

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**MAPEAMENTO DO RELEVO TECNOGÊNICO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
URBANA DO ARROIO MOINHO, SUB-BACIA DO ARROIO DILÚVIO, PORTO  
ALEGRE, RS**

**Felipe Casanova**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Nina Simone Vilaverde Moura**

**Porto Alegre  
Janeiro de 2025**

Felipe Casanova

**Mapeamento do Relevo Tecnogênico da Bacia Hidrográfica Urbana do  
Arroio Moinho, Sub-bacia do Arroio Dilúvio, Porto Alegre, RS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Geografia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
como requisito para conclusão do curso de  
Mestrado e obtenção do título de Mestre em  
Geografia

Orientadora: Dra. Nina Simone Vilaverde Moura

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Luís Alberto Basso

---

Prof. Dra. Maria Naíse de Oliveira Peixoto

---

Prof. Dra. Telma Mendes da Silva

Porto Alegre  
Janeiro de 2025

### CIP - Catalogação na Publicação

Casanova, Felipe  
Mapeamento do relevo tecnogênico da bacia  
hidrográfica urbana do Arroio Moinho, sub-bacia do  
Arroio Dilúvio, Porto Alegre, RS / Felipe Casanova. --  
2025.  
140 f.  
Orientadora: Nina Simone Vilaverde Moura.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,  
2025.

1. Geomorfologia Antropogênica. 2. Geomorfologia  
Urbana. 3. Cartografia Geomorfológica. 4. Cartografia  
Retrospectiva. 5. Antropoceno. I. Vilaverde Moura,  
Nina Simone, orient. II. Título.

## AGRADECIMENTOS

### Agradeço

Primeiramente à minha família: aos meus pais, Daiane e Cleto, por todo apoio financeiro que puderam me oferecer ao longo de toda a graduação. À minha avó, Regina, por todo amor, acolhimento e ajuda em todos os momentos. À minha avó, Iracita, que sempre torceu por mim e agora torce de algum outro lugar. Ao Lucas, pelo amor e companheirismo nos últimos seis anos, além de todo apoio e estímulo em seguir na vida acadêmica, sem você, tudo teria sido muito mais difícil e complicado, juntos somos melhores. Aos meus sogros, Nilza e Jayme, por inúmeras vezes cozinharem para a gente enquanto estudávamos.

Às minhas grandes amigas Dafne, Laura e Maria, que me acompanham desde o início da graduação e me apoiaram muito nos últimos anos; obrigado pela torcida de sempre e todos os momentos de descontração. À Carol, com quem, nos últimos tempos tive imensas trocas acadêmicas e ajudas mútuas. À Nicoli, com quem morei nos primeiros anos em Porto Alegre e sempre está na torcida por mim. Vocês foram — e estão sendo — muito importantes em minha formação.

À minha orientadora, professora Nina, pela orientação sempre muito atenciosa, embora rigorosa, e todas as conversas e provocações necessárias. Seu apoio, incentivo e oportunidades oferecidas foram essenciais na minha jornada acadêmica. Sou muito grato e feliz por te ter em minha vida!

À professora Kátia Kellem da Rosa, quem primeiro me apresentou a Geomorfologia e participação na banca de qualificação do mestrado, sempre me guiando ao aprendizado.

À professora Telma Mendes Silva, que sempre me dá ótimos *feedbacks*, e ao professor Clódís de Oliveira Andrades Filho, pela participação na banca de qualificação e disponibilização de dados geoespaciais.

À professora Maria Naíse de Oliveira Peixoto, da UFRJ, que durante as enchentes de maio/2024 disponibilizaram o NEQUAT para dar seguimento a este trabalho.

Ao professor André Avelar, também da UFRJ, que disponibilizou equipamento técnico do LIEG para utilização durante as enchentes de maio/2024.



Ao professor Rafael Ribeiro da Rocha, pela ajuda e disponibilização de dados geoespaciais que foram essenciais no andamento deste trabalho.

Ao professor Hasenack e ao Geógrafo Allan por todas ajudas e ensinamentos no Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Biociências da UFRGS.

À bibliotecária Renata, da biblioteca do Instituto de Geociências, pela paciência e ajuda na localização das fotografias aéreas.

À assistente social Eliane, pelo acompanhamento no trabalho de campo no Morro da Cruz.

Ao programa de pós-graduação em Geografia (POSGEA) da UFRGS, pela disponibilização de recursos para os trabalhos de campo e por atenderem todas as demandas relacionadas a este trabalho, além do corpo docente pelos debates e conhecimentos compartilhados.

À CAPES pela concessão da bolsa de pesquisa, auxílio financeiro que foi imprescindível para minha manutenção no mestrado.

## RESUMO

A urbanização ocasiona inúmeras transformações na paisagem, dentre elas, a alteração da dinâmica geomorfológica, de maneira direta ou indireta. Essas mudanças resultam na formação do relevo tecnogênico, caracterizando o objeto de estudo das pesquisas no âmbito da Geomorfologia Antropogênica. Inserida neste campo, a presente pesquisa tem como objetivo principal compreender as alterações morfológicas resultantes das intervenções antrópicas na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Moinho, na cidade de Porto Alegre, através da identificação e do mapeamento das formas de relevo tecnogênicas. Para tanto, inicialmente, contextualizou-se a área de estudo no meio físico regional, considerando os aspectos geológicos e geomorfológicos na conformação do relevo local. Com a utilização das abordagens da Cartografia Geomorfológica e da Cartografia Retrospectiva, foi possível identificar a morfologia original em escala 1:10.000, caracterizando as formas de relevo e os cursos d'água anteriores às intervenções antrópicas. Concomitantemente, através do uso de dados cartográficos históricos e operacionalização em SIG, mapeou-se a expansão urbana sobre as encostas, identificando os padrões espaciais resultantes e a evolução das formas tecnogênicas. Através de uma análise comparativa entre a morfologia original e a morfologia tecnogênica, foi possível dimensionar e caracterizar as mudanças morfológicas na bacia resultantes do agenciamento humano. Dessa forma, constatou-se que, na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, a ocupação urbana teve início nas áreas de planícies e de patamares planos, direcionando-se às encostas declivosas e aos topos dos morros ao longo das últimas décadas, resultando em núcleos de ocupação informal sobre áreas de risco. Foram identificadas formas tecnogênicas associadas ao agenciamento humano direto e indireto que provocaram mudanças na morfodinâmica da bacia, sobretudo no que diz respeito à dinâmica superficial, intensificando as enxurradas e a probabilidade de ocorrência aos movimentos de massa. Por fim, compreende-se que as transformações morfológicas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho refletem a intensidade da atuação humana sobre o relevo, evidenciando o ser humano enquanto um agente de mudanças ambientais no Antropoceno.

**Palavras-chave:** geomorfologia antropogênica, geomorfologia urbana, cartografia geomorfológica, cartografia retrospectiva, antropoceno.

## ABSTRACT

Urbanization is a driver of transformations in the landscape system, including direct and indirect alterations in geomorphological dynamics. These changes result in the formation of technogenic landforms, which constitute the focus of studies on Anthropogenic Geomorphology. Within this field of knowledge, this research aims to understand the morphological changes resulting from anthropic interventions in the *Arroio Moinho's* Subbasin, located in the city of Porto Alegre, through the identification and mapping of technogenic landforms. To achieve this objective, initially, this study contextualized the research area within its regional physical environment, considering geological and geomorphological aspects that shape the local relief. Utilizing Geomorphological Mapping and Retrospective Cartography approaches, it was possible to identify the original landscapes at a 1:10.000 scale, characterizing the landforms and watercourses before human interventions. Simultaneously, using historical cartographic data and Geographic Information Systems (GIS), it was possible to map urban expansion onto slopes, identifying the spatial patterns and the evolution of technogenic landforms. Through a comparative analysis between the original and technogenic morphology, the study quantified and characterized the morphological changes in the basin resulting from human agency. It was found that, in the *Arroio Moinho's* basin, urban occupation initially began in flat plains, subsequently expanding to steep slopes and hilltops over the past decades. This expansion resulted in informal settlements in risk-prone areas. Technogenic landforms associated with direct and indirect human agency were identified, which have altered the basin's morphodynamics, particularly surface dynamics, intensifying runoff and increasing the likelihood of mass movements. In conclusion, the morphological transformations in *Arroio Moinho's* basin reflect the intensity of human activity on the relief, highlighting humans as agents of environmental changes during the Anthropocene.

**Keywords:** anthropogenic geomorphology, urban geomorphology, geomorphological mapping, retrospective cartography, anthropocene.

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

AHPAMV – Arquivo Histórico de Porto Alegre Moysés Vellinho  
BSP – Bacia Sedimentar de Pelotas  
DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre  
DEPLAN/RS – Departamento de Planejamento do estado do Rio Grande do Sul  
ESRG – Escudo Sul-Riograndense  
GT/RT – Grupo de Trabalho sobre o Relevo Tecnogênico  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas  
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
MDS – Modelo Digital da Superfície  
MDT – Modelo Digital do Terreno  
NUI – Núcleo Urbano Informal  
POA – Porto Alegre  
RMPA – Região Metropolitana de Porto Alegre  
RS – Rio Grande do Sul  
SBCR – Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo  
SGB – Serviço Geológico do Brasil  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SMAMUS/POA - Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade de Porto Alegre  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
UGB – União da Geomorfologia Brasileira  
UGI – União Geográfica Internacional

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho..	21
Figura 2: Proposta taxonômica de Ross. ....	39
Figura 3: Diagrama conceitual da classificação do relevo tecnogênico .....	44
Figura 4. Diagrama dos procedimentos metodológicos e operacionais da pesquisa.....	45
Figura 5: Elementos do Relevo identificados pelo <i>Geomorphons</i> .....	52
Figura 6: Elementos do relevo identificados pelo <i>Geomorphons</i> em diferentes resoluções espaciais .....	53
Figura 7: Exemplo de classificação com TPI.....	54
Figura 8: Formas das vertentes identificadas.....	55
Figura 9. Mapa do Substrato Geológico da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. ....	59
Figura 10. Sistemas deposicionais quaternários da Planície Costeira do Rio Grande do Sul .....	62
Figura 11: Padrões de forma de relevo no município de Porto Alegre e localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho .....	64
Figura 12: Mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.....	67
Figura 13: Mapa Clinográfico da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho.....	69
Figura 14: Hierarquia Fluvial da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho.....	71
Figura 15: Mapa Geomorfológico das unidades morfológicas originais e forma das vertentes da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. ....	75
Figura 16: Vista do topo do Morro da Polícia para a porção Sul da bacia do Arroio Moinho. ....	76
Figura 17: Leitões rochosos no Arroio Moinho e afluente .....	77
Figura 18: Solo raso do tipo Neossolo litólico em corte de estrada no topo do Morro da Polícia .....	78
Figura 19: : Morro da Cruz com vertentes côncavas e em cabeceiras de drenagens e topo convexo .....	79
Figura 20: Vertentes côncavas nas cabeceiras de afluente do Arroio Moinho, no Morro da Cruz.. ....	79
Figura 21: Arroio Moinho em seu curso sobre o padrão de formas em Patamares. ....	80
Figura 22: Praça da Amizade, na Av. Luiz Moschetti.....	81

Figura 23: Foz do Arroio Moinho no Arroio Dilúvio..	82
Figura 24: Zona Central de Porto Alegre – 1839 x 2025.	85
Figura 25: Mapa da Região Metropolitana de Porto Alegre.....	86
Figura 26: População x Taxa de crescimento demográfico em Porto Alegre (1872 a 2022) .....	89
Figura 27: Mapa da expansão urbana na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho entre os anos de 1941 e 2024.....	90
Figura 28: Mapa da mancha urbana em 1941 sobre os padrões de forma da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.....	92
Figura 29: Mapa da mancha urbana em 1956 sobre os padrões de forma da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. ....	94
Figura 30: Loteamentos no bairro São José, em meados da década de 1950..	96
Figura 31: Mapa de mancha urbana em 1982 sobre os padrões de forma da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho .....	97
Figura 32: Mapa da mancha urbana em 1982 sobre os padrões de forma da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.....	98
Figura 33: Antiga cava de mineração na Praça Saibreira..	99
Figura 34: Áreas de risco na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. ....	100
Figura 35: Núcleos Urbanos Informais no contexto da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho.....	102
Figura 36: Mapa Geomorfológico com ênfase no relevo tecnogênico da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Moinho .....	105
Figura 37: Planícies fluviais aterradas do Arroio Dilúvio.....	107
Figura 38: Foz do Arroio Moinho e banco de areia decorrente do assoreamento no Arroio Dilúvio .....	108
Figura 39: Depósitos tecnogênicos em canal fluvial em afluente de primeira ordem do Arroio Moinho .....	108
Figura 40: Praça Mirante da Cruz, no topo do Morro da Cruz.....	109
Figura 41 - Cava de mineração em 1982 x Praça Saibreira em 2024.....	110
Figura 42: Tecnoformas de escavação com morfologia em superfícies lineares .....	112
Figura 43: Tecnoformas em Patamares Planos.....	112

Figura 44: Construções sobre terraços fluviais em afluentes do Arroio Moinho .....	113
Figura 45: Fotografias aéreas com destaque aos degraus de abatimento.....	114
Figura 46: Geotecnoformas de denudação .....	115
Figura 47: Ruptura do pavimento asfáltico sobre trecho canalizado do Arroio Moinho, próximo à sua foz no Arroio Dilúvio .....	122

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Materiais utilizados para construção da base cartográfica .....	46
Quadro 2: Documentos cartográficos utilizados para a etapa da Cartografia Retrospectiva .....	47
Quadro 3: Índices morfométricos adotados na pesquisa .....	49
Quadro 4: Dados, ferramentas, <i>softwares</i> e produtos intermediários para a análise geomorfológica e classificação do relevo da área de estudo.....	51
Quadro 5: Classificação das formas de relevo tecnogênicas .....	57
Quadro 6: Resultados dos cálculos e análise dos índices e parâmetros morfométricos.....	72

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Declividade por área na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho ..	68
Tabela 2: Evolução da ocupação urbana sobre a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho .....	91



## SUMÁRIO

<b>1 Introdução</b> .....	15
<b>1.1 Posicionamento do tema</b> .....	15
<b>1.2 Justificativas</b> .....	17
<b>1.3 Objetivos da pesquisa</b> .....	19
<b>1.4 Área de Estudo</b> .....	20
<b>2 Referencial teórico-metodológico</b> .....	22
<b>2.1 O fator antrópico na pesquisa geomorfológica</b> .....	22
<b>2.2 A Geomorfologia no Antropoceno</b> .....	29
<b>2.3 Cartografia Geomorfológica</b> .....	32
<b>2.4 Mapeamento do Relevo Tecnogênico</b> .....	39
<b>3 Procedimentos Metodológicos e Operacionalização</b> .....	45
<b>3.1 Tratamento da base cartográfica e delimitação da área de estudo</b> .....	46
<b>3.2 Cartografia Retrospectiva</b> .....	47
<b>3.3 Análise Geomorfológica da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Moinho</b> .....	48
<b>3.3.1 Análise dos parâmetros morfométricos</b> .....	49
<b>3.3.2 Operacionalização em SIG e produção de mapas temáticos</b> .....	50
<b>3.4 Compartimentação do relevo e identificação da morfologia original</b> ..	54
<b>3.4.1 Análise da forma das vertentes</b> .....	55
<b>3.5 Mapeamento e análise das formas de relevo tecnogênicas</b> .....	56
<b>4 Contextualização no meio físico</b> .....	58
<b>4.1 Caracterização Geológica</b> .....	58
<b>4.2 Caracterização Geomorfológica</b> .....	63
<b>4.2.1 Morfogênese Regional</b> .....	65
<b>4.2.2 Compartimentação do relevo</b> .....	66
<b>4.2.2.1 Análise Morfométrica</b> .....	66

<b>4.2.2.2 Mapa Geomorfológico.....</b>	<b>73</b>
<b>4.2.2.2.1 Padrão de Morros com Topos Convexos .....</b>	<b>76</b>
<b>4.2.2.2.2 Padrão em Patamares .....</b>	<b>80</b>
<b>4.2.2.2.3 Padrão em Planícies Fluviais .....</b>	<b>81</b>
<b>5 Caracterização do processo de urbanização sobre a Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho.....</b>	<b>83</b>
<b>5.1 O avanço da urbanização sobre a bacia do Arroio Moinho.....</b>	<b>89</b>
<b>5.1.1 Ocupação urbana até 1941 .....</b>	<b>91</b>
<b>5.1.2 Avanço da urbanização de 1941 a 1956.....</b>	<b>94</b>
<b>5.1.3 Avanço da urbanização de 1956 a 1982.....</b>	<b>96</b>
<b>5.1.4 Avanço da urbanização de 1982 e 2024.....</b>	<b>98</b>
<b>6 O Relevo Tecnogênico na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho..</b>	<b>103</b>
<b>6.1 Elevações e Superposições Tecnogênicas.....</b>	<b>106</b>
<b>6.1.1 Tecnoformas de Acumulação .....</b>	<b>106</b>
<b>6.1.2 Geotecnoformas de Acumulação.....</b>	<b>107</b>
<b>6.2 Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas.....</b>	<b>109</b>
<b>6.2.1 Tecnoformas de escavação .....</b>	<b>109</b>
<b>6.2.2 Geotecnoformas de denudação .....</b>	<b>114</b>
<b>7 Análise e Discussões Finais.....</b>	<b>116</b>
<b>8 Conclusões .....</b>	<b>125</b>
<b>9 Referências Bibliográficas .....</b>	<b>129</b>

## 1. Introdução

### 1.1. Posicionamento do tema

As formas de relevo, os processos geomórficos e o material superficial constituem os objetos de estudos da Geomorfologia. O mapa geomorfológico é o mapa síntese do relevo e, através de sua interpretação, torna-se possível a compreensão de sua evolução, da dinâmica geomorfológica e das suscetibilidades naturais impostas pela morfologia da superfície terrestre (Cassetti, 2006). Visto que é sobre as formas de relevo que as cidades e as atividades socioeconômicas se desenvolvem, os mapas geomorfológicos se constituem como uma importante referência para a mitigação de desastres e riscos ambientais, para a gestão territorial e para o planejamento urbano-ambiental visando uma apropriação conservacionista do relevo.

Embora a construção científica da ciência geomorfológica tenha se dado ao longo dos séculos XIX e XX, o conhecimento da dinâmica do relevo sempre foi essencial na evolução e estruturação das sociedades, uma vez que os fenômenos e os processos geomorfológicos eram/são observados e considerados por diferentes sociedades na determinação da localização dos primeiros assentamentos humanos e dos sítios das primeiras cidades (Douglas, 1983; Sposito, 1988; Rózsa, 2010).

Com o desenvolvimento técnico e científico pós-revolução industrial e o desenvolvimento do modo de produção capitalista, diferentes sociedades se tornaram capazes de transformar cada vez mais a natureza (Santos, 2006). Nesse cenário, as discussões acerca das influências antrópicas sobre o ambiente ganham maior notoriedade a partir da primeira conferência global sobre o meio ambiente: a Conferência de Estocolmo de 1972. Emergem, portanto, no contexto das discussões ambientais, diferentes abordagens e teorias que buscam compreender os impactos ocasionados pelo agenciamento humano sobre a natureza, como o Antropoceno, que é caracterizado como um período do tempo geológico em que o ser humano pode ser considerado um agente geológico-geomorfológico pela extensão das alterações ocasionadas pelo agenciamento humano no sistema global em um curto período, se considerarmos a escala do tempo geológico (Crutzen, 2002; Goudie e Viles, 2016).

No contexto da ciência geomorfológica, a Geomorfologia Antropogênica é a subdisciplina que explora e investiga os efeitos das influências antrópicas sobre o sistema do relevo, considerando o funcionamento da chamada tríade geomorfológica: forma, processo e material. Para Moura *et al.* (2023), nessa disciplina o ser humano é considerado como um agente geomorfológico capaz de interferir no processo de evolução e formação do relevo, originando as formas e os depósitos tecnogênicos, de maneira direta ou indireta, também sendo capaz de desencadear, suprimir, acelerar ou atenuar determinados processos geomorfológicos — que, por sua vez, resultam na alteração das formas e assim sucessivamente.

Nesse cenário, a Geomorfologia Antropogênica é a especialidade que investiga e dimensiona os efeitos do agenciamento humano sobre o relevo em múltiplas escalas espaciais e temporais. Deste modo, essa disciplina possui inúmeras aplicabilidades na gestão territorial e no planejamento ambiental urbano através do mapeamento geomorfológico do relevo tecnogênico, que identifica não somente as formas tecnogênicas, mas também os processos geomorfológicos induzidos, suprimidos, acelerados ou atenuados pelo agenciamento humano (Lóczy, 2010); esses mapas são essenciais na compreensão da dinâmica geomorfológica de ambientes artificializados e na identificação de áreas de risco geomorfológico.

No contexto brasileiro, em que a maior parte das metrópoles passaram por um processo de urbanização marcado pela segregação socioespacial, ocorre a ocupação de encostas íngremes e de planícies de inundação, áreas sensíveis a quaisquer alterações antrópicas, dadas as suas características naturais. Essas intervenções acabam resultando em problemas ambientais urbanos, tais como enxurradas, movimentos de massa e inundações, que podem resultar em inúmeros problemas tanto de ordem ambiental e quanto socioeconômica. Essas áreas, geralmente menos valoradas pelo mercado imobiliário, são inicialmente ocupadas por populações de média e baixa renda, muitas vezes excluídas do processo formal do planejamento urbano. Esse é o caso de Porto Alegre e da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho, área em que este trabalho se atém em estudar.

A área de estudo deste trabalho apresenta uma diversidade de intervenções antrópicas no meio onde inúmeras famílias vivem em áreas de risco

a movimentos de massa e enxurradas, dadas as características morfológicas naturais. A escolha pela sub-bacia enquanto unidade de análise é justificada pela abordagem sistêmica, que considera uma bacia hidrográfica como um sistema aberto e um recorte natural da paisagem, nesse sentido, através da cartografia retrospectiva do relevo é possível identificar as mudanças morfológicas ao longo do tempo.

Esta pesquisa busca, portanto, identificar a morfologia original e o relevo tecnogênico dessa área através das diretrizes teórico-metodológicas do Grupo de Trabalho sobre o Relevo Tecnogênico do Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo apresentadas em Moura *et al.* (2023), estando inserido no contexto do desenvolvimento científico da Geomorfologia Antropogênica brasileira. Além disso, busca-se ampliar os conhecimentos acerca da evolução do relevo tecnogênico na cidade de Porto Alegre, na perspectiva de que o seu produto possa ser utilizado para a atenuação de riscos e desastres, no ordenamento territorial e no planejamento urbano-ambiental de bacias hidrográficas urbanas.

## 1.2. Justificativas

Da mesma maneira que outras cidades brasileiras, Porto Alegre passou por uma urbanização desigual, em que as consequências foram a segregação socioespacial e a ocupação em áreas de risco geomorfológico pela população de baixa e média renda. Esses fatores aumentam a vulnerabilidade destas populações frente aos riscos ambientais, como é o caso dos bairros presentes na sub-bacia hidrográfica urbana do Arroio Moinho: Vila João Pessoa, Coronel Aparício Borges, Partenon e São José.

O relatório “*Plano de Ação Climática: análise de riscos e vulnerabilidade climática*”, que em outubro de 2024 ainda estava em vias de elaboração, organizado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade de Porto Alegre (SMAMUS/POA) identifica os riscos e as vulnerabilidades climáticas do município de Porto Alegre com base na metodologia do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC)<sup>1</sup>. Esse relatório indica que em 2050 os bairros Vila João Pessoa, Coronel

---

<sup>1</sup> Essa metodologia leva em consideração as ameaças dos eventos climáticos, a exposição da população e sua vulnerabilidade e o grau de risco definido pela probabilidade de ocorrência de eventos perigosos e os potenciais impactos de determinados eventos na população. As

Aparício Borges e São José estarão entre os bairros mais suscetíveis aos impactos de tempestades, ondas de calor, secas, inundações, deslizamentos de terra e erosão. Esses riscos estão relacionados não somente com as mudanças climáticas antropogênicas que resultarão em cada vez mais eventos extremos de precipitação e temperatura, mas também com a forma pela qual o relevo foi apropriado e o espaço ocupado pelas diferentes populações.

Além dos aspectos supracitados, a escolha da área se baseia em sua localização. A sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho é uma sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, em Porto Alegre, e faz parte da Região Hidrográfica do Lago Guaíba. Essa sub-bacia ainda registra poucos estudos na literatura científica, sobretudo no âmbito da Geomorfologia; nesse sentido, o presente trabalho proporciona dados ambientais e subsídios inéditos que ampliam o conhecimento científico sobre essa área. Cerca de  $\frac{3}{4}$  da área da sub-bacia é densamente urbanizada, o que a caracteriza como uma bacia hidrográfica urbana; nesse sentido, os estudos ambientais nessas áreas se justificam pela necessidade da produção de dados socioambientais para o planejamento urbano-ambiental e gestão territorial com vistas à conservação dos recursos hídricos e da melhoria da qualidade de vida urbana.

Merece destaque o fato de que a Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio é constantemente alvo de projetos de revitalização e de despoluição, visto que é uma das bacias mais importantes do município, onde vive cerca de um terço da população de Porto Alegre (IBGE, 2022). Ao longo do tempo, por conta da expansão urbana, o Arroio Dilúvio sofreu com diversas alterações, como o desvio do canal principal, a retificação e a mudança no local da sua foz, além de que diversos de seus afluentes tiveram seus cursos completamente alterados (retificados, canalizados, aterrados ou tamponados), alterando os processos fluviais e hidrográficos. Portanto, a bacia do Arroio Dilúvio é uma bacia com amplas áreas impermeáveis e intensas intervenções da agência humana, assim como a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.

Sendo assim, esta pesquisa se insere em um contexto de ampliação do conhecimento científico sobre as bacias hidrográficas urbanas de Porto Alegre,

---

previsões são com base no cenário SSP3-7.0 do IPCC (2022), o qual considera um aquecimento global médio de 2°C até 2050.

sobretudo a bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, cuja área é densamente ocupada e visada pelo mercado imobiliário, o que resulta em intensas e contínuas intervenções ambientais que resultam em mudanças geomorfológicas. No que concerne os estudos geomorfológicos na Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, destacam-se as pesquisas de Fujimoto (2001), em que realiza a análise ambiental urbana da sub-bacia hidrográfica do Arroio Mãe d'Água; de Buscher (2018), que realiza o mapeamento das formas de relevo da sub-bacia do Arroio Cascata; e de Bublitz (2019), que contempla a Geohistória do Arroio Dilúvio. Além destas, salienta-se a existência de outras pesquisas em pleno desenvolvimento no Departamento de Geografia e no Instituto de Geociências da UFRGS.

No contexto do Antropoceno, evidencia-se a importância de contribuições da Geomorfologia Antropogênica e, sobretudo da Geografia, na compreensão dos impactos antrópicos sobre o meio. Ao considerarmos o meio urbano como um novo ecossistema, torna-se necessário estudá-lo e compreendê-lo de modo que a pesquisa sirva como base para uma governança ambiental em escala local e regional (Douglas, 1983).

Nesse sentido, a presente pesquisa de dissertação de mestrado visa contribuir para o avanço do conhecimento científico no âmbito da Geomorfologia Antropogênica e para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção de riscos a desastres ambientais. Vê-se a relevância da pesquisa como subsídio para a compreensão das mudanças ambientais locais no âmbito da sub-bacia, sendo importante base para futuros trabalhos de renaturalização do meio ambiente urbano com soluções baseadas na natureza, conforme indicado pelo IPCC (2023) para a mitigação e adaptação das mudanças climáticas. Espera-se que os resultados dessa pesquisa auxiliem a aplicação de políticas públicas voltadas ao planejamento urbano-ambiental do município de Porto Alegre, sobretudo aquelas que tangem o manejo dos recursos hídricos, dos solos e a mitigação de riscos.

### **1.3. Objetivos da pesquisa**

Os pressupostos deste trabalho remetem a uma pergunta de pesquisa: “Como as intervenções antrópicas decorrentes da urbanização alteraram o relevo e a dinâmica geomorfológica na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio

Moinho?”. Para responder essa indagação de caráter amplo, esta pesquisa conta com alguns objetivos: um geral e quatro específicos.

O objetivo geral deste trabalho é compreender as alterações no relevo na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, a partir da identificação e mapeamento das formas de relevo tecnogênicas. Para a identificação das formas de relevo tecnogênicas será necessário atingir objetivos mais específicos, tais como:

- Contextualizar a área de estudos nos aspectos geológicos e geomorfológicos regionais;
- Caracterizar o processo de urbanização da área de estudo no contexto do município de Porto Alegre.
- Reconstituir a morfologia original da área de estudo.
- Identificar e mapear as formas de relevo tecnogênicas da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.

#### **1.4. Área de Estudo**

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho ainda carece de produções científicas que versem sobre os aspectos sociais, históricos e ambientais, tendo sido encontrado, nos repositórios de trabalhos científicos, apenas os trabalhos de Beux (2004), Lopez (2011), Rodrigues (2015), Rodrigues *et al.* (2021) e Schumann (2021) — esses trabalhos abordam, principalmente, as questões relacionadas à qualidade da água e ao uso e ocupação do solo; nenhum desses trabalhos aborda a dinâmica geomorfológica desta sub-bacia.

Essa sub-bacia se localiza entre as latitudes  $-30^{\circ} 3' 30.95''$  e  $-30^{\circ} 5' 26.1''$  e as longitudes  $-51^{\circ} 10' 56.68''$  e  $-51^{\circ} 9' 40.73''$ , compreendendo inteiramente o bairro Vila João Pessoa e parcialmente os bairros São José, Partenon e Coronel Aparício Borges, da cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). Suas nascentes estão localizadas entre o Morro da Polícia, o Morro Pelado, o Morro da Cruz e o Morro da Companhia, com a sua foz no Arroio Dilúvio, próximo à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

Além disso, a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho faz parte da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, que deságua no Lago Guaíba. A área drenada pelo sub-bacia e seus afluentes ocupa cerca de  $4,861\text{km}^2$ ; desse montante, cerca de



71% da área é densamente ocupada, onde vivem mais de 30 mil pessoas (IBGE, 2022).

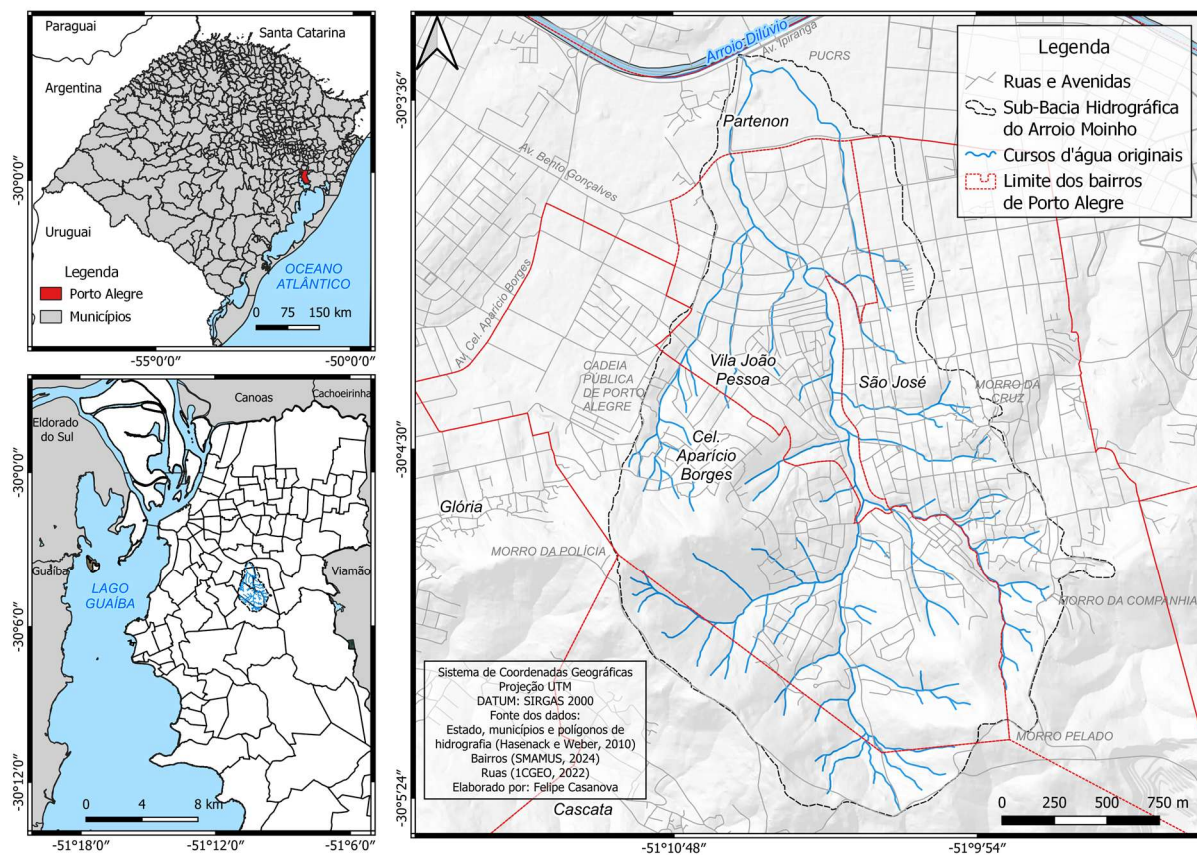


Figura 1: Mapa de Localização da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024).

## **2. Referencial teórico-metodológico**

### **2.1 O fator antrópico na pesquisa geomorfológica**

A Geomorfologia clássica partiu de duas linhagens epistemológicas distintas: uma anglo-saxônica, cuja base epistemológica e conceitual se baseou na teoria do Ciclo Geográfico de Davis (1899); e uma germânica e soviética, que surge no contexto do naturalismo alemão, tendo Humboldt como principal precursor (Abreu, 2003). Para Christofletti (1980), a ciência geomorfológica também foi influenciada por diferentes teorias e perspectivas filosóficas que imperaram em diferentes momentos ao longo dos séculos XIX e XX, como a Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy e o movimento ambiental a partir da década de 1970. As descobertas científicas e tecnológicas que se sucederam a partir da segunda metade do século XX, como a Teoria da Tectônica de Placas e o desenvolvimento dos sensores remotos, também foram fundamentais na consolidação da Geomorfologia enquanto ciência (Florenzano, 2008).

Ainda na segunda metade do século XX, com a tendência à especialização nas ciências, surgem novos ramos especializados dentro da Geomorfologia, com enfoque a diferentes ambientes e/ou abordagens. Nesse contexto, vê-se a necessidade da realização de análises integradas em Geomorfologia, que, embora se especializem, tenham, no escopo das pesquisas, a visão holística dos fatos e fenômenos geomorfológicos (Marques, 1995). Segundo Christofletti (1990), a abordagem sistêmica foi um dos caminhos encontrados para que a análise integrada ocorresse na Geomorfologia, o que a deu um caráter mais geográfico e menos geológico, dado que essa abordagem proporciona que outros elementos do sistema terrestre passem a ser abordados junto da Geomorfologia, como os aspectos relacionados à Hidrografia, à Climatologia, à Vegetação e a própria sociedade e ação humana.

Segundo Inkpen (2005), a abordagem sistêmica ganha expressão formal na Geomorfologia somente a partir de Chorley e Kennedy (1971), contudo, essa estrutura de pensamento já era presente no naturalismo alemão, como nas obras de Humboldt e da teoria de Penck. Conforme indicam Suertegaray e Nunes (2015):

“A história da Geografia Física é antiga, poderíamos iniciar uma reflexão a partir de Humboldt (1982), na introdução de sua obra *Cosmos*, escrita entre 1845/62, para quem existia duas disciplinas que tratavam da natureza: uma a física, que estudava os processos físicos, a outra a Geografia Física, que estudava a interconexão dinâmica dos elementos da Natureza através de uma visão integrada concebida a partir do conceito de paisagem.” (Suertegaray e Nunes, 2015, p. 15)

Nesse contexto, desde a segunda metade do século XVIII as ideias da natureza enquanto um conjunto integrado de elementos era presente nos pesquisadores de linhagem epistemológica vinculada ao naturalismo. Essa perspectiva permitia considerar o ser humano enquanto um agente passível de ocasionar mudanças ambientais, o que está presente na obra de Humboldt. Segundo Wulf (2019), Humboldt, em meados do século XIX, durante a sua viagem pela Venezuela e Equador, já observava e falava sobre as alterações climáticas ocasionadas pelas ações humanas e relacionou o desmatamento com os movimentos de massa e com a redução dos níveis de água do Lago Valência. Lyell (1875), em seu clássico livro *Principles of Geology*, na edição de 1875, comentava sobre as ações humanas sobre o relevo e o solo, embora considerasse o ser humano apenas como um “agente nivelador”.

Foi a obra *Man and Nature: Physical Geography as Modified by Human Action*, de Marsh (1864), que se tornou um clássico ao discutir o impacto dos seres humanos no ambiente. Neste livro, Marsh discute e observa os efeitos das canalizações de cursos fluviais e as consequências das drenagens no Golfo de Zuiderzee, além de diversas outras modificações antrópicas no ambiente. Assim como o trabalho de Woeikof (1901) intitulado *De l'influence de l'homme sur la Terre*, em que o autor relaciona o desmatamento com os processos de erosão dos solos.

Os estudos relacionando as ações humanas sobre o relevo ganharam maior destaque no contexto científico ocidental após o simpósio *Man's Role in changing the face of the Earth*, de 1955 (Goudie e Viles, 2016; Rodrigues, Danelon e Barcelos, 2022). A partir desse simpósio, com a introdução da abordagem sistêmica na Geografia Física e com as preocupações a respeito do meio ambiente que ganham força a partir da Conferência Ambiental de Estocolmo de 1972, as pesquisas em Geomorfologia, de maneira geral, passam a admitir a interferência antrópica em suas análises, sobretudo aquelas com caráter geográfico (Suertegaray, 2018).

Com o avanço das pesquisas que consideram o fator antrópico sobre o relevo, surgem abordagens da ciência geomorfológica que dão foco maior para a temática, como é o caso da Geomorfologia Antropogênica<sup>2</sup> e da Geomorfologia Urbana, temáticas que este trabalho se preocupa em desenvolver. Essas abordagens e linhas teóricas são sustentadas pelas perspectivas sistêmica e ambiental, trazendo outras reflexões e metodologias para a análise geomorfológica ao considerarem o ser humano enquanto um agente geomorfológico capaz de induzir, atenuar, intensificar ou bloquear os processos naturais de evolução do relevo, além de gerar as formas tecnogênicas — formas resultantes do agenciamento humano direto ou indireto.

