre (Crutzen e Stoermer, 2000), a Geomorfologia Antropogênica emerge como a subdisciplina das geociências dedicada a investigar os efeitos da agência humana sobre o sistema do relevo, tendo como objeto o relevo e os depósitos tecnogênicos (Szabó, 2010; Peloggia, Silva e Nunes (2014); Goudie e Viles, 2016; Moura *et al.*, 2023).

A análise do relevo tecnogênico é fundamentada na Análise Geomorfológica para os estudos em Geomorfologia do Quaternário de Ab'Saber (1969), deste modo, é embasada na análise da tríade geomorfológica, considerando a dinâmica integrada entre forma, processo e material. Conforme Moura *et al.* (2023) e Szabó (2010), a agência humana é capaz de interferir de maneira direta ou indireta em qualquer desses componentes, originando novas formas e depósitos tecnogênicos. Essas modificações alteram a dinâmica natural do relevo, desencadeando, suprimindo, acelerando ou atenuando os processos de evolução do relevo. Deste modo, a análise dos modelados tecnogênicos pode ser realizada a partir dos três níveis de

tratamento de Ab'Saber (1969): a compartimentação topográfica, a estrutura superficial da paisagem e a fisiologia da paisagem (Peloggia, 2005; Peloggia, Silva e Nunes, 2014).

A inserção do relevo tecnogênico nas propostas de classificação do relevo já estavam presentes na Proposta Taxonômica do Relevo de Ross (1992) como “formas resultantes de processos atuais”, no sexto táxon, devido à sua abrangência espacial geralmente reduzida. Contudo, trabalhos posteriores como os de Fujimoto (2001) e Peloggia (2005) observaram que a escala e a magnitude das intervenções da agência humana podem gerar feições mais amplas, argumentando que as formas tecnogênicas podem abranger táxons superiores, como o terceiro táxon (padrões de formas semelhantes), que caracterizaria as paisagens tecnogênicas. Destaca-se que a proposta taxonômica de Ross (1992) se baseia na compreensão do relevo como produto do antagonismo entre forças endógenas e exógenas, organizando as formas em seis níveis hierárquicos: 1º Táxon, das Morfoestruturas; 2º Táxon das Morfoesculturas; 3º Táxon dos Padrões de Formas Semelhantes; 4º Táxon das Formas de Relevo ou Unidades Morfológicas; 5º Táxon da Forma das Vertentes; e 6º Táxon das Formas de Processos Atuais.

Com vistas ao desenvolvimento da Cartografia Geomorfológica no Brasil e à padronização dos métodos de mapeamento do relevo, o Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR) propôs diretrizes para a classificação do relevo tecnogênico em Moura *et al.* (2023). Considera-se que as formas tecnogênicas podem ser geradas de maneira direta ou indireta através da agência humana, além de serem resultantes do processo de retirada de material (Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas) ou de adição de material (Elevações e Superposições Tecnogênicas). Essa classificação as detalha da seguinte maneira:

- Tecnoformas: são resultantes da adição ou remoção de material. Podem ser tipificadas em Tecnoformas de Escavação (como cortes de estrada e cicatrizes de mineração) ou de Adição (como aterros e montículos tecnogênicos).

- Geotecnoformas: são a consequência de processos geomorfológicos induzidos por intervenções no ambiente, normalmente se relacionando com o uso e ocupação da terra. São classificadas em Geotecnoformas de Denudação aquelas resultantes da aceleração dos processos erosivos, como sulcos e ravinas; e em Geotecnoformas de Acumulação, sendo a consequência da intensificação dos processos deposicionais, como o assoreamento e a colmatagem de lagos.

- Equiformas tecnogênicas: ocorrem quando a morfologia original é conservada, contudo, seu material constituinte é alterado física ou quimicamente pela agência humana.

Segundo Nir (1983) e Douglas (1983) a criação da paisagem urbana envolve inúmeras alterações no sistema geomorfológico, alterando a dinâmica de encostas e a dinâmica fluvial. Investigar as alterações morfológicas nas cidades é objeto tanto da Geomorfologia Urbana, quanto da Geomorfologia Antropogênica. Para a compreensão do relevo anterior à agência humana, da evolução das alterações sobre a morfologia original e identificação da construção do relevo tecnogênico, a Geomorfologia Antropogênica emprega as técnicas da Cartografia Geomorfológica Retrospectiva.

Essa abordagem exige uma pesquisa com abordagens históricas e cartográficas, fazendo uso de diversas fontes para tal identificação, como fotografias aéreas fruto de levantamentos aerofotogramétricos históricos, mapas antigos e quaisquer outros documentos iconográficos que possibilitem avaliar as mudanças no uso e ocupação da terra e, consequentemente, no relevo (Rodrigues, 1999; Caccia-Gouveia, 2011; Moura, 2011; Rodrigues *et al.*, 2024). Com isso, torna-se possível reconstituir a morfologia original do relevo a ser analisado, estabelecendo base fundamental para dimensionar, qualificar e temporalizar as mudanças geomorfológicas e ambientais em diferentes escalas espaciais e temporais, bem como identificar a criação de formas tecnogênicas e as mudanças nos processos. Além disso, a aplicação dessa abordagem possibilita inúmeras outras análises a respeito das relações entre a sociedade e a natureza e a apropriação desigual do espaço geográfico (Rodrigues, 2024).

Na abordagem da Cartografia Geomorfológica Retrospectiva, a análise é guiada pelos sistemas hidrogeomorfológicos e as suas respectivas mudanças ao longo do tempo. Nesse sentido, o modelo empírico de Nir (1983) propõe relacionar a densidade de ocupação urbana com mudanças nos processos geomorfológicos, classificando as áreas em estágios de urbanização: pré-urbano, estágio de crescimento e urbano consolidado. Nir (1983) identifica que enquanto aumenta a densidade urbana, intensificam-se os processos de escoamento superficial, reduzem os canais superficiais e aumenta a pressão sobre o relevo, resultando na criação do relevo tecnogênico.

A Geomorfologia Antropogênica alinha-se, portanto, diretamente com as propostas da Geografia Física Crítica, que combinam a análise dos processos socioeconômicos à compreensão dos sistemas naturais, pois os processos que geram desigualdades sociais são os mesmos que produzem riscos (Lave, Wilson e Barron, 2019). Da mesma maneira que Beray-Armond (2022) propõe uma Climatologia Urbana Crítica para compreender como a injustiça climática é produzida, a Geomorfologia Antropogênica proporciona ferramentas para analisar o relevo tecnogênico como uma materialização dos processos sociais e políticos, sendo construídos e distribuídos de maneira desigual na paisagem urbana, podendo gerar riscos e afetando a qualidade ambiental.

Por fim, salienta-se que a perspectiva crítica sobre os impactos ambientais urbanos e a Geomorfologia Antropogênica estão presentes em outros trabalhos, mesmo que não se coloquem como trabalhos vinculados à Geografia Física Crítica propriamente dita. No contexto brasileiro, destacam-se Fujimoto (2001), Caccia-Gouveia (2011), Rehbein (2011), Dias (2014), Barbosa e Furrier (2017), Bublitz (2019), Pelech e Peixoto (2020), Luz (2024), Furlan, Trentin e Robaina (2025), Casanova (2025), Santos, Moura e Casanova (2025), entre outros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para além das pesquisas bibliográficas, foi necessário a elaboração de uma base cartográfica para a construção do mapa geomorfológico com mapeamentos e produtos pré-existentes. Para o mapeamento do relevo original e das formas de relevo tecnogênicas, foram utilizados materiais de cunho cartográfico antigo que representam a área da bacia hidrográfica do Arroio Moinho, como fotografias aéreas e antigos mapeamentos topográficos. Esses materiais foram trabalhados com base nos pressupostos da Cartografia Geomorfológica Retrospectiva. Os materiais cartográficos utilizados nesta pesquisa estão elencados no quadro 1.

Quadro 1: Materiais cartográficos analógicos e digitais utilizados na pesquisa

Material / Dado	Escala	Ano	Fonte
Planta topográfica de Porto Alegre	1:20.000	1896	AHPAMV
Cartas XVI, XVII, XXI e XXII do mapa topográfico de Porto Alegre	1:10.000	1941	SMAMUS/POA
Folha 11 do mosaico aerofotográfico de Porto Alegre	1:10.000	1956	SMAMUS/POA
Fotografias do levantamento aerofotogramétrico realizado pelo DMAE Faixa 15A: 1822, 1823, 1824, 1825, 1826 e 1827; Faixa 16A: 1848, 1849, 1850, 1851, 1852, 1853, 1854 e 1855; Faixa 17: 1099, 1100, 1101, 1102 e 1103; Faixa 17B: 1873, 1874, 1875, 1876, 1877, 1878, 1879 e 1880 Faixa 17C: 1738, 1739 e 1740; Faixa 18: 1165, 1166, 1167, 1168, 1169, 1170, 1171 e 1172	1:5.000	1982	Biblioteca IGEO/UFRGS
Cartas do aerolevanteamento fotogramétrico realizado pela Prefeitura de Porto Alegre 2987-2-G-33, 2987-2-G-34,	1:1.000	2010	SMAMUS/POA

2987-2-G-35, 2987-2-G-36, 2987-2-G-37, 2987-2-G-38, 2987-2-G-43, 2987-2-G-44, 2987-2-G-45, 2987-2-G-46, 2987-2-G-47, 2987-2-G-48, 2987-2-G-53, 2987-2-G-54, 2987-2-G-55, 2987-2-G-56, 2987-2-G-57, 2987-2-G-58, 2987-2-G-63, 2987-2-G-64, 2987-2-G-65, 2987-2-G-66, 2987-2-G-67, 2987-2-G-68, 2987-2-G-73, 2987-2-G-74, 2987-2-G-75, 2987-2-G-76, 2987-2-G-77, 2987-2-G-78, 2987-2-G-83, 2987-2-G-84, 2987-2-G-85, 2987-2-G-86, 2987-2-G-87, 2987-2-G-88, 2987-2-G-93, 2987-2-G-94, 2987-2-G-95, 2987-2-G-96, 2987-2-G-97 e 2987-2-G-98			
Carta topográfica SH-22-Y-B-III-2-SO	1:25.000	2020	ICGEO do EX
Modelo Digital do Terreno (MDT), resolução 2,5m		2020	DEPLAN/RS

Fonte: elaboração própria.

Destaca-se que o MDT utilizado faz parte dos dados da base cartográfica referente à Região Funcional 1 do Rio Grande do Sul, da Infraestrutura de Dados Espaciais. A sua elaboração é de responsabilidade do Departamento de Planejamento Governamental (DEPLAN), da secretaria de Planejamento e Governança e Gestão do estado do Rio Grande do Sul. O MDT foi processado para disponibilização pelo prof. Dr. Clódís de Oliveira Andrades Filho (IGEO-CEPSRM/UFRGS) e pelo Me. Renato Mendonça (SGB-Superintendência de Porto Alegre/RS).

Procedimentos Operacionais

Inicialmente, os materiais que não estavam disponíveis online foram digitalizados. Posteriormente, todos eles foram georreferenciados através do software QGIS 3.28.4. Como referência para o georreferenciamento, foram utilizadas a Carta Topográfica SH-22-Y-B-III-2-SO e as Cartas do Aerolevantamento Fotogramétrico de 2010 como referências, com o Sistema de Projeção UTM Fuso 22 S. O modelo de transformação para o georreferenciamento foi polinomial de primeira ordem, sendo distribuídos, em média, 20 pontos de controle por documento para assegurar a cobertura espacial. Ao final do processo, obteve-se uma acurácia horizontal global de cerca de 5m para os documentos, valor considerado satisfatório para a escala e os objetivos da análise propostas neste trabalho.

Após georreferenciados os materiais, foram vetorizadas a rede de drenagem, as estradas e as manchas urbanas dos documentos de 1956, 1982 e 2024. Esse processo foi fundamental para, posteriormente, realizar a interpretação das mudanças no relevo e a identificação das feições tecnogênicas na bacia. A vetorização da rede de drenagem nos diferentes anos analisados foi fundamental para que se identificasse e quantificasse as alterações na rede de drenagem, com destaque ao tamponamento de canais fluviais. A vetorização da mancha urbana em polígonos permitiu quantificar a sua expansão e correlacioná-la com as mudanças morfológicas e processuais do relevo. A planta de 1896 foi utilizada para a verificação da ocupação, enquanto as cartas de 1941 foram utilizadas para a vetorização dos cursos d'água; por serem cartas topográficas, não foi possível caracterizar diferentes usos da terra ou densidade de ocupação.

Para fundamentar a compartimentação do relevo, através do uso do MDT foram extraídos parâmetros morfométricos essenciais, como hipsometria e clinografia. Através do plugin topographic position index (TPI) no QGIS 3.28.4, foram delimitados os topos, os divisores de água das sub-bacias, as encostas e os fundos de vale; esse plugin é um algoritmo que mede a posição topográfica relativa entre um pixel central e a elevação média da vizinhança (De Reu *et al.*, 2013). A utilização de parâmetros quantitativos como o TPI foi fundamental para estabelecer uma compartimentação com maior precisão da morfologia original da bacia.

A análise da forma das vertentes, que corresponde ao quinto táxon da proposta taxonômica de Ross (1992), foi realizada através de fotointerpretação em estereoscópio. A

análise estereoscópica das fotografias aéreas de 1982 permitiu a análise em três dimensões do relevo, devido a sobreposição das aerofotografias. Esse processo possibilitou interpretar e delimitar a forma vertical das vertentes em seus elementos geométricos: convexos, côncavos e segmentos retilíneos. Para Christofolletti (1980), a análise da forma vertical da vertente abrange a área compreendida entre o divisor de águas e o leito fluvial, que representa o umbral dos processos areolares de vertente para os processos fluviais.

Dada a escala das fotografias, também foi possível identificar feições como degraus de abatimento, sulcos erosivos e rupturas de declive, essenciais para a compreensão da morfodinâmica. Nesse sentido, por conta da escala de trabalho e da disponibilidade de dados, o mapeamento das morfologias originais da bacia hidrográfica do Arroio Moinho foi realizado em escala 1:10.000.

A identificação das formas tecnogênicas foi realizada de maneira concomitante à análise retrospectiva, através de fotointerpretação com estereoscópio e da interpretação de imagens de satélite, tendo sido validadas por meio de trabalhos de campo. A base da classificação do relevo tecnogênico foi a proposta de Moura *et al.* (2023), que classifica as formas tecnogênicas em Tecnoformas (resultantes da ação direta sobre o relevo, como cicatrizes de mineração e aterros), em Geotecnofomas (resultantes dos processos induzidos, como sulcos e o assoreamento) e em Equiformas Tecnogênicas (onde a morfologia original permanece, sendo alterado o material constituinte, de maneira física ou química).

A sobreposição dos vetores dos mapeamentos históricos ao mapa geomorfológico permitiu a análise integrada da evolução da paisagem geomorfológica ao longo do tempo, possibilitando uma análise sobre os condicionantes que o relevo impõe sobre o processo de urbanização. A análise dos padrões espaciais das feições e dos diferentes usos permite captar as dinâmicas socioeconômicas na construção das formas tecnogênicas, inferindo diferentes tipos de agência humana sobre o relevo.

A evolução da urbanização sobre o relevo foi interpretada à luz do modelo dos estágios de urbanização de Nir (1983), o que permitiu correlacionar cada fase do crescimento urbano à gênese de tipos específicos de formas tecnogênicas e alterações da morfodinâmica da bacia de maneira empírica. O quadro 2 apresenta os estágios de urbanização e as principais características relacionadas às alterações morfodinâmicas em cada estágio, definidos com base nas características geomorfológicas da bacia.

Quadro 2: Estágios de urbanização, características e implicações morfodinâmicas

Estágio	Principais características e implicações morfodinâmicas
Pré-urbano	<ul style="list-style-type: none">- Remoção da vegetação e grandes áreas de solo exposto;- Residências espaçadas e baixa densidade populacional;- Sistema de saneamento precário;- Aumento do escoamento superficial e aceleração dos processos erosivos do solo;- Criação de pequenas terraplanagens e de ruas (Tecnoformas de escavação em patamares e em superfícies lineares).
Em consolidação e crescimento urbano	<ul style="list-style-type: none">- Aceleração da expansão urbana em curto período, aumentando a área pavimentada e impermeabilização, resultando em intensificação do escoamento superficial;- Período de maior erosão, com remoção da parte superficial dos solos devido às construções;- Decréscimo da infiltração de água no solo;- Aumento da sedimentação nos cursos d'água, sobretudo de sedimentos úrbicos, causando assoreamento;- Aumento do perigo de enxurradas.
Urbano consolidado	<ul style="list-style-type: none">- Alta densidade populacional;- Áreas fortemente impermeabilizadas;

	<ul style="list-style-type: none"> - Alta densidade viária pavimentada, alterando perfis de vertente e induzindo escoamento concentrado na direção das ruas, aumentando ocorrência de enxurradas; - Ocorrência de alagamentos em áreas planas; - Escoamento superficial ou gerenciado por sistema de drenagem artificial e/ou rios canalizados e tamponados; - Instabilidade de margens fluviais.
--	---

Fonte: Adaptado de Nir (1983).

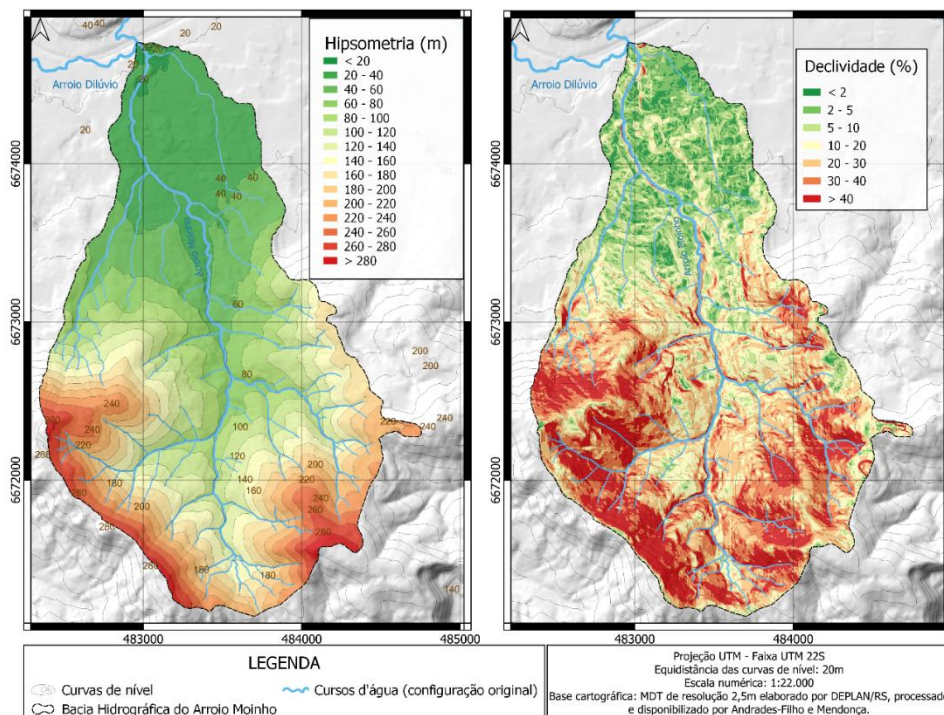
RESULTADOS

Caracterização geológica-geomorfológica da bacia hidrográfica do Arroio Moinho

No contexto geológico-geomorfológico regional, a bacia hidrográfica do Arroio Moinho situa-se principalmente sobre o embasamento cristalino do Planalto Uruguaio Sul-Riograndense, compostos por rochas graníticas (Granito Santana) e gnáissicas (Gnaiss Porto Alegre) pré-cambrianas, que compõe as áreas de morros, onde estão as cabeceiras de drenagem. Destaca-se que o Granito Santana se apresenta pouco intemperizado, com manto de intemperismo raso e solos litólicos ou neossolos, com grande presença de afloramentos rochosos e alta declividade (Hasenack, Weber e Marcuzzo, 2008). O Gnaiss Porto Alegre, ao contrário, se apresenta como uma área menos declivosa e mais arrasada e rebaixada do relevo em comparação com as áreas adjacentes, aspecto já observado por Philipp e Campos (2004).