Para Moura *et al.* (2023) a Geomorfologia Antropogênica e a análise do relevo tecnogênico se sistematizam a partir da análise da chamada tríade geomorfológica que considera o relevo enquanto resultado da dinâmica entre forma, processo e material. Segundo Peloggia (2005), os modelados tecnogênicos — que seriam as grandes cidades e aglomerados urbanos e seu relevo fortemente alterado — podem ser abordados em termos da Análise Geomorfológica proposta por Ab'Saber (1969) para os estudos do Quaternário. Ab'Saber (1969) indica os níveis de tratamento nas pesquisas em Geomorfologia da seguinte forma:

- Em um primeiro nível, deve-se compreender a Compartimentação Topográfica do relevo a ser estudado; nesta etapa ocorre a caracterização e a descrição das feições de relevo, sendo essencialmente morfográfica e morfológica. É onde ocorre a observação dos padrões, domínios e características específicas para a compreensão da evolução da paisagem.

- O segundo nível de abordagem é denominado de Estrutura Superficial da Paisagem, que diz respeito à compreensão da morfogênese e da morfocronologia do relevo. Nesse nível de abordagem, pode ser realizada a

---

<sup>2</sup> Também merecem destaque outras abordagens, como a Geomorfologia Tecnogênica (Ter-Stephanian, 1988), cuja ênfase é dada à técnica na interferência antrópica sobre o relevo; e a Antropogeomorfologia (Golomb e Eder, 1964), que é definida como o estudo dos seres humanos enquanto modificadores das formas de relevo e de seus processos geradores. Essas abordagens possuem em comum o ser humano enquanto um agente geomorfológico capaz de alterar a forma e os processos geomorfológicos (Santos Filho, 2011). Este trabalho, ao considerar os pressupostos teórico-metodológicos de Moura *et al.* (2023), faz uso da nomenclatura da Geomorfologia Antropogênica.

análise e a coleta de material superficial, como os depósitos correlativos e os estudos relacionados aos aspectos geológicos.

- O terceiro nível de abordagem, o estudo da Fisiologia da Paisagem, compreende a compreensão da morfodinâmica, ou seja, dos processos morfoclimáticos atuais sobre o relevo, incluindo os processos tecnogênicos.

Em nível conceitual, esta abordagem metodológica denota o relevo como o resultado dos fatores endógenos e exógenos, considerando tanto os fatores tectônicos e estruturais como os fatores climáticos e biogeográficos, possibilitando inserir o fator antrópico na análise, visto que, assim como os processos morfodinâmicos, o agenciamento humano reconfigura as formas de relevo. É possível identificar e descrever as feições tecnogênicas a partir de sua morfologia e morfometria, caracterizar a morfogênese e a cronologia das intervenções antrópicas a partir dos depósitos tecnogênicos e compreender como os processos geomorfológicos foram alterados pela ação humana através da compreensão da fisiologia da paisagem.

Deste modo, a Geomorfologia Antropogênica se sustenta nos pressupostos da análise geomorfológica ao considerar as ações antrópicas, diretas ou indiretas, sobre o tripé geomorfológico. Entende-se, portanto, que qualquer alteração, direta ou indireta, em algum elemento desse tripé ocasiona a alteração dos outros dois elementos, gerando impactos e desequilíbrios no sistema do relevo.

As formas tecnogênicas diretas são aquelas construídas ou escavadas diretamente pelo agenciamento humano, como exemplo podemos citar os aterros, os cortes de estrada e as cicatrizes de mineração. As formas tecnogênicas indiretas são formadas de maneira indireta pelo agenciamento humano, que surgem após interferências antrópicas sobre o ambiente, como exemplo dessas formas pode-se citar os sulcos, as ravinas, as voçorocas, os bancos de areia decorrentes do assoreamento ou a colmatação de lagos (Szabó, 2010; Goudie e Viles, 2016; Moura *et al.*, 2023).

A Geomorfologia Urbana, que pode ser considerada como uma subdivisão da Geomorfologia Antropogênica, se preocupa com a ação dos processos geomorfológicos sobre um ambiente urbano, partindo do princípio de que a implantação de cidades e o desenvolvimento urbano não consideraram as limitações biofísicas no assentamento original de implantação da cidade (Jorge,

2011). Segundo Douglas (1983) a criação da paisagem urbana envolve uma modificação nos processos naturais que envolviam a paisagem antecessora. As transformações no espaço e a conversão de uma paisagem natural em uma paisagem urbana ocasiona inúmeros problemas da adequação do terreno para as cidades. Nesse sentido, para Guerra e Marçal (2009):

À medida que as árvores são cortadas, ruas são asfaltadas, casas e prédios são construídos, encostas são impermeabilizadas, rios são canalizados e retificados, ocorre uma série de respostas geomorfológicas, bem típicas das grandes cidades: movimentos de massa e enchentes, que acontecem com frequência, muitas vezes não sendo necessários totais pluviométricos elevados para que esses processos ocorram (Guerra e Marçal, 2009, p. 29-30).

Ou seja: as transformações espaciais ocasionadas pela urbanização desencadeiam ou intensificam processos geomorfológicos que podem ocasionar impactos socioeconômicos. Goudie e Viles (2013) ainda ressaltam que toda urbanização ocasiona mudanças significativas no ecossistema local, além das alterações no relevo, como: a criação de um microclima urbano através das ilhas de calor; as alterações na cobertura da terra e a alteração dos canais fluviais, que alteram, localmente, o ciclo da água; e na biosfera, com a ampliação das áreas desmatadas e a poluição dos recursos hídricos e dos solos.

Os efeitos da urbanização que desconsidera as condições geobiofísicas naturais do sítio a ser urbanizado resulta em problemas ambientais urbanos, como a poluição, as enchentes, as enxurradas, os alagamentos e os movimentos de massa, que afetam diretamente a qualidade de vida de diferentes populações; salienta-se que esses impactos transcendem o espaço urbano impactando outras áreas ou regiões, visto que os impactos ambientais não respeitam limites e fronteiras políticas. Pode-se ainda considerar que todas essas mudanças no ecossistema local se associam às formas tecnogênicas produzidas de maneira direta ou indireta. Portanto, os impactos do desenvolvimento urbano no solo, no relevo e nos cursos d'água são os temas centrais do estudo da Geomorfologia Urbana.

No Brasil, Ab'Saber (1956) inicia as discussões em Geomorfologia Urbana a partir de sua tese, intitulada "*Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo*". Nela, o autor se preocupa não apenas com as questões relacionadas à evolução do relevo, mas também com as questões históricas de construção e produção

do espaço geográfico do sítio urbano de São Paulo. Para o autor, o relevo influencia os modos como a urbanização se desenvolve e influencia quais áreas serão mais ou menos valorizadas pelo mercado imobiliário, partindo do caso de São Paulo. Outros artigos em que Ab'Saber discute a geomorfologia dos sítios urbanos de outras capitais brasileiras foram publicados, como a de Porto Alegre, Salvador e Manaus (Ab'Saber, 2017a; 2017b; 2017c). Embora Ab'Saber não tenha utilizado o termo Geomorfologia Antropogênica (pela inexistência do termo naquele momento), sua tese já discutia as relações entre o ser humano e o relevo, bem como os impactos ocasionados pelo processo de urbanização na morfologia e, portanto, pode ser reinterpretada na abordagem da Geomorfologia Antropogênica.

Segundo Rodrigues, Danelon e Barcelos (2022), no Brasil, os estudos ligados à Geomorfologia Antropogênica se iniciam com a dissertação de Lima (1990), em que discute a urbanização e as intervenções no relevo em São Paulo, sendo o primeiro trabalho que de fato utilizasse a terminologia “Antropogeomorfologia”. Os autores ainda listam outras publicações de destaque no campo da Geomorfologia Antropogênica realizados no Brasil, como Rodrigues (1997) e Pelligia (1997 e 1998), que também possuem como área de estudo a cidade de São Paulo.

No contexto de Porto Alegre, local em que o presente trabalho foi desenvolvido, a tese de Fujimoto (2001) foi pioneira nos estudos em Geomorfologia Urbana e Antropogênica. A autora propôs uma análise ambiental urbana em uma sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, com enfoque na caracterização geomorfológica da área estudada, onde identificou a morfologia original e a morfologia antropogênica. Sobre as morfologias antropogênicas, Fujimoto (2001) identifica morfologias de pequena e grande dimensão; sendo as de pequena dimensão os sulcos e os cones de dejeção tecnogênicos e as de grande dimensão as planícies fluviais tecnogênicas formadas pela deposição de material tecnogênico. Esse trabalho demonstra que a ação humana altera as formas de relevo em micro e mesoescala, diferente do proposto por Ross (1992) que indicava que as formas associadas aos fatores antrópicos e processos

atuais estariam somente no 6° táxon de sua proposta taxonômica<sup>3</sup>. Fujimoto (2001) percebeu que as formas de relevo tecnogênicas são passíveis de mapeamento até o 4° táxon na proposta de Ross (1992), sendo este táxon as formas de relevo individualizadas.

Ainda sobre as intervenções humanas no relevo, Moura *et al.* (2023, p. 5) ressaltam o seguinte:

“um primeiro conjunto de processos de intervenção no contexto da agência humana encontra-se associado à retirada da cobertura vegetal em função das alterações do uso da terra, enquanto um segundo conjunto de intervenções ocorre por meio da criação de novas feições morfológicas, que podem estar ligadas desde a atividades de mineração e agropecuárias como ao assentamento ou crescimento urbano-industrial, dentre outros tipos de uso. A criação de depósitos tecnogênicos e a modificação antropogênica dos solos e materiais de cobertura configuram-se como um terceiro conjunto de processos que expressam a agência humana, dando origem a novas morfologias ou a novos tipos de coberturas superficiais e podendo produzir alterações nos próprios materiais tecnogênicos, (re)direcionando as modificações nos processos morfodinâmicos.” (Moura *et al.*, 2023, p. 5)

Deste modo, na análise do relevo no contexto da Geomorfologia Antropogênica, a compreensão do agenciamento humano (questões relacionadas à técnica e às dimensões espaço-temporais) sobre a tríade geomorfológica é essencial. Na perspectiva operacional e metodológica, Moura *et al.* (2023) se apoia em Nir (1983) ao destacar a importância de compreender a evolução do modelado do relevo a partir da intervenção humana, indicando a necessidade de integrar as abordagens histórica, socioeconômica e geomorfológica na compreensão do modelado tecnogênico. Para Nir (1983), aspectos como a densidade populacional, as características econômicas das populações e os usos do solo pretéritos e presentes são pontos essenciais na análise dos fatores antrópicos sobre o relevo, pois estes aspectos influenciam na maneira como o relevo foi apropriado ao longo do tempo.

Rodrigues (1999), consoante às propostas metodológicas de Nir (1983), propõe recomendações para os trabalhos científicos que tratam da ação antrópica sobre o relevo, como:

---

<sup>3</sup> A proposta taxonômica de Ross (1992) é abordada posteriormente neste trabalho, no capítulo referente à Cartografia Geomorfológica. Essa proposta se baseia na abrangência espacial e na gênese das formas.



- observar as ações humanas enquanto ações geomorfológicas na superfície terrestre, levando em conta que as atividades humanas podem promover mudanças nas formas, nos materiais e nos processos geomorfológicos — salientando a análise integrada do tripé geomorfológico;
- investigar os padrões de ações humanas e seus processos decorrentes mais comuns;
- investigar, também de maneira histórica, as intervenções humanas sobre o relevo, apoiadas nos pressupostos da cartografia retrospectiva;
- utilizar métodos multiescalares espaço-temporais na análise geomorfológica, para que as análises sejam coerentes;
- enfatizar uma análise global e integrada dos sistemas geomorfológicos (sistemas fluviais, costeiros, de encosta...) para estimar como as diferentes formas de apropriação do relevo podem alterar o sistema ou mesmo criar outros sistemas geomorfológicos.

Da mesma forma, Rózsa (2010) também deixa clara importância de que os estudos em Geomorfologia Antropogênica devem levar em consideração os seguintes aspectos: a análise geomorfológica fundamentada na análise do tripé geomorfológico; a abordagem socioeconômica que considere as variáveis econômicas e sociais no dinamismo das atividades humanas sobre o relevo; e, por fim, a abordagem histórica, que considere os impactos humanos no relevo ao longo do tempo, evidenciando a importância da abordagem sistêmica e multiescalar para a compreensão do relevo tecnogênico.

## **2.2 A Geomorfologia no Antropoceno**

Segundo Goudie (2017), a abordagem sistêmica emerge nas geociências em resposta à compreensão da Terra enquanto um sistema fechado. Ao considerar as dimensões humanas e sociais enquanto agentes de mudanças ambientais, há o reconhecimento, pelo menos no contexto da Geomorfologia Antropogênica, de que os seres humanos compõem o sistema terrestre e não são apenas uma força externa a ele. Ou seja: a antroposfera interage com todos os outros subsistemas terrestres — hidrosfera, litosfera, atmosfera, criosfera e biosfera — e a partir dessa interação, podem surgir os problemas ambientais.

Nessa abordagem as formas de relevo são compreendidas como a interface dos sistemas climático, biológico, litológico e antrópico. Portanto, a Geomorfologia possui importância fundamental no que diz respeito aos estudos ambientais, sobretudo no Antropoceno, compreendido como um intervalo do tempo geológico em que as alterações humanas na natureza afetam o funcionamento natural dos sistemas terrestres naturais, como os ciclos biogeoquímicos e o ciclo hidrológico (Crutzen, 2002; Steffen *et al.*, 2011; Goudie, 2013; Artaxo, 2014; Lewis e Maslin, 2015; Goudie e Viles, 2016).

Embora exista uma grande discussão a respeito do conceito do Antropoceno nos diferentes campos das Geociências, sobretudo na Estratigrafia, para Goudie e Viles (2016, p.1), “as evidências geomorfológicas do Antropoceno têm sido subestimadas, mas podem ser cruciais na avaliação da realidade e do escopo do Antropoceno” (tradução do autor)<sup>4</sup>, isto é, para a Geomorfologia, o Antropoceno deve ser considerado enquanto um fato geomorfológico.

No trabalho de Crutzen (2002), denominado *Geology of Mankind*, o autor discorre sobre os impactos que os seres humanos têm causado no planeta, como o grande aumento na emissão de CO<sub>2</sub> e NH<sub>4</sub> a partir da revolução industrial. Além de alterar a composição química da atmosfera, as ações humanas têm provocado a acidificação dos oceanos, o aumento exponencial no consumo e na produção de energia; o desaparecimento de florestas e outras diversas alterações na natureza que poderiam caracterizar o tempo que vivemos em uma nova época geológica: em que o ser humano é um agente geológico-geomorfológico, o Antropoceno.

Desde então, grupos de estudos foram criados e inúmeros cientistas discutem a respeito da temática, propondo datas de início dessa nova época geológica, caracterizando-a ou mesmo contestando o conceito (Goudie e Viles, 2016).

No ano de 2024, especialistas à Estratigrafia Quaternária participantes da Comissão Estratigráfica Internacional negaram a proposta de consideração do Antropoceno enquanto um período do tempo geológico, visto que há discordâncias a respeito de seu início, sua configuração e a dimensão dos

---

<sup>4</sup> “We argue that geomorphological evidence for the Anthropocene has been underplayed but may be crucial in the assessing the reality and the scope of the Anthropocene” (Goudie e Viles, 2016, p. 1).

impactos humanos frente ao tempo geológico. Além das discordâncias no campo das geociências, alguns autores discordam do nome que é dado à essa época geológica. Como exemplo, Barcelos (2019) discute as noções a respeito do Antropoceno e do “Capitaloceno”, trazendo uma perspectiva decolonial frente ao debate das mudanças ambientais globais. O autor considera que o termo “Antropoceno” apaga as diferenças sociais, históricas e políticas da crise ambiental, justificando que é a partir da revolução industrial e do processo colonial junto da evolução do modo de produção capitalista que a crise ambiental global se configura e surge essa época. Nesta pesquisa, o termo utilizado será Antropoceno, visto que o Antropoceno possui maior aderência na comunidade científica e é amplamente usada nas pesquisas em Geomorfologia Antropogênica.

Pode-se dizer, ainda, que uma das principais características do Antropoceno e que dão maior sustentação à teoria são as mudanças climáticas antropogênicas<sup>5</sup>. O relatório síntese do IPCC de 2022 sobre as mudanças do clima identifica inúmeras evidências de que o aquecimento global intensificado pelas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa já está em andamento. As principais consequências são o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> sem precedentes, piorando a qualidade do ar; o recuo de geleiras; aumento do nível do mar e aquecimento oceânico e maior frequência de eventos extremos de precipitação e temperatura — o que impacta diretamente o funcionamento do sistema geomorfológico.

Nas previsões do IPCC (2023) para o futuro do clima, até 2050 serão inúmeras as mudanças nos ecossistemas, como a expansão dos desertos; o aumento de eventos extremos de temperatura e de precipitação, bem como aumento das estiagens; aumento na quantidade de incêndios florestais; elevação do nível do mar; aumento das áreas inundáveis; perda de terras pela subsidência e elevação do nível do mar e à erosão costeira; redução ou interrupção da vazão de rios por conta das secas; salinização dos solos; estresse térmico devido ao efeito das ilhas de calor urbanas, entre outros. Todas essas

---

<sup>5</sup> Para o IPCC (2023), é inegável a influência humana nas mudanças climáticas atuais. Nesse sentido, denomina-se mudanças climáticas antropogênicas aquelas alterações climáticas que foram influenciadas e ocasionadas pelos fatores antrópicos, como a emissão de gases de efeito estufa provenientes das atividades humanas e as alterações no albedo terrestre.

mudanças podem ocasionar e agravar a ocorrência dos desastres ambientais, gerando danos econômicos e sociais, sobretudo às populações mais pobres.

Sabendo que o clima é um dos controladores dos processos geomórficos, as mudanças climáticas também afetam os processos de erosão, transporte e deposição, bem como os processos de intemperismo químico e físico. Contudo, para Kerényi (2010) ainda é muito difícil assimilar os reais efeitos das mudanças climáticas antropogênicas sobre as formas de relevo, o que também bota em evidência a importância do desenvolvimento das pesquisas em Geomorfologia Antropogênica que consideram as variáveis climáticas no escopo de seus estudos.

Por fim, é pertinente salientar que as pesquisas sobre o Antropoceno extrapolam a Geologia, a Climatologia e a Geomorfologia, abordando, também, outras áreas das ciências físicas e ciências humanas, cada uma com sua abordagem. Os estudos em Geografia, Geomorfologia Antropogênica e Geomorfologia Urbana, portanto, têm muito a acrescentar ao escopo do Antropoceno. As inovações tecnológicas permitem mapeamentos cada vez mais detalhados e análises mais apuradas dos depósitos tecnogênicos que permitem avaliar os efeitos das mudanças ambientais globais em escalas locais e regionais. Pesquisas com tais abordagens também podem subsidiar políticas de mitigação e redução dos impactos das mudanças climáticas em múltiplas escalas, auxiliando para uma governança global do meio ambiente.

### **2.3 Cartografia Geomorfológica**

Para St-Onge (1981), como a geomorfologia se preocupa com a origem e a distribuição espacial das formas de relevo, a melhor maneira de sintetizar o relevo é através dos mapas geomorfológicos, que são de suma importância para a pesquisa geomorfológica, pois representam a síntese da própria pesquisa e a sua continuidade (Tricart, 1965). Esses mapas possuem inúmeras aplicabilidades, tanto em escala local quanto em escala regional ou continental, sobretudo no ordenamento territorial e no planejamento urbano, agrícola e/ou ambiental.

De acordo com Klimaszewski (1990), os primeiros mapas geomorfológicos surgiram na Europa e foram feitos por Passarge (1912 e 1922) e Gehne, no ano de 1912, no contexto da linhagem epistemológica germânica.

Neste mesmo período, nos Estados Unidos, um dos países com grandes produções científicas no campo da Geomorfologia, os estudos do relevo eram sintetizados através de fisiografia descritiva, onde a paisagem era apresentada e descrita em textos e blocos-diagrama (Coltrinari, 2011). Para Verstappen (2011), até a década de 1940, a Cartografia Geomorfológica não obteve tanta relevância no cenário científico geomorfológico.

Após a Segunda Guerra Mundial, a cartografia geomorfológica ressurgiu com vital importância, dada a necessidade de compreender e identificar os sistemas ambientais visando a organização territorial do espaço geográfico (Klimaszewski, 1990; Silva, 2021). O Congresso da União Geomorfológica Internacional (UGI) de 1956 no Rio de Janeiro foi um momento importante para o desenvolvimento das técnicas e metodologias de mapeamento geomorfológico, onde se reconheceu a importância das cartas geomorfológicas e foi criada a subcomissão de Cartografia Geomorfológica (Coltrinari, 2011).

Quatro anos depois, no Congresso da UGI em Estocolmo, no ano de 1960, foram apresentados os resultados dos estudos da subcomissão, em que se identificou, no Continente Europeu, uma diversidade teórico-metodológica na elaboração dos mapas geomorfológicos, demonstrando a necessidade de unificação dos métodos e critérios para a produção dos referidos mapas e suas legendas, de forma a padronizar a pesquisa geomorfológica independente da diversidade estrutural e climática dos diferentes lugares (Klimaszewski, 1990).

Dois métodos de construção de mapas geomorfológicos ganharam destaque, segundo Coltrinari (2011):

- o mapa polonês, que destacava os aspectos morfométricos<sup>6</sup> e morfográficos<sup>7</sup>, a morfogênese<sup>8</sup> e a morfocronologia<sup>9</sup> das formas identificadas, além de mapas complementares que demonstravam a aplicabilidade prática do que se estava mapeando, demonstrando áreas próprias e impróprias para a

---

<sup>6</sup> Os aspectos morfométricos são as informações métricas importantes, como a declividade, a hierarquia fluvial e a altitude (Cassetti, 2005).

<sup>7</sup> A morfografia são as formas de relevo resultantes do processo evolutivo, são estreitamente ligadas aos fatores morfogenéticos (Cassetti, 2005).

<sup>8</sup> A morfogênese diz respeito aos processos responsáveis pela gênese das formas representadas; a legenda deve figurar de modo que a origem ou a gênese da forma sejam inteligíveis (Cassetti, 2005).

<sup>9</sup> A morfocronologia refere-se à idade da forma ou ao período de formação da feição representada (Cassetti, 2005).

construção de edificações e estradas. Em suma, era um mapa geomorfológico aplicado à avaliação e planejamento.

- os mapas geomorfológicos do Delta do Senegal, coordenados por Tricart (1959) que tinham finalidade prática: planejamento agrícola, irrigação e melhora na navegação. Essas cartas também continham os aspectos morfológicos, morfocronológicos, morfométricos e a morfogênese, combinando símbolos e cores sobre a base topográfica para indicar a litologia e a morfocronologia (Verstappen, 2011).

Embora os mapas apresentados tivessem diferentes metodologias, porém com resultados relevantes, foram determinados como propósitos da subcomissão de Cartografia Geomorfológica a uniformização da produção dos mapas para fins comparativos e que apresentassem aplicabilidades aos Estados para o ordenamento e gestão territorial.

Segundo Klimaszewski (1990), a partir das reuniões que se sucederam desde a criação da Subcomissão, inúmeros mapas geomorfológicos de diferentes lugares e de diferentes realidades fisiográficas foram avaliados, tendo-se concluído que:

- as melhores escalas de representação do relevo foram de 1:50.000 ou 1:25.000;

- os detalhes a respeito da morfografia, morfometria, morfogênese e morfocronologia devem estar presentes nos mapas geomorfológicos;

- os trabalhos de campo e o uso de fotografias aéreas são essenciais na construção da cartografia geomorfológica, sobretudo nos mapeamentos geomorfológicos de detalhe.

No mesmo período foi publicado um relatório intitulado “*As concepções unificadas para um mapa geomorfológico detalhado do mundo (1:25.000 – 1:50.000)*” (Tradução do autor)<sup>10</sup>, apresentado no Congresso da UGI de 1968, em Nova Deli. Esse relatório apresenta uma legenda com mais de 570 símbolos para diferentes formas e feições, bem como recomendações teóricas, metodológicas e operacionais para a elaboração dos mapas geomorfológicos.

---

<sup>10</sup> “The unified key to the detailed geomorphological map of the world (1:25000 – 1:50000)” Klimaszewski, 1990, p. 12.

Esse relatório visava a padronização de uma lógica e uma organização conceitual tanto da pesquisa quanto dos mapas geomorfológicos.

Dentre as recomendações, é importante frisar as seguintes: o uso de cores e símbolos para que o mapa forneça a perspectiva de tamanho, origem e idade das formas; organização da legenda do mapa geomorfológico de modo que indique uma ordem geomorfocronológica e a apresentação de dados litológicos (Klimaszewski, 1990). Portanto, os mapas geomorfológicos ideais devem, não apenas descrever as formas de relevo individualmente, mas explicar o conjunto de formas baseadas em sua morfogênese com a inter-relação das diferentes formas e dos diferentes processos (St-Onge, 1981).

Embora os métodos de mapeamento geomorfológico recomendados pela UGI tenham sido adotados por diversos pesquisadores de diferentes países, as metodologias de mapeamento ainda necessitam maior uniformidade, o que não acontece devido às diferenças fisiográficas, climáticas e estruturais dos diferentes lugares e às diferenças teórico-metodológicas adotadas pelos diferentes geomorfólogos (Klimaszewski, 1990). Esse cenário se mantém até os dias atuais, uma vez que ainda não há uma padronização metodológica na produção de mapas geomorfológicos, sobretudo no que diz respeito à legenda e ao uso de cores e símbolos (Verstappen, 2011), seja em nível mundial ou nacional (Silva, 2021).

Quanto à classificação do relevo, diversos autores se ativeram à criação de metodologias, como Tricart e Cailleux (1956), que elaboraram uma classificação taxonômica dos fatos geomorfológicos baseada nas grandezas espacial e temporal das formas, onde identificam as unidades climáticas correspondentes e os mecanismos genéticos que comandam a dinâmica geomorfológica. Para esses autores, quanto maior a abrangência espacial das formas, maior será a sua permanência temporal. Embora se compreenda que o relevo não necessariamente expressa relações entre extensão e temporalidade, a proposta de Tricart e Cailleux (1956) foi bastante importante para o desenvolvimento de outras metodologias para o mapeamento do relevo.

Mescerjakov (1968) também apresenta uma proposta de classificação do relevo terrestre com base nos conceitos de morfotectura, morfoestrutura e morfoescultura, anteriormente desenvolvidos por Guerassimov, em 1946. As morfotecturas seriam os elementos mais importantes do relevo terrestre,

formadas a partir das forças tectônicas junto das interações com os fatores exógenos; trata-se das plataformas continentais, das depressões oceânicas e das grandes cadeias de montanhas. As morfoestruturas foram classificadas enquanto elementos do relevo de ordem média, também resultado da interação entre os fatores endógenos e exógenos, contudo, com papel ativo dos fatores endógenos; tratando-se de maciços, planaltos e depressões na superfície dos continentes. Sobre as morfoesculturas, Mescerjakov (1968, p. 540) escreve que:

“Sobre a ação predominante dos fatores exógenos são formados os elementos morfoesculturais do relevo. A morfoesculturas estão associadas a formas de relevo de ordem inferior, como por exemplo cristas de morainas, “ovrags”, dunas barcanas, dolinas cársticas...” (Tradução do autor)<sup>11</sup>

O esquema geral de Mescerjakov (1968) relaciona os elementos morfoestruturais e morfoesculturais por diferentes tamanhos de superfície em quilômetros quadrados, onde as morfoesculturas estão inseridas em morfoestruturas. Nesse sentido, tanto Mescerjakov (1968) quanto Tricart e Cailleux (1956) se baseiam em Penck (1953) ao considerar o relevo enquanto o resultado do antagonismo das forças endógenas e exógenas.

Demek (1967) é quem propõe uma metodologia de mapeamento do relevo em escalas maiores. Sua classificação propõe que as cartas geomorfológicas de grande escala sejam compostas por três unidades taxonômicas denominadas de superfície geneticamente homogêneas, formas de relevo e tipos de relevo. Para o autor, as formas geneticamente homogêneas são a menor unidade taxonômica, correspondendo aos elementos das formas, como as vertentes e os topos; sua gênese é ocasionada pelos fatores endógenos, exógenos e antrópicos. Um conjunto de formas geneticamente homogêneas resulta na forma de relevo, como em morros ou colinas. O conjunto dessas formas resulta nos tipos de relevo que são fisionomicamente e geneticamente semelhantes entre si.

Com base nos propostos por Tricart e Cailleux (1965), Demek (1967) e Mescerjakov (1968), Ross (1992) apresenta uma proposta de classificação e de

---

<sup>11</sup> “Sous l’action predominante des facteus exogènes se sont formés les éléments morphosculpturaux du relief. A la morphosculpture se rattachent les formes du relief d’ordre inférieur, comme les croupes morainiques, les « ovrags », les barkhanes, les entonnoirs karstiques...” (Mescerjakov, 1968, p. 540).



taxonomia do relevo para a cartografia geomorfológica, também fundamentada na Análise Geomorfológica proposta por Ab'Saber (1969). A proposta de Ross (1992) se fundamenta em Penck (1953) ao considerar o relevo sendo o fruto do antagonismo das forças endógenas e exógenas. Para Ross (1992):

O primeiro fato que deve estar permanentemente em alerta nos estudiosos da geomorfologia é que as formas do relevo de diferentes tamanhos têm explicação genética e são interrelacionadas e interdependentes aos demais componentes da natureza. A superfície terrestre, que se compõe por formas de relevo de diferentes tamanhos ou táxons, de diferentes idades e processos genéticos distintos é, portanto, dinâmica, ainda que os olhos humanos não consigam captar isso. A dinamicidade das formas do relevo apresenta velocidades diferenciadas, mostrando-se ora mais estável, ora mais instável. Tal comportamento depende às vezes, de fatores naturais e outras de interferências dos homens (Ross, 1992, p.17).

Ross (1992) destaca a influência do ser humano sobre o relevo e como ele altera a dinamicidade dos processos e das formas geomorfológicas, demonstrando, também, a necessidade da classificação do relevo e de seu mapeamento. O autor ainda indica que os diferentes tamanhos de forma possuem diferente significado genético. Nesse sentido, a taxonomia proposta por Ross (1992) é baseada na fisionomia das formas, assim como a proposta de Tricart e Cailleux (1956). Nesse sentido, Ross (1992) afirma que:

A taxonomia proposta baseada na fisionomia das formas é antes de tudo uma proposta que tem por base a gênese e a idade destas. Deste modo, pode-se afirmar que, quanto maior a dimensão da forma, maior é a sua idade, e quanto menor a dimensão, menor idade ela tem. O que não se pode é estabelecer com rigidez o tamanho da forma medida em Km<sup>2</sup>, com o tempo geológico e histórico medido em anos e a gênese associada a apenas um determinado processo (Ross, 1992, p. 23).

A proposta taxonômica de Ross (1992) é composta por seis táxons, organizados em ordem de grandeza, da maior para a menor, relacionando a extensão com a gênese. Os seis táxons propostos são:

- 1º Táxon: as "Unidades Morfoestruturais" são o equivalente ao conceito de morfoestrutura proposto por Mescerjakov (1968). Este táxon representa a maior extensão em área e a influência dos fatores endógenos é mais significativa que dos fatores exógenos. Desta forma, são as maiores unidades de relevo e as mais antigas, compreendendo grandes áreas.

- 2° Taxon: as “Unidades Morfoesculturais” estão relacionadas com o conceito de morfoescultura de Mescerjakov (1968). Este táxon se refere às grandes unidades esculpidas em cada unidade morfoestrutural pelos fatores exógenos ao longo do tempo geológico, guardando em si, significados genéticos de mudanças climáticas passadas e atuais. As unidades morfoesculturais possuem gênese mais recente que as unidades morfoestruturais.

- 3° Táxon: os “Padrões de formas semelhantes” correspondem à unidade “Tipos de relevo” de Demek (1967). Os padrões de forma estão contidos nas morfoesculturas e são o conjunto de formas que apresentam o mesmo aspecto fisionômico, como topos e vertentes similares. Ainda sobre o terceiro táxon, Ross afirma que:

As unidades de padrões de formas semelhantes retratam um determinado aspecto fisionômico que decorre das influências dos processos erosivos mais recentes, ou seja, posteriores a aqueles que se encarregaram de esculpir depressões, planaltos de níveis intermediários, entre outros. São unidades que apresentam dimensões de áreas menores, mais recentes e processos erosivos que favorecem a dissecação do relevo (Ross, 1992, p. 21).

Ou seja, diferente das morfoesculturas, os padrões de formas semelhantes são o resultado dos padrões climáticos atuais ou sub-atuais.

- 4° Táxon: os “Tipos de formas de relevo” correspondem às formas individualizadas, como morros, colinas ou planícies. A partir deste táxon, as formas tornam-se passíveis de classificação cartográfica em escalas médias e grandes. O conjunto dos tipos de formas de relevo com feições semelhantes (como os topos, formato dos vales ou padrão de drenagem) formam os padrões de formas semelhantes.

- 5° Táxon: os “Tipos de vertentes” estão contidos em cada forma de relevo, podendo ser convexas, retilíneas, planas, aguçadas, abruptas, côncavas. São partes de cada forma de relevo, sua gênese é, portanto, ainda mais recente.

- 6° Táxon: as “Formas de processos atuais”, como o próprio nome sugere, são as formas de processos geomorfológicos atuais e, principalmente, ocasionados pelo agenciamento humano, como as ravinas, as voçorocas, os aterros, as cicatrizes de mineração etc., que se desenvolvem sobre as vertentes.

A figura 2 demonstra o esquema apresentado por Ross (1992) para ilustrar sua proposta taxonômica.

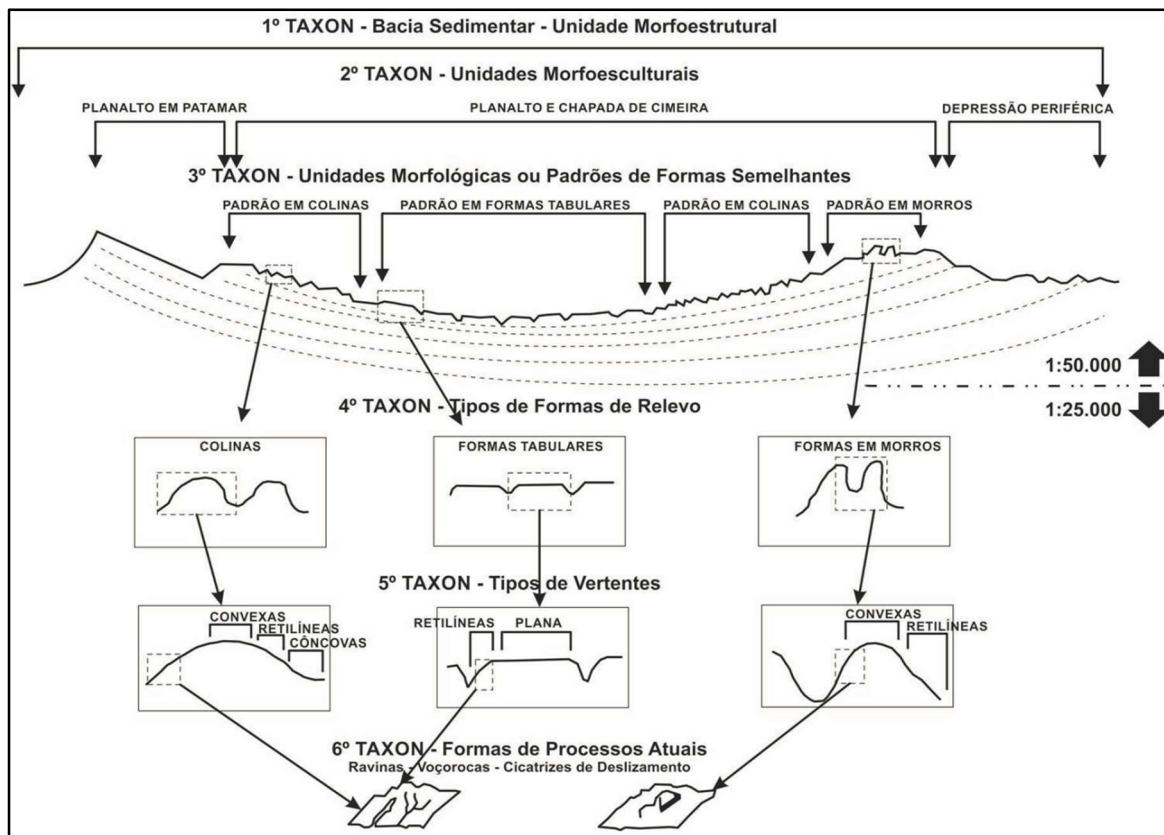


Figura 2: Proposta taxonômica de Ross. Fonte: Ross (1992)

Embora Ross (1992) afirmasse na época que a classificação das formas de processos atuais e formas resultantes da ação humana se ateriam somente ao 6º táxon, Fujimoto (2001) salienta que algumas formas tecnogênicas podem ser representadas até o 4º táxon no mapeamento, como os aterros e planícies fluviais tecnogênicas, devido à abrangência espacial que essas formas podem atingir. Na mesma linha de pensamento, para Peloggia *et al.* (2014) as formas tecnogênicas podem ser representadas cartograficamente do 3º ao 6º táxon de Ross (1992), dada a capacidade tecnológica das sociedades na alteração do relevo, sendo o 3º táxon correspondente às paisagens tecnogênicas, como as grandes aglomerações urbanas e metropolitanas.

## 2.4 Mapeamento do Relevo Tecnogênico

Diante do progresso científico da Geomorfologia Antropogênica, das discussões a respeito da questão ambiental e do desenvolvimento das geotecnologias, surgem novas possibilidades de análise e eficiência na

classificação do relevo e, sobretudo, das formas tecnogênicas. O desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) permite não apenas o tratamento dos dados geográficos, mas também o armazenamento e a integração de uma infinidade de formatos, escalas e fontes, sejam dados vetoriais ou matriciais (Florenzano, 2008). Nesse sentido, a evolução das geotecnologias e das técnicas de fotogrametria permitiu a produção e a aquisição de dados de alta resolução espacial, essenciais para mapas geomorfológicos de grande escala, que são ideais para a análise do relevo na Geomorfologia Antropogênica e na Geomorfologia Urbana.

O tratamento dos Modelos Digitais de Elevação (MDE's) em *softwares* de SIG permite a extração de dados morfométricos e morfológicos de maneira semiautomática através de ferramentas específicas em alta resolução espacial. Contudo, salienta-se que a análise e a interpretação desses dados continuam sendo fundamentais para a sua utilização na pesquisa geomorfológica. É preciso um olhar crítico e analítico sobre os dados, como: verificar o tipo de sensor, a escala e a resolução espacial, para garantir a qualidade e o rigor científico da pesquisa. Para Reuter *et al.* (2009), a aplicabilidade dos MDE's para a análise geomorfométrica só pode ser realizada quando é possível responder às seguintes perguntas:

1. Com que precisão é representada a rugosidade da superfície?
2. Qual é a acurácia da representação das formas da superfície (como a concavidade e a convexidade das formas)?
3. Com que precisão são detectadas as linhas de crista e fluxos de água do mundo 'real'?
4. Quão consistentes são medidas as elevações em toda a área de interesse?