A parte mais rebaixada da bacia, próxima à foz, nas áreas de patamares e planícies, situa-se sobre as formações sedimentares da Planície e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul, com sedimentos da formação Laguna Barreira II e III, contemplando a formação Graxaim (Moura, 2022). As altitudes da bacia variam de 15 a 295m e as classes de declividades predominantes são de 10% a 20% e de 20% a 30%, contemplando 40% da área da bacia, quando somadas. As declividades inferiores a 5% se associam às áreas de patamares e planícies (figura 2).

Figura 2 - Mapa hipsométrico e clinográfico da bacia hidrográfica do Arroio Moinho

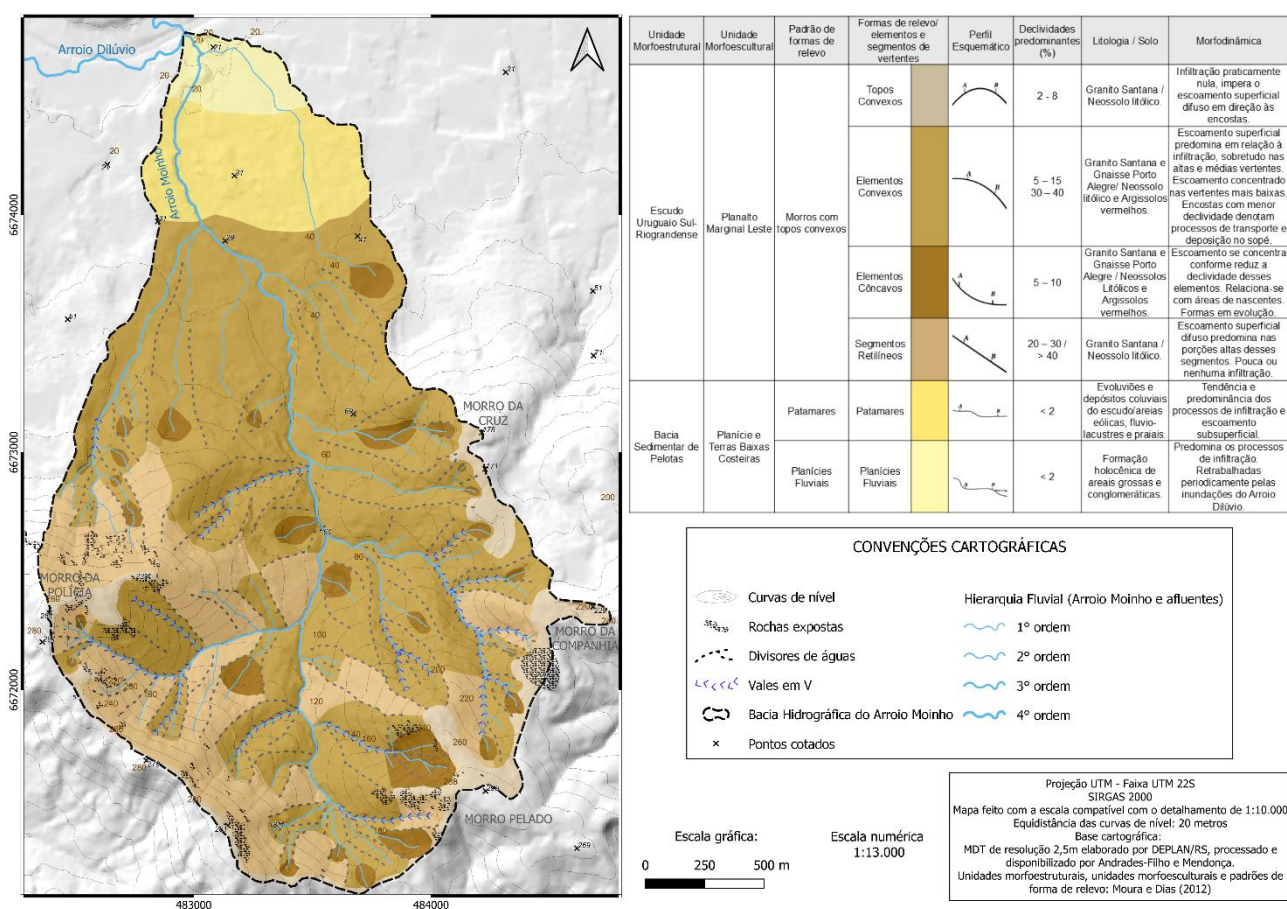


Fonte: IBGE 2022, adaptação dos autores.

Os afluentes do Arroio Moinho apresentam canais mais estreitos com vales encaixados de substrato rochoso e áreas com gradiente altimétrico acentuado, denotando uma alta declividade. No padrão de patamares, o Arroio Moinho apresenta maior sinuosidade e menor declividade, onde ocorre maior deposição de sedimentos. Destaca-se que a compartimentação geomorfológica dos padrões de forma, das morfoestruturas e das morfoesculturas da bacia hidrográfica do Arroio Moinho foi embasada no Mapa Geomorfológico de Porto Alegre em escala 1:50.000 de Moura e Dias (2012). A figura 3 apresenta o mapa geomorfológico das morfologias originais da bacia hidrográfica do Arroio Moinho, em escala de 1:10.000, com destaque à forma das vertentes e à rede hidrográfica anterior às alterações realizadas pela agência humana, como o tamponamento (na bacia do Arroio Moinho) e a retificação (do Arroio Dilúvio).

Identificou-se que a bacia do Arroio Moinho apresenta encostas predominantemente convexas e retilíneas, com topos convexas e elementos côncavos relacionados com algumas áreas de nascente. Destacam-se a presença de vales em V e afloramentos rochosos nas áreas de topo e em encostas íngremes, associadas aos segmentos retilíneos. Nas porções mais baixas, os elementos convexas apresentam declividade baixa, de até 10%, nas porções mais elevadas da bacia, esses elementos apresentam declividades que ultrapassam 40%. Os elementos côncavos apresentam declividades de até 10% e os segmentos retilíneos destacam-se pelas declividades mais elevadas predominantes acima de 20%.

Figura 3: Mapa Geomorfológico da bacia hidrográfica do Arroio Moinho



Fonte: IBGE 2022, adaptação dos autores.

A bacia apresenta ordem 4, com base na hierarquia fluvial de Strahler (Christofoletti, 1980), e contava, originalmente com 27,2km de comprimento de canais fluviais, com maior densidade de canais de primeira ordem. A distribuição dos canais fluviais na área de 4,861km² indica uma densidade de drenagem de 5,59 km/km², sendo muito bem drenada, seguindo a

classificação de Beltrame (1994), indicando um rápido escoamento superficial nas encostas. A análise conjunta deste dado junto dos parâmetros morfométricos como clinografia e hipsometria dos canais, bem como a identificação dos leitos rochosos, indicam um favorecimento ao escoamento rápido e a tendência natural à ocorrência de enxurradas, sobretudo em episódios de chuva intensa. A figura 4 apresenta uma fotografia do topo do Morro da Polícia, com vistas às nascentes da bacia.

Figura 4 - vistas às nascentes da bacia hidrográfica do Arroio Moinho (2025)



Fonte: dos autores.

A visão panorâmica apresentada na figura 4 sintetiza alguns pontos da morfologia original da bacia, sobretudo em relação ao padrão de formas de morros. Em primeiro plano, os afloramentos rochosos do Granito Santana (pontos 1 e 2) expostos aos processos de desagregação e decomposição, denotando um solo raso e a sua resistência a esses processos. Salienta-se que esses blocos podem estar sujeitos à queda em episódios de chuva intensa. As cabeceiras de drenagem (ponto 3), por vezes, se formam sobre anfiteatros côncavos. Destacam-se encostas retilíneas íngremes, com declividades superiores a 40% (ponto 4) e topos convexos, por vezes alongados, além da presença de vales em V com declividades acentuadas (ponto 5). No último plano da fotografia, o Morro da Cruz (ponto 6) apresenta-se com topo convexo densamente ocupado.

Destacam-se ainda os padrões de forma em planícies e em patamares, que se relacionam com a dinâmica do Arroio Dilúvio, que originalmente apresentava um canal meandrante. Em sua conformação original, a planície do Arroio Dilúvio era sujeita a inundações periódicas e apresentava caráter pantanoso e alagadiço, conforme Bublitz (2019). A figura 5 apresenta uma fotografia aérea de 1956 da porção baixa da bacia do Arroio Moinho, com destaque à planície do Arroio Dilúvio.

Figura 5 - Fotografia aérea (1956) com destaque ao baixo curso do Arroio Moinho, no padrão de patamares e planícies fluviais do Arroio Dilúvio.



Fonte: Adaptado da folha 11 do mosaico aerofotográfico de Porto Alegre, de 1956. Elaborado pelos autores (2025).

A figura 5 captura um momento em que o canal do Arroio Dilúvio ainda preserva feições de seu canal sinuoso original, ao mesmo tempo em que a obra de retificação já impõe diversas alterações tecnogênicas, como a drenagem das áreas alagadiças na planície. Em síntese, foi sobre a paisagem de morros, patamares e planícies que o processo de urbanização se desenvolveu, transformando significativamente a paisagem natural e seus processos morfodinâmicos. A compreensão da configuração original é fundamental, pois, como a análise a seguir demonstrará, o avanço da ocupação desconsiderou o relevo, potencializando a ocorrência de movimentos de massa e de enxurradas, criando áreas de risco para a população residente.

Uma breve contextualização sobre a urbanização na bacia hidrográfica do Arroio Moinho

A urbanização da bacia do Arroio Moinho se associa com a expansão urbana do município de Porto Alegre e com os processos regionais de metropolização da capital gaúcha. A ocupação urbana da bacia iniciou-se em meados de 1870, a partir do loteamento iniciado por José Inácio Barcellos, que deu origem aos bairros Vila João Pessoa e São José. Até aquele momento, a área era ocupada por usos agrícolas e constituída por Arraiais, como outros bairros de Porto Alegre (Franco, 1988). Entre esse momento e a década de 1930, o crescimento urbano foi lento, intensificando-se a partir da década de 1940, impulsionado pela industrialização de Porto Alegre que ocasionou a chegada de migrantes à capital (Carrion, 1989).

Além disso, conforme Weimer (2017), o processo de periferização de Porto Alegre e, consequentemente, a ocupação da bacia do Arroio Moinho se associam com a modernização da área central da cidade a partir da grande enchente ocorrida em 1941, que resultou na expulsão das populações mais pobres do Centro, que foram em direção aos bairros periféricos. Esse processo resultou na ocupação em áreas desprovidas de serviços essenciais e

Margarida Penteado – Revista de Geomorfologia. v.2 n.2, dezembro de 2025, p.1-27

infraestrutura urbana, como redes de esgoto e áreas públicas (Filchtiner, 1979). Surge, também nesse período, duas importantes vilas na bacia do Arroio Moinho: o Morro da Cruz e o Campo da Tuca, que tem origem na chegada à periferia da população removida das favelas do centro de Porto Alegre (Fonseca, 2000).

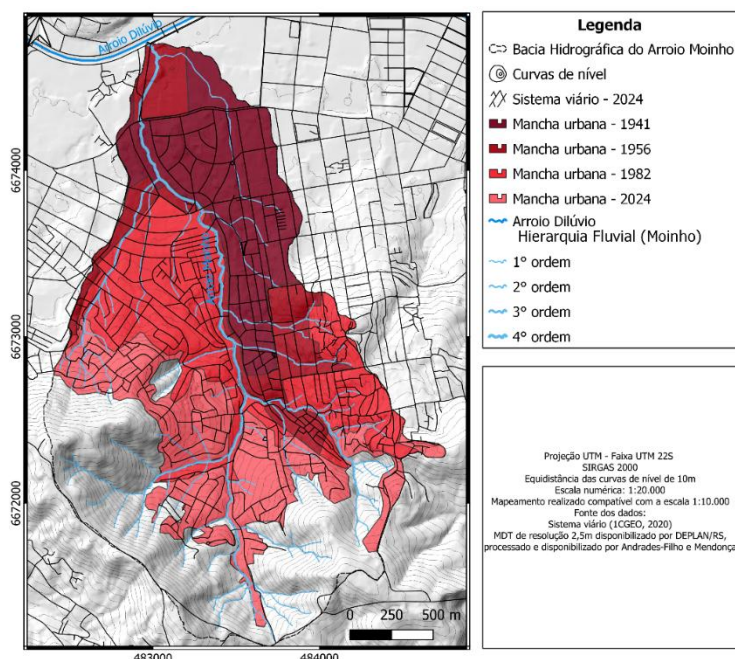
Até 1979 a área da bacia do Arroio Moinho não havia sido mencionada ou representada nos planos urbanísticos e planos diretores da cidade, o que ajuda a explicar o modo como se deu a ocupação da área da bacia até esse momento. Outro aspecto importante que merece destaque é a ocorrência de minerações de saibro entre as décadas de 1950 e 1990 na bacia do Arroio Moinho. A análise por meio da cartografia geomorfológica retrospectiva permitiu identificar áreas de extração de Saibro e de Granito nos Morros da Cruz e da Polícia. Além de alterar significativamente a paisagem geomorfológica e criar formas tecnogênicas, foram abertas vias de acesso que atuaram como vetores diretos para a expansão da mancha urbana e a criação de loteamentos informais e irregulares sobre áreas de risco — incluindo a própria área de mineração.

No contexto atual, embora presente nos planos diretores, a ocupação continuou em direção aos topos dos morros e encostas íngremes. Atualmente 71% da área da bacia é ocupada por usos urbanos, sendo metade dessa área caracterizada como núcleo urbano informal, número que pode ser subestimado, visto que algumas áreas não estavam contempladas no mapeamento realizado pelo IPEA (2019). Grande parte dos núcleos urbanos informais se localizam sobre áreas de risco a deslizamentos, quedas de bloco e enxurradas, conforme identificado por Bellettini *et al.* (2022), aumentando ainda mais a vulnerabilidade da população. Entende-se, portanto, que a história da ocupação da bacia descreve uma trajetória do risco: um processo no qual a expansão urbana não apenas avançou sobre áreas naturalmente suscetíveis aos movimentos de massa e às enxurradas, mas também pela precariedade e ausência de planejamento urbano formal e com infraestrutura, potencializando a vulnerabilidade e a sobrepondo ao risco geomorfológico.

A construção do relevo tecnogênico: condições geomorfológicas urbanas de 1956, 1982 e 2024.

A construção do relevo tecnogênico da bacia é analisada neste trabalho a partir da evolução da mancha urbana, com base nos pressupostos da cartografia geomorfológica retrospectiva. O primeiro mapeamento em escala de maior detalhe da área da bacia do Arroio Moinho foi no ano de 1941, através de um levantamento topográfico do município de Porto Alegre. Naquele momento, menos de 20% da área da bacia era ocupada. No ano de 2024, mais de 70% da bacia se apresentava como densamente ocupada. O aumento de área urbanizada na bacia foi de 0,895 km² em 1941 para 3,451 km² em 2024, representando um aumento de 285% na área urbanizada em 83 anos. A figura 6 sintetiza o avanço da urbanização sobre a área da bacia para os anos analisados. Destaca-se que a mancha destacada no mapa se refere a ocupações urbanas estabelecidas, não considerando ocupações rurais (existentes nos anos de 1941 e 1956).

Figura 6 - avanço da urbanização na bacia do Arroio Moinho (1941 a 2024)

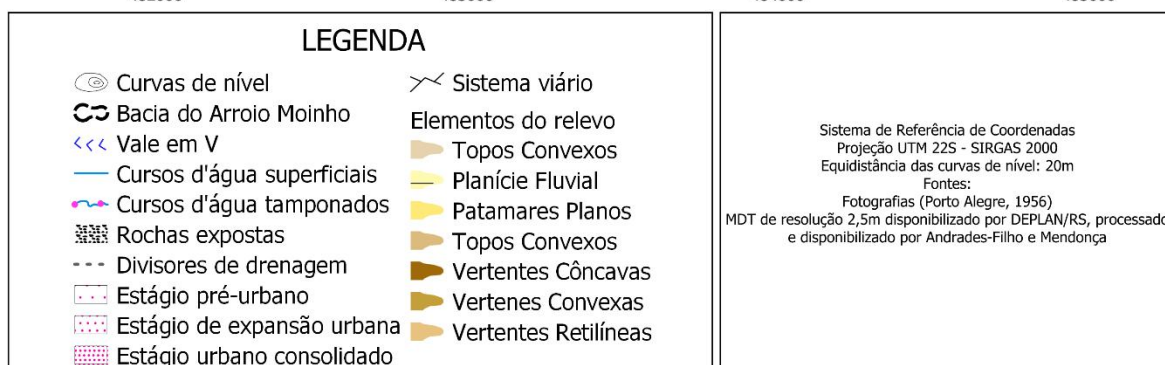
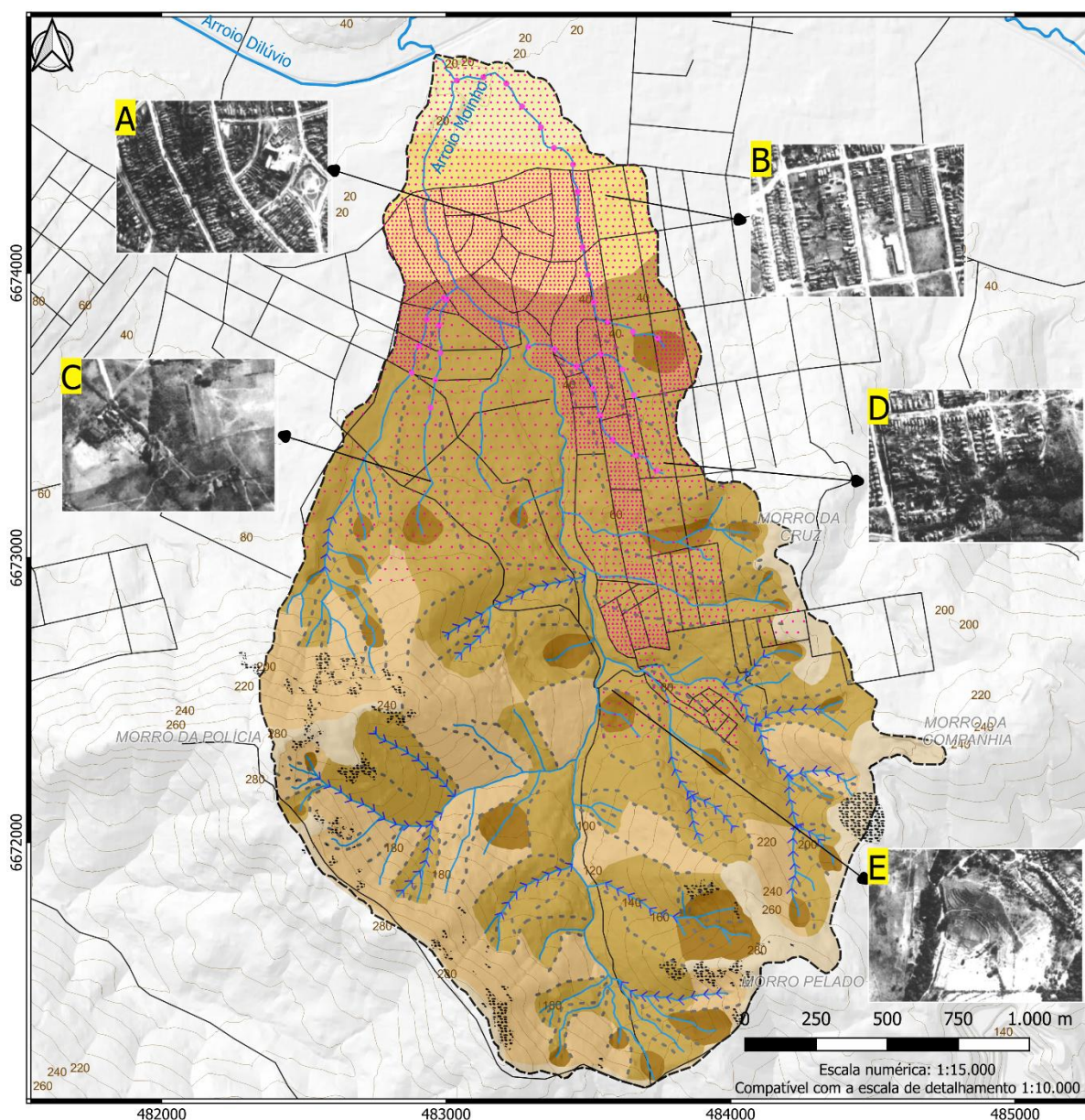