(Reuter *et al.*, 2009, p. 90 – Tradução do autor)<sup>12</sup>

Nesse sentido, Wilson (2012) relembra que toda e qualquer representação da superfície terrestre apresentará algum tipo de distorção, portanto, ao utilizar um MDE na pesquisa geomorfológica, é necessário identificar e saber quais erros estarão presentes, pois cada sensor e cada resolução espacial de MDE possui métodos de análise específicas dependendo

---

<sup>12</sup> (1) how accurately is the surface roughness represented?, (2) how accurately is the shape of the land surface represented (i.e. concave and convex shapes)?, (3) how accurately are the "real" world ridgelines and streamlines detected?, and (4) how consistently are elevations measured over the whole area of interest? (Reuter *et al.*, 2009, p. 90)

de seus erros (sejam eles na acurácia vertical ou horizontal). Nessa mesma perspectiva, o mesmo acontece com fotografias aéreas e imagens de satélite. Wilson (2012) e Reuter *et al.* (2009) salientam que para áreas menores e mapeamentos de maior escala, uma alternativa para a redução de distorções é a utilização de MDE's elaborados a partir de aerolevantamentos fotogramétricos, pois possuem maior escala de detalhe e apresentam maior acurácia nos parâmetros morfológicos e morfométricos, sendo os ideais para os mapas geomorfológicos que representem o relevo tecnogênico.

Quanto ao mapeamento das formas tecnogênicas, Kohler (2003) destaca que a escolha da escala deve se basear na área de estudos e na abrangência espacial que essas formas adquirem, que abrangem do terceiro ao sexto táxon da taxonomia de Ross (1992). Na mesma linha de pensamento, Moura (2011) destaca que a escala ideal para as pesquisas que buscam mapear e identificar o relevo tecnogênico deve ser de 1:10.000 ou maior.

Os mapas geomorfológicos em escala de detalhe possibilitam a observação das peculiaridades morfométricas e morfológicas, proporcionando a apresentação de informações onde se reconhece os processos naturais e antrópicos no relevo (Souza e Furrier, 2019), como a identificação de sulcos, ravinhas, voçorocas, bancos de areia resultantes do assoreamento dos cursos d'água, construção de aterros, cortes de estrada etc. Rodrigues (2011) ressalta que, para elaboração dos mapas do relevo produzido pela agência humana, é necessário fazer a análise de diversos parâmetros, como:

“os padrões de arruamento, a densidade de edificações, os estágios da consolidação urbana, a distribuição e a densidade de materiais superficiais, a profundidade e a extensão de cortes e aterros, volume de materiais remanejados *in loco* ou importados [...] esses dados podem ser obtidos de diversas formas, seja pela fotointerpretação de sequências cronológicas de intervenção pela análise de cartografia de base de diversas épocas, por entrevistas e por levantamentos de campo” (Rodrigues, 2011, p. 106)

Nesse sentido, dois aspectos são essenciais na pesquisa de mapeamento em Geomorfologia Antropogênica e Urbana: a compreensão histórica de como se deu a ocupação urbana e a escala de detalhe no mapeamento. A questão temporal também deve ser sempre considerada e valorizada para a compreensão da evolução da paisagem geomorfológica. Na Geomorfologia Antropogênica, contudo, a ênfase é dada ao tempo histórico das ações humanas

para que seja possível identificar em que período, ocasiões e momentos que o relevo passou a ser alterado pela agência humana. A idade dessas formas está relacionada, portanto, com o tempo histórico das ações humanas e são passíveis de serem temporalizadas em morfologia pré-urbana ou original (antes da perturbação antrópica no meio urbano) e em morfologia tecnogênica ou atual.

Para essa compreensão, a Cartografia Geomorfológica Retrospectiva se apresenta como uma abordagem fundamental no dimensionamento e na temporalização das mudanças ambientais em escala local ou regional. Através dela, realiza-se a reconstrução da morfologia original e nos usos da terra pretéritos com base em fotografias antigas (aéreas ou não), mapas históricos, planos urbanísticos antigos ou mesmo em relatos de viajantes e habitantes locais (Rodrigues, 2011; Moura, 2011). Essa abordagem permite identificar a sequência cronológica de intervenções nas formas, nos materiais superficiais e no uso da terra, proporcionando dimensionar e temporalizar as alterações antrópicas nas formas, nos processos e nos materiais (Gouveia, 2010).

Peloggia (2005) indica que a relação de dependência do modelado tecnogênico às formas e a compartimentação original do relevo implicam que a questão taxonômica deve ser revista para o mapeamento dessas formas para melhor compreensão do modelado tecnogênico. Nesse sentido, com vistas a criar uma padronização de classificação e mapeamento do relevo brasileiro — problemática já discutida anteriormente a respeito da cartografia geomorfológica —, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Serviço Geológico Brasileiro (SGB) e a União Geomorfológica Brasileira (UGB) deram início à criação do Sistema de Classificação do Relevo Brasileiro. O SBCR é dividido em grupos de trabalho com vistas a padronizar e melhorar as bases metodológicas para mapeamento e classificação de diferentes sistemas e ambientes da realidade brasileira (CEN/SBCR, 2022).

Diante do estado da arte da Geomorfologia Antropogênica e das discussões a respeito das mudanças ambientais globais e as relações entre o Antropoceno e a Geomorfologia, verificou-se a necessidade, no âmbito do SBCR, da criação do Grupo de Trabalho sobre o Sistema do Relevo Tecnogênico (GT-SRT). O GT publicou, a partir de inúmeras discussões e encontros, a nota técnica denominada “*Diretrizes para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas no Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo*”, no fim de 2023,

em que revisa a questão taxonômica do relevo tecnogênico e propõe metodologias de análise e de mapeamento das morfologias tecnogênicas.

As abordagens metodológicas propostas pelo Grupo de Trabalho do Sistema do Relevo Tecnogênico são calcadas nos estudos em Geomorfologia Antropogênica, partindo de autores clássicos que abordam os estudos do relevo tecnogênico, como: Nir (1983), que relaciona estágios de urbanização com efeitos sobre o relevo; Peloggia (2015), que indica a agência geológico-geomorfológica humana dada a complexidade da maneira como o ser humano pode transformar o relevo; Ter-Stepanian (1988) que caracteriza a ação antrópica enquanto geradora das formas e depósitos tecnogênicos, além dos processos gerados pela ação humana; Crutzen (2001), que elabora e discute o Antropoceno; além de experiências de pesquisas realizadas no Brasil, como Lima (1990), Rodrigues (1999), Fujimoto (2001) e Gouveia (2011).

Além disso, o grupo de trabalho se apoia nos pressupostos teóricos e metodológicos da ciência geomorfológica, isto é, na análise integrada da tríade geomorfológica — formas, processos e materiais —, considerando que a agência humana pode alterar qualquer elemento da tríade.

De acordo com essa proposta metodológica, em um primeiro nível de classificação, as formas de relevo tecnogênicas resultam da dinâmica de retirada, de acúmulo de material ou de movimentação do material *in situ*. Em um segundo nível, considera-se que os processos de geração dessas formas podem se dar de maneira direta, resultando nas tecnoformas, ou indireta, criando as geotecnoformas.

As formas resultantes do processo de adição de material são denominadas Elevações e Superposições Tecnogênicas; aquelas resultantes do processo de retirada do material, são classificadas enquanto Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas. As Corrugações Tecnogênicas são formas associadas aos terrenos em que há revolvimento/movimentação dos materiais superficiais *in situ*, que caracterizam as Tecnoformas de Turbação. Quando as formas são conservadas mas a composição ou estrutura física do terreno é alterada, constituem as Equiformas Tecnogênicas de Modificação, que podem ser em superfície (em áreas agrícolas, por exemplo) ou em profundidade, gerando os Maciços Tecnoturbados, como em casos de túneis ou aquíferos esgotados pela agência humana. A figura 3 apresenta um diagrama conceitual

da classificação resultante das discussões a respeito do relevo tecnogênico no âmbito Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo, apresentados em Moura *et al.* (2023).

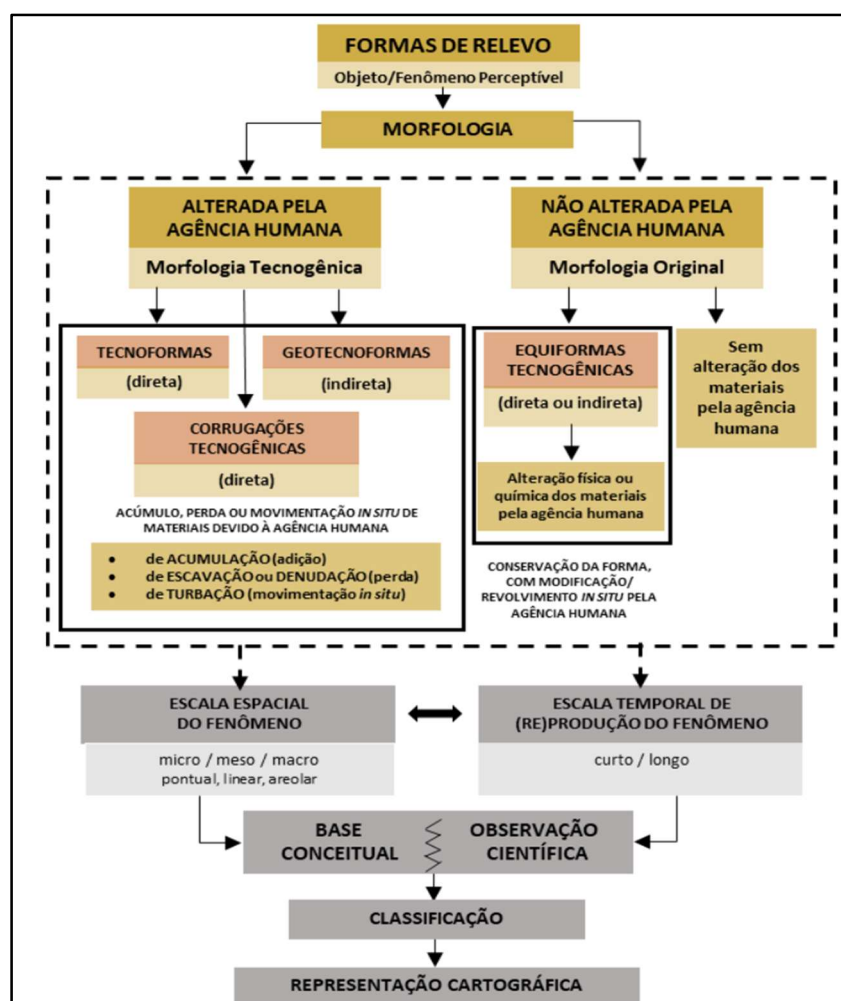


Figura 3: Diagrama conceitual da classificação do relevo tecnogênico.  
Fonte: Moura *et al.* (2023)

Dados os trabalhos aqui mencionados, conclui-se que, por conta da capacidade dos seres humanos de alterarem o meio, ele pode ser considerado um agente geológico-geomorfológico. Portanto, o mapa geomorfológico que contempla a relevo tecnogênico pode dimensionar e avaliar as intervenções antrópicas sobre o relevo em escalas locais e regionais, contribuindo para as discussões a respeito do Antropoceno e das Mudanças Ambientais Globais em múltiplas escalas.



### 3. Procedimentos Metodológicos e Operacionalização

Os procedimentos metodológicos e operacionais dessa pesquisa têm como base as diretrizes para análise e mapeamento do relevo tecnogênico propostas por Moura *et al.* (2023), análise geomorfológica de Ab'Saber (1969) e taxonomia do relevo de Ross (1992). A operacionalização descrita a seguir está consoante com os objetivos propostos e se relacionam com a pesquisa documental e bibliográfica para as contextualizações no meio físico e socioeconômico; e operacionalizações em SIG e trabalhos de campo, para o mapeamento e caracterização geomorfológica da área de estudo. A figura 4 apresenta o organograma que demonstra as etapas da pesquisa.

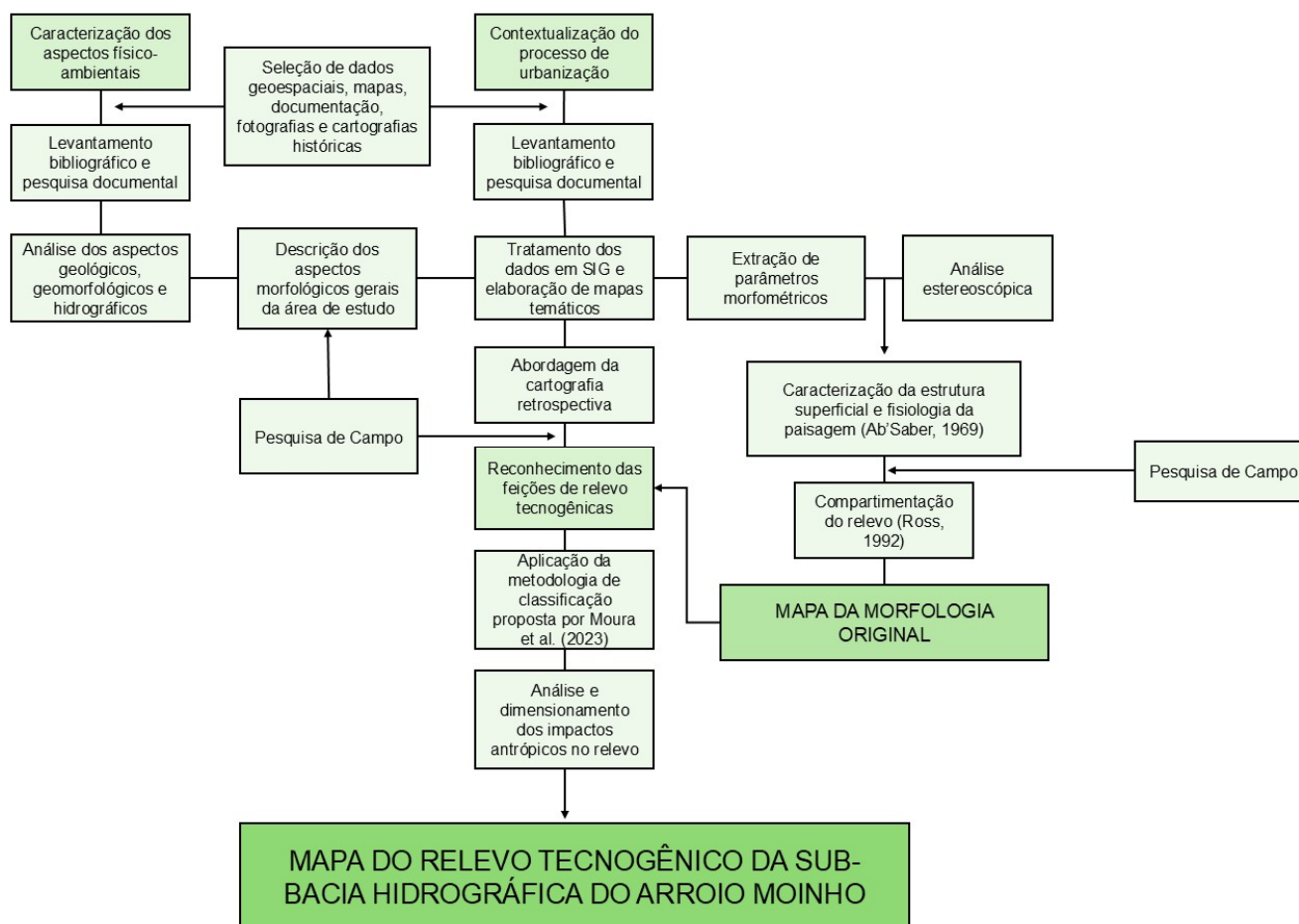


Figura 4. Diagrama dos procedimentos metodológicos e operacionais da pesquisa.

### 3.1 Tratamento da base cartográfica e delimitação da área de estudo

A operacionalização em SIG se deu em dois *softwares* distintos, o *ArcGIS 10.5.1* e o *QGIS 3.28.4*. Inicialmente, a pesquisa se ateve à construção de uma base cartográfica que se apoiou em materiais pré-existentes e tratamento de dados geoespaciais, como demonstra o quadro 1.

Quadro 1: Materiais utilizados para construção da base cartográfica

Material	Escala / Resolução espacial	Ano	Fonte
Vetores da Carta Topográfica SH-22-Y-B-III-2-SO	1:25.000	2019	1CGEO
MDT da região funcional 1	2,5m	2019	DEPLAN/RS
Vetores do mapa geomorfológico de Porto Alegre	1:50.000	2012	Moura e Dias
Vetores de geologia, uso e ocupação da terra, pedologia e vegetação do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre	1:10.000	2008	Hasenack, Weber e Marcuzzo

Através do processamento do MDT foi possível delimitar, de maneira automática, a área da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho com a utilização das ferramentas do *Arc Hydro Tools*, do *software ArcGIS 10.5.1*. As funções utilizadas foram a *watershed*, que delimita a bacia hidrográfica com base nos valores altimétricos, de declividade e nos exutórios dos cursos d'água; *Flow Direction*, que calcula a direção do fluxo para a célula adjacente com maior inclinação negativa, identificando os cursos d'água; e *Flow Accumulation*, que identifica os pixels com valores inferiores em relação aos pixels adjacentes, indicando onde há maior acúmulo de água, facilitando a localização de possíveis cursos d'água. Delimitada a bacia hidrográfica, foram criados arquivos *shapefiles* para a forma da bacia e dos canais fluviais. Os resultados desse processo foram verificados e validados com base nos vetores da Carta Topográfica SH-22-Y-B-III-2-SO.

### 3.2 Cartografia Retrospectiva

Através das abordagens descritas anteriormente sobre a Cartografia Geomorfológica Retrospectiva, para a compreensão do avanço da urbanização e reconstituição dos aspectos morfológicos pré-perturbação antrópica da bacia foram utilizados os materiais elencados no quadro 2.

**Quadro 2: Documentos cartográficos utilizados para a etapa da Cartografia Retrospectiva**

Material	Escala/ resolução espacial	Ano	Fonte
Planta topográfica da cidade de Porto Alegre	1:20.000	1896	AHPAMV
Planta da Cidade de Porto Alegre	1:20.000	1932	AHPAMV
Cartas XVI, XVII, XXI e XXII do Mapa Topográfico de Porto Alegre	1:10.000	1941	SMAMUS/POA
Folha 11 do mosaico aerofotográfico realizado pela prefeitura de Porto Alegre	1:10.000	1956	SMAMUS/POA
Folhas 103, 104, 111, 112, 119, 120 e 121 do mosaico aerofotográfico realizado pela prefeitura de Porto Alegre	1:2.000		
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 aerolevante fotogramétrico realizado pela Prefeitura de Porto Alegre 2987-2-G-33, 2987-2-G-34, 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	1:1.000	2010	SMAUS/POA
Carta topográfica SH-22-Y-B-III-2-SO	1:25.000	2020	1CGEO do EX
Ortofoto da carta topográfica SH-22-Y-B-III-2-SO	2,5m	2019	

As cartas topográficas e os mapas históricos foram georreferenciados com base na projeção Transversa de Mercator para Porto Alegre (TMPOA), projeção oficial do município, com base na carta topográfica SH-22-Y-B-III-2-SO, elaborada pelo 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro (1CGEOEx). Através desse processo, realizou-se a vetorização da mancha urbana, dos cursos d'água, da malha viária e de outros aspectos socioambientais passíveis de identificação e delimitação nos anos de 1941, 1956, 1982 e 2024, em escala de 1:10.000, possibilitando analisar o avanço da urbanização sobre as formas de relevo.

As fotografias aéreas do mosaico aereofotogramétrico realizado pelo DMAE no ano de 1982 foram interpretadas através da estereoscopia, dada a resolução das fotografias e a sua disponibilidade física na Biblioteca do Instituto de Geociências da UFRGS. A análise estereoscópica permitiu identificar os cursos d'água, as rochas expostas, delimitar os divisores de água, a mancha urbana e analisar a morfologia das vertentes — processo que é mais detalhado na próxima seção. Posteriormente, essas fotografias e suas respectivas interpretações foram digitalizadas e processadas através do *software Agisoft Metashape* para a criação de uma ortoimagem. A vantagem da criação de uma ortoimagem é a correção das deformações das fotografias aéreas, permitindo maior acurácia nas análises e na criação de um modelo digital em três dimensões da área de estudo.

Com a utilização dos materiais supracitados, foram produzidos mapas temáticos de avanço da urbanização, das alterações morfológicas ao longo do tempo — como os cursos d'água que foram canalizados ou tamponados — e da criação de formas tecnogênicas.

### **3.3 Análise Geomorfológica da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Moinho**

A análise geomorfológica partiu dos pressupostos teórico-metodológicos de Ab'Saber (1969) que ordena os níveis de estudo em Geomorfologia no Quaternário, ressaltando a importância da análise da compartimentação topográfica, da estrutura superficial da paisagem e da fisiologia da paisagem para compreender a evolução e dinâmica do relevo. Para tanto, foram realizadas as etapas de caracterização dos aspectos geológicos e geomorfológicos

regionais da área de estudo, que se sucedeu através da pesquisa documental e bibliográfica em livros, dissertações, teses e artigos científicos.

Além disso, os trabalhos de campo e o processamento de dados em SIG foram essenciais para a aquisição dos parâmetros morfométricos e morfológicos da área de estudo. Todas as etapas da análise geomorfológica foram essenciais para a identificação da morfologia pré-urbanização na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.

### 3.3.1 Análise dos parâmetros morfométricos

Para Christofletti (1980), a caracterização morfométrica pode ser definida como a análise quantitativa dos elementos fisiográficos de uma determinada área, sendo relacionada à análise da compartimentação topográfica da paisagem, dos níveis de tratamento propostos por Ab'Saber (1969). De acordo com Vilella e Mattos (1975), além da compreensão do relevo, a análise desses parâmetros são fundamentais para a compreensão dos processos hidrogeomorfológicos em uma bacia hidrográfica, possibilitando o entendimento dos processos morfodinâmicos ligados à dinâmica fluvial e às suscetibilidades naturais do relevo. Os parâmetros adotados nesta pesquisa foram utilizados por Vilella e Mattos (1975) e Christofletti (1980), que são apresentados no quadro 3.

Quadro 3: Índices morfométricos adotados na pesquisa

Parâmetro	Fórmula	Unidade	Significado
Área	-----	km <sup>2</sup>	A área da bacia hidrográfica corresponde a toda área drenada pelo rio principal e seus afluentes.
Perímetro	-----	km	Comprimento total da linha que delimita a bacia hidrográfica.
Comprimento do eixo axial	-----	km	Maior distância em linha reta dentro da bacia, calculada da foz à nascente mais distante.
Altitude média	$E_M = \frac{\sum e \cdot a}{A}$	m	Através do somatório das elevações médias entre as curvas de nível, relacionando com a área da bacia e a área ocupada entre altitudes selecionadas, consegue-se identificar a altitude

			média das áreas da bacia, permitindo quantificar a área de intervalos altimétricos.
Amplitude altimétrica	-----	m	Diferença de elevação da maior para a menor altitude.
Densidade de drenagem	$Dd = \frac{\sum L}{A}$	km/km <sup>2</sup>	Representa o comprimento total dos canais sobre a área da bacia; a análise desse parâmetro junto com a declividade, aspectos altimétricos e litológicos, possibilita compreender os processos morfogênicos e morfodinâmicos atuantes na bacia (Christofoletti, 1980).
Índice de conformação	$k_f = \frac{A}{L^2}$	adimensional	Relação entre a área da bacia e seu comprimento axial, correlaciona a forma da bacia com um retângulo. Valores mais afastados de 1 indicam que a bacia possui menor tendência aos processos de enchentes (Villela e Mattos, 1975).
Hierarquia fluvial	-----	adimensional	Se baseia na hierarquização dos cursos d'água, onde um canal de primeira ordem é o menor canal possível, sem afluentes, se estendendo da nascente à confluência. Os canais de segunda ordem se formam a partir da confluência de dois canais de primeira ordem e assim sucessivamente. Neste trabalho, foi utilizada a proposta de hierarquia fluvial de Strahler (1964).

### 3.3.2 Operacionalização em SIG e produção de mapas temáticos

A operacionalização em SIG e a produção de mapas temáticos ou produtos cartográficos diz respeito à etapa de tratamento dos dados geográficos, a fim de identificar sua espacialização e criação de produtos intermediários para a análise do relevo. Para tanto, os softwares utilizados foram o *ArcGIS 10.5.1* e o *QGIS 3.28.4*. O quadro 4 apresenta os dados geográficos, as ferramentas, os softwares e os produtos gerados para auxiliar a análise geomorfológica da área de estudos.

**Quadro 4: Dados, ferramentas, *softwares* e produtos intermediários para a análise geomorfológica e classificação do relevo da área de estudo.**

Dados	Ferramentas	<i>Softwares</i>	Produtos
MDT com 2,5m de resolução espacial	<i>Slope</i>	<i>ArcGIS</i> 10.5.1	Mapa clinográfico
	Reclassificação dos atributos do MDT		Mapa hipsométrico
	<i>Aspect</i>		Orientação das vertentes
	<i>Hillshade</i>		Relevo sombreado
	<i>Stack profile</i>		Perfil topográfico
	<i>Geomorphons</i>	<i>QGIS</i> 3.28.4 with	Mapa dos elementos do relevo
	<i>Topographic position index</i>	<i>SAGA</i> 2.3.2 and	Índice de Posição Topográfica
	<i>Contour</i>	<i>GRASS</i>	Curvas de nível

O mapa hipsométrico diz respeito à caracterização altimétrica da área de estudos, como a identificação da amplitude altimétrica das nascentes à foz e as altitudes dos topos.

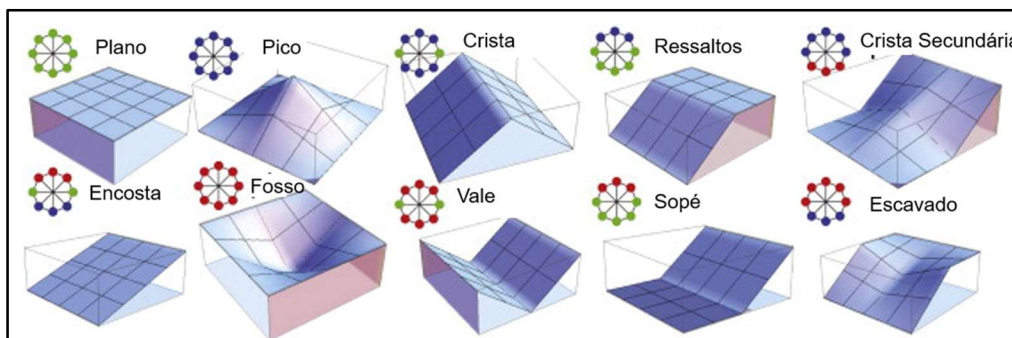
O mapa clinográfico caracteriza e espacializa as declividades. As classes de declividade foram definidas conforme o proposto por Fujimoto (2001), que utiliza seis diferentes classes de declividade para a Análise Ambiental Urbana, sendo os seguintes valores: < 2%, 2% a 5%, 5% a 10%, 10% a 20%, 20% a 30%, 30% a 40% e > 40%. A análise das classes de declividade auxilia na interpretação das formas das vertentes, na identificação de áreas de risco e inapropriados à habitação e na compreensão dos processos morfodinâmicos e morfogenéticos.

O mapa de orientação das vertentes indica a direção da incidência da radiação solar e aponta a direção dos fluxos de água na superfície, bem como auxilia na identificação dos divisores de água, permitindo definir o limite de unidades de vertentes.

Os perfis topográficos caracterizam a forma vertical da vertente e são essenciais para a identificação dos vales e divisores de água. Através da

compreensão das formas das vertentes, são evidenciados os atributos morfológicos do relevo, que são descritos no próximo subcapítulo.

A identificação dos elementos do relevo, através da ferramenta *Geomorphons* oferece uma forma automática de classificação topográfica em relação à geometria da forma e identifica dez elementos do relevo a partir de um MDT: superfícies planas, picos, cristas, ressaltos, cristas secundárias, encostas, fossos/depressões, vales, sopés e escavados, conforme demonstra a figura 5.



**Figura 5: Elementos do Relevo identificados pelo *Geomorphons*. Fonte: Jasiewicz e Steninski (2012), traduzido pelo autor**

Esses elementos são identificados por meio da análise de vizinhança, apresentando uma forma semelhante às demonstradas na figura 5. Jasiewicz e Stepinski (2012) descrevem o processo da seguinte forma: primeiramente, é necessário definir a janela de vizinhança ao redor de cada pixel do MDE; quanto maior a extensão da janela, menor será o detalhamento identificado pela ferramenta. Com a janela de vizinhança definida, os parâmetros geomorfométricos (elevação, declividade, orientação, curvatura etc.) são calculados para os pixels dentro dessa janela. Com base nesses parâmetros calculados automaticamente, o algoritmo do *Geomorphons* identifica os elementos do relevo. A utilização do *Geomorphons* auxiliou na identificação dos divisores de água, dos topos, das áreas planas e dos cursos d'água.

A figura 6 apresenta dois mapas produzidos a partir do algoritmo *Geomorphons*, um a partir de um MDT com resolução 2,5m e outro MDT reamostrado com a resolução de 20m. Enquanto o MDT com maior resolução espacial foi utilizado para a identificação dos canais fluviais e dos divisores de água, o MDT com menor resolução auxiliou na delimitação das áreas planas, das vertentes e dos topos.



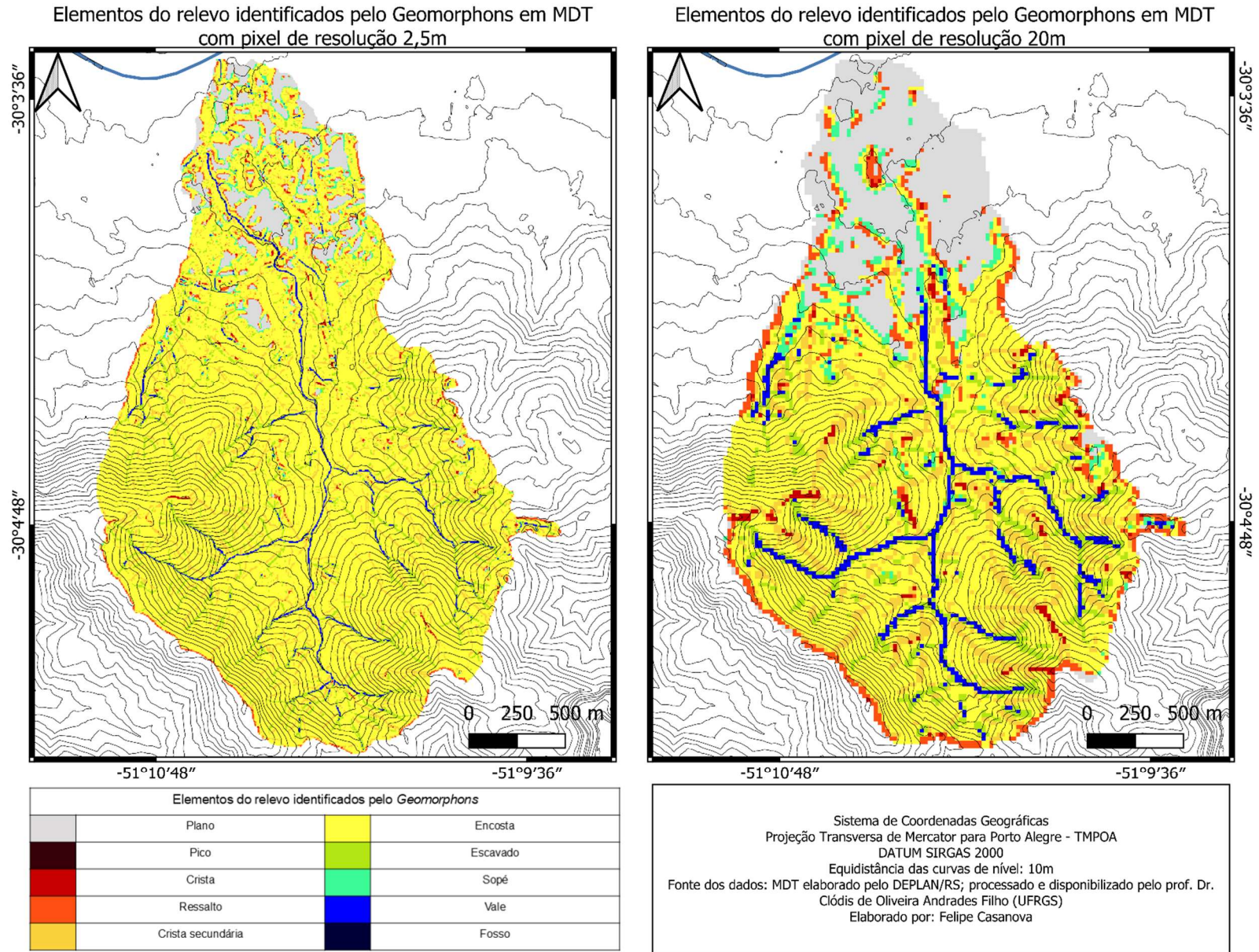


Figura 6: Elementos do relevo identificados pelo Geomorphons em diferentes resoluções espaciais. Fonte: elaboração própria (2024).

O Índice de Posição Topográfica (TPI) é definido a partir do algoritmo criado por Weiss (2001). Através do processamento do MDT, esse algoritmo calcula as diferenças de valores entre o pixel central com os pixels no seu entorno, a partir de uma janela de vizinhança pré-determinada. Se o TPI for positivo, indica que o pixel possui um valor acima da média da vizinhança, quando negativo, está abaixo da média; valores próximos a zero indicam que o pixel está num valor próximo da média da vizinhança (Possantti, 2020) (Figura 7).

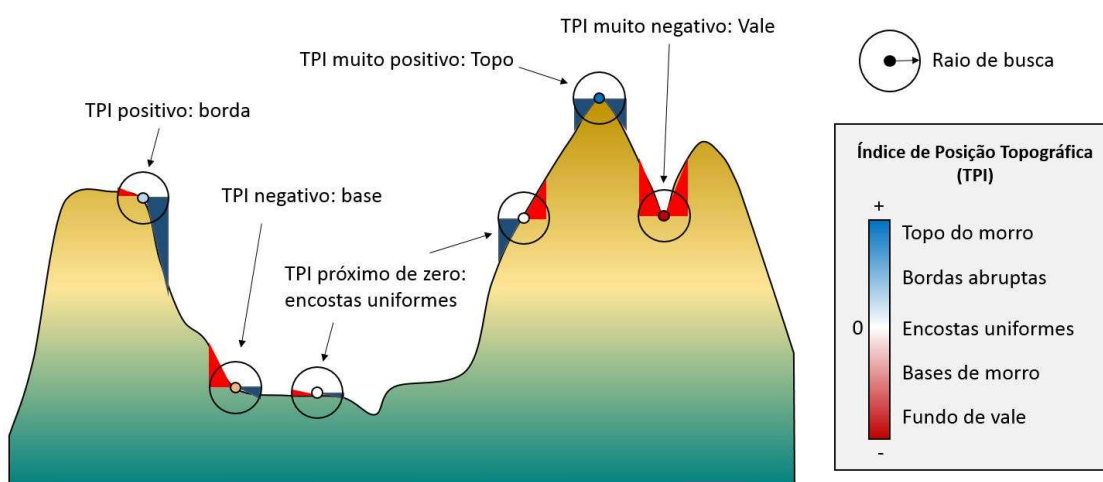


Figura 7: Exemplo de classificação com TPI. Fonte: Possantti, 2020.

Através desses valores, o TPI classifica as áreas em fundos de vale, encostas e topos (Weiss, 2001). Com a utilização desse índice foi possível melhor definir os topos, os divisores de águas e mesmo a forma das encostas.

Além dos mapas e produtos supracitados, também foram extraídas informações a respeito da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho através de mapas temáticos de Geologia, com base no mapa geológico de Porto Alegre de Hasenack, Weber e Marcuzzo (2008); e de Geomorfologia regional, com base no mapa geomorfológico de Porto Alegre de Moura e Dias (2012).

### 3.4 Compartimentação do relevo e identificação da morfologia original

A classificação e compartimentação do relevo da área de estudo partiu do mapeamento dos padrões de forma de relevo de Porto Alegre, realizado por Moura e Dias (2012). Esse mapeamento se baseou na classificação taxonômica do relevo proposta por Ross (1992). Nesse sentido, este trabalho seguiu a

classificação do relevo identificando o quarto, o quinto e o sexto táxon da proposta taxonômica de Ross (1992).

### 3.4.1 Análise da forma das vertentes

Segundo Christofletti (1980), a caracterização e descrição das formas das vertentes são essenciais para a caracterização geomorfológica de pequenas áreas; essa análise pode ser realizada em perfil ou em planta. Uma vertente pode ser classificada como um sistema complexo que compreende a área do interflúvio ao leito fluvial, podendo apresentar mais que um elemento ou segmento em perfil. Dos inúmeros métodos de análise e determinação das formas das vertentes, este trabalho se ateve a interpretar as unidades de vertentes a partir de sua forma geométrica em perfil, conforme descrito por Christofletti (1980) podendo caracterizá-las em elementos convexos, elementos côncavos e segmentos retilíneos, demonstrado pela figura 8.

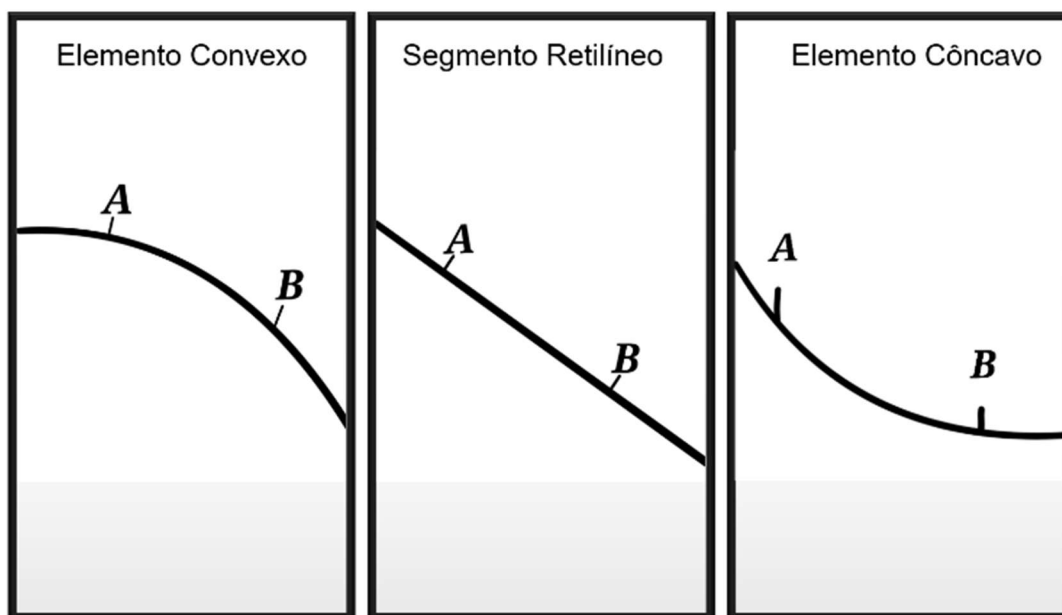


Figura 8: Formas das vertentes identificadas. Fonte: elaboração própria (2024).