Fonte: IBGE 2022, adaptação dos autores.

Nota-se que inicialmente a ocupação se deu sobre os patamares e encostas convexas suaves e posteriormente avançou para encostas com maior declividade. O maior aumento de área urbanizada se deu entre os anos de 1956 e 1982, com direção aos topos dos Morros da Cruz e Pelado, na margem direita do Arroio Moinho. Entre 1982 e 2024, a expansão se sucedeu na margem esquerda sobre as encostas de maior declividade do Morro da Polícia. A expansão urbana representou alterações morfológicas e, sobretudo, mudanças nos cursos d'água, sendo parte significativa dos trechos tamponados. Esses aspectos são abordados a seguir em correlação com os estágios de urbanização propostos por Nir (1983).

Em 1956, a área ocupada correspondia a cerca de 28,6% da área total da bacia. A figura 7 apresenta um mapa demonstrando a condição geomorfológica urbana desse período frente aos diferentes estágios de ocupação: a urbanização se concentrava nas planícies, nos patamares e em elementos convexos de menor declividade.

Figura 7 - Mapa geomorfológico urbano da bacia do Arroio Moinho (1956)



Fonte: IBGE 2022, adaptação dos autores.

Destaca-se uma ocupação consolidada sobre os patamares e um avanço sobre a área da planície (figuras 7.A e 7.B), que não havia sido completamente ocupada devido a sua característica alagadiça. Nas vertentes convexas a ocupação era mais densa naquelas com menor declividade, como exemplo da figura 7.D. As vertentes côncavas apresentavam ocupações rurais, como exemplo das figuras 7.C e 7.E. A efetiva ocupação da planície ocorre

após a finalização da retificação do Arroio Dilúvio, que resulta na criação de importantes vias para a cidade de Porto Alegre e direciona a ocupação.

Conforme há a conversão do uso da terra para usos urbanos, há maior erosão e retirada de sedimentos por conta da remoção da camada superficial dos solos para a construção de loteamentos. Consequentemente, há um aumento da impermeabilização, que reduz a infiltração e intensifica o processo de assoreamento nos cursos d'água.

Também é neste período que se inicia a mineração de Saibro no topo do Morro da Cruz. O topo que era convexo passou a ser plano com essa modificação, caracterizando-se como uma tecnoforma de escavação de aplainamento, pré-condicionando o terreno para posterior ocupação e aumentando o processo de escoamento superficial, além de deixar a área sujeita a alagamentos. Esses aspectos estão presentes na figura 8, que demonstra a evolução do topo do morro da cruz ao longo dos anos analisados.

Figura 8 - Topo do Morro da Cruz em 1956, 1982 e 2024.

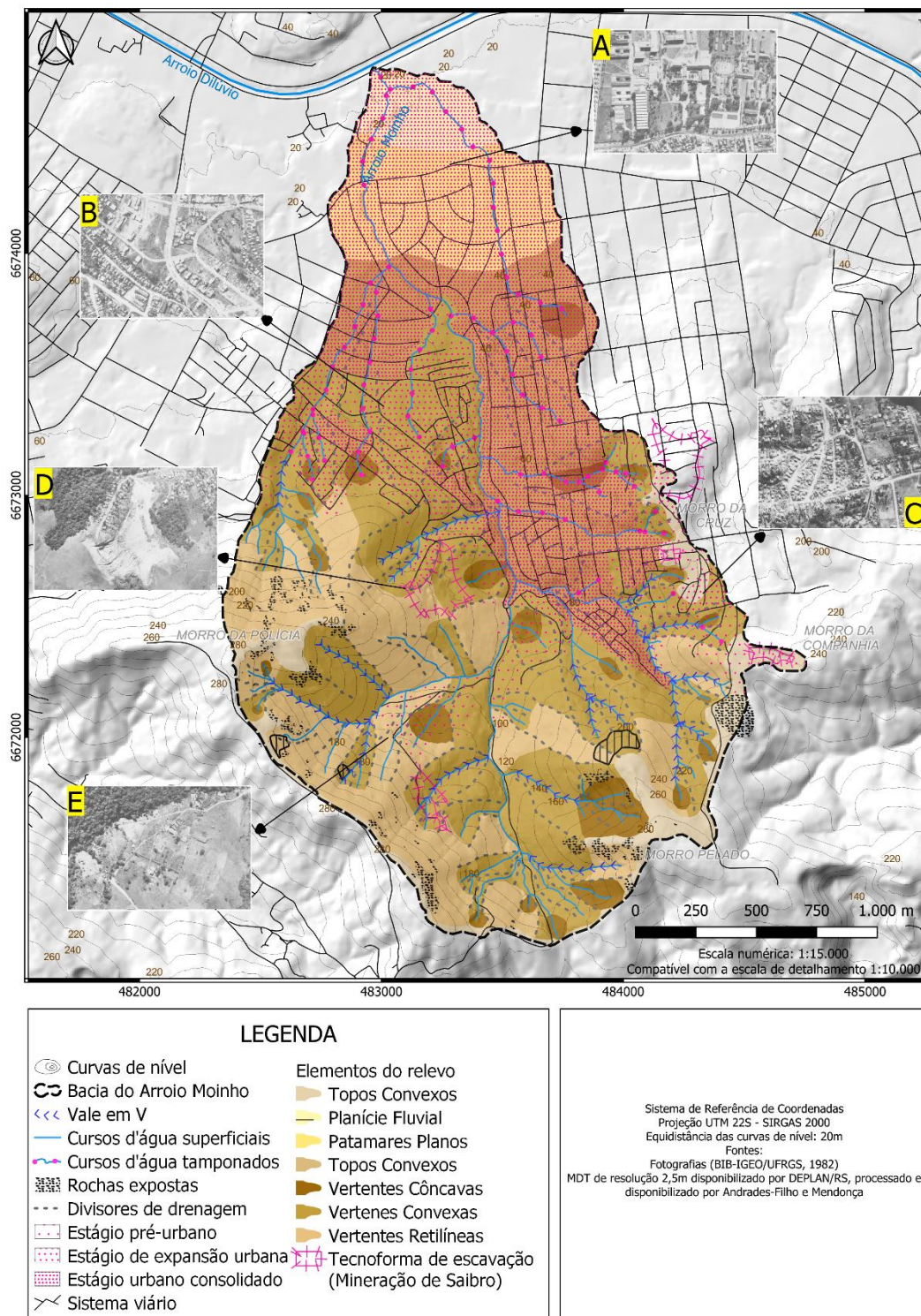


Fonte: adaptado de (1956, SMAMUS/POA; 1982, BIBGEO/UFRGS; 2024, Google Earth). Elaborado pelos autores.

Destaca-se, na figura 8, no ano de 1956, marcadas em vermelho, nascentes de afluentes do Arroio Moinho em vertentes côncavas, que posteriormente foram entulhadas e ocupadas. É fundamental salientar que as estradas construídas para a mineração se mantiveram como um caminho preferencial para o crescimento urbano, contribuindo para a ocupação de nascentes e de áreas de risco. Conforme estudos realizados por Tarolli, Sofia e Wentang (2018) sobre os efeitos geomorfológicos da mineração, durante o processo minerador há uma grande produção de sedimentos, resultantes da camada superficial do solo e pelo revolvimento de sedimentos. O material extraído se direciona às áreas rebaixadas levadas pelos canais fluviais, ocasionando o assoreamento — neste caso, tanto do Arroio Moinho, quanto do Arroio Dilúvio. O assoreamento forma bancos de areia nos cursos d'água, caracterizados como geotecnóformas de acumulação, que representam alteração na dinâmica hídrica e problemas socioambientais e sanitários. Outro aspecto importante é o processo inicial de tamponamento dos canais superficiais. Do comprimento total de canais fluviais naturais (27,22km), 3,2km haviam sido tamponados neste período.

No ano de 1982, a área ocupada da bacia hidrográfica do Arroio Moinho compreendia 2,478 km², representando 51% da área total da bacia. Entre 1956 e 1982 foi quando houve a maior expansão, quando a urbanização se consolidou nos padrões de forma em patamares e planícies (figura 9.A), direcionando-se aos topos e encostas de maior declividade (figuras 9.B e 9.C), como é o caso do topo do Morro da Cruz (apresentado anteriormente na figura 8). Na margem esquerda, sobre as encostas convexas com menor declividade, predominava, nesse período, um momento de expansão e construção da malha urbana. O mapa geomorfológico urbano de 1982 da bacia do Arroio Moinho apresenta esses aspectos na figura 9.

Figura 9 - Mapa Geomorfológico urbano da Bacia do Arroio Moinho (1982)



Fonte: IBGE 2022, adaptação dos autores.

Foi nesse período que ocorreu o maior crescimento absoluto de área urbanizada, correspondendo ao auge da industrialização de Porto Alegre e da chegada de migrantes, quando muitos deles se direcionaram às periferias. Além da densa ocupação sobre a planície e patamares, resultando em uma intensa impermeabilização e aumento da suscetibilidade a alagamentos, houve um avanço massivo sobre o padrão de morros, ocupando as vertentes convexas íngremes do Morro da Cruz e nascentes de afluentes do Arroio Moinho, configurando as primeiras áreas de risco a serem ocupadas na bacia.

A construção sobre as encostas íngremes representa a criação de feições em patamares em degraus, dada a terraplanagem necessária para a construção das casas. A figura 10 apresenta ocupações irregulares sobre uma encosta convexa íngreme no Morro da Cruz, datada entre 1950 e 1960.

Figura 10 - Ocupações irregulares sobre encosta convexa em área de estágio de expansão urbana no Morro da Cruz, entre a década de 1950 e 1960.



Fonte: Acervo do Arquivo Histórico Municipal Moysés Vellinho. Data desconhecida.

Dentre os principais efeitos morfodinâmicos da ocupação sobre as encostas íngremes, destacam-se o aumento da impermeabilização e a intensificação do escoamento superficial. Dada a configuração das ruas em direção ao aclave/declive, essas tendem a concentrar o fluxo de água em episódios de chuva intensa, ocasionando a presença de sulcos em estradas de chão batido. Esse aspecto reduz o tempo de concentração da água na bacia do Arroio Moinho e tende a aumentar as cheias à jusante, no Arroio Dilúvio. Por ser um período de grande expansão urbana e de construções, partindo do modelo de Nir (1983), as taxas de erosão e sedimentação tendem a aumentar.

Entre 1956 e 1982, além da mineração no Morro da Cruz, outros pontos de mineração surgiram no Morro da Polícia (figuras 9.D e 9.E), como é o caso da atual Praça Saibreira, caracterizada como uma tecnoforma de escavação com morfologia plana na base e cortes escarpados nas laterais, devido às rupturas topográficas realizadas para a extração de Saibro. A figura 11 apresenta a evolução dessa área, demonstrando o antes, durante e depois do processo minerador.

Figura 11 - Evolução da Praça Saibreira entre 1956 e 2024.



Fonte: adaptado de (1956, SMAMUS/POA; 1982, BIBGEO/UFRGS; 2024, Google Earth). Elaborado pelos autores.

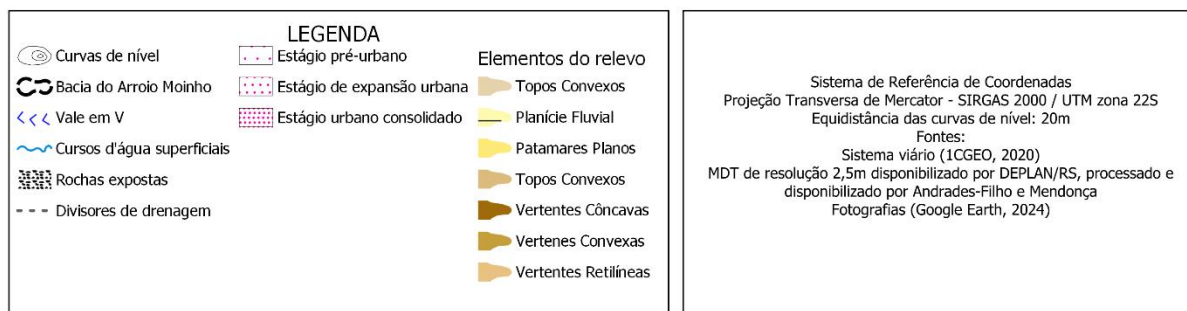
Em 1956, a atual praça Saibreira apresentava sua morfologia original, caracterizada por encosta com segmento típico convexo-retilíneo-côncavo, sendo associada com nascente de tributário do Arroio Moinho. Sua morfodinâmica natural era associada ao escoamento superficial e subsuperficial, com concentração de fluxos no segmento côncavo, na porção

inferior do relevo. Destaca-se a vegetação natural de campos nas partes mais elevadas e de florestas nas porções próximas aos cursos d'água. Esse estágio pode ser caracterizado como pré-ocupação urbana nos moldes de Nir (1983).

Em 1982 o estágio é de perturbação ativa, quando ocorria a mineração de saibro. A morfologia era caracterizada por cortes e escavação de material (da camada superficial do solo e do saibro) caracterizando uma tecnoforma de escavação. A morfodinâmica antropogênica durante o processo minerador era fundamentalmente o escoamento superficial em lençol e concentrado, com formação de sulcos e ravinas e, portanto, reduzindo a infiltração da água no solo. A erosão resultava no aumento de sedimentos no fundo do vale, caracterizando o assoreamento do Arroio Moinho.
















No estágio atual (em 2024), a área onde antes havia mineração é ocupada por usos predominantemente urbanos. A morfologia tecnogênica é caracterizada por um patamar de escavação e cicatriz de mineração com cortes tecnogênicos escarpados nas laterais, havendo risco de quedas de bloco. O material constituinte desta tecnoforma de escavação é caracterizado por depósitos tecnogênicos de rejeitos da mineração de saibro e do Granito Santana. A morfodinâmica antropogênica se associa com o escoamento superficial e a suscetibilidade aos movimentos de massa, deixando a população suscetível a esses riscos. Nos patamares aplainados da cicatriz, a área é sujeita a alagamentos.

Finalmente, no contexto da bacia, entre 1982 e 2024, o crescimento urbano se deu principalmente pela densificação de algumas áreas já previamente ocupadas e pela expansão para as encostas de maior declividade (de 30 a 40%), sobretudo encostas com segmentos retilíneos, que apresentam as maiores declividades na área da bacia, além dos topos de morros. O mapa da figura 12 apresenta a condição geomorfológica urbana atual, com destaque ao relevo tecnogênico na área da bacia e áreas adjacentes; a figura 13 apresenta a legenda referente às formas de relevo tecnogênicas com suas respectivas descrições.



Revista de Geomorfologia

Figura 13 - Legenda do relevo tecnogênico para o maapa geomorfológico urbano da Bacia do Arroio Moinho

Formas de relevo tecnogênicas						
Categoria	Tipo	Representação cartográfica	Morfologia		Perfil esquemático	Morfogênese / cronologia
Elevações e Superposições tecnogênicas	Tecnofomas de Acumulação		Aterramento dos cursos d'água.			Acréscimo direto de material para desenvolvimento da urbanização. Antropoceno <i>sensu</i> .
			Aterramento de áreas naturalmente alagáveis ou inundáveis, como as planícies fluviais.			
Cicatrices e depressões tecnogênicas	Tecnofomas de Escavação		Cicatriz de mineração, cava e ruptura topográfica ocasionada pela extração de saibro e granito.			Impermeabilização da área e consequente aumento do escoamento superficial. Aumento do risco de queda de blocos e deslizamentos.
			Morfologias lineares para a construção de estradas.	Em encostas		Escavação mecânica; retirada de material. Antropoceno <i>sensu</i> .
				Em divisores de água		
			Rupturas de declive por corte.			Erosão acelerada nas áreas de solo destampado e risco de desmoronamento.
	Geotecnofomas de Denudação		Patamares planos			Retirada de material e aplainamento. Antropoceno <i>sensu</i> .
			Degraus de abatimento.			Solos desprotegidos sofrem com desagregação mecânica ocasionada por escoamento subsuperficial. Antropoceno <i>sensu</i> .

Nota: muitas tecnofomas e geofomas não puderam ser representadas neste mapa pois não são passíveis de representação na escala de 1:10.000, como é o caso dos patamares para construções de pequenas residências, sulcos erosivos em estradas, bancos de areia decorrentes do assoreamento e áreas com solapamento de margens fluviais. Contudo, quando as formas adquirem maior dimensão, sendo passíveis de cartografiação nesta escala, foram representadas.

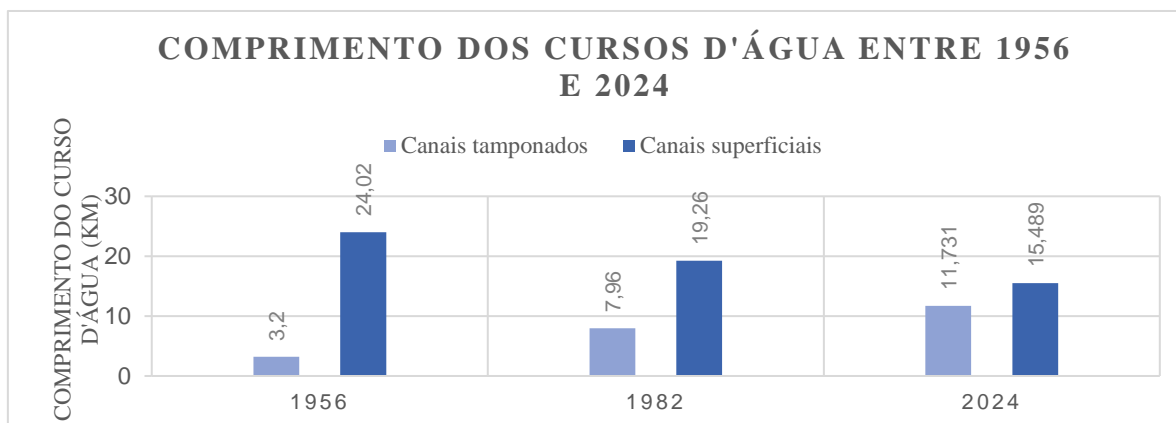
Fonte: IBGE 2022, adaptação dos autores.