A análise da forma das vertentes se deu de três maneiras complementares:

Primeiro, através da análise estereoscópica das fotografias aéreas do mosaico aereofotogramétrico realizado pelo DMAE no ano de 1982. A interpretação e análise com estereoscópio permitiu a visualização da sobreposição das fotografias aéreas em três dimensões. Dada a escala de

1:5.000 das fotografias, foi possível identificar os interflúvios, as áreas de nascentes e a forma das vertentes.

Segundo, com a criação de um modelo tridimensional pela sobreposição das fotografias aéreas sobre o MDT, através da ferramenta *ArcScene*, ligada ao *ArcGIS 10.5.1*. e com a criação de um modelo tridimensional com o *software Agisoft Metashape*.

Por fim, através da criação de perfis topográficos com a utilização do MDT fotogramétrico de resolução espacial 2,5m, foi possível identificar os interflúvios e as formas com maior acurácia.

Concomitante ao mapeamento das formas, foram realizados trabalhos de campo pela área de estudos a fim de averiguar as interpretações realizadas pelo estereoscópio e pelos *softwares* de SIG. A partir da interpretação e análise das formas, foram criados *shapefiles* delimitando cada segmento e elemento das unidades de vertentes, bem como os interflúvios.

A análise da forma das vertentes foi essencial para a elucidação dos processos geomórficos e morfogenéticos atuantes na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, bem como as questões relativas às suscetibilidades naturais do terreno e na identificação de riscos. Salienta-se que esse método de análise é voltado aos mapeamentos geomorfológicos em grande escala, como o realizado por este trabalho.

### **3.5 Mapeamento e análise das formas de relevo tecnogênicas**

A identificação das formas de relevo tecnogênicas se sucedeu de maneira concomitante a todas as etapas mencionadas anteriormente, sobretudo através da abordagem da Cartografia Retrospectiva, visto que, através dessa abordagem, foi possível caracterizar o avanço da urbanização e a construção de formas tecnogênicas na área da bacia, que são resultado da intervenção antrópica sobre o relevo. Os trabalhos de campo consistiram na observação, interpretação e na descrição morfológica de áreas pré-selecionadas, além da conferência, em campo, das interpretações realizadas com o uso das ferramentas de SIG para a identificação das formas tecnogênicas.

A classificação das formas tecnogênicas seguiu a proposta de classificação do relevo tecnogênico de Moura *et al.* (2023), desenvolvida no contexto do Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo. As formas de relevo

tecnogênicas são categorizadas em dois diferentes níveis: categorias e tipos, que se expressam de diferentes formas no terreno e resultam em diferentes processos morfodinâmicos. O Quadro 5 esclarece e exemplifica essa classificação.

**Quadro 5: Classificação das formas de relevo tecnogênicas. Adaptado de Moura *et al.* (2023)**

MORFOLOGIA		EXPRESSÃO NO TERRENO	MORFOGÊNESE	EXEMPLOS
Categorias	Tipos			
<b>Elevações e superposições tecnogênicas</b>	Tecnoformas de Acumulação	Formas associadas a depósitos tecnogênicos construídos	Acréscimo direto de material	Aterros, diques construídos, patamares planos para construção de estradas
	Geotecnoformas de Acumulação	Formas associadas a depósitos tecnogênicos induzidos	Acréscimo induzido de material	Planícies fluviais tecnogênicas, planícies flúvio-lacustres decorrentes da instalação de barragens
<b>Cicatrizes e depressões tecnogênicas</b>	Tecnoformas de Escavação	Cicatrizes tecnogênicas escavadas	Retirada direta de material	Cicatrizes de mineração, cortes de estrada
	Geotecnoformas de Denudação	Cicatrizes ou depressões tecnogênicas induzidas	Movimentação ou erosão induzida de material	Ravinas, vossorocas, sulcos erosivos
<b>Corrugações tecnogênicas</b>	Tecnoformas de Turbação	Formas associadas a terreno revolvido	Movimentação direta de material dentro do próprio sítio	Terras aradas em áreas de plantação
<b>Equiformas tecnogênicas</b>	Equiformas tecnogênicas de modificação em superfície	Formas associadas a solos tecnogênicos	Modificação direta ou indireta na composição ou estrutura física do terreno em superfície	Aterros sanitários, lixões, montículos tecnogênicos
	Equiformas tecnogênicas de modificação em profundidade	Maciço tecnoturbandado	Modificação direta na composição ou estrutura física do terreno em profundidade	Túneis, aquíferos secos por exploração excessiva

A identificação e classificação das formas de relevo ocorreu de modo concomitante ao mapeamento do relevo tecnogênico. Com os mapeamentos concluídos, iniciou-se a etapa final do trabalho que consistiu na análise e discussão dos resultados, que são apresentados ao final deste trabalho.

## 4 Contextualização no meio físico

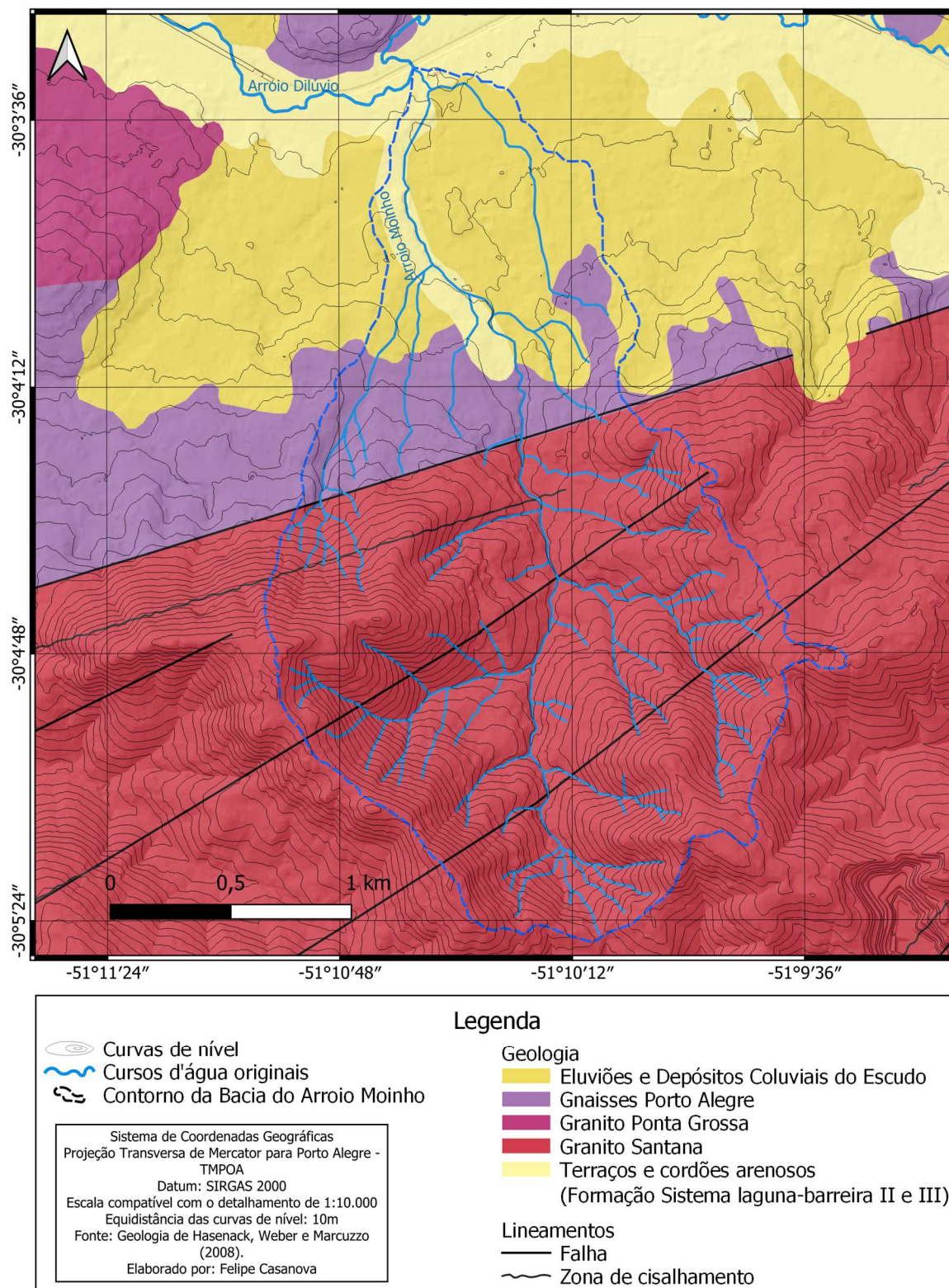
A sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho se encontra entre as latitudes -30° 3' 30.95" e -30° 5' 26.1" e as longitudes -51° 10' 56.68" e -51° 9' 40.73", localizando-se inteiramente no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. O clima de Porto Alegre é caracterizado como Subtropical Úmido (Cfa na classificação de Köppen-Geiger) e é considerada por Hasenack, Weber e Marcuzzo (2008) como uma zona de transição entre os Biomas Mata Atlântica e Pampa, caracterizando a vegetação de campos e de florestas presentes na área de estudo.

A bacia está sobre duas estruturas geológicas distintas no contexto geológico regional do Rio Grande do Sul: o embasamento cristalino do Escudo Sul-Riograndense e coberturas sedimentares e sedimentos consolidados e inconsolidados de idade Quaternária da Bacia Sedimentar de Pelotas (Menegat *et al.*, 1998). Essas duas estruturas geológicas representam morfoestruturas e morfoesculturas distintas que influenciam a evolução do modelado do relevo da área de estudo. São elas: a morfoescultura Planalto Rebaixado Marginal Leste da Morfoestrutura Cinturão e Escudo do ESRG (Moura *et al.* 2023a); e a Morfoescultura Planície e Terras Baixas Costeiras (PTBC) da morfoestrutura Bacia Sedimentar de Pelotas (Moura, 2022).

### 4.1 Caracterização Geológica

Para Ab'Saber (1965), Porto Alegre se situa em uma área complexa onde diferentes províncias morfoestruturais do Rio Grande do Sul se cruzam, formando um relevo complexo, que influenciou, de diferentes maneiras, na forma como o sítio urbano de Porto Alegre foi ocupado. No contexto geológico, Porto Alegre está no encontro da Bacia Sedimentar de Pelotas, da Bacia Sedimentar do Paraná e do Escudo Sul-Riograndense. A sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho se localiza entre as rochas cristalinas do escudo e a Bacia Sedimentar de Pelotas (figura 9).





**Figura 9. Mapa do Substrato Geológico da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: Adaptado de Hasenack *et al.* (2008)**

O Escudo Sul-Riograndense é caracterizado pela sua complexidade litológica e estrutural, sendo constituído por rochas sedimentares paleozoicas e rochas ígneas e metamórficas de idade pré-cambriana (Marth, 2017). A origem

das rochas do ESRG se relaciona com a evolução do antigo cinturão orogênico Dom Feliciano, processo iniciado a cerca de 800 milhões de anos, no contexto do Ciclo Brasileiro, quando houve a convergência de dois antigos continentes, o Rio de la Plata e o Kalahari, que acabaram formando o paleocontinente Pangeia e, posteriormente, o Gondwana (Fragoso-Cesar, Wenick e Soliani Jr., 1982; Menegat *et al.*, 1998).

Com a fragmentação da Pangeia e a separação do Gondwana, ocorre a abertura do Oceano Atlântico a leste e, a oeste do continente americano, o soerguimento da Cordilheira dos Andes, gerando sistemas de falhas, reorganizando os sistemas de drenagem de toda a América do Sul e ocasionando, em escala regional, o soerguimento do ESRG (Suertegaray e Moura, 2012). Na costa do atual Rio Grande do Sul formou-se um sistema deposicional, configurando a formação da Bacia Sedimentar de Pelotas (Menegat *et al.*, 1998).

Nesse contexto, o conjunto litológico de Porto Alegre se insere na porção nordeste da antiga cadeia de montanhas Cinturão Dom Feliciano, na unidade de rochas graníticas e metamórficas do Batólito de Pelotas (Philipp e Campos, 2004; Hasenack, Weber e Marcuzzo, 2008), também sendo caracterizado na literatura geológica da região como Núcleo Cristalino de Porto Alegre-Viamão (Jost, 1971).

Cerca de 80% da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho se localiza sobre duas unidades geológicas do escudo: o Granito Santana e o Gnaisse Porto Alegre.

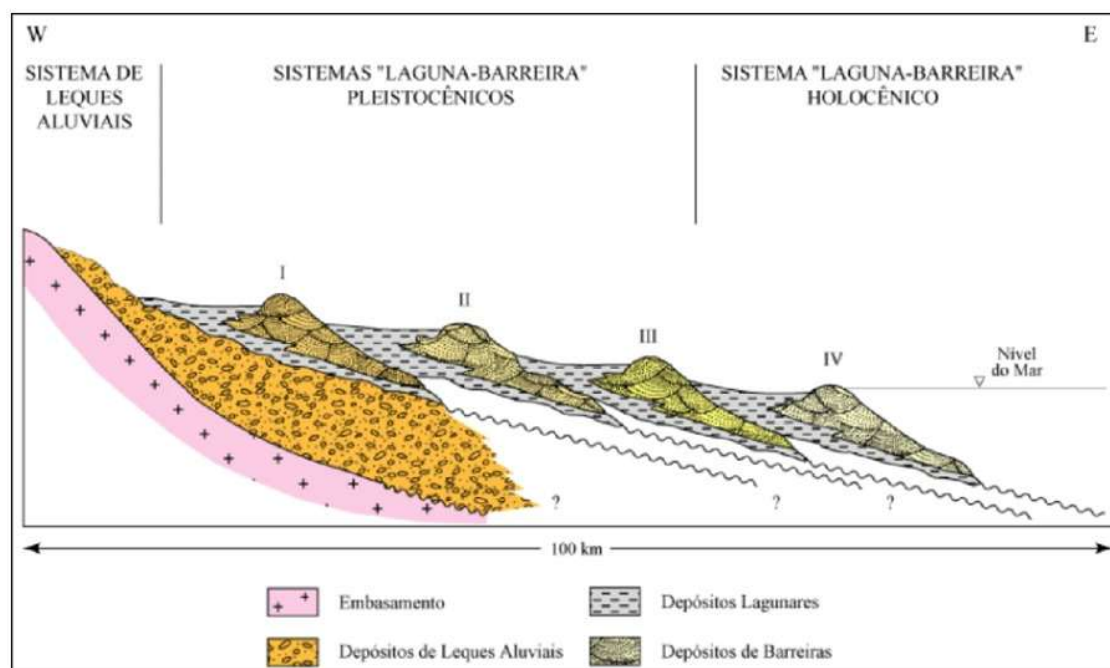
- o Granito Santana, é uma formação pré-cambriana de idade superior a 570 milhões de anos, sendo o principal substrato litológico da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, compreendendo cerca de 69% da área total da bacia, onde estão os Morros Pelado, da Polícia e da Cruz, nas cabeceiras e nascentes do Arroio Moinho e seus afluentes. É sobre esse granito que se encontram as maiores altitudes e declividades na Região Metropolitana de Porto Alegre, apresentando uma forma alongada de direção NE-SW, com cerca de 18km de extensão. O Granito Santana possui cor rosa-claro com a mineralogia composta por 50% de feldspato alcalino, 44% de quartzo, 5% de plagioclásio e 1% de biotita, apresentando granulação grosseira (Menegat *et al.*, 1998). Por ser pouco intemperizado, apresenta manto de intemperismo raso e solos



caracterizados como Litólitos ou Neossolos com grande presença de afloramentos rochosos (Hasenack, Weber e Marcuzzo, 2008).

- os Gnaisses Porto Alegre fazem contato tectônico com o Granito Santana e são “uma associação de gnaisses granodioríticos a dioríticos com idade ao redor de 2 bilhões de anos” (Hasenack *et al.* 2008). Essas unidades possuem um perfil de intemperismo profundo (com mais de dez metros), cor cinza escura e preta, composto por minerais félsicos e máficos, estando presentes sobre uma área mais arrasada e rebaixada do relevo em comparação com as áreas adjacentes do Granito Santana (Philipp e Campos, 2004). Nesse sentido, apresenta-se em um relevo com declividades menos acentuadas e menores altitudes, ocasionadas pela longa sujeição aos processos intempéricos e erosivos, bem como pela estrutura mais friável em comparação com a do granito.

Quanto à Bacia Sedimentar de Pelotas, sua formação dá-se inicia com a ruptura do antigo continente Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico, entre o Jurássico e o Cretáceo. Essa bacia foi preenchida por sedimentos do Cretáceo ao Quaternário, com sua superfície emersa identificada como as Planícies e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul (Barboza, Rosa e Ayup-Zouain, 2008; Moura, 2022). A porção superficial dos sedimentos da Bacia de Pelotas foram depositados durante o Quaternário, registrando os episódios de transgressão e regressão marinha ocasionadas pelos períodos glaciais e interglaciais do Pleistoceno e Holoceno (Villwock e Tomazelli, 1995). A figura 10 esquematiza os sistemas deposicionais quaternários da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, sobre a Bacia Sedimentar de Pelotas.



**Figura 10. Sistemas deposicionais quaternários da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Fonte: Villwock e Tomazelli (1995).**

Em cerca de 17% da área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, na sua porção à jusante, estão presentes eluviões e depósitos coluviais do Escudo; os terraços e os cordões arenosos do Sistema Laguna Barreira II e os cordões arenosos da Barreira III (Villwock e Tomazelli, 1995).

Os eluviões e depósitos coluviais do Escudo representam o subsistema mais importante no contexto do Sistema de Leques Aluviais associados às encostas adjacentes à Planície e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul. Esses depósitos tiveram como área fonte as rochas graníticas e gnáissicas do Escudo, portanto, segundo Tomazelli e Villwock (2000), a principal característica das fácies desses depósitos é a “imaturidade textural e mineralógica”, apresentando areias grossas, feldspáticas e cascalhos, sendo integrantes da formação Graxaim, que foram retrabalhados durante os eventos transgressivos e regressivos do Pleistoceno.

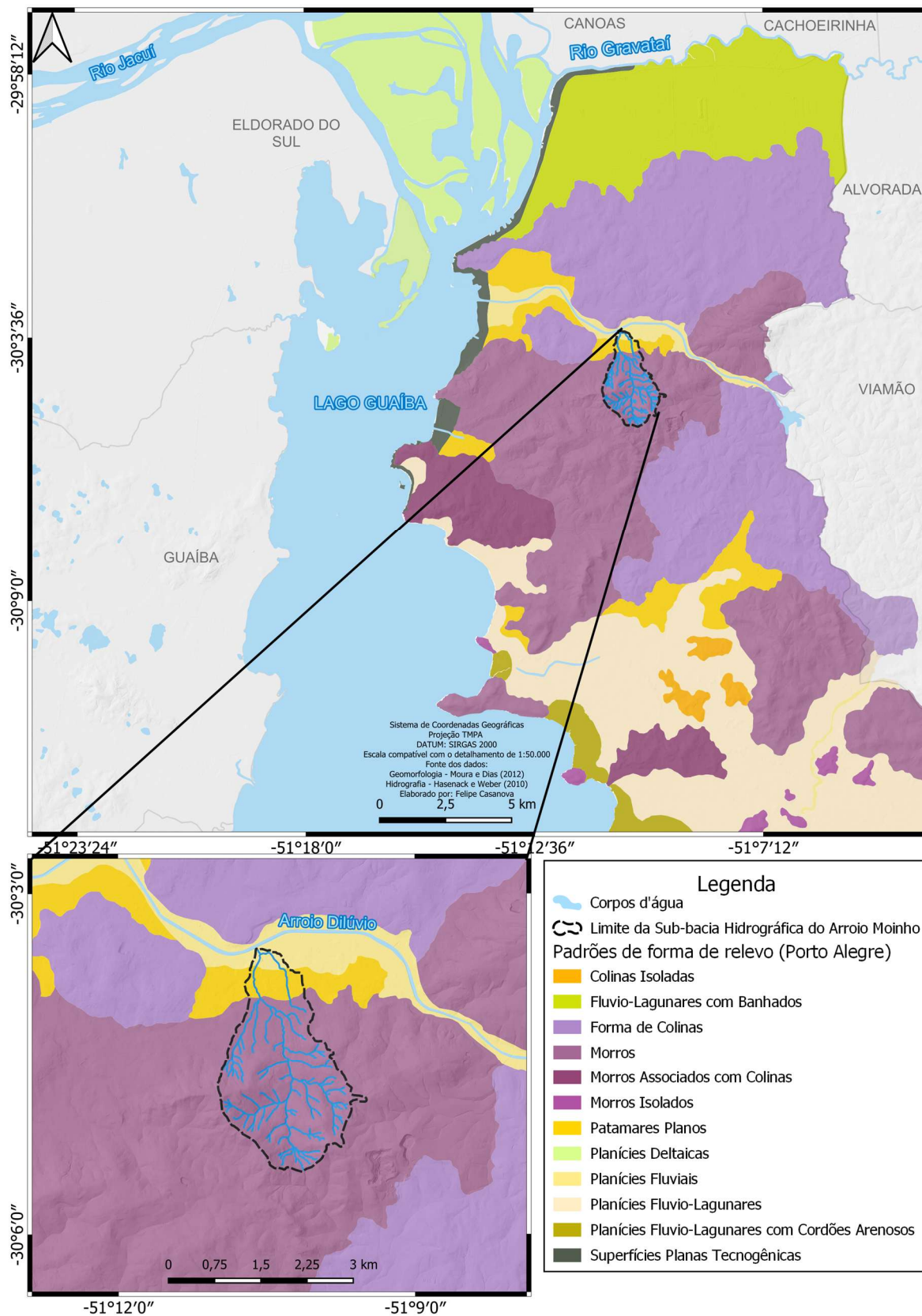
Os sistemas deposicionais “Laguna-Barreira” foram gerados durante os eventos transgressivos-regressivos do nível do mar, controlados pela glácio-eustasia, nos últimos 400 mil anos (Tomazelli e Villwock, 2000). Na área de estudo, estão presentes os sistemas deposicionais Laguna-Barreira II e III. O Sistema Laguna-Barreira II corresponde a um estágio em que o nível do mar estava mais elevado a 325 mil anos, que isolou e resultou na formação da

Laguna dos Patos e Lagoa Mirim; os sedimentos constituintes desse sistema são de origem eólica e praial. O sistema Laguna-Barreira III formado há cerca de 120 mil anos em ambientes lagunar, paludal e fuvial (Moura, 2022). As características litológicas dos dois sistemas são semelhantes, apresentando fácies arenosas de origem praial ou lagunar, sendo areias quartzosas claras, finas e bem selecionadas (Tomazelli, Villwock e Loss, 1987; Tomazelli e Villwock, 2000).

#### **4.2 Caracterização Geomorfológica**

Diversos autores buscaram elucidar a morfogênese do relevo do estado do Rio Grande do Sul, com destaque a Muller Filho (1970), Suertegaray (1996) e Suertegaray e Moura (2012). No contexto de Porto Alegre, se destacam as obras de Menegat *et al.* (1998), com o Atlas Ambiental de Porto Alegre, que busca explicar a evolução geológica da cidade; e Moura e Dias (2012), que, com o Mapa Geomorfológico de Porto Alegre, interpreta o relevo e identifica os compartimentos do relevo no município de Porto Alegre em escala de 1:50.000, explicitando os aspectos morfológicos, litológicos, morfodinâmicos e a morfogênese do relevo.

A cidade de Porto Alegre se localiza no contato de três morfoestruturas e morfoesculturas: O Escudo Sul-Riograndese, cuja morfoescultura, no município, corresponde ao Planalto Rebaixado Marginal Leste (Marth, 2017); a Bacia Sedimentar de Pelotas com a morfoescultura da Planície e Terras Baixas Costeiras; e a Bacia Sedimentar do Paraná, com o aporte de sedimentos da Depressão Periférica do RS no Delta do Jacuí (Moura e Dias, 2012). A sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho se encontra na conjunção do Escudo Sul-Riograndese com a Bacia Sedimentar de Pelotas. A figura 11 demonstra os padrões de forma de relevo da cidade de Porto Alegre (Moura e Dias, 2012) e a localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho frente aos padrões de forma.



**Figura 11: Padrões de forma de relevo no município de Porto Alegre e localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: adaptado de Moura e Dias (2012).**

### 4.2.1 Morfogênese Regional

A morfogênese regional do relevo gaúcho se inicia ainda no Pré-Cambriano, na formação do Cinturão Dom Feliciano, com a colisão de dois paleocontinentes durante o ciclo orogênico neoproterozoico Brasileiro, entre 900 e 535 milhões de anos antes do presente. Os resquícios desses paleocontinentes são representados pelo Cráton Rio de la Plata, no continente americano, e pelo Cráton Kalahari, no continente africano (Marth, 2017).

Segundo Moura e Dias (2012), as rochas do ESRG foram a fonte de material para a sedimentação Paleozoica, ocorrida na Depressão Intra-cratônica da Bacia do Paraná, quando a configuração continental terrestre era a Pangeia. Para Suertegaray e Moura (2012), ao final da Era Mesozoica ocorre a etapa evolutiva mais importante para a compreensão da morfologia atual do Rio Grande do Sul: a fragmentação da Pangeia e o rompimento do paleocontinente Gondwana, entre o Triássico e o Jurássico, resultando em diversos alinhamentos de falhas e reativações de antigos falhamentos, soerguendo o ESRG e redirecionando o sistema de drenagem para o Oceano Atlântico (Marth, 2017)

Concomitante à abertura do Oceano Atlântico, forma-se a Bacia Sedimentar de Pelotas e proporciona uma nova dinâmica geomorfológica da área por conta da proximidade com o mar e o surgimento de uma drenagem exorréica, criando um nível de base regional, o que intensifica o entalhamento fluvial e os processos erosivos durante o Mioceno (Marth, 2017). A sedimentação da Bacia sedimentar de Pelotas ocorreu conforme havia o afastamento dos continentes sul-americano e africano, por sedimentos do ESRG e das coberturas vulcânicas da Bacia do Paraná (Villwock, 1984).

Durante o Mioceno, ocorreram episódios de elevação epirogenética resultantes da subsidência da Bacia de Pelotas, provocando uma inclinação da porção leste do Escudo Sul-Riograndense, havendo superimposição da drenagem e gerando o sistema de leques aluviais da Planície e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul (Tomazelli, Villwock e Loss, 1987). Essa morfoescultura é marcada pelas oscilações do nível do mar durante o Quaternário, entre o Pleistoceno e o Holoceno, formando os sistemas Laguna-Barreira I, II, III e IV, que resultaram na Laguna dos Patos e o “Rosário de Lagoas” no litoral do Rio Grande do Sul (Suertegaray e Moura, 2012).

Os episódios de regressão e transgressão marinha nesses períodos também tiveram importância na esculturação do ESRG, sobretudo na sua porção leste e em Porto Alegre, onde o nível do mar mais elevado retrabalhou os eluviões e sedimentos coluviais do escudo e esculpindo terraço de abrasão que se estende por toda a margem oeste da planície costeira, situados entre 18 e 24 metros de altitude (Tomazelli e Villwock, 2000). Além disso, segundo Bigarella *et al.* (1965), durante os episódios de regressão e transgressão marinha do Pleistoceno, houve aumento ou redução dos processos de entalhamento fluvial pelo rebaixamento/levantamento do nível de base regional.

Em Porto Alegre, todo o relevo está diretamente associado às flutuações climáticas do Quaternário. Os padrões de Morros e Colinas do Escudo, com uma forte influência da litologia de granitoides, e os padrões de planícies e terras baixas, sendo influenciados pela deposição lagunar, marinha, fluvial e eólica ao longo do tempo geológico, dominando os processos de deposição. Atualmente, a área é condicionada aos processos lacustres, relacionados ao Lago Guaíba, e aos processos fluviais, relacionados aos diversos rios e arroios presentes em Porto Alegre.

#### **4.2.2 Compartimentação do relevo**

Esta seção visa elucidar a conformação do relevo na área de estudo através de sua caracterização morfométrica e morfológica, bem como suas relações com a litologia. Para tais descrições, foram elaborados mapas hipsométrico, clinográfico e geomorfológico, que foram produzidos a partir de atividades de gabinete, campo e laboratório.

##### **4.2.2.1 Análise Morfométrica**

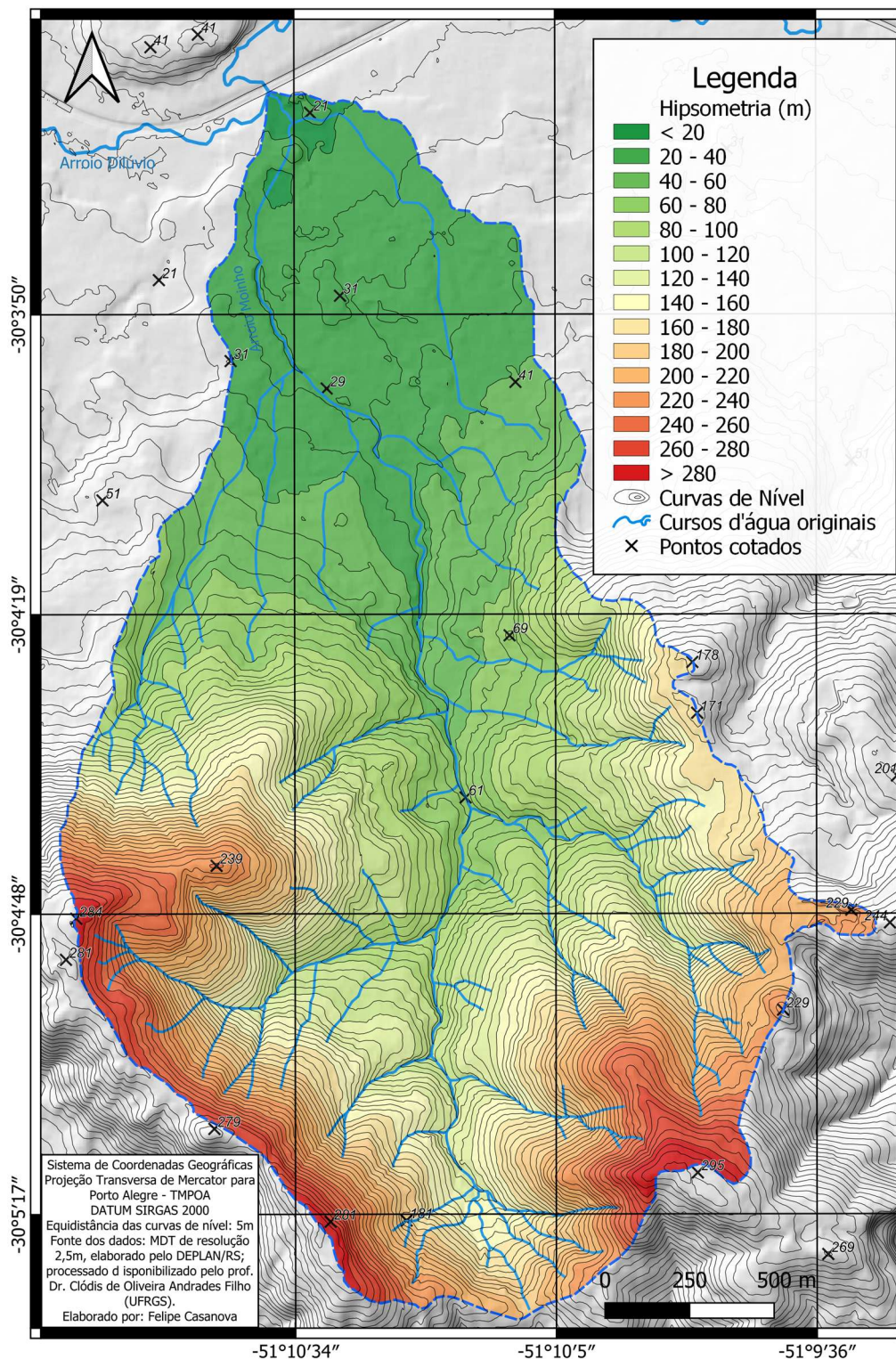
Neste tópico, inicialmente, são apresentados mapas e descrições a respeito da hipsometria, clinografia e hierarquia fluvial. Posteriormente, são descritos alguns parâmetros morfométricos adotados na análise dessa pesquisa.

##### **a) Hipsometria**

O mapa hipsométrico (figura 12) apresenta a hipsometria da área de estudos, que demonstra a amplitude altimétrica variando de 15 a 295m, em uma área de 4,861 km<sup>2</sup>. As maiores altitudes se relacionam com a morfoestrutura do



Escudo Sul-Riograndense, que corresponde ao padrão em forma de morros. A maior altitude da bacia fica no topo do Morro Pelado, onde atinge 295m. A altitude média da bacia é de 120m. As menores altitudes se associam ao conjunto sedimentar da Bacia Sedimentar de Pelotas e aos padrões de forma em patamares planos e planícies fluviais.



**Figura 12: Mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.**  
 Fonte: elaboração própria (2024)

## b) Clinografia

O mapa clinográfico (figura 13) apresenta a espacialização da declividade da área de estudo. Cerca de um terço de toda a área da bacia se encontra em declividades acima de 30%, enquanto aproximadamente 41% da área total possui declividades de 10 a 30%, conforme apresenta a tabela 1. As altas declividades se concentram, sobretudo, nas áreas de cabeceiras de drenagem e em altitudes acima de 150m, estando associadas, principalmente, a vertentes com segmentos retilíneos. Os altos valores de declividade associados aos diferentes usos e coberturas da terra — sobretudo áreas pavimentadas ou com solo exposto — denotam uma maior suscetibilidade aos movimentos de massa, como quedas de bloco e deslizamentos, e às enxurradas, visto que as altas declividades ocasionam uma maior velocidade do escoamento da água, principalmente em episódios de precipitação intensa.