A Figura 12.A apresenta o padrão de ocupação consolidado sobre vertentes convexas, enquanto as figuras 12.B, 12.C e 12.D demonstram a ocupação sobre áreas mineradas e topos de morros, limitadas por nascentes que apresentam maior declividade. A figura 12.E apresenta uma área ainda pouco ocupada, limitada pela alta declividade (superior a 30%).

A paisagem geomorfológica urbana da bacia do Arroio Moinho em 2024 pode ser caracterizada como um modelado tecnogênico, analisado a luz do terceiro táxon de Ross (1992), aspecto já elaborado por Peloggia (2005). O autor caracteriza os modelados tecnogênicos (consequentemente, as cidades), como áreas onde o relevo original é profundamente alterado, com sistema de drenagem artificial e morfodinâmica completamente diferente do relevo natural. Considera-se que as áreas onde há uma urbanização densa, como as figuras 12.A e 12.C, podem ser caracterizadas como equiformas tecnogênicas; embora sejam criadas feições de terraplanagens para as construções, a morfologia da vertente se mantém (seja convexa, retilínea ou côncava).

Atualmente 71% da bacia é densamente ocupada por usos urbanos. Ao longo do processo de expansão urbana, a dinâmica fluvial foi fortemente impactada. Desde 1956, houve uma redução de 8,53km de comprimento dos canais superficiais, passando de 24,02km para 15,48km, conforme apresenta o gráfico 1.

Gráfico 1 - Comprimento dos cursos d'água entre 1956 e 2024.



Fonte: elaborado pelos autores.

A redução do comprimento dos canais fluviais representa uma redução da densidade de drenagem da bacia e uma integração da rede de drenagem natural à rede de drenagem artificial, reduzindo a qualidade da água e alterando a morfodinâmica fluvial. Canais tamponados e retificados tendem a aumentar a velocidade da água, nesse sentido, há uma redução do tempo de concentração da água na bacia hidrográfica. Ressalta-se que as ruas e as estradas se caracterizam como tecnoformas em superfícies lineares, que normalmente se direcionam ao auge/declive, tornando-se caminhos preferenciais para a água em momentos de chuva. A drenagem da bacia tornou-se, portanto, completamente transformada pelas modificações antropogênicas.

No mapa da figura 14 identificou-se que houve um adensamento da ocupação sobre os elementos convexos, apresentando poucas áreas classificadas em estágio pré-urbano ou em expansão, denotando uma consolidação da ocupação. Destaca-se que o que impede a expansão da urbanização para o restante da bacia é a declividade superior a 30% nas encostas retilíneas. A figura 14 apresenta diferentes áreas da bacia do Arroio Moinho que ilustram esses aspectos.

Figura 14 - Ocupações urbanas na bacia do Arroio Moinho (A, B) e Arroio Moinho em seu trecho médio (C).



Fonte: fotografias A, B e C de jul. 2024. Elaborado pelos autores.

A Figura 14.A apresenta a bacia do Arroio Moinho vista do Morro da Polícia, destacam-se as áreas planas densamente ocupadas e uma estreita mata ciliar no entorno do Arroio Moinho; em vermelho, área de nascentes com ocupações incipientes entre a mata ciliar. A Figura 14.B apresenta o Morro da Polícia (à direita) e Morro da Companhia (à esquerda) densamente ocupados, limitada a ocupação pela declividade. Destacam-se os topos convexos e alongados. Na Figura 14.C o Arroio Moinho em seu médio curso, onde seu leito se encontra confinado pela estrada que, durante episódio de enxurrada, foi parcialmente destruída pela força da água, demonstrando a capacidade erosiva do Arroio Moinho em episódios de precipitação extrema. Destaca-se a presença de depósitos tecnogênicos gárbicos e úrbicos em seu canal; esses depósitos, em episódios de maior velocidade da água, são carregados até o Arroio Dilúvio.

A condição apresentada pela figura 14.C é comum em toda a área da bacia, onde grande parte das matas ciliares foram suprimidas, deixando as margens fluviais suscetíveis à erosão fluvial e ao solapamento. Ao modelar os processos erosivos na bacia do Arroio Moinho, Schumann (2021) estima a perda de solos na ordem de mais de 96.000 m³ por ano, com as maiores taxas originadas em áreas de ocupação irregular e em áreas onde a mata ciliar foi desmatada. De acordo com a autora, essa perda poderia ser reduzida em até 21% com a preservação das matas ciliares. Os sedimentos erodidos são carregados às partes mais baixas, sobretudo até a foz do Arroio Moinho no Arroio Dilúvio. Destaca-se que o assoreamento do Arroio Dilúvio é um problema ambiental, social e econômico na cidade de Porto Alegre, que apenas em 2022 teve gastos superiores a R\$ 9 milhões para dragagens de sedimentos. Fica evidente, portanto, que a morfodinâmica antropogênica da bacia do Arroio Moinho e outras sub-bacias do Arroio Dilúvio se apresentam como fonte contínua de sedimentos, e que a ausência de medidas mitigadoras representa custos significativos para a cidade de Porto Alegre, além de perpetuar com a degradação ambiental e perda da qualidade da água.

De acordo com Rodrigues (2015) a qualidade da água na bacia foi classificada como péssima, tendo todos os pontos amostrados classificados como fora de classe, classificando as águas como impróprias ao abastecimento humano e potencialmente transmissoras de doenças de veiculação hídrica. A qualidade da água se relaciona diretamente com os usos da terra. Destaca-se que os núcleos informais frequentemente não apresentam coleta e tratamento de esgoto sanitário, resultando na piora da qualidade ambiental. No modelado tecnogênico os processos hidrogeomorfológicos são condicionados a um meio artificial, deste modo, a configuração do relevo tecnogênico também influencia em outros parâmetros ambientais, como a qualidade da água e a qualidade de vida urbana.

Importante salientar em relação ao contexto socioambiental dos núcleos urbanos informais da bacia do Arroio Moinho é que a regularização fundiária transcende a questão da posse da terra, sendo um instrumento indispensável para a prevenção de riscos e para garantir a melhoria da qualidade ambiental e qualidade de vida urbana. A partir do reconhecimento oficial da posse dos núcleos urbanos informais é que poderão ser implementadas políticas públicas para investimentos em infraestrutura de contenção, saneamento básico e integração das comunidades ao planejamento urbano formal.

Em suma, a análise por meio da Cartografia Geomorfológica Retrospectiva de 1956 a 2024 revela uma trajetória na construção do relevo tecnogênico em concomitância com o processo de urbanização e a construção do risco. A urbanização progrediu das áreas planas para encostas íngremes, nascentes e topos de morro. Como consequência, a drenagem passa a ter forte componente antropogênico, dado o tamponamento de parte significativa dos canais fluviais. A paisagem atual (2024) representa uma morfodinâmica urbana antropogênica, com presença de riscos hidrogeomorfológicos para a população residente na bacia do Arroio Moinho.

CONCLUSÕES

A análise do relevo da bacia hidrográfica do Arroio Moinho demonstra que a agência humana, por meio da urbanização, se torna um processo que reconfigura a paisagem geomorfológica, resultando na criação do relevo tecnogênico e alterando a dinâmica geomorfológica. Foi possível quantificar a expansão urbana e qualificar a natureza das transformações sobre o relevo ao longo do período analisado. Esse processo foi condicionado pelo relevo e por outros aspectos de ordem política e socioeconômica, como a mineração, que pré-condicionou áreas para a ocupação informal; a expulsão de moradores do centro da cidade e a migração para Porto Alegre, que ampliou as periferias da capital. Essa análise se configura como uma ferramenta diagnóstica essencial para a análise ambiental urbana, permitindo identificar uma trajetória do risco, reforçando o papel da Geomorfologia Antropogênica frente aos estudos ambientais em espaços urbanos e à Geografia Física Crítica.

Destaca-se que os procedimentos realizados em SIG e a análise estereoscópica (ambos vinculados à Cartografia Geomorfológica Retrospectiva), somados à validação em trabalho de campo, formam uma metodologia fundamental para a análise do relevo tecnogênico. Esses procedimentos combinam a análise histórico-geográfica com análise espacial, fundamentando a análise geomorfológica urbana e antropogênica.

Como estudos futuros para aprofundar a compreensão do relevo tecnogênico, sugere-se a aplicação de modelagens hidrológicas que considerem a morfologia tecnogênica para compreender com detalhe o comportamento de enxurradas e alagamentos nos modelados tecnogênicos. Estudos sobre o sistema de drenagem artificial e subterrâneo também são fundamentais no âmbito da pesquisa em Geomorfologia Antropogênica, que não puderam ser realizados neste estudo devido à dificuldade de encontrar esses materiais; frente à extinção do Departamento de Esgotos Pluviais da cidade de Porto Alegre e da precarização constante do Departamento Municipal de Água e Esgoto, esses dados tornaram-se de difícil acesso.

Do ponto de vista teórico-metodológico, impõem-se desafios como o aprimoramento de técnicas de mapeamento de feições em áreas densamente ocupadas e a incorporação da análise de diferentes atores sociais na conformação da paisagem tecnogênica. Por fim, esta pesquisa documenta um estudo de caso que reforça a contribuição da Geomorfologia Antropogênica como ferramenta diagnóstica para o planejamento urbano e ambiental no contexto do Antropoceno e das mudanças climáticas, sendo fundamental para a mitigação de riscos, adaptação às mudanças climáticas em bacias hidrográficas urbanas e subsídio para políticas de soluções baseadas na natureza, direcionando áreas prioritárias para a renaturalização e reflorestamento.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, n. 18, p. 1-23, 1969.