**Tabela 1: Declividade por área na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho**

<i>Declividade (%)</i>	<i>Área (Km<sup>2</sup>)</i>	<i>Percentual em relação à área total</i>
<i>Menor que 2</i>	0,171	3,5 %
<i>2 a 5</i>	0,469	9,5%
<i>5 a 10</i>	0,611	12,6%
<i>10 a 20</i>	0,966	19,9%
<i>20 a 30</i>	1,020	21%
<i>30 a 40</i>	0,829	17,1%
<i>Maior que 40</i>	0,795	16,4%
<i>Área total</i>	4,861 Km <sup>2</sup>	100%



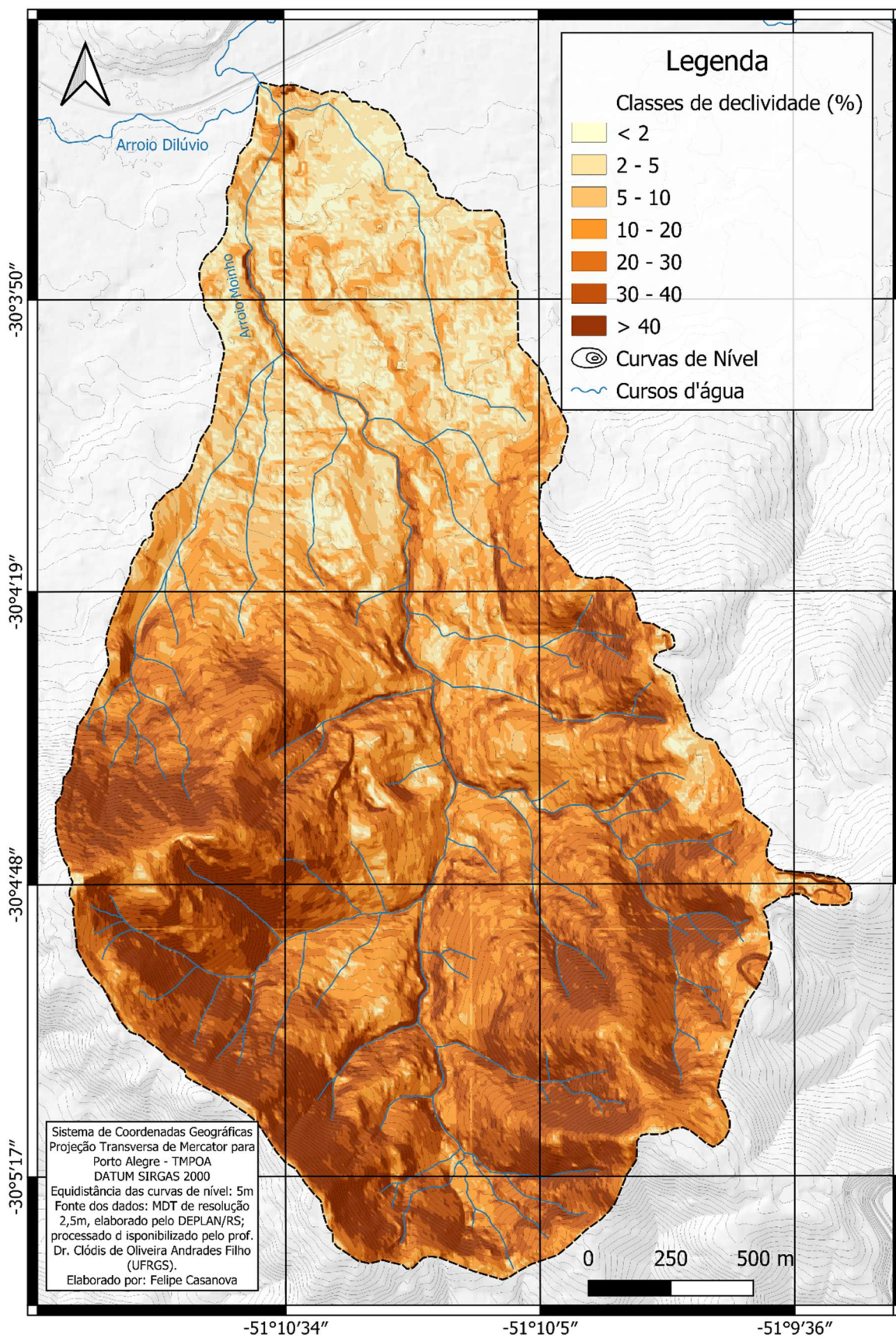
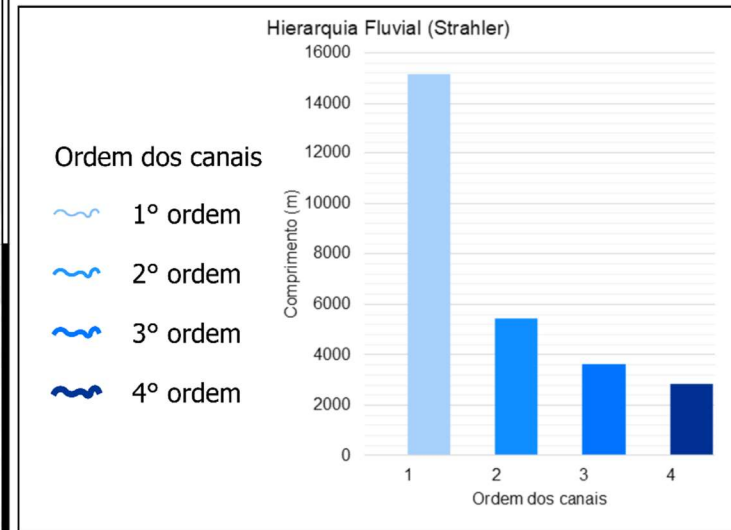
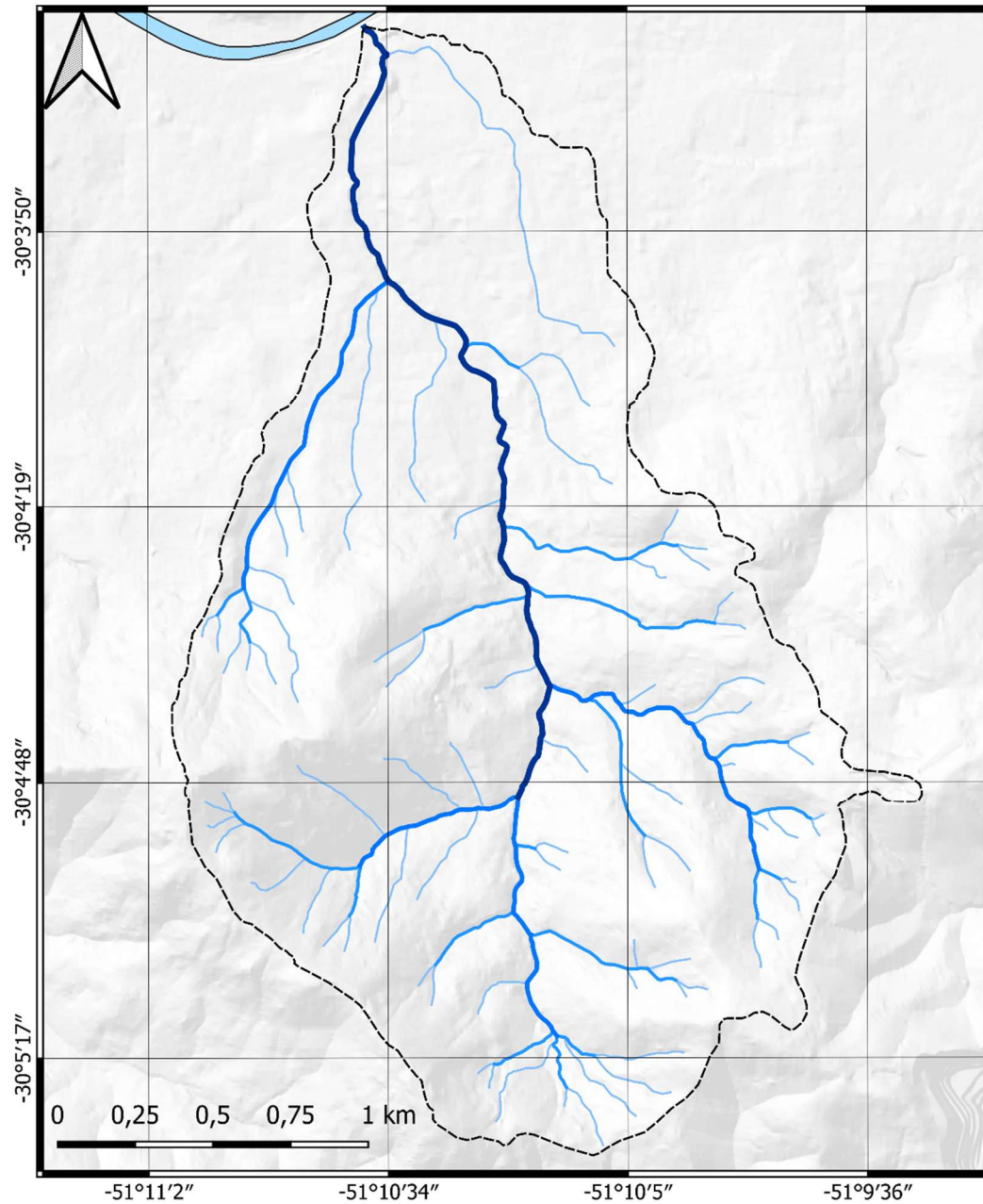


Figura 13: Mapa Clinográfico da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024)

c) Interpretação e descrição dos parâmetros morfométricos analisados da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho

A Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho apresenta uma rede de drenagem de quarta ordem (figura 14), analisada através do método de hierarquia fluvial de Strahler (1964). Esse sistema de classificação se baseia na hierarquização dos cursos d'água, onde um canal de primeira ordem é o menor canal possível, aquele que não possui afluentes, se estendendo da nascente à confluência. Os canais de segunda ordem se formam a partir da confluência de dois canais de primeira ordem, e assim sucessivamente (Strahler, 1964).

Consoante a metodologia de Strahler (1964), a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho é composta por 73 canais de primeira ordem, o que significa que o Arroio Moinho conta com 73 nascentes; o comprimento total dos canais de primeira ordem é de 15.219 metros. São 19 canais de segunda ordem, com comprimento total de 5.447 metros; 4 canais de terceira ordem, com 3.650 metros ao todo; e um canal de quarta ordem, com 2.903 metros, sendo o montante total correspondente a 27.219 metros distribuídos em uma área de 4,861 km<sup>2</sup>.



Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Projeção Transversa de Mercator para Porto Alegre - TMOA  
 DATUM: SIRGAS 2000  
 Elaborado por: Felipe Casanova e Carolina Martinelli dos Santos

Figura 14: Hierarquia Fluvial da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024).

O quadro 6 apresenta o resultado dos cálculos dos parâmetros morfométricos analisados na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Esses parâmetros permitem discutir aspectos relacionados à morfometria e morfologia, bem como a morfodinâmica da bacia.

**Quadro 6: Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho**

Parâmetro	Valor/unidade
Área	4,861 km <sup>2</sup>
Perímetro	10,352 km
Comprimento total dos canais	27,219 km
Comprimento do eixo axial	3.704 m
Altitude média	120 m
Amplitude altimétrica	15 a 295m
Densidade de drenagem	5,59 km/km <sup>2</sup>
Índice de conformação	0,354
Hierarquia fluvial	4° ordem
Comprimento dos canais de 1° ordem	15.219 m
Comprimento dos canais de 2° ordem	5.447 m
Comprimento dos canais de 3° ordem	3.650 m
Comprimento dos canais de 4° ordem	2.903 m

A análise conjunta desses parâmetros permitiu identificar questões relacionadas à suscetibilidade natural da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho frente aos processos hidrogeomorfológicos. O valor obtido pelo índice de conformação (0,354) indica que a bacia possui tendências baixas à ocorrência de enchentes, se comparados e analisados com os valores de controle de Villela e Mattos (1975), que indicam que quanto mais afastado de 1, menor a probabilidade das enchentes. Esse dado se confirma ao analisar a declividade e a hipsometria; dado que os canais possuem alto gradiente os processos de enxurrada possuem maior suscetibilidade de ocorrência e são mais significativos que os de enchente<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Importante ressaltar que outros aspectos que influenciam esses processos são analisados posteriormente, como a cobertura da terra e a litologia.



Ao mesmo tempo, essa interpretação se confirma pela densidade de drenagem da bacia de 5,59km/km<sup>2</sup>, que é classificada, de acordo com a proposta de classificação de Beltrame (1994) como muito bem drenada, indicando um rápido escoamento superficial nas encostas. Esses aspectos, em conjunto, indicam uma alta propensão aos processos de enxurradas, sobretudo nos vales.

A alta densidade de drenagem superficial é explicada pela litologia granítica e gnáissica na maior parte da área da bacia; essas rochas são mais resistentes aos processos de intemperismo químico e físico que os sedimentos consolidados das formações Laguna Barreira II e III e dos eluviões e depósitos coluviais à jusante da bacia. Associando a resistência das rochas à declividade, à baixa pedogênese e aos solos rasos, a permeabilidade é dificultada, resultando em uma rede de drenagem superficial densa, bem como a geração de intensos fluxos superficiais, que podem ocasionar a erosão em áreas de solo exposto. Além disso, devido aos parâmetros morfológicos e morfométricos analisados, supõe-se que a bacia esteja em estágio morfogenético de incisão fluvial, confirmado pela densidade de drenagem, altas declividades e formas das vertentes, além dos trabalhos de campo realizados onde verificou-se um leito fluvial predominantemente rochoso em diversos setores da bacia.

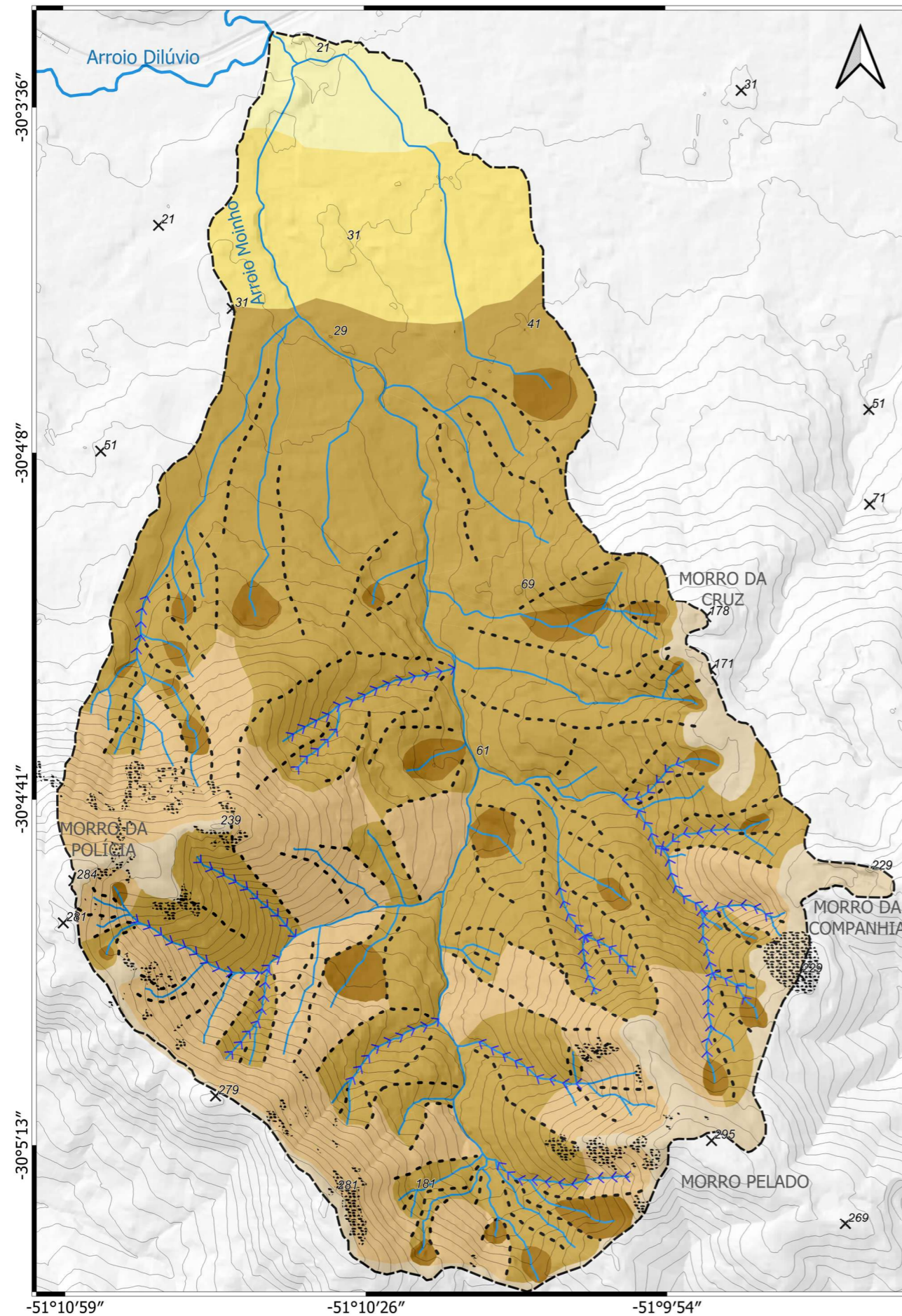
#### **4.2.2.2 Mapa Geomorfológico**

A análise das características morfométricas e morfológicas possibilitam a compreensão da morfodinâmica do relevo, como os processos areolares sobre as vertentes, os processos de agradação nas planícies e a dinâmica dos cursos d'água, possibilitando identificar a suscetibilidade natural do relevo aos processos geomorfológicos de enxurradas e movimentos de massa. O mapeamento geomorfológico aqui realizado, na escala de 1:10.000, buscou identificar os elementos e segmentos das vertentes contidas nas diferentes formas e padrões de forma encontradas na bacia hidrográfica estudada.

A identificação das formas da vertente se baseou nos pressupostos de Christofolletti (1980), na identificação da forma geométrica dos perfis das vertentes, assim como nos aspectos relacionados à hipsometria e à clinografia. A classificação das formas de relevo frente às diferentes feições e dimensões se baseou na proposta taxonômica de Ross (1992), que identifica seis táxons.

Na área de estudo, no âmbito do primeiro táxon, são identificadas duas morfoestruturas: O Escudo Sul-Riograndense e a Bacia Sedimentar de Pelotas. No segundo táxon, são identificadas duas unidades morfoesculturais: o Planalto Marginal Leste do Escudo Sul-Riograndense e a Planície e Terras Baixas Costeiras. Três padrões de forma são identificados com base em Moura e Dias (2012), que correspondem ao terceiro táxon: os morros com topos convexos, os patamares planos e as planícies fluviais. No padrão de morros são identificados elementos convexos, côncavos e retilíneos, sob diferentes altitudes e declividades. A planície e os patamares planos se constituem como formas de relevo individualizadas, dado o processo morfogenético de suas formações.

A figura 15 apresenta o Mapa Geomorfológico das morfologias originais, antes da perturbação antrópica, da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.



Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Padrão de formas de relevo	Formas de relevo/ elementos e segmentos de vertentes	Perfil Esquemático	Declividades predominantes (%)	Litologia / Solo	Morfodinâmica
Escudo Uruguaio Sul-Riograndense	Planalto Marginal Leste	Morros com topos convexos	Topos Convexos		2 - 8	Granito Santana / Neossolo litólico.	Infiltração praticamente nula, impera o escoamento superficial difuso em direção às encostas.
			Elementos Convexos		5 - 15 30 - 40	Granito Santana e Gnaiss Porto Alegre/ Neossolo litólico e Argissolos vermelhos.	Escoamento superficial predomina em relação à infiltração, sobretudo nas altas e médias vertentes. Escoamento concentrado nas vertentes mais baixas. Encostas com menor declividade denotam processos de transporte e deposição no sopé.
			Elementos Côncavos		5 - 10	Granito Santana e Gnaiss Porto Alegre / Neossolos Litólicos e Argissolos vermelhos.	Escoamento se concentra conforme reduz a declividade desses elementos. Relaciona-se com áreas de nascentes. Formas em evolução.
			Segmentos Retilíneos		20 - 30 / > 40	Granito Santana / Neossolo litólico.	Escoamento superficial difuso predomina nas porções altas desses segmentos. Pouca ou nenhuma infiltração.
Bacia Sedimentar de Pelotas	Planície e Terras Baixas Costeiras	Patamares	Patamares		< 2	Evoluições e depósitos coluviais do escudo/areias eólicas, fluvio-lacustres e praias.	Tendência e predominância dos processos de infiltração e escoamento subsuperficial.
		Planícies Fluviais	Planícies Fluviais		< 2	Formação holocênica de areias grossas e conglomeráticas.	Predomina os processos de infiltração. Retrabalhadas periodicamente pelas inundações do Arroio Dilúvio.

**Convenções Cartográficas**

- Curvas de nível
- Divisores de águas
- Pontos cotados
- Cursos d'água
- Vales em V
- Rochas expostas
- Limite da bacia hidrográfica

Escala numérica: 1:13.000  
 Escala gráfica: 0 250 500 m

Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Projeção Transversa Mercator para Porto Alegre - TMOA  
 DATUM: SIRGAS 2000  
 Escala compatível com o detalhamento de 1:10.000  
 Equidistância das curvas de nível: 10 metros  
 Fonte dos dados:  
 Modelo digital do terreno de resolução 2,5m, elaborado pelo DEPLAN/RS, processado e disponibilizado pelo prof. Dr. Clódís de Oliveira Andrades Filho (UFRGS).  
 Elaborado por: Felipe Casanova

Figura 15: Mapa Geomorfológico das unidades morfológicas originais e forma das vertentes da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024).



#### 4.2.2.2.1 Padrão de Morros com Topos Convexos

O padrão de formas de relevo de morros com topos convexos espacializa-se por 88% da área da bacia, sendo representado pelo Morro da Polícia, Morro Pelado e Morro da Cruz. No livro *Atlas Ambiental de Porto Alegre*, Menegat *et al.* (1998) descreve o conjunto desses morros com o Morro da Glória como sendo a feição geomorfológica “Crista de Porto Alegre”, embora seus topos, na porção presente na área de estudo, sejam convexos, estreitos e, por vezes, alongados. A amplitude altimétrica dos morros é de aproximadamente 250m, sendo 295m o valor máximo cotado na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, no topo do Morro Pelado.

Cerca de 38% da área dos morros apresenta declividades superiores a 30%, predominando a classe de 30-40%. As altas e médias vertentes desse padrão são caracterizadas pelas declividades acentuadas, sobretudo as encostas com segmentos retilíneos, que apresentam as maiores declividades, predominantemente acima de 40%, assim como os elementos convexos dos vales em V, conforme demonstra a figura 16.



**Figura 16:** Vista do topo do Morro da Polícia para a porção Sul da bacia do Arroio Moinho. (1 e 2) presença de blocos rochosos expostos, evidenciando um perfil de solo raso e a resistência do Granito Santana. (3) Nascente em vertente côncava. (4) Encostas retilíneas com declividades superiores a 40% e topos convexos alongados. (5) Topo convexo do Morro Pelado, na maior altitude da bacia, com 295m. Evidencia-se a presença de nascentes e vale em V com declividade acentuada. (6) Topo convexo densamente ocupado no Morro da Cruz. Fonte: elaboração própria, ago. 2024.

O leito dos cursos d'água é predominantemente rochoso nesse padrão, evidenciando um contínuo processo de incisão e entalhamento fluvial, bem como a resistência do Granito Santana (figura 17). As altas declividades e o leito rochoso aumentam a energia ao desencadeamento dos processos de enxurrada nos cursos d'água da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, sobretudo no rio



principal da bacia, que, por ser de quarta ordem, recebe maior carga d'água pelos afluentes.



**Figura 17: Leitões rochosos no Arroio Moinho e afluente. (A) Arroio Moinho em seu trecho médio, em área de vale em V. (B) Leito rochoso de afluente da porção Oeste do Arroio Moinho, próximo às nascentes; no segundo plano da imagem, evidencia-se uma queda d'água com alta declividade. Percebe-se a presença de depósitos tecnogênicos gárbicos nas margens de ambos os cursos d'água. Fonte: do autor, jul. 2024.**

Conforme o mapeamento de solos de Porto Alegre realizado por Hasenack, Weber e Marcuzzo (2008), nas encostas íngremes e nos topos dos morros graníticos de Porto Alegre predominam os Neossolos Litólicos, conforme demonstrado pela figura 18. Os solos rasos e os frequentes afloramentos rochosos denotam a resistência da estrutura físico-química aos processos de desagregação e decomposição do Granito Santana. Os matacões e blocos expostos evidenciam a ocorrência de intemperismo físico-químico através da esfoliação esferoidal, que também foram identificados por Fujimoto (2002), em outra sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, sendo este processo comum nas rochas graníticas de Porto Alegre.

As rochas expostas somadas às altas declividades das vertentes retilíneas e convexas aumentam a probabilidade da ocorrência de rolamentos e quedas de bloco, bem como a suscetibilidade à ocorrência de enxurradas, conforme salientado anteriormente.



**Figura 18: Solo raso do tipo Neossolo litólico em corte de estrada no topo do Morro da Polícia, evidenciando a forte resistência do substrato rochoso frente aos processos pedogenéticos. (B) Matacões graníticos no topo do Morro da Polícia, em segundo plano, na porção Sul, localiza-se o Morro Pelado, onde se encontra a maior altitude da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, de 295m, e o Morro da Cruz, para Norte. Fonte: do autor, ago. 2024.**

As menores declividades do padrão de morros se localizam nas áreas do contato entre o Granito Santana e o Gnaiss Porto Alegre, onde as altitudes também são menos elevadas, de até 140m. Essas áreas apresentam vertentes predominantemente convexas, com declividades predominantes de até 10%, e um perfil de solo mais bem desenvolvido, evidenciando a menor resistência da estrutura físico-química dos Gnaisses Porto Alegre frente aos processos pedogenéticos. Segundo Christofletti (1980), os elementos convexas com declividade menos acentuada indicam a atuação dos processos de transporte de material para o sopé das vertentes.

As vertentes côncavas encontram-se majoritariamente em áreas de nascentes, apresentando declividades de 5 a 10%, quando em altitudes menos elevadas. As vertentes côncavas na face oeste do Morro da Cruz apresentam declividades mais elevadas, de até 40%, quando próximas do topo (Figuras 19 e 20).





**Figura 19:** Morro da Cruz com vertentes côncavas e em cabeceiras de drenagens e topo convexo. Evidencia-se a intensa ocupação sobre o Morro da Cruz, mesmo nas áreas de nascentes. Na porção mais baixa, vertente côncava e canal do Arroio Moinho. Na porção inferior do Morro, as vertentes convexas com menor declividade. Fotografia tirada nas proximidades da Praça Saibreira. Fonte: do autor, jul. 2024



**Figura 20:** Vertentes côncavas nas cabeceiras de afluente do Arroio Moinho, no Morro da Cruz. (A) Vista para as residências e aterramentos dispostos em anfiteatro, acompanhando a concavidade horizontal da cabeceira. (B) vista para a porção inferior da vertente côncava, com alterações no relevo com patamares de aterros para a construção das residências. No plano de fundo da fotografia, topo convexo do Morro da Polícia e encostas retilíneas íngremes densamente ocupadas por NUIs. Declividades decrescentes de encostas convexas na porção direita da fotografia, no sopé do Morro da Polícia. Fonte: do autor, jul. 2024.



#### 4.2.2.2 Padrão em Patamares

Os patamares são constituídos por terraços fluviais, que representam antigas planícies de inundação que foram abandonadas ao longo do tempo geológico, tendo sido retrabalhadas pelo Arroio Moinho e pelo Arroio Dilúvio. Se encontram em altitudes que variam de 25 a 35 metros, em patamares mais elevados que as planícies fluviais, havendo solos dos tipos Planossolos e Gleissolos (Hasenack *et al.*, 2008).

Nessa área, predominam as declividades de até 10%, sendo a maioria de até 5%. As declividades mais acentuadas estão relacionadas às margens do Arroio Moinho, que se apresenta confinado e canalizado entre as ruas e residências. As figuras 21 e 22 a configuração do Arroio Moinho nesse padrão de forma e a morfologia plana deste padrão.



**Figura 21: Arroio Moinho em seu curso sobre o padrão de formas em Patamares Planos. Percebe-se que o arroio é confinado pelas ruas e casas, dado o padrão de urbanização e ocupação da área. Evidencia-se a presença de depósitos tecnogênicos em sua margem, bem como mata ciliar de área reduzida. Fonte: Google Street View, mar. 2023.**



**Figura 22:** Praça da Amizade, na Av. Luiz Moschetti. Morfologia plana e suavemente ondulada, com declividades máximas de 5%. Ao fundo, Morro da Polícia, sendo a porção esquerda pertencente à Bacia do Arroio Moinho. Fonte: *Google Street View*, mar. 2019.

#### **4.2.2.3 Padrão em Planícies Fluviais**

O Padrão em forma de planícies fluviais é o padrão que possui menor expressão espacial na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, compreendendo cerca de 3% do total da área da bacia e se especializando nas porções mais baixas de até 25m e com menor declividade, inferiores a 2%. A planície fluvial do Arroio Dilúvio foi formada ao longo do Holoceno, fruto do retrabalhamento de sedimentos depositados após o último evento de grande variação do nível do mar. Essas planícies, em sua conformação original, eram pantanosas e alagadiças, dado o padrão natural meandrante do Arroio Dilúvio, conforme já demonstrado na figura 15.

Segundo Moura e Dias (2012), esse padrão de formas é constituído por areias grossas e conglomeráticas, decorrentes da ação fluvial sobre as rochas graníticas e gnáissicas de Porto Alegre. De acordo com o mapeamento de solos para a cidade de Porto Alegre, de Hasenack, Weber e Marcuzzo (2008), a área é constituída por solos dos tipos gleissolos, planossolos e hidromórficos.

Atualmente, este padrão se encontra quase que em sua totalidade em condição impermeável, dada a canalização do Arroio Dilúvio e a construção da PUCRS na planície presente na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Neste trecho, o Arroio Moinho foi canalizado e tamponado, com sua foz no Arroio Dilúvio (figura 23).



**Figura 23: Foz do Arroio Moinho no Arroio Dilúvio. Nota-se a presença de bancos de areia no Arroio Moinho e no Arroio Dilúvio decorrentes do processo de assoreamento ocasionado pela redução da velocidade da água e da competência do canal de carregar determinados tipos de sedimentos. Observa-se a presença de lixo e vegetação nos bancos de areia. Fonte: do autor, out., 2024.**



## **5 Caracterização do processo de urbanização sobre a Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho**

Até 1940, o Brasil era um país predominantemente rural, onde cerca de 70% da população brasileira vivia no campo. A mecanização e a tecnificação do território foram crescentes ao longo de todo o século XX, impulsionadas, principalmente, pela industrialização. Dada a necessidade de integração territorial, a rede de transportes e telecomunicações se desenvolveu e o meio técnico-científico-informacional se constituiu por áreas mais vastas e acelerou o processo de urbanização no território brasileiro, sobretudo a partir da década de 1960 (Santos, 2018).

O êxodo rural (incentivado pela mecanização do campo, revolução verde e concentração fundiária) acelerado a partir da década de 1950, resultou na migração de milhões de pessoas do campo para as cidades, acelerando ainda mais a urbanização e iniciando o processo de metropolização no Brasil (Santos e Silveira, 2006). Foi nesse cenário que, entre 1940 e 1990, a população brasileira apresentou taxa de crescimento superior a 25% por decênio e a população urbana passou de 30% em 1940 para 85% em 2022 (Sposito, 1988; Davidovich, 1995; IBGE, 2022). É nesse contexto que a evolução da ocupação urbana na área da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho deve ser analisada.

Antes da colonização portuguesa, a área onde hoje se situa Porto Alegre era ocupada por povos indígenas dos grupos Guaranis (Souza, 2008). Bublitz (2019) destaca a importância dessa consciência para a análise da história ambiental — e, no caso deste trabalho, para a compreensão das alterações antrópicas sobre o relevo —, na identificação e na historicização das origens da degradação ambiental, que é o resultado de relações desarmônicas entre a sociedade e a natureza.

Segundo Hausman (1961) a fundação da cidade de Porto Alegre se relaciona com a ocupação no Sul do atual território brasileiro durante o período colonial, a fim de consolidar a posição portuguesa na região em apoio à Colônia del Sacramento em meados de 1680. Neste momento, Viamão era a capital da província do atual Rio Grande do Sul e Porto Alegre era apenas uma freguesia que fazia a ligação entre Viamão e o porto no Lago Guaíba.

No ano de 1773, Porto Alegre tornou-se capital da província pela condição geográfica privilegiada: o Guaíba é a confluência dos principais rios do estado e faz ligação com a Laguna dos Patos e, conseqüentemente, com o Oceano Atlântico. Para Roche (1955):

“A vantagem de porto alegre constituía em se encontrar no termo da navegação marítima e lacustre a jusante de cinco rios navegáveis, numa região em que as vias terrestres convergem para as colinas. Era, portanto, uma zona perfeitamente indicada para o estabelecimento de uma praça de comércio entre o litoral e a parte ocidental do território rio-grandense, entre a campanha e o planalto setentrional.” (Roche, 1955, p.32)

Consoante a Roche (1955), Ab’Saber (1965), também ressalta a importância das condições geográficas, sobretudo do relevo, na posterior conformação de Porto Alegre enquanto capital da província.

Com a função portuária, Porto Alegre passou a crescer e atraiu mais pessoas, desenvolvendo uma incipiente economia urbana (Hausman, 1961). Souza e Muller (2007) categorizam a evolução da cidade de Porto Alegre em cinco períodos distintos, sendo eles: Ocupação do território e formação do núcleo urbano; Trigo; Imigração alemã e italiana; Industrialização; e Metropolização. Para as autoras, cada período é caracterizado por diferentes funções que são atribuídas à cidade de Porto Alegre.

Os dois primeiros períodos de ocupação de Porto Alegre (1680 a 1772 e 1773 a 1820) se caracterizam pelo núcleo urbano reduzido à península de Porto Alegre (atual Centro Histórico) e pela produção agrícola de trigo no restante do município.

No terceiro período histórico (1820 a 1890) a chegada de imigrantes europeus no Rio Grande do Sul e a conseqüente ocupação nos vales dos rios Caí, Jacuí e Taquari favoreceu o desenvolvimento da navegação na bacia do Lago Guaíba, além de resultar na criação de estradas de ferro ligando Porto Alegre a outros pontos do estado. Nesse período, conforme demonstra a figura 24, a cidade era constituída pelo atual Centro Histórico e as áreas adjacentes constituíam arraiais de pequenos núcleos populacionais dispersos pelo município (Hausman, 1961).





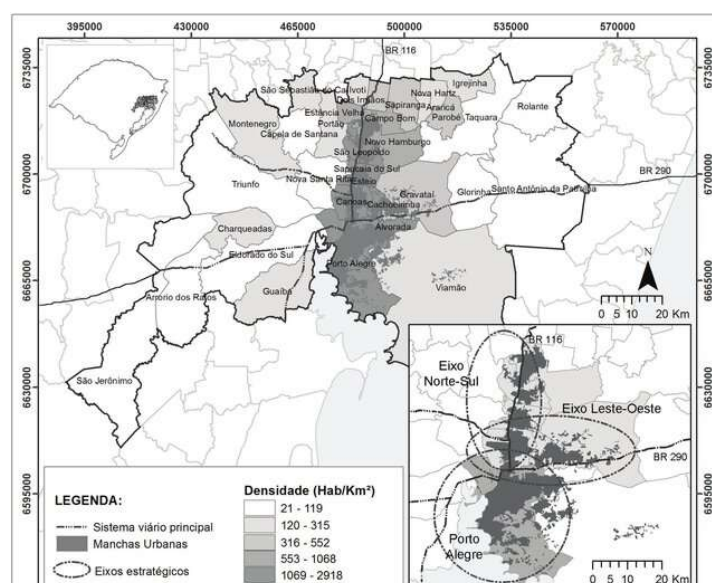
**Figura 24: Zona Central de Porto Alegre – 1839 x 2025. (A) Planta de Porto Alegre do ano de 1839, onde percebe-se a ocupação concentrada na porção central da cidade. (B) Imagem de satélite de Porto Alegre do início de janeiro de 2025. Destaca-se a alteração da morfologia da enseada com a criação de aterros e a expansão da área urbana. Fonte: Adaptado do acervo do Arquivo Histórico Municipal Moysés Vellinho e Google Earth.**

O processo de ocupação e urbanização de Porto Alegre durante o período industrial (1890 a 1945) deve ser considerado levando em consideração alguns aspectos como a abolição da escravidão em 1888 e a posterior criação de uma classe burguesa com o desenvolvimento urbano-industrial de Porto Alegre e o desenvolvimento dos meios de transporte. Para Monteiro (2004) e Pesavento (1999), esses fatores constituíram um desenvolvimento desigual da cidade e resultou na segregação socioespacial, onde a população de classe alta ocupou as áreas mais privilegiadas, como o Centro Histórico e os arredores da atual Av. Independência, e a população negra e pobre as várzeas do Arroio Dilúvio, como na Cidade Baixa — posteriormente, com a enchente de 1941, essa população é excluída da Cidade Baixa e se desloca para as periferias da cidade. Segundo Monteiro (2004):

“A abolição da escravidão e a imigração geraram uma complexificação das relações sociais no espaço urbano (de Porto Alegre), tanto em termos de diversificação dos grupos quanto nas diferenças de fortuna, participação política e prestígio entre eles. A nova ordem política republicana trouxe a

necessidade de reorganizar a divisão social em outras bases, entre outras formas através de um processo de segregação dos espaços sociais urbanos de habitação e trabalho. Nesse sentido, os investimentos da Intendência e as melhorias urbanas ficaram concentradas na área central da cidade limitada aos 1°, 2° e 3° distritos. Enquanto as novas áreas de crescimento como São João, Navegantes ao Norte, bairros operários demorariam muito mais a receber tais melhorias como água encanada, iluminação pública e energia elétrica domiciliar.” (Monteiro, 2004, p. 53)

Para Steigleder e Souza (2016), com o Centro Histórico já consolidado e sendo o local de trabalho da maior parte da população, a expansão das linhas de bonde para as zonas leste e norte de Porto Alegre favoreceram a expansão da malha urbana para outras áreas da cidade. Para Hausman (1961), a cidade cresceu de maneira radial ao centro por conurbação ao incorporar os arraiais que constituíam pequenos núcleos populacionais dispersos pelo município. Viegas (2018) indica que, num primeiro momento, o crescimento preferencial se deu para a zona norte, muito influenciada pelas estradas de rodagem e linha férrea que ligava Porto Alegre aos municípios do Vale do Rio dos Sinos, catalisando a configuração territorial da atual Região Metropolitana de Porto Alegre. Com a consolidação das indústrias em Porto Alegre e a consequente formação de uma classe operária, formaram-se bairros operários e criaram-se loteamentos de territórios que antes eram ocupados por sítios e chácaras nas periferias (Franco, 1988). A figura 25 apresenta um mapa da Região Metropolitana de Porto Alegre com as principais vias de acesso (Melchiors *et al.*, 2018).



**Figura 25: Mapa da Região Metropolitana de Porto Alegre com destaque à mancha urbana, eixos estratégicos e sistema viário principal. Fonte: Melchiors *et al.*, 2018.**

Entre os anos 1920 e 1930 o desenvolvimento das estradas de rodagem acentuou a posição de Porto Alegre, tornando-a ainda mais um centro econômico, social, cultural e populacional do Rio Grande do Sul (Hausman, 1961). Neste mesmo período, surgem as primeiras linhas de ônibus, expandindo a malha urbana para além das linhas dos bondes, prolongando o crescimento urbano para a zona leste, que passa a ser urbanizado pelas camadas médias urbanas (Monteiro, 2004).

Com o crescimento urbano, via-se a necessidade de planejamento. Nesse contexto, foram propostos estudos preliminares que vieram a ser, posteriormente, os primeiros planos diretores de Porto Alegre. Tanto o Plano Geral de Melhoramentos<sup>14</sup> quanto o plano de Paiva e Faria debatiam a necessidade de modernização da porção central da cidade. Essa modernização consistia no alargamento de vias, na canalização e tamponamento de cursos d'água e no aumento da estrutura viária da cidade (Machado, 2014).

A década de 1940 foi uma década de grandes mudanças territoriais em Porto Alegre. Um dos fatores foi a grande enchente de 1941, em que grandes áreas da Zona Norte, Centro Histórico e Cidade Baixa ficaram submersas. Nesse contexto, obras emergenciais de contenção de cheias foram realizadas trazendo inúmeras intervenções urbanas, como um sistema de bombas, diques e aterros na orla do Guaíba e alterações nos cursos d'água das bacias hidrográficas do município. Uma das mais marcantes foi na bacia do Arroio Dilúvio, em que houve aterramento dos cursos tributários, a incorporação dos afluentes à rede de esgoto pluvial e cloacal e o desvio do canal principal, alterando a sua foz, além de sua retificação. De acordo com Bublitz (2019):

“A retificação do arroio Dilúvio representaria ao mesmo tempo um aperfeiçoamento das vias de transporte, com uma nova ligação radial com a zona norte e leste através da Avenida Ipiranga, como representaria também uma valorização fundiária das áreas de suas margens, eliminando as várzeas e condenando o curso original e sinuoso do arroio.” (Bublitz, 2019, p. 167)

---

<sup>14</sup> O Plano Geral de Melhoramentos foi uma primeira tentativa de criação de um Plano Diretor em Porto Alegre no ano de 1914. Embora o foco fosse na criação e ampliação viária, ocasionou mudanças significativas na paisagem urbana e no traçado viário da cidade. Esse plano já previa a retificação do Arroio Dilúvio (Souza, 2005).

A retificação do Arroio Dilúvio propiciou uma expansão urbana ainda maior para a zona leste da cidade por conta da criação da Avenida Ipiranga, uma das mais movimentadas do município atualmente. Além disso, a retificação do Arroio Dilúvio resultou na remoção de inúmeras pessoas que moravam nas suas várzeas originais, como as populações negras e pobres do bairro Cidade Baixa (Vieira, 2017). A remoção dessas populações e a intensificação do êxodo rural e do adensamento urbano em Porto Alegre a partir dos anos 1940, ocasionou um aumento dos loteamentos clandestinos e a consequente expansão da periferia urbana de Porto Alegre (Strohaecker, 2005; Vieira, 2017). É nesse contexto em que a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho passa a ser efetivamente ocupada.

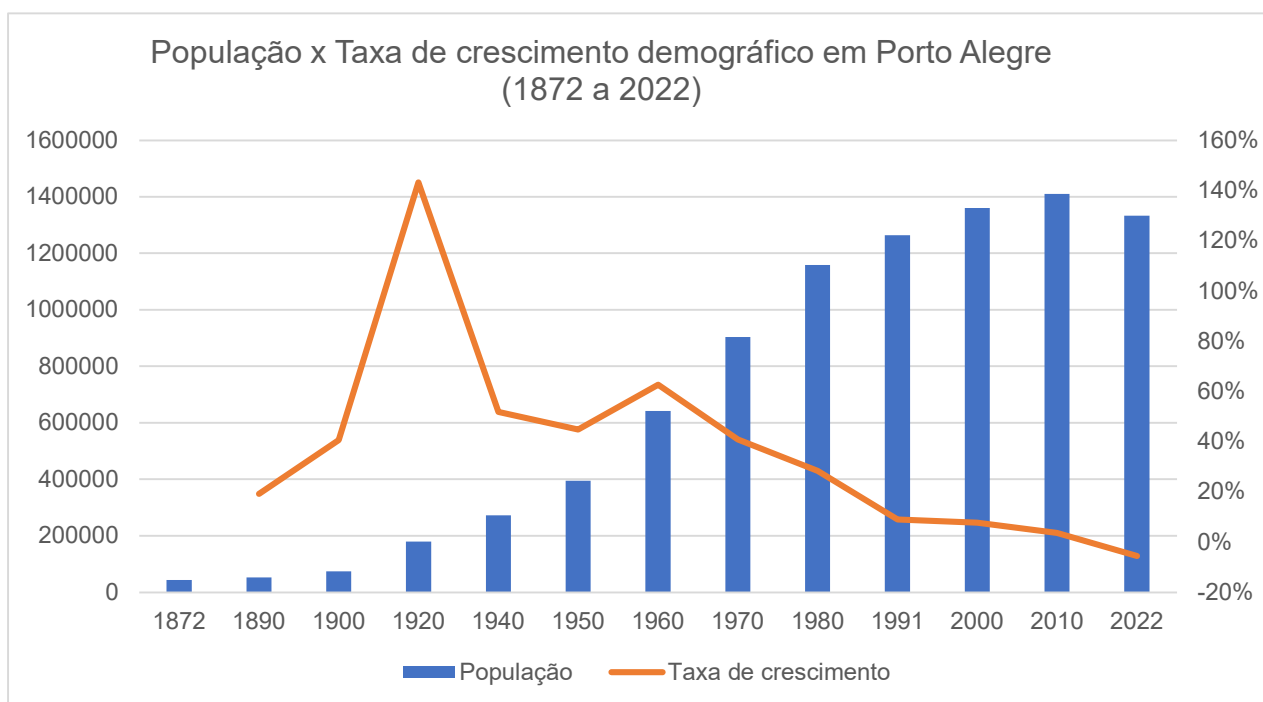
Embora na década de 1940 o fenômeno metropolitano não fosse possível de ser identificado, alguns movimentos indicativos à metropolização já eram percebidos, como a concentração territorial do setor de serviços e o adensamento populacional (Viegas, 2018). Para Souza e Muller (2007), a partir de 1945 é que se inicia o processo de metropolização de Porto Alegre. Esse processo, de acordo com Santos (2018), se relaciona com o processo mais amplo de estruturação da economia nacional e de expansão do meio técnico-científico-informacional sobre o território brasileiro.

A expansão urbana de Porto Alegre durante esse período se deu principalmente para as zonas norte e leste da cidade, embora o extremo sul da cidade também passe a ser habitado por ocupações urbanas. No sentido norte, a expansão se deu principalmente pelas indústrias que ocupavam essa zona da cidade, ali alocadas pela rodovia ligando a capital aos outros municípios da atual RMPA, resultando na conurbação com a cidade de Canoas. O eixo leste, por outro lado, foi ocupado como área de habitação operária, seguindo as Avenidas Ipiranga, Protásio Alves e Bento Gonçalves (Souza e Almeida, 2014).

A desconcentração industrial se sucedeu na capital a partir da década de 1960 e resultou na migração das indústrias para as cidades da Região Metropolitana de Porto Alegre, o que desenvolveu ainda mais a região metropolitana e consolidou Porto Alegre como a metrópole central, com desenvolvimento econômico voltado ao setor terciário (Souza e Muller, 2007).

Entre 1940 e 1970, o crescimento populacional de Porto Alegre foi superior a 30% por decênio. Muito desse crescimento se deve ao elevado

número de migrantes do campo para a cidade, no contexto de êxodo rural no território brasileiro. Segundo Carrion (1989), entre 1960 e 1970, os migrantes foram responsáveis por 81% do aumento populacional da Região Metropolitana de Porto Alegre. Embora a taxa de crescimento de Porto Alegre tenha se reduzido a partir da década de 1960, a população continuou crescendo até a década de 2010 (figura 26). Ao mesmo tempo, é relevante salientar que enquanto o crescimento de Porto Alegre reduziu, as cidades da RMPA mantiveram um aumento populacional.



**Figura 26: População x Taxa de crescimento demográfico em Porto Alegre (1872 a 2022)**

Esse crescimento acelerado pelo qual Porto Alegre passou até os anos 1980, resultou na formação e ampliação das periferias, como os bairros São José, Vila João Pessoa e Coronel Aparício Borges, inseridos no contexto da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. De acordo com o censo demográfico de 2022, a população de Porto Alegre reduziu em quase 76.000 pessoas entre 2010 e 2022 e atualmente conta com cerca de 1,3 milhões de pessoas (IBGE, 2022).

### **5.1 O avanço da urbanização sobre a bacia do Arroio Moinho**

A ocupação da área onde se localiza a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho remonta ao século XIX, sendo ocupada, inicialmente, nos relevos mais planos e com menor declividade, por usos predominantemente rurais. O primeiro



mapeamento em maior escala de detalhe da área foi no ano de 1941. Neste ano, menos de 1/5 da área da bacia era ocupada. Em 2024, pouco mais de oitenta anos depois, mais de 70% da área é densamente ocupada, principalmente por usos urbanos em núcleos urbanos informais, apresentando problemas de infraestrutura precária e exposição a riscos e desastres. A figura 27 demonstra a expansão urbana da área ao longo dos anos, enquanto a tabela 2 quantifica a urbanização ao longo do tempo.

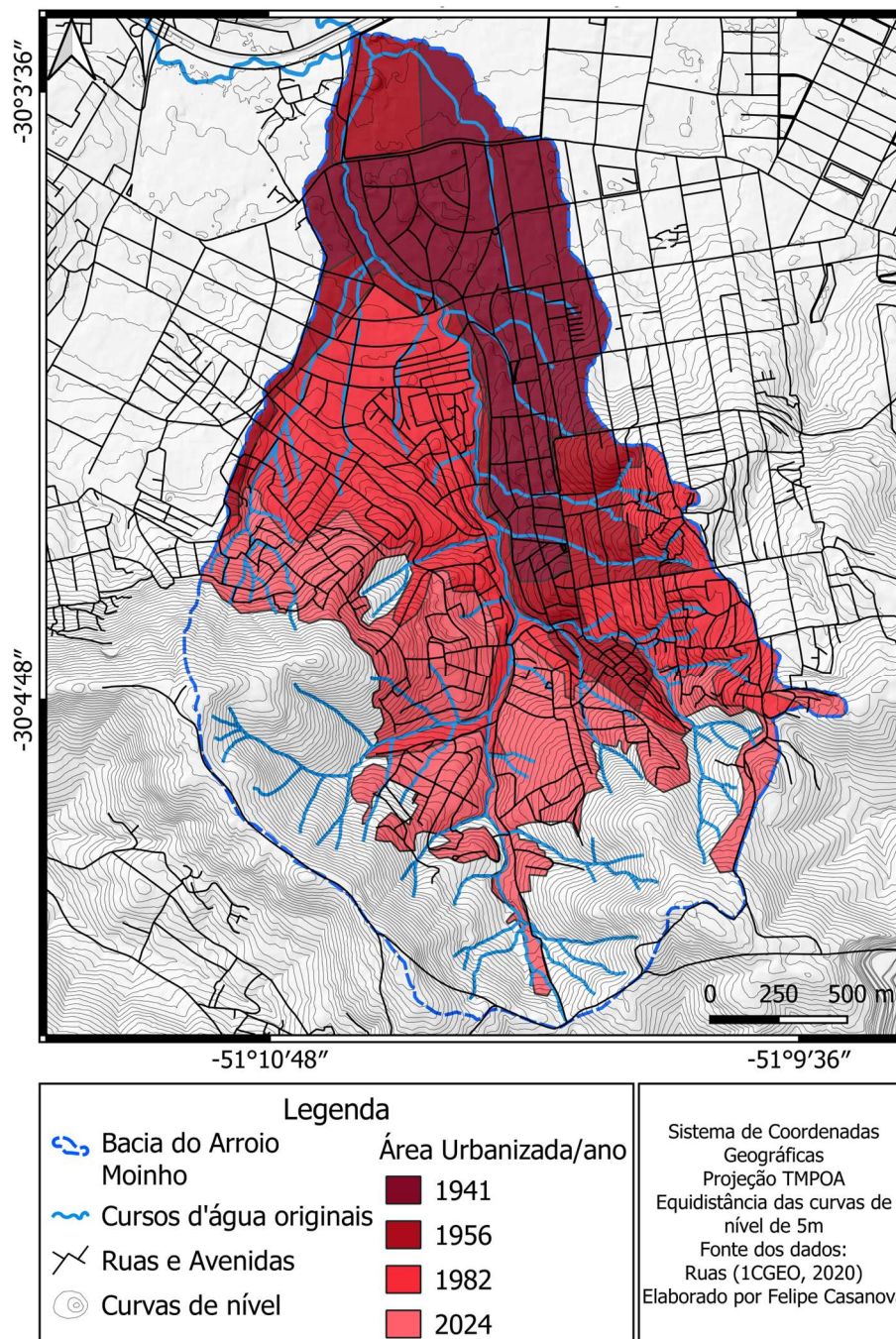


Figura 27: Mapa da expansão urbana na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho entre os anos de 1941 e 2024. Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 2: Evolução da ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho

Área total da bacia: 4,861km <sup>2</sup>				
Ano	Área urbanizada (km <sup>2</sup> )	Percentual ocupado em relação à área total da bacia	Aumento absoluto da área urbanizada (km <sup>2</sup> )	Aumento Percentual
1941	0,895	18,4%	-----	-----
1956	1,392	28,6%	0,497	55%
1982	2,478	51%	1,086	78%
2024	3,451	71%	0,973	39%

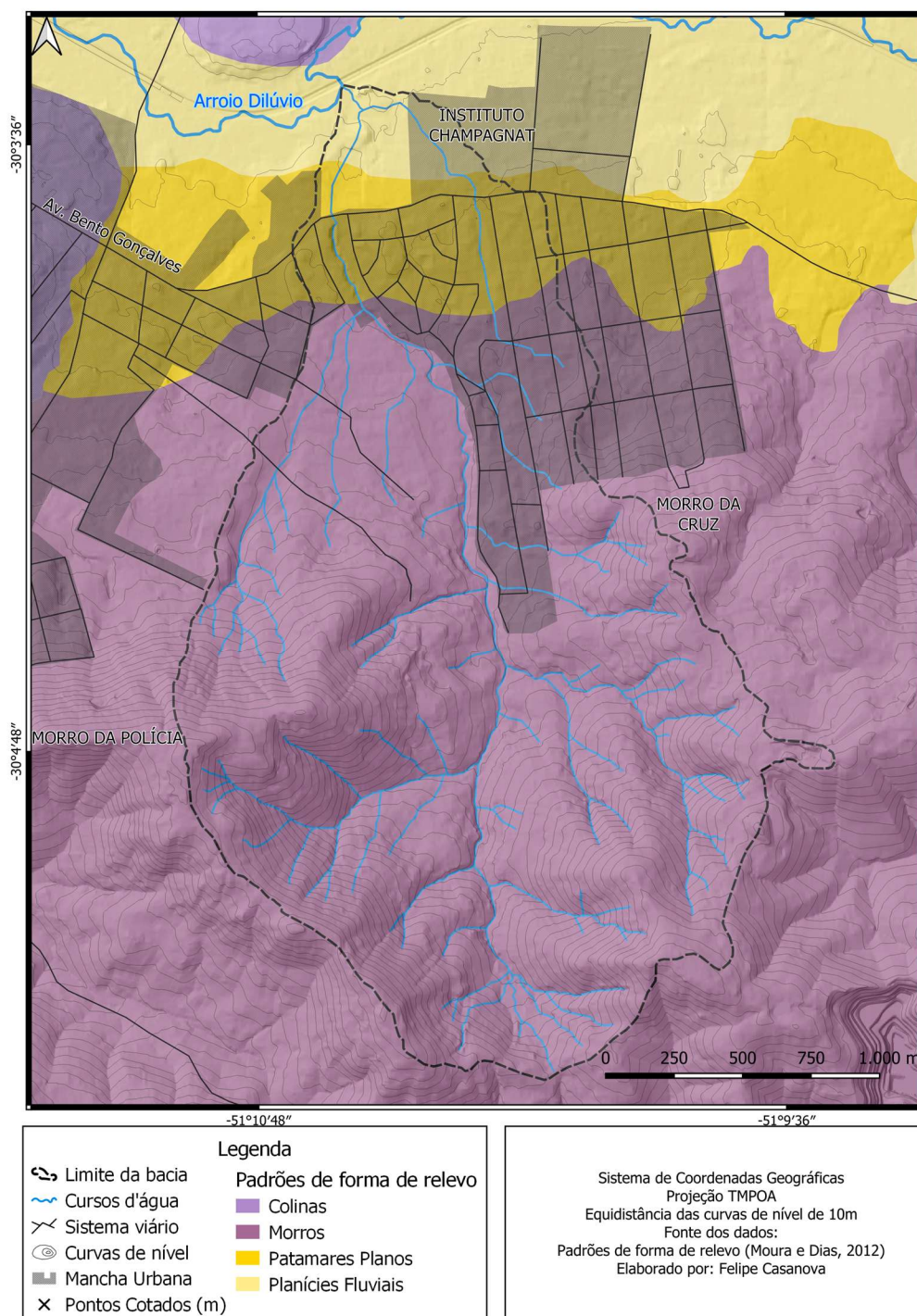
Através da análise do mapa e da tabela, observa-se que o maior aumento da área urbanizada na bacia se deu entre os anos de 1956 e 1982, com direção aos topos dos morros da Cruz e Pelado, na margem direita do Arroio Moinho. Entre 1982 e 2024, a expansão se deu na margem esquerda e sobre as encostas declivosas do Morro da Polícia. Nos tópicos a seguir, a expansão urbana sobre o relevo será discutida por período.

### 5.1.1 Ocupação urbana até 1941

De acordo com a literatura pesquisada, a ocupação da área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho se inicia nos anos 1870, com origem no antigo Arraial de São José, loteamento que foi iniciado por José Inácio Barcelos em 1875 (Franco, 1988). Dos materiais consultados, somente dois mapas representam a área de estudo antes de 1940: a “*Planta Topographica e Orographica do 4° e 5° distrito do município de Porto Alegre*” do ano de 1896, em escala 1:20.000, elaborado por Alexandre Ahrons e Rodolfo Ahrons, e o *Mappa dos Arredores de Porto Alegre*, elaborado por W. Regius, em escala 1:125.000, do ano de 1926, ambos do acervo do Arquivo Histórico de Porto Alegre Moyses Vellinho. No primeiro mapa são cartografados os 4° e 5° distritos de Porto Alegre e na área de estudo estão representadas pequenas edificações e a “Capella de São João” na margem esquerda do Arroio Monho; no segundo, é representado, através de hachura, o loteamento de São José. A expansão urbana sobre a planície do Arroio Dilúvio — no contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho — e os patamares planos foi, portanto, incipiente entre os anos



1870 e 1926. Evidencia-se, ainda, que a ocupação urbana inicial se deu, inicialmente, no padrão de formas dos Patamares Planos, à direita da Av. Bento Gonçalves, dada a dificuldade de ocupação das Planícies do Arroio Dilúvio pelo aspecto pantanoso, conforme já indicado Bublitz (2019). A figura 28 demonstra a mancha urbana sobre os padrões de forma da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho no ano de 1941.



**Figura 28: Mapa da mancha urbana em 1941 sobre os padrões de forma da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024).**



No ano de 1920, foi inaugurado o Instituto Champagnat próximo à foz do Arroio Moinho, onde hoje se localiza a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) e o Colégio Marista Champagnat. Até 1919, o espaço, que se localiza sobre a margem esquerda do Arroio Dilúvio e direita do Arroio Moinho, era composto por uma chácara com pequenas residências, animais e plantações; de acordo com as descrições da época, o local era alagadiço e foi necessário a construção de canais artificiais para a drenagem da água, de modo que fosse possível ocupar efetivamente esse espaço (Galafassi, 2020).

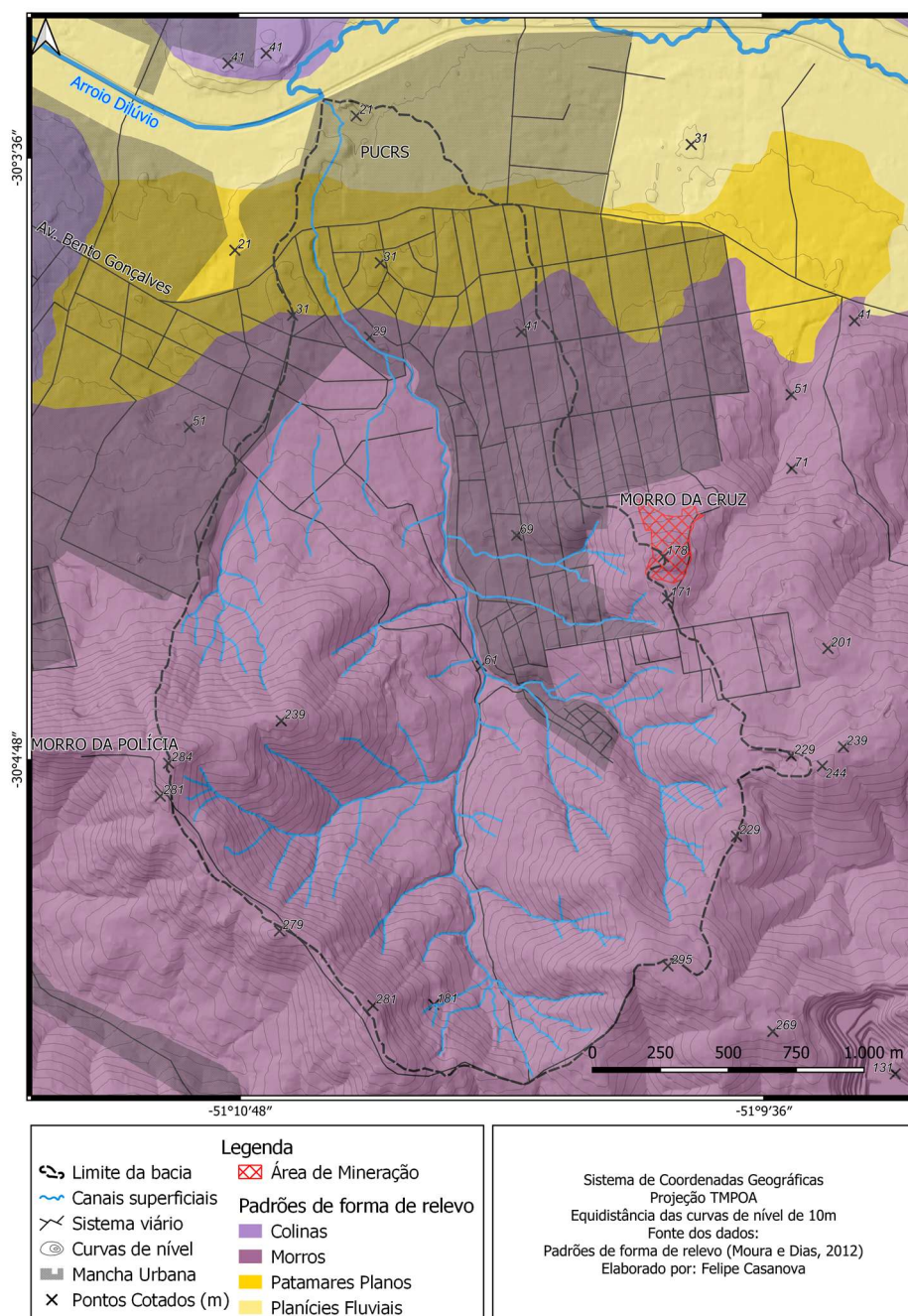
Segundo Sanhudo (1975), até 1930, as localidades mais próximas do fim da linha do Partenon eram a Vila São José e a Vila João Pessoa, que, naquela década, passou a desenvolver um núcleo suburbano que formou a primeira vila de Porto Alegre. Durante as últimas décadas do século XIX e as primeiras décadas do século XX, a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho foi ocupada gradualmente a partir da criação do loteamento de José Inácio Barcelos, na margem direita do arroio, limitada pelo relevo declivoso à montante, onde hoje se localiza a vila Morro da Cruz. A maior parte de sua margem esquerda era ocupada por usos rurais, sobretudo sobre os patamares planos. A ocupação mais lenta, neste momento, sobre os morros da margem esquerda do Arroio Moinho se explica pela alta declividade das encostas do Morro da Polícia e pela área que era, até então, militar, onde hoje se localiza a Cadeia Pública de Porto Alegre.

A área passa a ser efetivamente representada em mapas municipais oficiais a partir de 1939, com o “Mapa Topográfico do Município de Porto Alegre”, realizado a partir de levantamento aerofotogramétrico executado pelo Sindicato Condor, durante a administração de José Loureiro da Silva e finalizado no ano de 1941. A partir desse mapeamento, foi possível identificar as áreas ocupadas e delimitar a área urbana do início da década de 1940, demonstrado na figura 28.

Até esse momento, os cursos d'água percorriam seus traçados naturais. No ano de 1941, cerca de 0,895 km<sup>2</sup> do total de 4,861 km<sup>2</sup> da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho era urbanizada, representando, aproximadamente, uma ocupação urbana de 18% da área total da bacia, conforme demonstra a tabela 2.

### 5.1.2 Avanço da urbanização de 1941 a 1956

Entre 1941 e 1956, há um crescimento de 55% da mancha urbana, onde mais de um quarto da água da bacia passou a ser urbanamente ocupada. Nesse período, os padrões de forma em Planícies e Patamares Planos foram completamente urbanizados e alguns canais foram canalizados e tamponados, conforme demonstra a figura 29.



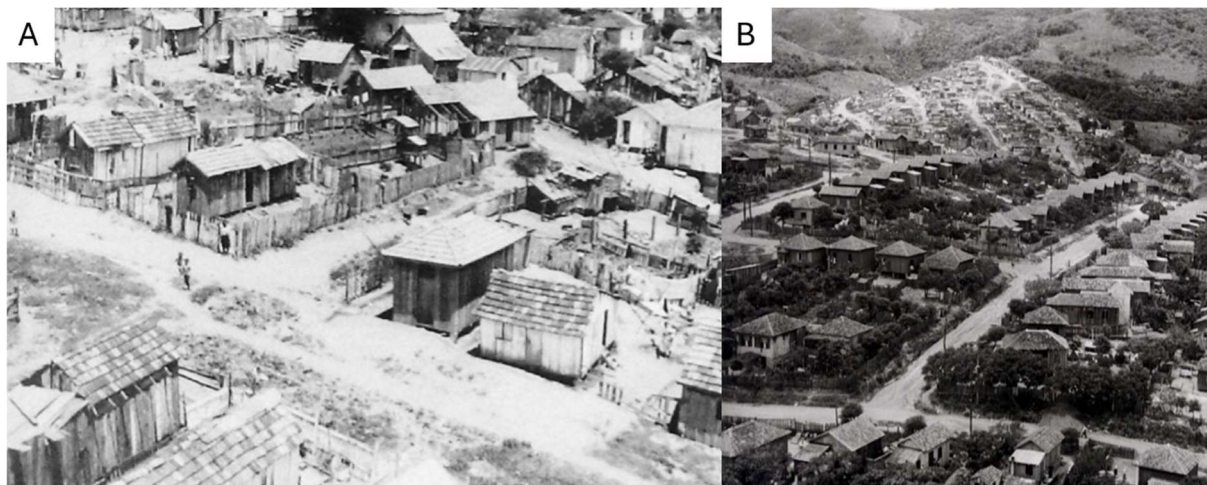
**Figura 29: Mapa da mancha urbana em 1956 sobre os padrões de forma da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024).**

A expressiva expansão urbana durante anos de 1941 a 1956 se explica por fatores de ordem regional e local. Na perspectiva regional, segundo Carrion (1989), com a industrialização de Porto Alegre, houve um processo incipiente, na década de 1940, de êxodo rural com destino à RMPA, que acelerou a partir da década de 1960. Com a expansão da malha urbana em Porto Alegre e o conseqüente aumento da população operária nos bairros mais afastados do centro, como é o caso do bairro São José, foram expandidas as linhas de ônibus para a Zona Leste pela Av. Bento Gonçalves, o que também favoreceu a ocupação dos bairros Vila João Pessoa, São José, Coronel Aparício Borges e Partenon.

O processo de modernização da zona central de Porto Alegre e a enchente de 1941 resultaram na remoção das populações mais pobres do Centro, resultando na expansão das periferias de Porto Alegre (Weimer, 2017). Esse processo se acentua a partir de 1954 em função das restrições impostas aos novos loteamentos na capital, como a exigência de um sistema de captação de esgoto pluvial e cloacal e a destinação de áreas para uso público (Filchtiner, 1979). Essa legislação ocasionou o encarecimento dos lotes nas porções mais privilegiadas da cidade e a alternativa para as populações mais pobres foi a migração para outras cidades da RMPA com legislação mais branda, como Alvorada e Viamão, ou a compra dos lotes periféricos, normalmente desprovidos de serviços essenciais (Carrion, 1989). Nesse contexto, há uma expansão significativa para as encostas com alta declividade no atual bairro São José, ocupando as áreas próximas às nascentes dos afluentes do Arroio Moinho, conforme demonstra a figura 28.

Em um contexto local, a ampliação da área do Instituto Champagnat e a criação da PUCRS no ano de 1951 motivou a expansão urbana das áreas adjacentes. Não menos importante, existe uma relação entre a mineração e a ocupação das encostas e topos na área de estudo. Na fotografia aérea “folha 11” do Mosaico Aerofotográfico realizado na gestão do prefeito Leonel Brizola, do ano de 1956, bem como na carta topográfica 120 do mesmo aerolevante, identifica-se uma grande área de extração de saibro e granito no topo do atual Morro da Cruz. As vias que levam até essa área de mineração, são, posteriormente, transformadas em ruas que direcionam e incentivam a criação de novos loteamentos.

A figura 30 demonstra o padrão periférico de moradias, muitas vezes precárias, que se instalou sobre as vertentes convexas nesse período.



**Figura 30:** Loteamentos no bairro São José, em meados da década de 1950. (A) Padrão periférico de moradias com infraestrutura precária sobre vertente no Bairro São José. (B) Loteamento sobre vertentes convexas no Morro da Cruz. No fundo da foto, vê-se a ocupação incipiente nas vertentes convexas, com traçados irregulares e padrão de moradias precárias. Fonte: Acervo do Arquivo Histórico Municipal Moyses Vellinho.

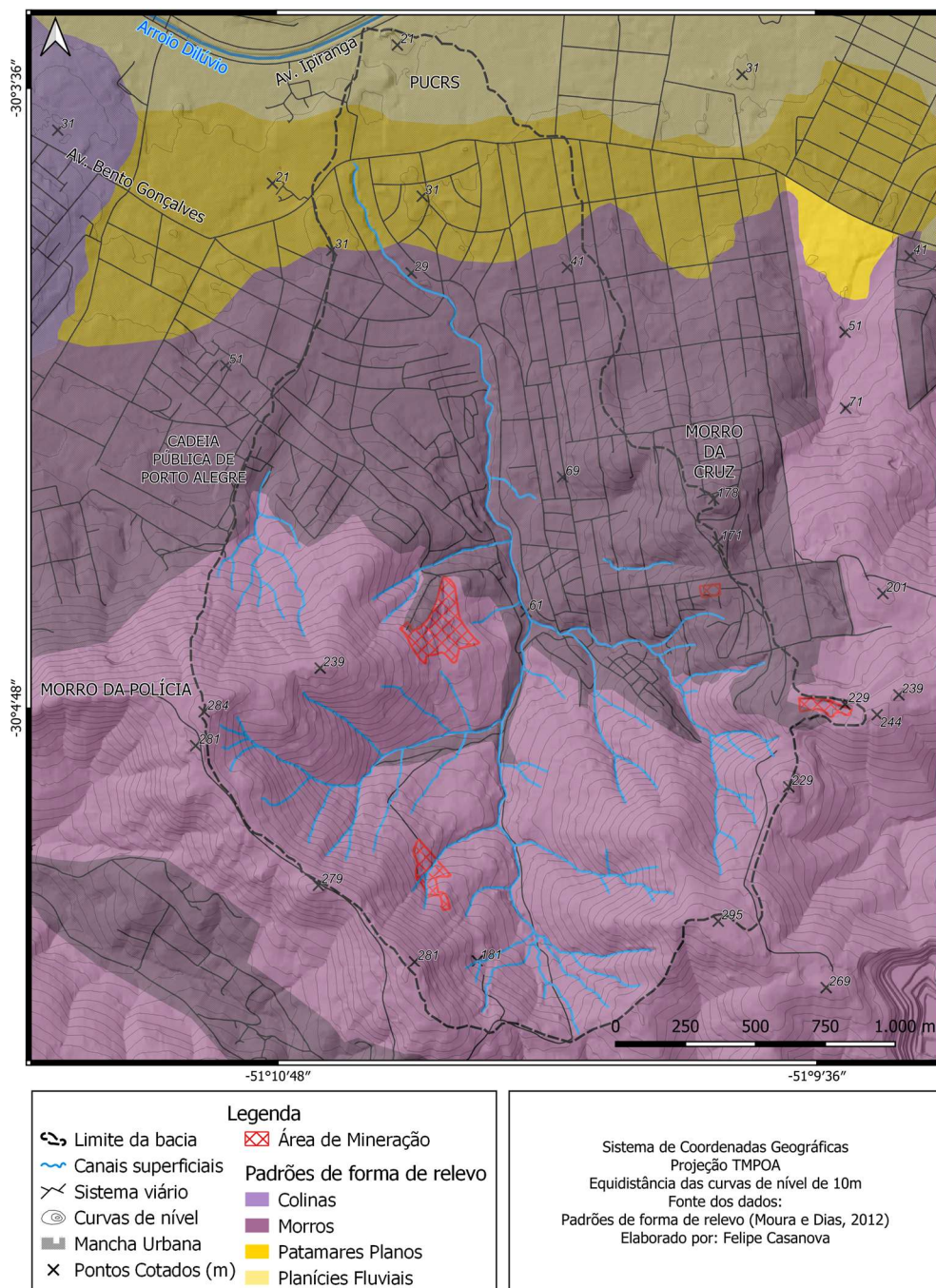
### 5.1.3 Avanço da urbanização de 1956 a 1982

Entre 1956 e 1982 foi quando ocorreu a maior expansão urbana percentual na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, tendo a mancha urbana se expandido 78%, ocupando 2,493 km<sup>2</sup>, o que corresponde a mais de 50% da área da bacia ocupada. A intensa ocupação resultou na pressão ainda maior sobre os recursos hídricos, canalizando e tamponando cursos d'água. A expansão urbana sobre a bacia nesse período se insere no contexto do intenso êxodo rural ocorrido na segunda metade do século XX em todo o território brasileiro e, sobretudo na RMPA, conforme Carrion (1989). Nesse contexto de ordem regional, surgem duas importantes vilas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho: o Morro da Cruz e o Campo da Tuca; essas vilas têm origem na chegada à periferia da população removida das favelas do centro de Porto Alegre (Fonseca, 2000; Porto Alegre, 2010).

Na conjuntura local, a consolidação da urbanização na porção leste da bacia, sobretudo nos topos convexos dos morros e nas nascentes côncavas do Morro da Cruz, pode ser explicada pelo fim da extração de saibro e granito no topo do Morro da Cruz, além do início de pequenas áreas de mineração em áreas adjacentes. Na porção oeste da bacia, a construção da Cadeia Pública de Porto Alegre, no sopé do Morro da Polícia, foi um dos vetores de urbanização e



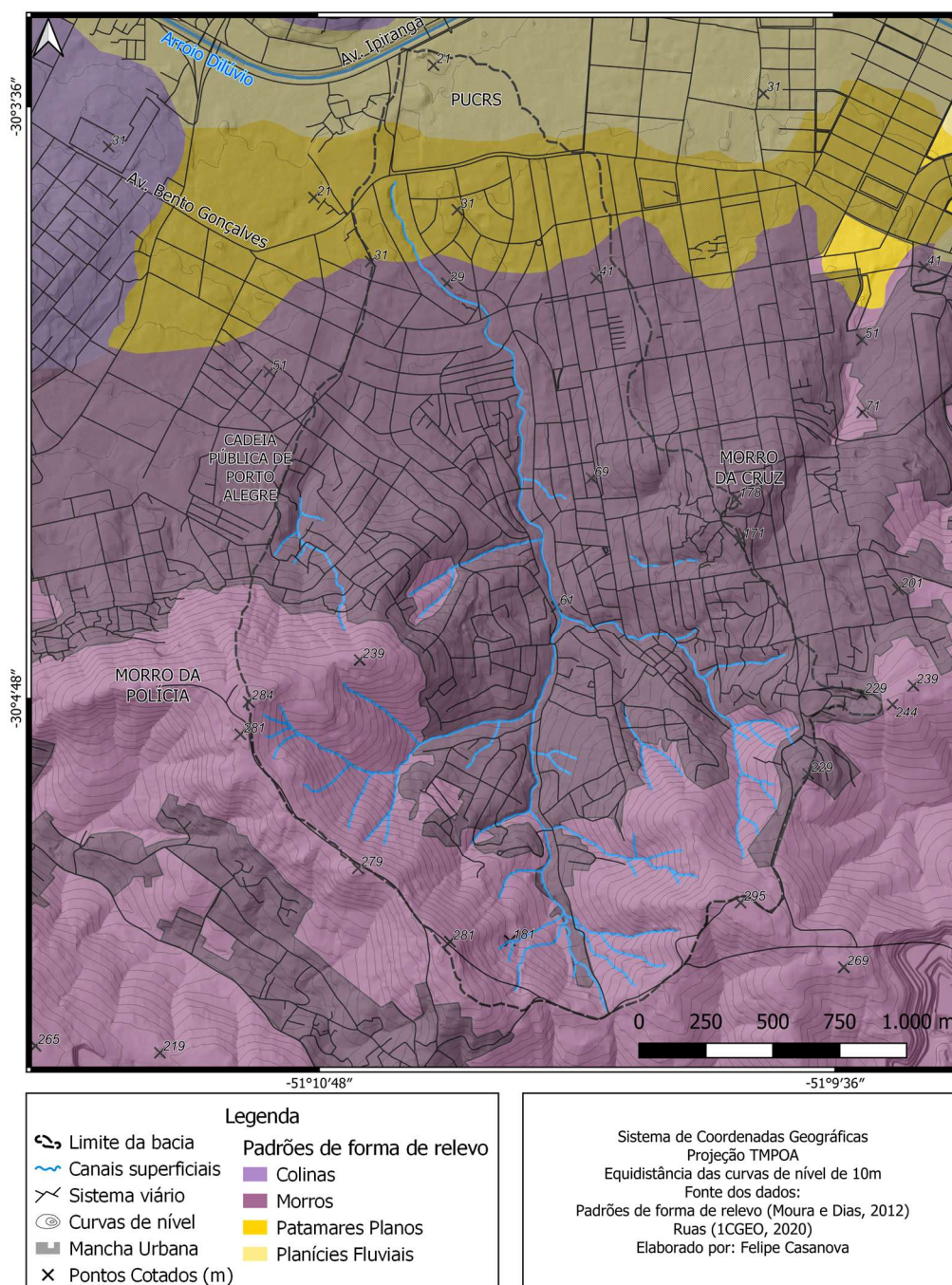
crescimento urbano dos bairros Vila João Pessoa, como a vila do Campo da Tuca, e Coronel Aparício Borges. Além disso, a extração de saibro e granito nos morros da bacia criaram vias que, posteriormente, serviram como abertura para o aumento das áreas urbanas. A figura 31 apresenta a configuração da mancha urbana no ano de 1982.



**Figura 31: Mapa de mancha urbana em 1982 sobre os padrões de forma da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024).**

### 5.1.4 Avanço da urbanização de 1982 e 2024

Entre 1982 e 2024, houve uma expansão de 39% da área urbana sobre a Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho, havendo um aumento absoluto de 0,973 km<sup>2</sup> das áreas urbanamente ocupadas, representando uma ocupação de 71% da área total da bacia, correspondendo a 3,451 km<sup>2</sup>. A figura 32 apresenta a mancha urbana sobre os padrões de forma da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho no ano de 2024.



**Figura 32: Mapa da mancha urbana em 1982 sobre os padrões de forma da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2024).**



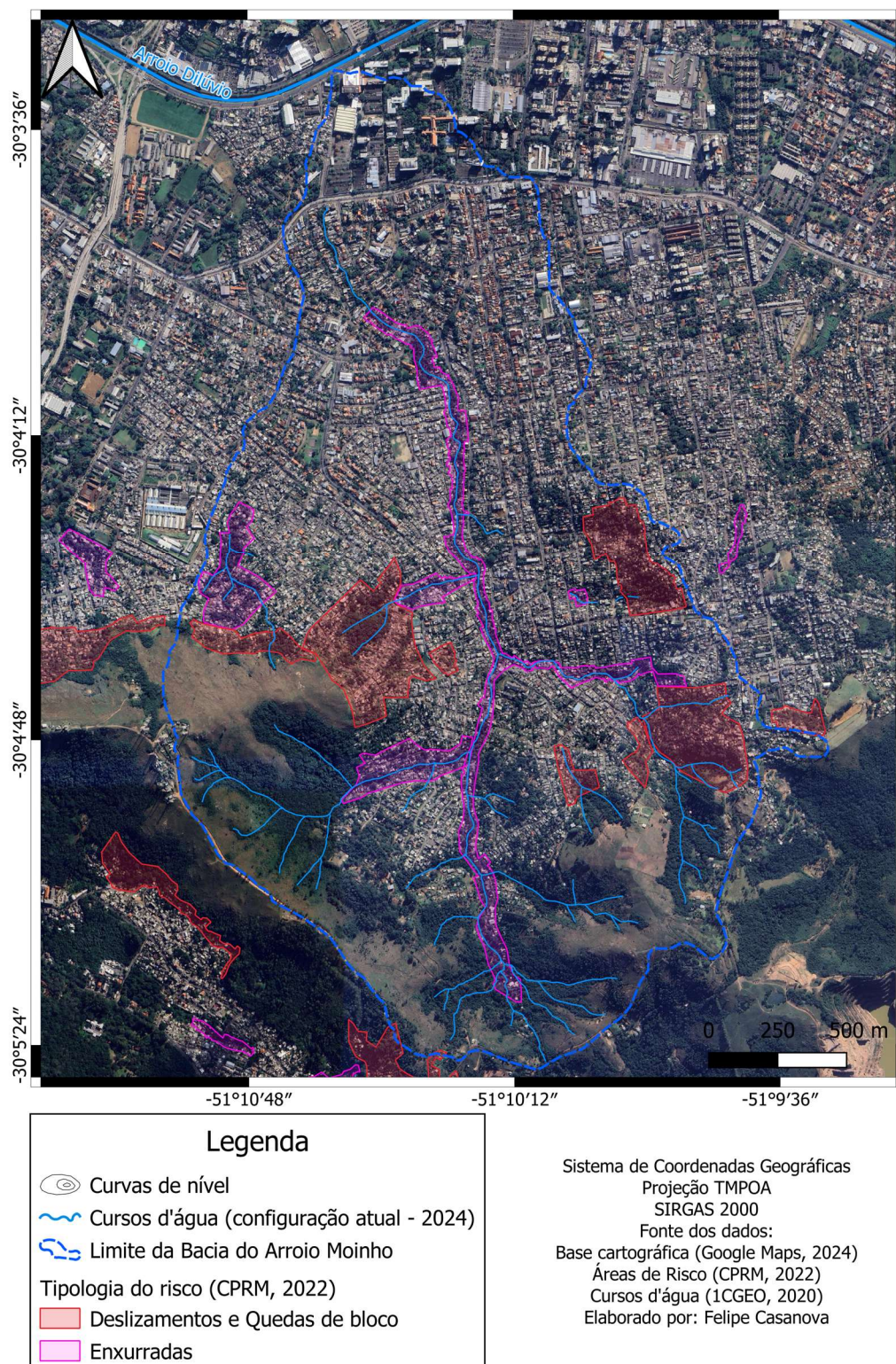
Até o ano de 1979, diferente das porções centrais da cidade de Porto Alegre, os bairros periféricos porto-alegrenses e a área da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho não foram contempladas pelos planos urbanísticos de Porto Alegre postos em prática nas primeiras décadas do século XX. Somente o plano diretor de 1979 compreendeu a área da bacia, o que explica o modo como se deu a ocupação da área até a década de 1980. Até 2024, a urbanização se direcionou aos topos dos morros e a encostas declivosas, transformando as vias de mineração em ruas e loteamentos, como é o caso da Praça Saibreira (figura 33), cuja cava de mineração é hoje uma praça e um loteamento informal.