ASHMORE, P.; DODSON, B. Urbanizing physical geography. **The Canadian Geographer / Le Géographe canadien**, 61: 102-106. 2017. <https://doi.org/10.1111/cag.12318>

BARBOSA, T. S.; FURRIER, M. A Geomorfologia Antropogênica e a relação uso da terra com o risco geológico no município de João Pessoa – PB. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 18, n. 1, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i1.1064 Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1064> Acesso em: 22 out. 2025.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.

Margarida Penteado – Revista de Geomorfologia. v.2 n.2, dezembro de 2025, p.1-27

BELLETINI, A. S.; LAMBERTY, D.; BINOTTO, R. B.; MENDONÇA, R. R. **Setorização de áreas de risco geológico: Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2022.

BERAY-ARMOND, N. A call for critical urban climatology: Lessons from critical physical geography. **WIREs Climate Change**, 13(4), e773. 2022. <https://doi.org/10.1002/wcc.773>

BUBLITZ, C. E. Geohistória do Arroio Dilúvio: uma análise socioambiental. 2019. 214 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

CACCIA-GOUVEIA, I. C. M. 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. 2011. 363 f. **Tese** (Doutorado em Geografia Física) – Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CARRION, O. B. K. Mercado imobiliário e padrão periférico de moradia: Porto Alegre e sua Região Metropolitana. **Ensaios FEE**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 225-250, 1989.

CASANOVA, F. Mapeamento do relevo tecnogênico da Bacia hidrográfica urbana do Arroio Moinho, sub-bacia do Arroio Dilúvio, Porto Alegre, RS. 2025. 140 p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/285357>
Acesso em: 11 nov. 2025.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. The “Anthropocene”. **Global Change Newsletter**, n. 41, p. 17-18, 2000.

DE REU, J.; BOURGEOIS, J.; BATS, M.; ZWERTVAEGHER, A.; GELORINI, V.; SMEDT, P.; CHU, W.; ANTROP, M.; MAEYER, P.; FINKE, P. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. **Geomorphology**, [S.L.], v. 186, p. 39-49, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.015>.

DIAS, T. S. Mapeamento geomorfológico do município de Porto Alegre, RS: uma análise multiescalar. 2014. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DOUGLAS, I. **The Urban Environment**. Londres: Edward Arnold, 1983.

FILCHTINER, G. Solo urbano: funcionamento e incidência do mercado de terras sobre os setores de baixa renda na Região Metropolitana de Porto Alegre; Gravataí/Cachoeirinha – 1946/76. 1979. 240 f. **Dissertação** (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.

FONSECA, C. **Família, Fofoca e Honra: etnografia de relações de gênero e violência em grupos populares**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

FRANCO, S. C. **Porto Alegre: guia histórico**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS, 1988.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Análise ambiental urbana na área metropolitana de Porto Alegre - RS: Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio. 2001. 235 f. **Tese** (Doutorado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FURLAN, A. R.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Cartography of original and technogenic landforms in the Tigre watershed, Erechim, RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 26, n. 3, 2025. DOI: 10.20502/rbg.v26i3.2624. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2624>. Acesso em: 20 out. 2025.

GOUDIE, A. S.; VILES, H. A. *Geomorphology in the Anthropocene*. Cambridge: Cambridge Press, 2016.

HASENACK, H.; WEBER, E.; MARCUZZO, S. (org.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação e Ocupação**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022: informações de população e domicílios por setores censitários. 2022**. Disponível em: <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>. Acesso em: 24 mar. 2024.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Pesquisa de Núcleos Urbanos Informais. 2019**. Disponível em: <https://pnui.ipea.gov.br/dados.html>. Acesso em: 19 out. 2024.

LAVE, R.; WILSON, M. W.; BARRON, E. S. Intervenção: Geografia Física Crítica / Intervention: Critical Physical Geography. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 9, n. 1, p. 77–94, 2019. DOI: 10.36403/espacoaberto.2019.25397. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/25397>. Acesso em: 20 out. 2025.

LUZ, Rodolfo Alves da. A cartografia geomorfológica pré-urbana e antropogênica da planície do rio Pinheiros, São Paulo (SP). **Derbyana**, [S. l.], v. 45, 2024. DOI: 10.69469/derb.v45.834. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/834>. Acesso em: 3 out. 2025.

MOURA, N. S. V. Estudos geográficos com ênfase na geomorfologia: questões teóricas, metodológicas, mapeamentos e aplicações em estudos ambientais. **Brazilian Geographical Journal**, v. 2, n. 1, p. 171-181, 2011.

MOURA, N. S. V. Mapeamento Geomorfológico da Planície e Terras Baixas Costeiras do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 12, n. 2, p. 229–246, 2022. DOI: 10.36403/espacoaberto.2022.54584. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/54584>. Acesso em: 22 out. 2025.

MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. Elaboração do Mapa Geomorfológico do Município de Porto Alegre - RS. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 113–138, 2013. DOI:

10.5902/2179460X9345. Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9345>. Acesso em: 22 out. 2025.

MOURA, N. S. V.; SILVA, T. M.; GOUVEIA, I. C. M. C.; PEIXOTO, M. N. O.; FELIPPE, M. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; PELOGGIA, A. U. G.; NOLASCO, M. C. Diretrizes para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas no Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 4, p. 1-16, dez. 2023.

<https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v24i4.2466>

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalem: Keter Publishing House, 1983.

PELECH, A. S.; PEIXOTO, M. N. O. Rios urbanos: contribuições da Antropogeomorfologia e dos estudos sobre o Terrenos Tecnogênicos. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 65, n. 1, p.2-22, 2020. https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2020_n1_2-22

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 16, p. 24-31, 2005. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0002>

PELOGGIA, A. U. G.; SILVA, E. C. N.; NUNES, J. O. R.. Technogenic landforms: conceptual framework and application to geomorphologic mapping of artificial ground and landscapes as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences**, [S. l.], v. 5, n. 2, 2014. DOI: 10.5380/abequa.v5i2.34811. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/34811> . Acesso em: 11 nov. 2025.

PHILIPP, R. P.; CAMPOS, R. S. Geologia, petrografia e litogeoquímica do Gnaisses de Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações geotectônicas. **Pesquisas em Geociências**, v. 31, n. 2, p. 79-94, 2004. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.19575>

PORTO ALEGRE. Secretaria do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade. **Plano de Ação Climática: análise de riscos e vulnerabilidade climática**. Relatório. 2. ed. 2024. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/smamus/plano-de-acao-climatica> Acesso em: 22 out. 2025.

REHBEIN, M. Mapeamento geomorfológico aplicado na análise de impactos ambientais urbanos: contribuições ao (re)conhecimento de morfologias, morfocronogêneses e morfodinâmicas do relevo da bacia hidrográfica do Arroio Feijó – RS. 2011. **Tese** (Doutorado em Geografia Física). Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.8.2011.tde-20062012-112916>

RODRIGUES, B. B. A difícil gestão de arroios urbanos: estarão mortos os arroios de Porto Alegre? O caso do Arroio Moinho. 2015. 87 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, C. On Anthropogeomorphology. In: REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999. v. 1, p. 100-110.

RODRIGUES, C. Mapas geomorfológicos de paisagens antrópicas: metodologia, bases conceituais, conteúdos e estrutura de legenda. **Derbyana**, [S. l.], v. 45, 2024. DOI: 10.69469/derb.v45.844. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/844>. Acesso em: 3 out. 2025.

RODRIGUES, C.; LUZ, R. A.; MOROZ CACCIA-GOUVEIA, I. C.; VENEZIANI, Y.; SIMAS, I. T. H.; CARVALHO, D. Abordagem histórica e fontes de informação para o mapeamento geomorfológico retrospectivo de áreas urbanizadas. **Derbyana**, [S. l.], v. 45, 2024. DOI: 10.69469/derb.v45.841. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/841>. Acesso em: 3 out. 2025.

ROSS, J. L. S. Registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6 , p. 17-29, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>.

SANTOS, C. M.; MOURA, N. S. M.; CASANOVA, F.. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, Porto Alegre (RS): Estudo comparativo entre morfologia original e antropogênica. **Derbyana**, [S. l.], v. 46, 2025. DOI: 10.69469/derb.v46.854. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/854> . Acesso em: 3 out. 2025.

SCHUMANN, C. Análise econômica da preservação de matas ciliares na perda de solos em bacias hidrográficas urbanas: estudo de caso da sub-bacia do Arroio Moinho/RS. 2021. 84 f. **Dissertação** (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

SIMAS, I. T. H.; RODRIGUES, C.; HOOKE, J. Geotecnologias e maior precisão no mapeamento de morfologias originais e antropogênicas aplicadas à avaliação do risco de inundações. **Derbyana**, [S. l.], v. 45, 2024. DOI: 10.69469/derb.v45.824. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/824>. Acesso em: 3 out. 2025.

SZABÓ, J. Anthropogenic Geomorphology: Subject and System. In: SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. (ed.). **Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-made Landforms**. Dordrecht: Springer, 2010, p. 3-10.

TAROLLI, P.; SOFIA, G.; WENFANG, C. A. O. The Geomorphology of the Human Age. In: **ENCYCLOPEDIA OF THE ANTHROPOCENE**. 1. ed. [S. l.]: Elsevier, 2018. (1). v. 1, p. 35–43. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10501-4>. Acesso em: 26 nov. 2024.

WEIMER, R. A. Do centro à periferia: “malocas” e remoções na constituição do espaço urbano de Porto Alegre (1952-1973). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA, 29., 2017, Brasília. **Anais...** Brasília, 2017.