**Figura 33:** Antiga cava de mineração na Praça Saibreira. Na porção frontal da fotografia, relevo tecnogênico plano, com loteamento informal ao fundo da fotografia. Fonte: do autor, jul. 2024.

O modo como se deu a ocupação da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho resultou na ocupação de áreas naturalmente suscetíveis aos processos de enxurrada e movimentos de massa, como deslizamentos e quedas de bloco. Essas áreas de risco foram identificadas por Bellettini *et al.* (2022), em estudo de identificação das áreas de risco de Porto Alegre realizadas pelo CPRM. A figura 34 apresenta as áreas de risco da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.





**Figura 34: Áreas de risco na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: adaptado de CPRM (2022).**



Os riscos identificados por Bellettini *et al.* (2022) para essa área foram de enxurradas e deslizamentos (contemplando, também, as quedas de bloco), ambos relacionados com as características morfológicas da área, sobretudo pela alta declividade das encostas que são densamente ocupadas. Dessas áreas de risco, 0,315 km<sup>2</sup> correspondem às áreas sujeitas às enxurradas, localizando-se no entorno dos cursos d'água, enquanto 0,393 km<sup>2</sup> é a área sujeita a deslizamentos. As áreas de risco compreendem uma extensão de 0,703 km<sup>2</sup>, que correspondem a um quinto de toda a área urbanizada na bacia.

Além disso, 1,646 km<sup>2</sup> da área da bacia é ocupado por Núcleos Urbanos Informais (NUIs), utilizando o mapeamento feito pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) de 2019. Os NUIs são classificados pelo IPEA (2019), como núcleos urbanos ocupados por população majoritária de baixa renda, onde o assentamento possua alguma precariedade, além da ausência de documentos que garantam a posse segura da terra. De acordo com a Lei Federal nº 13.465/2017:

“Núcleo Urbano Informal é aquele clandestino, irregular ou no qual não foi possível realizar, por qualquer modo, a titulação de seus ocupantes, ainda que atendida a legislação vigente à época de sua implantação ou regularização”

A área ocupada pelos NUIs corresponde a 47% de toda a área urbanamente ocupada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, conforme ilustra a figura 35. É válido salientar que esse número pode ser subestimado, visto que a Praça da Saibreira e algumas áreas nas imediações da Cadeia Pública de Porto Alegre não estão compreendidas no mapeamento feito pelo IPEA no ano de 2019. Observa-se que os NUIs espacializam-se nas margens dos canais fluviais, nas áreas de nascentes do Morro da Cruz e nas encostas íngremes do Morro da Polícia, Morro da Cruz e Morro Pelado. De acordo com os dados do censo demográfico de 2022, cerca de 30 mil pessoas moram na área bacia, com uma alta densidade populacional aproximada de 6.171 habitantes por km<sup>2</sup>.



**Figura 35: Núcleos Urbanos Informais no contexto da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: adaptado de IPEA (2019).**

## 6 O Relevo Tecnogênico na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Moinho

Este capítulo busca identificar a diversidade de formas de relevo tecnogênicas na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, apresentando a sua espacialização. A construção do Mapa do Relevo Tecnogênico (figura 36) ocorreu concomitantemente à elaboração do Mapa da Morfologia Original da área de estudo (figura 15), visto que foram utilizados os mesmos documentos cartográficos para a identificação do relevo original e da evolução das formas tecnogênicas, conforme descritos nos quadros 1, 2 e 3.

Através da abordagem da cartografia retrospectiva foi possível identificar não somente o avanço da urbanização, mas também a forma como o relevo foi apropriado e alterado ao longo do tempo na bacia. Identificou-se que a alteração do relevo se inicia com a ocupação e se intensifica com a consolidação da urbanização, sendo a mineração, em algumas áreas, quem acelera esse processo. Cerca de 71% da área é ocupada urbanamente com uma alta densidade demográfica. A ocupação urbana ocupa principalmente as vertentes convexas e côncavas da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, sendo limitada pelas vertentes retilíneas com alta declividade em áreas próximas às cabeceiras de drenagem.

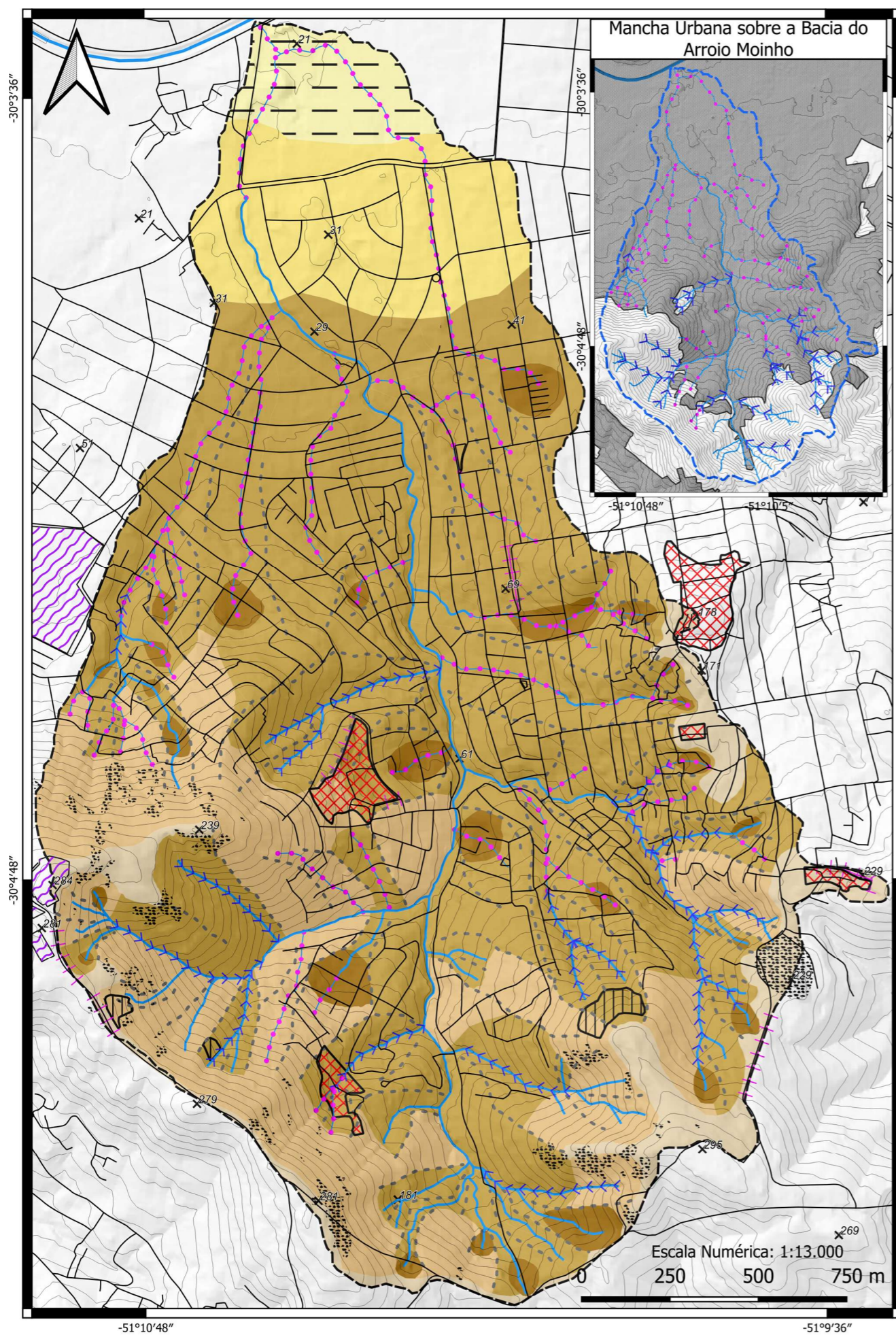
A classificação das formas tecnogênicas se baseou na proposta de Moura *et al.* (2023), em que considera o agenciamento humano na construção ou indução das formas de relevo tecnogênicas. A morfologia tecnogênica é tipificada em tecnoformas, quando há o agenciamento antrópico direto na transformação do relevo, e geotecnoformas, quando as formas tecnogênicas são resultantes de processos induzidos pelo agenciamento humano. Na área de estudos foram mapeadas formas de duas categorias:

- as Elevações e Superposições Tecnogênicas, sendo representadas pelas tecnoformas de acumulação;
- e as Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas, que são tipificadas em tecnoformas de escavação e geotecnoformas de denudação.

Ressalta-se que, além das formas mapeadas, formas de dimensão espacial reduzidas não puderam ser representadas, dada a escala de trabalho de 1:10.000, embora estejam presentes na área de estudo. Essas formas serão

descritas e apresentadas posteriormente. A figura 36 apresenta o mapa do relevo tecnogênico da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.





Formas de relevo tecnogênicas						
Categoria	Tipo	Representação cartográfica	Morfologia	Perfil esquemático	Morfogênese / cronologia	Morfodinâmica antropogênica
Elevações e Superposições tecnogênicas	Tecnoformas de Acumulação		Aterramento dos cursos d'água.		Acréscimo direto de material para desenvolvimento da urbanização. Antropoceno <i>sensu</i> .	Escoamento superficial em lençol nas áreas planas onde antes ocorria infiltração. Aumento da probabilidade de alagamentos devido à impermeabilização.
			Aterramento de áreas naturalmente alagáveis ou inundáveis, como as planícies fluviais.			
Cicatrizes e depressões tecnogênicas	Tecnoformas de Escavação		Cicatriz de mineração, cava e ruptura topográfica ocasionada pela extração de sabro e granito.		Escavação mecânica; retirada de material. Antropoceno <i>sensu</i> .	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.			
			Rupturas de declive por corte.			Erosão acelerada nas áreas de solo destampado e risco de desmoronamento.
			Patamares planos			Retirada de material e aplainamento. Antropoceno <i>sensu</i> .
Geotecnofomas de Denudação	Degraus de abatimento.		Degraus de abatimento.		Solos desprotegidos sofrem com desagregação mecânica ocasionada por escoamento subsuperficial. Antropoceno <i>sensu</i> .	Rastejamento ( <i>creep</i> ) do material superficial, resultando na formação de degraus.

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 cartografia nesta escala, foram representadas.

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Padrão de formas de relevo	Formas de relevo/ elementos e segmentos de vertentes	Perfil Esquemático	Declividades predominantes (%)	Litologia / Solo	Morfodinâmica
Escudo Uruguaio Sul-Riograndense	Planalto Marginal Leste	Morros com topos convexos	Topos Convexos		2 - 8	Granito Santana / Neossolo lítico.	Infiltração praticamente nula, impera o escoamento superficial difuso em direção às encostas.
			Elementos Convexos		5 - 15 / 30 - 40	Granito Santana e Gnaiss Porto Alegre / Neossolo lítico e Argissolos vermelhos.	Escoamento superficial predomina em relação à infiltração, sobretudo nas altas e médias vertentes. Escoamento concentrado nas vertentes mais baixas. Encostas com menor declividade denotam processos de transporte e deposição no sopé.
			Elementos Côncavos		5 - 10	Granito Santana e Gnaiss Porto Alegre / Neossolos Líticos e Argissolos vermelhos.	Escoamento se concentra conforme reduz a declividade desses elementos. Relaciona-se com áreas de nascentes. Formas em evolução.
			Segmentos Retilíneos		20 - 30 / > 40	Granito Santana / Neossolo lítico.	Escoamento superficial difuso predomina nas porções altas desses segmentos. Pouca ou nenhuma infiltração.
Bacia Sedimentar de Pelotas	Planície e Terras Baixas Costeiras	Patamares	Patamares		< 2	Evoluições e depósitos coluviais do escudo/ áreas eólicas, fluvio-lacustres e praias.	Tendência e predominância dos processos de infiltração e escoamento subsuperficial.
		Planícies Fluviais	Planícies Fluviais		< 2	Formação holocênica de areais grossas e conglomeráticas.	Predomina os processos de infiltração. Retrabalhadas periodicamente pelas inundações do Arroio Dilúvio.

**Convenções cartográficas**

- Vales em V
- Divisores de água
- Curvas de nível
- Cursos d'água superficiais
- Limite da bacia do Arroio Moinho
- Rochas expostas
- Área de ocupação urbana

**Sistema de Coordenadas Geográficas**  
 Projeção Transversa Mercator para Porto Alegre - TMPOA  
 DATUM: SIRGAS 2000  
 Escala compatível com o detalhamento de 1:10.000  
 Equidistância das curvas de nível: 10m  
 Fonte dos dados: Ruas e Rios (1CGEO, 2020)  
 MDT de resolução 2,5m (DEPLAN/RS; Prof<sup>o</sup> Clódis O. A. Filho, UFRGS)  
 Elaborado por: Felipe Casanova

Figura 36: Mapa Geomorfológico com ênfase no relevo tecnogênico da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Moinho. Fonte: elaboração própria (2025)



## **6.1 Elevações e Superposições Tecnogênicas**

As Elevações e Superposições Tecnogênicas são caracterizadas como formas de relevo tecnogênicas em que há o acréscimo de material em sua conformação, de maneira direta ou indireta. Estas são representadas, no mapa da figura 36, somente pelas Tecnoformas de Acumulação, mais especificamente pelos aterramentos de cursos d'água e de planícies fluviais. Embora as geotecnofomas de acumulação também estejam presentes na área de estudo, estas possuem menor dimensão espacial não sendo passíveis de mapeamento na escala 1:10.000.

### **6.1.1 Tecnoformas de Acumulação**

Na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, as Tecnoformas de Acumulação cartografadas são caracterizadas pelo aterramento e impermeabilização de áreas naturalmente alagáveis, como as planícies fluviais, e pelo aterramento/tamponamento de cursos d'água.

O padrão de planícies fluviais aterradas constitui uma área de 0,14km<sup>2</sup>. Originalmente, essa área era pantanosa e constantemente alagada pelas periódicas inundações do Arroio Dilúvio, tendo sido inicialmente ocupada por usos rurais até a década de 1920, quando o Instituto Champagnat fundou sua sede no local. Com o crescimento e desenvolvimento da PUCRS, na década de 1950, bem como o desenvolvimento urbano para a Zona Leste de Porto Alegre, a área já havia sido completamente impermeabilizada. Além do aterramento da planície e sua impermeabilização, a canalização e retificação do Arroio Dilúvio alterou a dinâmica natural dessas planícies, onde hoje impera o escoamento superficial difuso e concentrado, reduzindo significativamente os processos de escoamento subsuperficial e infiltração. Adicionalmente, esta é uma área suscetível aos alagamentos, por conta da morfologia plana e sua impermeabilização devido à pavimentação asfáltica. A figura 37 demonstra a área onde se localiza a foz do Arroio Moinho e as planícies fluviais do Arroio Dilúvio.

O comprimento total dos rios e riachos aterrados correspondem a 11.730m, o que representa 43% do total da extensão dos cursos d'água; desse montante, a maioria são rios de primeira ou segunda ordem, contemplando áreas de nascente e comprometendo a disponibilidade hídrica. Esses canais aterrados foram, em grande



maioria, incorporados à rede de esgoto pluvial em encanamentos subterrâneos. A alteração das redes de drenagem e o confinamento de canais podem acelerar o fluxo das águas e a erosão à montante, bem como o solapamento das margens fluviais, resultando nas geotecniformas de denudação.



**Figura 37: Planícies fluviais aterradas do Arroio Dilúvio. Destaque ao fato de que toda a porção inferior da Bacia do Arroio Moinho e sua foz é densamente construída com pavimentação asfáltica, reduzindo os processos de infiltração da água e aumentando o escoamento superficial. Grande parte do canal principal, em sua extensão próxima à foz, foi tamponada e canalizada. Fonte: elaboração própria (2024).**

### 6.1.2 Geotecniformas de Acumulação

Na área de estudo, as geotecniformas de acumulação não possuem dimensão espacial passível de representação cartográfica na escala definida para este trabalho (1:10.000). As geotecniformas surgem a partir de intervenções antrópicas no ambiente, sobretudo por conta das mudanças do uso e cobertura da terra. Nas áreas em que o solo é exposto, há maior ocorrência dos processos de escoamento em lençol e concentrado, que podem evoluir para a formação de sulcos, ravinas e voçorocas (geotecniformas de denudação). O solo erodido é transportado aos cursos d'água e, quando o rio não possui mais competência para carregar determinados grãos, estes são depositados, formando bancos de areia e resultando no assoreamento dos cursos

d'água. Na foz do Arroio Moinho, no Arroio Dilúvio, é um dos locais em que ocorre a formação desses bancos de areia, conforme demonstra a figura 38.



**Figura 38:** Foz do Arroio Moinho e banco de areia decorrente do assoreamento no Arroio Dilúvio, em frente ao Museu de Ciências e tecnologia da PUCRS. O banco de areia apresenta tanto sedimentos advindos dos morros graníticos, quanto depósitos tecnogênicos úrbicos e gárbicos. Fonte: *Google Street View* (set. 2024)

Além disso, por conta da dinâmica natural de escoamento das águas superficiais em direção aos cursos fluviais, os canais d'água apresentam, frequentemente, depósitos tecnogênicos gárbicos<sup>15</sup> e úrbicos, conforme apresenta a figura 39.



**Figura 39:** Depósitos tecnogênicos em canal fluvial em afluente de primeira ordem do Arroio Moinho. Fonte: do autor, ago. 2024.

<sup>15</sup> Fanning e Fanning (1989) classificam os depósitos tecnogênicos de acordo com os materiais constituintes, podendo ser: úrbicos, sendo os depósitos resultantes de materiais de construção; gárbicos, provenientes de lixo e materiais orgânicos; espólicos, materiais escavados e depositados em outros lugares durante uma terraplanagem; e dragados, provenientes de dragagens de cursos d'água ou lagos.



## 6.2 Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas

No contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, as cicatrizes e depressões tecnogênicas apresentam a maior diversidade de tecnoformas e geoformas que puderam ser representadas cartograficamente, como as cicatrizes de mineração, superfícies lineares planas para a construção de estradas e os degraus de abatimento. Além delas, outras tecnoformas e geoformas estão presentes pontualmente na área de estudo, contudo, sem abrangência espacial passível de cartografiação.

### 6.2.1 Tecnoformas de escavação

As tecnoformas de escavação representam a maior diversidade de formas e maior abrangência espacial das formas tecnogênicas presentes na bacia do Arroio Moinho. As cicatrizes de mineração estão presentes em diferentes pontos da área de estudo nos padrões de relevo em forma de morros, tanto em áreas de topo, quanto em encostas. Essas antigas cavas e rupturas topográficas são decorrentes da mineração de saibro e Granito Santana, ocorridas entre as décadas de 1950 e 1990.

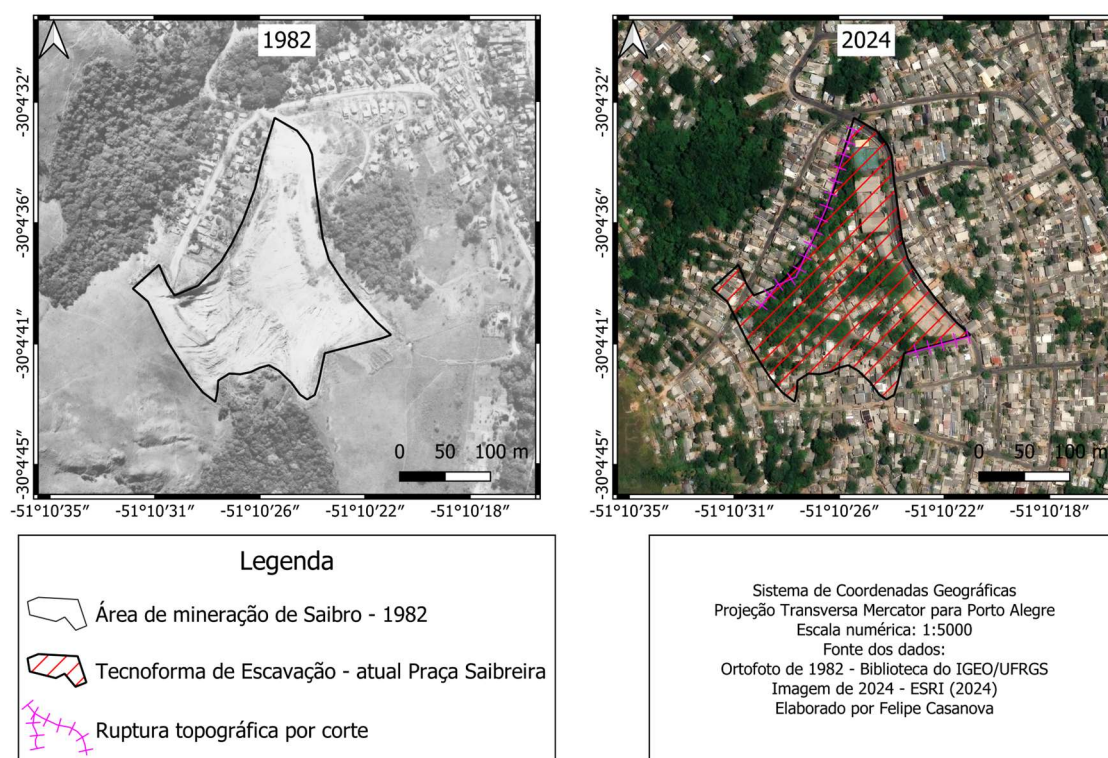
Atualmente, essas áreas que foram mineradas são urbanamente ocupadas, com a presença de espaços públicos, como praças e residências — que são caracterizadas como NUI, pelo IPEA (2019). Um desses locais é o topo do Morro da Cruz (figura 40), que hoje se apresenta como uma superfície plana, porém seu topo era originalmente convexo.



**Figura 40: Praça Mirante da Cruz, no topo do Morro da Cruz, caracterizada como uma tecnoforma de escavação, apresentando superfície plana. Morfogênese ligada aos processos mineradores ao longo da segunda metade do século XX nos morros graníticos de Porto Alegre. Fonte: do autor, jul. 2024.**

Embora a Praça Mirante da Cruz se encontre em uma área de divisor de águas da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, não estando em sua totalidade na área da bacia, a transformação do topo do morro representa uma alteração significativa nos processos de escoamento, redirecionando as drenagens e afetando as nascentes próximas. A morfologia plana e a pavimentação da área indicam uma maior suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e escoamento concentrado, algo que não ocorria em sua conformação original, intensificando os eventos de enxurrada nas partes mais baixas da bacia.

Outro exemplo é a Praça Saibreira, no Morro da Polícia, em que a antiga cava de mineração apresenta morfologia plana, na porção inferior, com fortes rupturas topográficas onde o material foi escavado. A figura 41 apresenta a área de mineração em 1982 e a atual Praça Saibreira em 2024.



**Figura 41 - Cava de mineração em 1982 x Praça Saibreira em 2024. Fonte: elaboração própria (2024).**

O material constituinte dessas áreas de mineração é composto por rejeitos da mineração de saibro e Granito Santana. Esses rejeitos podem aumentar o perigo frente aos processos de movimentos de massa, como deslizamentos, desbarrancamentos e quedas de bloco. Os locais que foram minerados na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho compreendem uma área de 0,056km<sup>2</sup>, que, embora não

seja de grande extensão, representam alterações significativas na paisagem e na dinâmica geomorfológica, além de expor as populações residentes nessas áreas ao risco.

A construção de ruas e estradas se apresentam como um vetor de urbanização, visto que direcionam a ocupação às áreas que serão ocupadas. As ruas se apresentam como tecnoformas de escavação caracterizadas pela morfologia linear sobre divisores de drenagem e vertentes. Essas formas estão distribuídas por toda a área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, sobretudo nas áreas densamente ocupadas.

Na área de estudo, as ruas e estradas, pavimentadas ou não, apresentam um comprimento de cerca de 70 quilômetros. Por conta da escala de mapeamento, a área ocupada pelas ruas não pôde ser calculada, porém, se considerar que a média da largura das ruas seja de 9m, estima-se que estas ocupem uma área aproximada de 0,63km<sup>2</sup>.

Nas tecnoformas de escavação em superfícies lineares impera o processo de escoamento superficial concentrado, sobretudo nas ruas construídas em vertentes retilíneas e/ou com declividade acentuada, com direção ao declive/active, configurando-se como leitos pluviais em eventos extremos de precipitação. Essas formas podem levar, inclusive, ao processo de enxurrada, devido à velocidade que o escoamento de água pode atingir e no menor tempo em que a água leva para chegar aos cursos d'água. É comum a presença de ruas em divisores de águas, visto que a sua construção é facilitada pela menor umidade, solos mais rasos e menores declividades. Nos cortes de estrada também é frequente a presença de rupturas de corte. A figura 42 apresenta dois exemplos de ruas, uma em uma encosta retilínea e outra em um divisor de águas.

As tecnoformas de escavação em formas de patamares planos se espacializam por toda a área de bacia, ora de forma pontual, ora em área com maior abrangência. Os patamares planos cartografados estão relacionados com a construção de superfícies planas para grandes empreendimentos, como a Cadeia Pública de Porto Alegre e os patamares criados para construção de antenas, no topo do Morro da Polícia.





**Figura 42: Tecnoformas de escavação com morfologia em superfícies lineares. (1) Rua íngreme sobre encosta convexa no Morro da Cruz, salienta-se que a construção da estrada não necessariamente segue a forma da vertente, apresentando-se com um perfil retilíneo. (2) Estrada não pavimentada no topo do Morro da Polícia, no divisor de águas da bacia do Arroio Moinho, percebe-se que a morfologia de corte fica muito mais evidente do que nas ruas sobre as encostas. Fonte: do autor, jul. 2024.**

As superfícies planas de menor dimensão estão relacionadas com as terraplanagens criadas para as construções de casas e outros empreendimentos, espacializadas por toda a área ocupada urbanamente na bacia, que corresponde a 3,451 km<sup>2</sup>, cerca de 71% da área total da bacia. A maior parte dessa área é impermeável por conta da pavimentação asfáltica e pelas edificações. A impermeabilização intensifica os processos de escoamento superficial e enxurradas. A figura 43 apresenta os patamares planos das torres e patamares dispostos sobre vertente retilínea, ambas as fotografias no Morro da Polícia.



**Figura 43: Tecnoformas em Patamares Planos. (1) Residências construídas em patamares sobre vertente retilínea no Morro da Polícia. (2) Antenas sobre patamares planos no topo do Morro da Polícia, destaque ao fato de estarem localizados próximos às nascentes. Fonte: Do autor, ago. 2024.**



Salienta-se, contudo, que nem todas as áreas urbanamente ocupadas possuem terraplanagens para a construção de residências; diversos domicílios ocupam o terreno sem necessariamente alterar a morfologia, alterando somente o material e os processos morfodinâmicos locais. Essas residências estão relacionadas às áreas de risco, sejam as áreas de maior declividade ou áreas próximas aos cursos d'água, e de ocupação por famílias de baixa renda, dada a falta de infraestrutura e exposição ao risco. A figura 44 apresenta construções dispostas sobre terraços fluviais em dois afluentes do Arroio Moinho.



**Figura 44: Construções sobre terraços fluviais em afluentes do Arroio Moinho. (1) Casas sobre terraço fluvial, destaque aos encanamentos que descartam esgoto doméstico diretamente no curso d'água. Percebe-se a existência de processos erosivos na encosta íngreme ao fundo, provenientes do escoamento superficial. (2) Moradias precárias sobre terraço fluvial. Destaca-se a existência de depósitos tecnogênicos em ambos os locais, evidenciando a influência humana na constituição dos materiais que acabam por reduzir a qualidade da água. Fonte: do autor, out. 2024.**

A presença de residências implica a existência de um sistema de esgotamento sanitário e de abastecimento de água, que acabam por criar uma drenagem artificial subterrânea. Possíveis vazamentos (como demonstrado na fotografia 1 da figura 43) resultam na umidificação do solo, podendo encharcá-lo e deixá-lo suscetível a movimentos de massa. Além disso, em áreas de ocupação irregular (que é a realidade da maior parte da bacia), por vezes, esgotos domésticos são descartados diretamente

nos cursos d'água sem nenhum tipo de tratamento, afetando a qualidade da água e alterando os depósitos.

### 6.2.2 Geotecnoformas de denudação

Das geotecnoformas de denudação da área de estudos, somente os degraus de abatimento adquirem caráter espacial significativo de representação cartográfica em escala 1:10.000. Os degraus de abatimento são caracterizados pela movimentação lenta do material superficial, denominada de rastejo ou *creep*, e se associam a áreas em cabeceiras de drenagem. Embora esse processo ocorra naturalmente, a intervenção antrópica a jusante pode acelerá-lo. Esses degraus de abatimento estão completamente recobertos por vegetação, contudo, essas geotecnoformas são percebidas através de ortoimagens. Sua formação está relacionada com as diferentes apropriações do relevo ao longo do tempo; nesta área, especificamente, ocorria a criação de gado e outros usos agropecuários no início do século XX. A figura 45 demonstra os degraus em 1982 e em 2024.



**Figura 45: Fotografias aéreas com destaque aos degraus de abatimento. Percebe-se que os degraus apresentam feição linear seguindo a convexidade da vertente, localizando-se em área próxima ao topo. Fonte: Adaptado de: fotografia de 1982 – Biblioteca do IGEO UFRGS; fotografia de 2020 – DEPLAN/RS.**

Além dos degraus de abatimento, outras geotecnoformas de denudação estão presentes na área de estudos, sobretudo nas áreas de solo exposto, como estradas não pavimentadas ou em terrenos em preparo para construção. Os processos erosivos induzidos pelo agenciamento humano ocorrem tanto nas encostas, como nos cursos d'água e são o resultado direto dos processos de mudança no uso da terra e na exposição do solo.



A impermeabilização das encostas intensifica o escoamento superficial, que, por sua vez, agrava os episódios de enxurrada e erosão fluvial, podendo resultar no solapamento das margens fluviais. A aceleração dos processos erosivos, tanto nas encostas quanto nos cursos d'água, aumentam a carga sedimentar dos rios, resultando no assoreamento. A figura 46 apresenta as geotecnoformas resultantes dos processos descritos.



**Figura 46: Geotecnoformas de denudação. (1) Sulco erosivo em estrada não pavimentada próxima ao Arroio Moinho. (2) Pavimento asfáltico parcialmente destruído após enxurrada. Fonte: do autor, jul. 2024.**

## 7 Análise e Discussões Finais

A abordagem da cartografia retrospectiva permitiu identificar não somente os aspectos ligados à morfologia original da área de estudos, mas também a evolução da urbanização e identificar a evolução das formas tecnogênicas, demonstrando-se uma abordagem fundamental na análise geomorfológica na época do Antropoceno. Com a utilização de cartografias históricas e fotografias aéreas antigas, através de análise em estereoscópio, foi possível identificar formas que não são facilmente visíveis no estágio atual de urbanização da área de estudo, dada a ocupação urbana sobre as formas tecnogênicas, sobretudo às tecnoformas de escavação resultantes do processo de mineração.

Da mesma forma, também foi possível a realização do mapeamento do avanço da urbanização sobre o relevo em quatro diferentes anos: 1941, 1956, 1982 e 2024 — devido à ausência de dados cartográficos e imagéticos sobre a área, não foi possível o mapeamento da área anterior à década de 1940. Esses anos representam diferentes etapas na evolução urbana de Porto Alegre e da área de estudos, sendo as décadas de 1940 e 1950, o ápice da industrialização em Porto Alegre; entre as décadas de 1960 e 1980 configura-se como o período de metropolização e êxodo rural no contexto gaúcho, em que ocorreu a maior chegada de migrantes à cidade; e entre 1990 e 2020 o período atual em que ocorre a estabilização do crescimento populacional, contudo, salienta-se que a expansão urbana sobre as áreas periféricas nos morros se mantém no contexto de Porto Alegre.

As diferentes fases da urbanização da área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho podem ser correlacionadas com os estágios de urbanização propostos por Nir (1983), que relaciona o avanço da urbanização com as mudanças nos processos geomorfológicos. Nir (1983) elenca três estágios distintos de urbanização:

1. Transição rural para o urbano ou suburbano: nesse estágio predominam os usos rurais da terra; para Nir (1983), ainda existe um equilíbrio das relações entre o ser humano com os processos geomórficos. Na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, esse estágio corresponderia ao período anterior a década de 1940. Nesse período, a parte ocupada da bacia seria composta por equiformas tecnogênicas, que são as formas associadas a solos tecnogênicos, quando há modificação direta/indireta em sua

composição (Moura *et al.*, 2023), além de tecnoformas de escavação em feições lineares, representadas pelas ruas, e pequenas terraplanagens, onde estariam as residências. Conforme ocorre a expansão urbana de Porto Alegre para a Zona Leste, sucede-se a remoção da vegetação natural à montante da bacia e a construção de casas fica cada vez menos espaçada, equipadas com precário sistema de saneamento, em que o esgoto doméstico era descartado em fossas diretamente nos cursos d'água, sem tratamento. Como efeitos desse estágio estão o decréscimo da evapotranspiração (consequentes do desmatamento) e o aumento do escoamento superficial, bem como a consequente deposição dos sedimentos nos canais.

2. Período de construção e crescimento urbano: Nir (1983) classifica esse estágio como um intermediário entre o início da urbanização e a urbanização consolidada. Na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, esse estágio corresponde do período analisado entre as décadas de 1940 e meados da década de 1990. É nesse período que ocorre a maior expansão da área urbana, onde há modificações do relevo (como terraplanagens e criação de patamares planos) para a ampliação das áreas residenciais e a expansão de ruas e estradas. Nesse período, por conta da expansão das áreas de construções e mudanças no uso da terra, há a maior remoção da parte superficial dos solos; a terra fica exposta às influências climáticas, aumentando os processos erosivos e a quantidade de sedimentos nos cursos d'água, ocasionando o assoreamento dos rios à jusante — tanto na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, quanto no canal do Arroio Dilúvio. Muitos canais são canalizados, tamponados ou conectados a uma rede de drenagem artificial de esgoto pluvial, alterando o padrão de drenagem natural. Na bacia, foi nesse período em que foram criadas áreas de mineração para extração de saibro e granito, trazendo significativas mudanças na paisagem geomorfológica e intensificando os processos erosivos e de transporte de sedimentos para os rios. Salienta-se que até a década de 1970, o processo de expansão urbana na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho ocorreu de maneira irregular e periférica



ao crescimento da cidade formal, não tendo sido considerada nos planos diretores. Nesse mesmo período, ocorreu a canalização e retificação do Arroio Dilúvio, que alterou o local da foz do Arroio Moinho. Como resultado geral desse período, há o aumento da área pavimentada, o decréscimo da infiltração, intensificação dos processos erosivos e o aumento do escoamento superficial, aumentando o perigo relacionado às enxurradas.

3. Urbano desenvolvido ou consolidado: considera-se que nesse estágio há uma nova topografia associada ao agenciamento humano sobre o relevo, sendo o estágio urbano atual. A superfície é ou pavimentada ou reconstituída — caracterizada por terraplanagens, aterros, cortes de estrada, superfícies mineradas e patamares planos — caracterizada por ser essencialmente impermeável, com o escoamento da água, na área mais densamente urbanizada, realizado pelo sistema de drenagem artificial de esgoto pluvial até o rio principal. Nesse estágio, os episódios de enxurradas são maiores pela extensão das áreas pavimentadas, ocasionando a erosão em áreas de solo exposto e a redução das áreas de infiltração de água no solo. Ao mesmo tempo, os processos erosivos em áreas de solo exposto resultam no acúmulo de sedimentos nos canais fluviais, aumentando o assoreamento das áreas à jusante. Não menos importante, neste estágio a rede viária adquire caráter de maior densidade; as ruas alteram o perfil natural das vertentes e induzem a um escoamento concentrado, o que pode aumentar a densidade de drenagem da bacia durante eventos de extrema precipitação, intensificando os eventos de enxurradas, o que também é evidenciado por Tarolli, Sofia e Wenfang (2018). A dinâmica desse estágio é completamente diferente da dinâmica associada à morfologia natural; considera-se, portanto, que a área está submetida à morfodinâmica antropogênica, onde os processos são predominantemente induzidos pelo agenciamento humano.

Embora Nir (1983) considerasse que o “estágio final” das intervenções antrópicas sobre o relevo seria a urbanização completa, salienta-se que as intervenções antrópicas são contínuas. Como exemplo, em áreas de grande especulação imobiliária, a destruição de antigos edifícios e a construção de novos

empreendimentos resultam na exposição do solo e na mudança dos sistemas de drenagem artificial, o que acarreta a reativação dos processos erosivos, tal como no segundo estágio de urbanização proposto por Nir (1983). Em 2024, do total de 4,861 km<sup>2</sup> da bacia, cerca de 3,451km<sup>2</sup> são ocupados urbanamente, essa área é representativa do estágio 3 de urbanização do modelo de Nir (1983). Em concordância com o que foi exposto, no contexto das mudanças ambientais globais e da intensificação dos eventos extremos de precipitação, medidas de mitigação e adaptação ao risco podem ser consideradas mudanças antropogênicas positivas sobre o relevo, como a construção de sistemas de contenção de enchentes ou a construção de parques, que amplia as áreas verdes, aumentando a infiltração. Considera-se essas medidas como positivas visto que refletem na melhoria da qualidade de vida urbana das populações. Nesse sentido, ressalta-se que nem todas as formas tecnogênicas são necessariamente prejudiciais ao ambiente.

Destaca-se, ainda, que o processo de urbanização sobre a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho se efetivou entre as décadas de 1950 e 1990 — estágio 2 de Nir (1983) —, período em que ocorreram as mudanças mais significativas no relevo. No contexto socioeconômico, a ausência de planejamento urbano-ambiental nesse período resultou na expansão de unidades habitacionais em áreas de risco (encostas com declividade acentuada e áreas próximas aos cursos d'água, sujeitas à ocorrência de enxurradas) e em áreas de nascentes, resultando em uma infraestrutura urbana precária e deficiente em áreas de lazer público, como praças e parques, além da poluição dos recursos hídricos e a exposição de áreas ambientalmente frágeis.

Em vista disso, percebe-se que existem diferentes padrões de ocupação no contexto da bacia, que são evidenciados pelos padrões de arruamentos. Na porção nordeste da bacia, na margem direita do Arroio Moinho, evidencia-se uma área maior com ocupação planejada, fruto do loteamento realizado por José Inácio Barcellos na década de 1870 (Franco, 1988). Ao contrário, na porção oeste, na margem esquerda do Arroio Moinho, e nas áreas à montante da bacia, nos locais com as maiores declividades e próximos às cabeceiras de drenagem, as ruas se adequam às formas de relevo, como às vertentes com convexidades horizontais, e essa área apresenta a maior parte das ocupações definidas como Núcleos Urbanos Informais (IPEA, 2019), conforme demonstra o mapa da figura 34.

As atividades mineradoras na área da bacia desempenharam um papel significativo na mudança da paisagem geomorfológica, alterando a forma dos topos e das vertentes, gerando as tecnoformas de escavação e geotecnoformas de denudação e acumulação. As estradas e ruas construídas pelos processos mineradores se mantiveram como caminhos para o crescimento urbano, atuando como vetores de urbanização e contribuindo para a ocupação em áreas de risco. Além disso, segundo Tarolli, Sofia e Wenfang (2018), a mineração é responsável por uma grande produção de sedimentos durante o seu funcionamento, devido à retirada do solo e revolvimento de sedimentos. Não menos importante, as áreas mineradas possuem uma forte alteração na morfologia e topografia, sendo alterações permanentes no relevo que induzem ao escoamento superficial e à redução da infiltração, além de criação de possíveis fragilidades nas rochas em áreas adjacentes.

Sugere-se aqui, portanto, que a mineração pode ter sido um dos fatores pelos quais a expansão urbana ocorreu de maneira tão intensa na área de estudo durante a segunda metade do século XX — o que evidencia a necessidade de maiores estudos sobre a prática mineradora na cidade de Porto Alegre e a sua influência no processo de ocupação das encostas, visto que existem cicatrizes de mineração em vários outros morros da cidade, como na encosta oeste do Morro Santana e na face norte do Morro da Polícia.

As áreas de risco, como as encostas sujeitas aos movimentos de massa e as áreas suscetíveis às enxurradas, apresentam infraestrutura precária (ou sequer apresentam infraestrutura) para redução do risco. Ao mesmo tempo, projetos de mitigação, adaptação e redução ao risco de enxurradas e possíveis enchentes na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho foram propostos pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre no ano de 2015. Esses projetos não foram levados adiante após a extinção do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP), no ano de 2017, que se sucedeu através da Lei Complementar nº817, de 30 de agosto de 2017 e pelo PLCE 005/17, que reorganizou a administração pública de Porto Alegre. Salienta-se que havia projeto pré-aprovado para a realização de obras de piscinas de contenção de água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho com recursos financeiros do governo federal brasileiro, contudo, o recurso foi perdido após os prazos previstos em contrato não serem respeitados (Sul21, 2024).

De acordo com os cenários projetados pelo IPCC (2023) frente às mudanças climáticas antropogênicas, a cidade de Porto Alegre, até 2050, sofrerá cada vez mais com eventos extremos de precipitação e temperatura. Segundo o Relatório de Ação Climática de Porto Alegre (2024) os bairros Vila João Pessoa, Coronel Aparício Borges e São José estão entre as áreas que mais estão vulneráveis aos riscos projetados pelo IPCC (2023). Nesse cenário, a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho se apresenta como uma área prioritária para investimentos em obras de mitigação e adaptação, bem como em outros projetos de redução ao risco de desastre, visto que as características morfológicas da área são naturalmente suscetíveis aos processos de enxurradas e movimentos de massa. As condições socioeconômicas e estruturais das habitações da área de estudo acabam por aumentar a vulnerabilidade das populações frente aos riscos naturais, evidenciando que, além de medidas estruturais, medidas não-estruturais de redução ao risco também precisam ser desenvolvidas para/com a população local, como medidas de educação ambiental e sistemas de alerta.

Além dos riscos associados à morfologia natural, o relevo tecnogênico e as alterações antrópicas induzem ao risco de desastres e a eventos que podem trazer prejuízos sociais ou econômicos. Em episódios de precipitação extrema, a estrutura interna dos canais aterrados e canalizados são suscetíveis ao desabamento (figura 47), além do solapamento e da erosão das margens naturais, como ocorrido durante as chuvas de maio de 2024 em Porto Alegre, quando choveu, de acordo com as medições da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Jardim Botânico de Porto Alegre, 524mm somente durante o mês de maio de 2024. Esse acúmulo de chuva representa mais de um terço da média anual de chuva esperada para a capital, que seria de até 1.500mm, de acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2021). Nesse mesmo evento, inúmeros alertas foram emitidos pela Defesa Civil pelo risco às enxurradas nas margens do Arroio Moinho e quedas de bloco e deslizamentos nas encostas íngremes do Morro da Polícia e Morro da Cruz. Em inúmeros trechos dos cursos d'água da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho, as margens dos canais sofreram erosão e solapamento.



**Figura 47:** Ruptura do pavimento asfáltico sobre trecho canalizado do Arroio Moinho, próximo à sua foz no Arroio Dilúvio, na Avenida Ipiranga, no dia 26/05/2024. Além do dano ambiental, esses eventos causam transtornos econômicos para reparo da avenida. Fonte da fotografia: RBS (2024).

Além disso, em eventos de chuva extrema, a capacidade erosiva da chuva se torna maior, acelerando a erosão sobre áreas de solo exposto e levando uma maior carga sedimentar aos cursos d'água. Nesse sentido, o assoreamento do Arroio Dilúvio é um grande 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 desassoreamento do Arroio Dilúvio, de onde se tirou cerca de 250.000 m<sup>3</sup> de sedimentos nesse mesmo ano (DMAE, 2022).

Embora a sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho represente apenas 6% da área total da bacia do Arroio Dilúvio, Schumann (2021), em trabalho sobre análise econômica de preservação de matas ciliares na perda de solos, estima que as perdas de solos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho sejam de 96.257,10 m<sup>3</sup> por ano. A pesquisa ainda indica que as maiores perdas de solo estão relacionadas às áreas de ocupação irregular, classificadas como NUI pelo IPEA (2019), sobretudo aquelas áreas próximas aos cursos d'água, localizadas em áreas de proteção permanente (APP), que acabam por inibir a existência de matas ciliares, que são essenciais na estabilidade das margens fluviais. Segundo Schumann (2021), se as APPs tivessem o tamanho de 30 metros exigidos pelo Código Florestal e garantissem a existência de uma mata ciliar, a perda de solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho seria 21% menor, indicando que os processos erosivos seriam atenuados, reduzindo a quantidade de perda de solos anuais.



Além da perda de solos, em pesquisa sobre a contaminação das águas das bacias hidrográficas urbanas de Porto Alegre, Rodrigues *et al.* (2021) afirma que a qualidade das águas da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho teve piora significativa entre 2012 e 2018, sendo classificada com qualidade péssima, apresentando concentrações de cobre e zinco até treze vezes acima dos valores de prevenção de mantimento da qualidade do solo. Na mesma linha, Rodrigues (2015) analisa a qualidade das águas de acordo com as diretrizes da Resolução 357/2005 do CONAMA, identificando que todos os pontos amostrados foram classificados como fora de classe, classificando as águas como impróprias ao abastecimento humano e potencialmente transmissoras de doenças de veiculação hídrica, expondo a população a riscos biológicos.

Observa-se que a configuração do relevo tecnogênico e as intervenções antrópicas influenciam em outros parâmetros ambientais, como a qualidade da água e a qualidade de vida urbana. No padrão de formas em relevo tecnogênico, entende-se os processos geomorfológicos são condicionados a um meio artificial, ou seja, a superfícies pavimentadas e, em grande parte, impermeáveis com inúmeros e diferentes obstáculos para o escoamento da água, com rios canalizados e tamponados, com uma drenagem subsuperficial artificial, com áreas de solo exposto e áreas de retirada/acúmulo de material antropogênico. Essas alterações ambientais na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho são manifestações locais, que, por vezes, adquirem caráter regional, dos processos globais associados às mudanças climáticas antropogênicas e ao Antropoceno. Conclui-se, portanto, que as atividades humanas são capazes de reconfigurar os sistemas geomorfológicos em escalas locais e regionais, criando depósitos e induzindo a processos que superam, em intensidade, a dinâmica geomorfológica natural.

Nesse sentido, frente às previsões do IPCC (2022) para Porto Alegre, há indícios de intensificação dos processos geomorfológicos relacionados à dinâmica superficial, visto a probabilidade de maior ocorrência de eventos extremos de precipitação. Portanto, reforça-se a necessidade de consideração da análise do relevo tecnogênico nos estudos ambientais, visto que eles fornecem subsídio para a compreensão das mudanças geomorfológicas e da dinâmica anterior às intervenções

antrópicas, o que possibilita pensar estratégias eficientes de planejamento e gestão ambiental e gestão do risco.

## 8 Conclusões

A identificação, análise e mapeamento do relevo tecnogênico configura-se como uma forma de análise ambiental urbana, visto que, para a compreensão das alterações antropogênicas na dinâmica geomorfológica é imprescindível a análise conjunta dos aspectos do meio físico junto da compreensão do processo de urbanização ao longo do tempo. Para chegar a tal conclusão, a metodologia adotada neste trabalho se adequou ao objetivo geral de compreender as alterações no relevo na área da sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho a partir da identificação e mapeamento das formas de relevo tecnogênicas. Para tanto, foram atingidos objetivos mais específicos, como reconstituir a morfologia pré-urbanização da área de estudos; caracterizar o processo de urbanização sobre a área e identificar e mapear as formas de relevo tecnogênicas.

Neste trabalho, a operacionalização em SIG se mostrou imprescindível na compreensão dos parâmetros morfométricos e morfológicos do relevo, bem como na realização do mapeamento propriamente dito. O tratamento dos dados cartográficos e georreferenciamento de fotografias aéreas em *software* de SIG permitiu análises temporais da área de estudo, possibilitando a identificação das mudanças morfológicas e mesmo sociais na área da bacia em diferentes anos.

A aplicação da metodologia de identificação e mapeamento do relevo tecnogênico, proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo, através de Moura *et al.* (2023), se demonstrou adequada, inovando e padronizando a classificação do relevo tecnogênico nas pesquisas em Geomorfologia em nível nacional. Além disso, as abordagens da Geomorfologia Antropogênica, como a Cartografia Retrospectiva e a consideração do meio socioeconômico na análise geomorfológica, colocam-se como fundamentais na análise do relevo no Antropoceno, visto que o agenciamento humano pode alterar os três elementos da tríade geomorfológica: forma, processo e material, o que influencia na morfodinâmica.

Através de uma análise comparativa entre o mapa da morfologia original (figura 15) e o mapa do relevo tecnogênico (figura 35), identifica-se que a área de principal atuação das intervenções humanas sobre o relevo foram as planícies, os patamares e as vertentes convexas de menor declividade.

As vertentes retilíneas ou convexas com alta declividade à montante da bacia constituem-se como áreas semipreservadas, mas ainda visadas para a expansão urbana periférica. Ressalta-se, ainda, que as áreas de nascente não se apresentam como obstáculos na ocupação; grande parte delas são ocupadas, impactando significativamente a qualidade da água, a dinâmica hídrica e a própria existência dos mananciais.

As mudanças na paisagem geomorfológica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho são reflexos das dinâmicas sociais que perpetuam a vulnerabilidade e a desigualdade, como a ocupação das áreas de risco, a poluição dos solos e a poluição hídrica, demonstrando uma relação entre as mudanças geomorfológicas, a conformação e configuração do relevo tecnogênico com as dinâmicas socioeconômicas.

Enquanto as áreas de maior exposição ao risco são ocupadas por residências de baixo padrão, a ocupação em patamares planos e planícies fluviais apresentam um padrão de construção de classe média, tendo sido as primeiras áreas a serem ocupadas. Conclui-se, portanto, que os fatores socioeconômicos influenciam a forma como o relevo é apropriado e alterado, visto que há um modo diferente na maneira como os arruamentos, classificados como tecnoformas de escavação com morfologia de superfícies lineares, se apresentam espacialmente na bacia. Destaca-se, ainda, a importância de ações de mitigação e adaptação, tanto de medidas estruturais quanto de medidas não-estruturais, frente às mudanças climáticas antropogênicas, que intensificam a frequência dos eventos extremos de precipitação na cidade de Porto Alegre e aumentam a exposição ao risco da população residente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho.

Para além das questões de ordem ambiental, no que tange os aspectos teóricos, metodológicos e operacionais da cartografia geomorfológica, percebe-se que as intervenções antrópicas manifestam-se, inicialmente, através das formas tecnogênicas de maneira pontual, somente passíveis em escala de muito detalhe, como 1:2.000 ou 1:5.000 — ou ainda de maior detalhe, como é o caso de terraplanagens para construção de pequenas residências ou pequenas plantações, caracterizadas por Equiformas Tecnogênicas (Moura *et al.*, 2023). Com o tempo, as feições adquirem maior dimensão espacial, ou, ainda, o conjunto de intervenções

passa a ser mais intenso, o que gera feições em linhas e/ou polígonos. Porém, ainda assim, as formas tecnogênicas costumam ser representadas, cartograficamente, em escalas grandes e médias, com algumas exceções, como as grandes áreas de aterros e a retificação de cursos d'água de maior extensão, como é o caso do Arroio Dilúvio.

No mapeamento geomorfológico, tanto em escalas locais quanto regionais, a mancha urbana se caracteriza, no contexto da Taxonomia de Ross (1992), como o terceiro táxon, sendo um padrão de relevos tecnogênicos, caracterizado por Pelligia *et al.* (2014) como paisagem tecnogênica. Nesses casos, no meio urbano, as formas tecnogênicas dificilmente são diferenciadas cartograficamente, dada a densidade ocupacional. Contudo, compreende-se que a mancha urbana representa um conjunto de feições tecnogênicas, abrangendo todas as categorias: elevações e superposições tecnogênicas, cicatrizes e depressões tecnogênicas, corrugações tecnogênicas e equiformas tecnogênicas — estas, com maior dificuldade de identificação e de mapeamento no que diz respeito às formas com modificações em profundidade.

Deste modo, impõe-se questões de caráter teórico-metodológico no campo da Geomorfologia Antropogênica e do mapeamento das formas de relevo tecnogênicas, que podem ser desenvolvidas e investigadas em trabalhos futuros. Dentre essas questões, destaca-se a diferenciação e a classificação das formas tecnogênicas em meios densamente urbanizados, sobretudo o que diz respeito ao material subsuperficial, como os depósitos tecnogênicos e alterações no subsolo; a incorporação da drenagem artificial subterrânea às análises sobre o relevo tecnogênico; a incorporação da linguagem técnica das engenharias e arquitetura para melhor diferenciação das formas tecnogênicas; e a inclusão dos aspectos relacionados aos diferentes atores produtores do espaço e a sua influência na conformação do relevo tecnogênico, visto que na área de estudo, por exemplo, os aspectos socioeconômicos refletem diferentes modos de apropriação do relevo. Além disso, para uma maior precisão na identificação das feições tecnogênicas, especialmente em áreas densamente urbanizadas, o uso de drones e sensores *LiDAR* podem detalhar ainda mais os mapeamentos geomorfológicos, o que evidencia as potencialidades e perspectivas futuras para a Geomorfologia Antropogênica.

No contexto do planejamento urbano-ambiental e da mitigação para as mudanças climáticas, a análise do relevo tecnogênico com base na Cartografia



Retrospectiva e na classificação de Moura *et al.* (2023) demonstra as múltiplas possibilidades para análise ambiental urbana. Além disso, evidencia-se a importância de incorporar a análise das dinâmicas do relevo tecnogênico para identificar áreas prioritárias de recuperação ambiental e promoção de soluções baseadas na natureza, como a ampliação de áreas verdes e recuperação dos ecossistemas fluviais.

Portanto, pode-se concluir que os resultados obtidos corroboram para a compreensão da dinâmica do relevo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Moinho no Antropoceno, visto que os resultados deste trabalho subsidiam possíveis projetos de mitigação e adaptação de riscos, além de reunir informações acerca da história ambiental dos bairros pertencentes à bacia. Assim, este estudo não apenas avança nas discussões acerca da Geomorfologia Antropogênica e Geomorfologia Urbana, como oferece perspectivas e desafios acerca do mapeamento geomorfológico do relevo tecnogênico em escala de detalhe. Além disso, destaca-se a necessidade da continuidade dos estudos nessas temáticas em diferentes áreas, sobretudo naquelas que carecem de pesquisas e mapeamentos geomorfológicos, com vistas a ampliar a compreensão da dinâmica entre os processos naturais e as intervenções antrópicas em diferentes ambientes. O aprofundamento científico e teórico da Geomorfologia Antropogênica é essencial para subsidiar políticas públicas de planejamento urbano-ambiental e de recuperação de áreas prioritárias frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas no Antropoceno.

## 9 Referências Bibliográficas

ABREU, A. A. A Teoria Geomorfologia e sua Edificação: Análise Crítica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, nº 2, 51-67, 2003.

AB'SABER, A. N. **Geomorfologia do Sítio urbano de São Paulo**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1956.

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, n. 18, p. 1-23, 1969. Disponível em: [https://biblio.fflch.usp.br/AbSaber\\_AN\\_1348929\\_UmConceitoDeGeomorfologia.pdf](https://biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1348929_UmConceitoDeGeomorfologia.pdf). Acesso em: 11 dez. 2023.

Ab'Saber, A. N. O sítio urbano de Porto Alegre: estudo geográfico. **Boletim Paulista De Geografia**, (42), 3–30. 2017a. Recuperado de <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1189>. Acesso em: 11 dez. 2023

Ab'Sáber, A. N. A cidade do Salvador. **Boletim Paulista De Geografia**, (11), 61–78. 2017b. Recuperado de <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1368>. Acesso em: 11 dez. 2023

Ab'Sáber, A. N. A cidade de Manaus. **Boletim Paulista De Geografia**, (15), 18–45. 2017c. Recuperado de <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1340>. Acesso em: 11 dez. 2023.

ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? **Revista USP**, (103), 13-24. 2014. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p13-24>

BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C.; AYUP-ZOUAIN, R.N. **Cronoestratigrafia da Bacia de Pelotas: Uma revisão das sequências deposicionais**. Gravel, 6(1), 125–138. 2008.

BARCELOS, E. Antropoceno o Capitaloceno: De la simple disputa semántica a la interpretación histórica de la crisis ecológica global. **REVIBEC - REVISTA IBEROAMERICANA DE ECONOMÍA ECOLÓGICA**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 1–17, 2019. Disponível em: <https://redibec.org/ojs/index.php/revibec/article/view/356>. Acesso em: 12 dez. 2024.

BELLETTINI, A. S.; LAMBERTY, D.; BINOTTO, R. B.; MENDONÇA, R. R. **Setorização de áreas de risco geológico: Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Serviço Geológico do Brasil: CPRM, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23505>. Acesso em 11 dez. 2023.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BEUX, F. C. Estudo de concepção de coletor tronco da bacia do Arroio Moinho. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Especialização em Sistemas de Esgotos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004. 121 p.

BIGARELLA, J.J., MOUSINHO, M.R., SILVA, J.X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, 16/17: 117- 151, 1965.

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

BUSCHER, N. **Mapeamento das formas de relevo antropogênicas da Bacia hidrográfica do Arroio Cascata, Porto Alegre – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 86 p. 2018.

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

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S. l.], 2005.

CHORLEY, R. K.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a systems approach**. London: Prentice Hall, 1971.

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

CHRISTOFOLETTI, A. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 52 n. 2. p. 21-35. 1990

COLTRINATI, L. Cartografia Geomorfológica Detalhada: a representação gráfica do relevo entre 1950-1970. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, nº 3, 2011.

COMITÊ EXECUTIVO NACIONAL –CEN/SCBR. Breve estado da arte do Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SCBR): contribuições de e para a sociedade científica geomorfológica. **Revista Brasileira de Geografia**.v.67, n.2, p.212-227, 2022.

CRUTZEN, P. J. Geology of mankind. **Nature**, [S.L.], v. 415, n. 6867, p. 23-23, 2002. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/415023a>.

DAVIDOVICH, F. R. Considerações sobre a Urbanização no Brasil. In: BECKER, B.K.; CHRISTOFOLETTI, A.; DAVIDOVICH, F.R.; GEIGER, P. P. **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo. Editora: Hucitec. 1995. 79-96p.

DEMEK, J. Generalization of Geomorphological Maps, in Progress. Made in Geomorphological Mapping, Brno, 36-72 p. 1967.

DMAE - DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO. **Dragagem do Arroio Dilúvio tem início em mais um ponto da Avenida Ipiranga**. Notícias DMAE, 12 de

abril de 2022. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/dmae/noticias/dragagem-do-arroio-diluvio-tem-inicio-em-mais-um-ponto-da-avenida-ipiranga>. Acesso em: 26 nov. 2024.

DOUGLAS, I. **The Urban Environment**. Londres: Edward Arnold, 229 p. 1983.

FANNING, D. J.; FANNING, M. C. B. **Soil: morphology, genesis and classification**. New York: John Wiley & Sons, 1989.

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. **Dissertação** (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1979. 240 p.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo. Editora: Oficina de Textos. 2008. 12-29p.

FONSECA, C. **Família, Fofoca e Honra**: etnografia de relações de gênero e violência em grupos populares. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 125 p. 2000.

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

FRAGA, R. G.; SAYAGO, D. A. V. Soluções Baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 25, n. 50, p. 67-83, jun. 2020.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; WERNICK, E.; SOLIANI, Jr. E. Associação Petrotectônicas do Cinturão Dom Feliciano (SE da Plataforma Sul-Americana). **Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia**, v. 1, Salvador, 1982a, 1-12 p.

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

FUJIMOTO, N. S. V. M. Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre-RS: Um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. **GEOUSP Espaço e Tempo** (Online), [S. l.], v. 6, n. 2, p. 141-177, 2002. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2002.123777. Acesso em: 17 out. 2023.

GERASIMOV, I. P. Essai d'interprétation geomorphologique du schéma général de la structure geologique de l'URSS. **Problèmes de Géographie Physique**. v. 12, p. 1-15, 1946.

GOLOMB, B.; EDER, H. M. Landforms made by man. **Landscape**, n. 14, p. 4-7, 1964.

GOUDIE, A. S. **The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present and Future**. 7. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2013. 424 p.

GOUDIE, A. S. **The integration of Human and Physical Geography revisited**. The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien, 61(1): 19-27, 2017.

GOUDIE, A. S.; VILES, H. A. **The Earth Transformed: an introduction to Human Impacts on the Environment**. 1 ed. Chinchester: John Wiley & Sons Ltd, 288 p. 2013.

GOUDIE, A. S.; VILES, H. A. **Geomorphology in the Anthropocene**. 1 ed. Cambridge: Cambridge Press, 335 p. 2016.

GOUVEIA, I. C. M. C. **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 (Doutorado), Universidade de São Paulo, 2011. 363 p.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Departamento de governança e gestão. 6 ed. 203 p. 2021. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 26 nov. 2024.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2º ed. 190 p. 2009.

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. 84 p. ISBN 978-85-7727-129-0. Disponível em <https://www.ufrgs.br/labgeo/>

HAUSMAN, A. Aspectos da Geografia Urbana de Porto Alegre. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, nº 12, 39 – 55 p. 1961.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022: informações de população e domicílios por setores censitários**. Online. 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**. Online, disponível em: <https://pnui.ipea.gov.br/dados.html>. Acesso em: 19 out. 2024.

INKPEN, R. *Science, Philosophy and Physical Geography*. New York: Routledge. 177p. 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability**. [S. l.]: Cambridge University Press, 22 jun. 2023. DOI 10.1017/9781009325844. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/9781009325844>.



JASIEWICZ, J., STEPINSKI, T. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, vol. 182, 147-156 DOI: [10.1016/j.geomorph.2012.11.005](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005). 2012.

JORGE, M. C. O. Geomorfologia Urbana: Conceitos, Metodologias e Teorias. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Cap. 4. p.117–145.

JOST, H. O Quaternário na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, I – Região Norte. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia**, São Paulo, p. 53-62. 1971.

KERÉNYI, A. Human Impact in a Systems Approach. In: SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. **Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-made Landforms**. Dordrecht: Springer, 2010. Cap. 2, p. 13-25.

KLIMASZEWSKI, M. Thirty years of detailed geomorphological mapping. **Geographia Polonica**, Cracow, v. 58, p. 11-19, 1990.

KOHLER, H. C. A Escala na Análise Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia** (1), 2002, p. 21-31.

LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the Anthropocene. **Nature**, [S.L.], v. 519, n. 7542, p. 171-180, mar. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature14258>.

LIMA, C. R. **Urbanização e intervenções no meio-físico na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo: uma abordagem geomorfológica**. Dissertação Mestrado em Geografia Física. Departamento de Geografia FFLCH – USP, São Paulo. 1990.

LÓCZY, D. Anthropogenic Geomorphology in Environmental Management. In: SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. **Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-made Landforms**. Dordrecht: Springer, 2010. Cap. 3. P. 25-39. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3058-0>. Acesso em: 11 set. 2024.

LOPEZ, R. S. **Diagnóstico ambiental da Sub-Bacia do Arroio Moinho – Porto Alegre/RS: evolução urbana, dinâmica da paisagem e degradação ambiental**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 121 p. 2011.

LYELL, C. **Principles of Geology**. Chigago: University of Chicago Press. v. 31, 1997. 472 p.

MACHADO, A. S. Princípios de Le Corbusier no Rio Grande do Sul: o projeto da praia de belas em Porto Alegre. **URBANA: Revista Eletrônica do Centro Interdisciplinar de Estudos sobre a Cidade**, Campinas, SP, v. 6, n. 1, p. 799–830, 2014. DOI: [10.20396/urbana.v6i1.8635326](https://doi.org/10.20396/urbana.v6i1.8635326). Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/urbana/article/view/8635326>. Acesso em: 25 jun. 2024.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. Cap. 1 p. 23-45

MARSH, G. P. **Man and Nature: Physical Geography as Modified by Human Action**. Londres: S. Low, Son e Marston. 1864. 560p.

MARTH, J. D. **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. 2017. 209 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MELCHIORS, L. C.; BRAGA, A. C.; ZAMPIERI, F. L.; CAMPOS, H. A. Reestruturação metropolitana e emergência de centralidades: novos fluxos pendulares e a configuração espacial da Região Metropolitana de Porto Alegre. **Arquitetura Revista**, 14(2), 187-203. <https://doi.org/10.4013/arq.2018.142.08>

MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A.D.; KOESTER, E. & SCHERER, C. M. S. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1998.

MESCERJAKOV, J. P. Les concepts de morphostruture et de morphoscultures : un nouvel instrument de l'analyse geomorphologique. Paris : **Annales de Géographie**, 77 années, 423, p. 539-552. 1968.

MONTEIRO, C. Porto Alegre no Século XX: Crescimento Urbano e Mudanças Sociais. IN: **Porto Alegre em Destaque: História e Cultura**. 1. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004. p. 51-75.

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.; MORAN, E.F. Problemas ambientais urbanos: questões metodológicas nos estudos geomorfológicos com ênfase na análise geomorfológica e nas mudanças do uso da Terra. In: BASSO, L.A.; MOURA, N.S.V.; STROHAECKER, T.M. **Geografia: dinâmica, conflitos e proposições**. Porto Alegre: wwlivros, 2017, p. 12-30. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/170783/001054785.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 6 fev. 2024

MOURA, N.S.V.M.; DIAS, T.S. Elaboração do mapa geomorfológico do município de Porto Alegre – RS. **Ciência e Natura**, Edição especial, p. 219-233. 2012. Disponível em <https://www.ufrgs.br/labgeo/>

MOURA, N. S. V. Mapeamento Geomorfológico da Planície e Terras Baixas Costeiras do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Espaço Aberto**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 229-246, 2022. Revista Espaço Aberto. <http://dx.doi.org/10.36403/espacoaberto.2022.54584>.

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, [s. l.], v. 24, n. 4, p 1-16, dez. 2023.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o estudo da geomorfologia do estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Publicação Especial, Santa Maria: Departamento de Geociências, UFSM, n. 1, p. 1-34, 1970.

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

PASSARGE, S. **Physiologische Morphologie**. Hamburg, Friedericksen. 205p. 1912.

PASSARGE, S. **Die Landschaftsgeruel der Erde**. Breslau, Ferdnand Hirt. 1922.

PELOGGIA, A. U. G. **A ação geológica do homem no município de São Paulo. Brazilian Journal of Ecology**. (Disquete), 1, p. 10-12. 1997.

PELOGGIA, A. U. G. A magnitude e a frequência da ação humana representam uma ruptura na processualidade geológica na superfície terrestre? **Geosul(UFSC)**, 14(27), p. 54-60. 1998.

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: Revista do Departamento de Geografia. v. 16, p. 24-31. 2005.

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 landscape as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences**. v. 5, n. 2, p. 67-81, 2014

PENCK, W. **Morphological analysis of landforms: a contribution to physical geology**; trad. de Hella Czech. e Catherine C. Boswell. London, Macmillan. 429p. 1953.

PESAVENTO, S.J. **Memória Porto Alegre: espaços e vivências**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999.

PHILIPP, R.P.; CAMPOS, R.S. Geologia, petrografia e litogeoquímica do Ganisses de Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações geotectônicas. **Revista pesquisa em geociências**. v.31,n.2. 79-94. 2004.

PORTO ALEGRE. História dos bairros de Porto Alegre. Online, 114 p. Disponível em : [https://rgp1poa.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/historia\\_dos\\_bairros\\_de\\_porto\\_alegre.pdf](https://rgp1poa.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/historia_dos_bairros_de_porto_alegre.pdf). Acesso em: 26 nov. 2024.

POSSANTTI, Iporã. **Declividade e o Índice de Posição Topográfica**. 2020. Disponível em: <https://mapasabertos.com/2020/10/12/declividade-e-o-indice-de-posicao-topografica/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

REUTER, H.I., HENGL, T., GESSLER, P., SOILLE, P. Preparation of DEMs for geomorphometric analysis. In: HENGL, T., REUTER, H.I. **Geomorphometry: Concepts, Software, and Applications**. Elsevier, Amsterdam, pp. 87–120. 2009.

ROCHE, J. Porto Alegre, metrópole do Brasil Meridional. **Boletim Paulista de Geografia**, nº 19, São Paulo, p. 30-51. 1955.

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

RODRIGUES, B. B.; MIZUSAKI, A. M. P.; MENEGAT, R.; FIGUEIREDO, A. R.; GALLIGAN, T. A.; PORTELLA, M. B. P. **Contamination of Urban Watersheds: the Case of Arroio Moinho, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil**. Anuário do Instituto de Geociências (online), v. 44, DOI: [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2021\\_44\\_36744](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_36744). 2021.

RODRIGUES, C. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiro**. Tese Doutorado em Geografia Física. Departamento de Geografia FFLCH –USP, São Paulo, 1997.

RODRIGUES, C. On Anthropogeomorphology. In: **Anais da Regional Conference on Geomorphology**. Rio de Janeiro: Anais da Regional Conference on Geomorphology, v; 1, p. 100-110, 1999.

RODRIGUES, C. 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. 2011. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0008>

RODRIGUES, S. C.; DANELON, J. R. B.; BARCELOS, A. C. A. Geomorfologia e as interações humanas: Contribuições Teóricas da Geomorfologia Antropogênica. **Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana De Geografia Física E Ambiente**, 4(1-2), 45–63. 2022. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.4159>

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP**, n 6, 17-29, 1992.

RÓZSA, P. Nature and Extent of Human Geomorphological Impact — A Review. In: SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. **Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-made Landforms**. Dordrecht: Springer, 2010. Cap. 17, p. 273-291.

SANHUDO, A. V. **Porto Alegre: crônicas da minha cidade**. Porto Alegre: Editora Movimento, v. 2. 268 p. 1975.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. 4° Ed. São Paulo: EDUSP, 2006.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. 5ª Ed., 4° reimpressão São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil: território e sociedade no início do século XXI**. 9° Ed. Rio de Janeiro: Record, 2006.

SANTOS FILHO, R. D. Antropogeomorfologia Urbana. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Cap. 7. p. 227–246.

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. **Dissertação** (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2021. 84 p.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, URBANISMO E SUSTENTABILIDADE DE PORTO ALEGRE. **Plano de Ação Climática: análise de riscos e vulnerabilidade climática**. Relatório. 2 ed. 2023. 182 p. Disponível em: [https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu\\_doc/sites/smamus/PLACPOA\\_P3\\_AR\\_VC%20PRELIMINAR.pdf](https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/sites/smamus/PLACPOA_P3_AR_VC%20PRELIMINAR.pdf) Acesso em: 5 de fev. de 2024.

SILVA, T. M. Raízes dos Mapeamentos Geomorfológicos e Perspectivas Atuais. **Humboldt – Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v.1, n. 2, 2021.

SOARES, P. R. R.; FEDOZZI, L. J. Porto Alegre e sua região metropolitana no contexto das contradições da metropolização brasileira contemporânea. **Sociologias**, Porto Alegre, v. 18, n. 42, p. 162–197, 2016.

SOUZA, C. F. **O Plano Geral de Melhoramentos de Porto Alegre: da concepção as permanências**. 2005. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Acesso em: 25 jun. 2024.

SOUZA, C. F.; ALMEIDA, M. S. Porto Alegre - a MetrÓpole em Formação: constituição e institucionalização das regiões metropolitanas brasileiras. In: III ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2014, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: III ENANPARQ, 2014. p. 1-13. Disponível em: [https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/htm/Artigos/ST/ST-CDR-003-5\\_SOUZA.ALMEIDA.pdf](https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/htm/Artigos/ST/ST-CDR-003-5_SOUZA.ALMEIDA.pdf). Acesso em: 25 jun. 2024.

SOUZA, J. O. C. Territórios e povos originários (des)velados na metrópole de Porto Alegre. In: FREITAS, A. E. C.; FAGUNDES, L. F. C. **Povos Indígenas na Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. Porto Alegre: PMPA/ Secretaria Municipal de Direitos Humanos e Segurança Urbana, 2008.



SOUZA, A. S.; FURRIER, M. Técnicas de mapeamento geomorfológico aplicadas em escala de detalhe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 89-103, 2 jan. 2019. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1391>.

SOUZA, C. F.; MULLER, D. M. **Porto Alegre e sua evolução urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2007.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização**. São Paulo: Editora Contexto, 80p. 1988.

STEFFEN, W.; GRINEVALD, J.; CRUTZEN, P.; MCNEILL, J. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [S.I.], v. 369, n. 1938, p. 842-967, 2011.

STEIGLEDER, C. N.; SOUZA, C.F. O bonde e a cidade: os caminhos da sociabilidade. **Revista dos Transportes Públicos**, [s. l.], n. 3, p. 57-74, 2016.

ST-ONGE, D. A. Theories, Paradigms, Mapping, and Geomorphology. **Canadian Geographer / Le Géographe canadien**. v. 25, p. 307-315. 1981. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1981.tb01335.x>

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Bulletin Geological Society of America**, Washington, D.C. 63(9): 923-938. 1964.

STROHAECKER, T. M. Atuação do público e do privado na estruturação do mercado de terras de Porto Alegre (1890-1950). **Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. IX, núm. 194 (13). 2005. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-13.htm>> Acesso em: 18 dez. 2023.

SUERTEGARAY, D. M. A. Rio Grande do Sul: Morfogênese da Paisagem Questões para a Sala de Aula. **Boletim Gaúcho de Geografia**, n. 21, Porto Alegre, 117-132 p. 1996.

SUERTEGARAY, D. M. A. Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura. Porto Alegre: **Compasso Lugar-Cultura**, 126p. 2018.

SUERTEGARAY, D. M. A.; MOURA, N. S. V. M. Morfogênese do relevo do Estado do Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (Orgs.) **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. p. 11-26.

SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Terra Livre**, [S. l.], v. 2, n. 17, p. 11-24, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/337>. Acesso em: 5 dez. 2023.

SUL 21. **Porto Alegre capta financiamento para realizar obra perdida por Marchezan**. Sul 21, Porto Alegre, 17 de junho de 2024. Geral. Disponível em:

<https://sul21.com.br/noticias/geral/2024/06/porto-alegre-capta-financiamento-para-realizar-obra-perdida-por-marchezan/>. Acesso em 26 nov. 2024.

SZABÓ, J. Anthropogenic Geomorphology: Subject and System. In: SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. **Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-made Landforms**. Dordrecht: Springer, 2010. Cap. 1. p. 3-10. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3058-0>. Acesso em: 17 out. 2023.

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.

TER-STEPANIAN, G. Beginning of the Tertiary. **Bulletin of the international Association of Engineering Geology**, [s. l.], n. 38, p. 133-142, 1988.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Cap. 14, p. 375 – 406. 2000.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.; LOSS, E. L. **Roteiro geológico da planície costeira do Rio Grande do Sul**. I Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Publicação Especial 2, Porto Alegre, 1987.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Le problème de la classification des faits géomorphologiques**. n°45, p. 162-186. 1956.

TRICART, J. Présentation d'une feuille de la carte géomorphologique du Delta du Sénégal au 1:50 000. **Rev. Géom. Dyn**, v. 10, n. 5-6 à 11-12, p. 106-116, carta anexa, 1959.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris:Masson Ed., 1965, 201p.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Introduction à la géomorphologie climatique**. Paris: SEDES, 1965.

VERSTAPPEN, H. T. Old and New Trends in Geomorphological and Landform Mapping. **Developments In Earth Surface Processes**, [S.L.], v. 15. p. 13-38, 2011. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-53446-0.00002-1>.

VIEGAS, D. H. As cidades e as vozes: histórias de migração em espaços urbanos no Sul do Brasil na metade do século XX. **Ágora, Revista de História e Geografia**. Santa Cruz do Sul. p. 16 – 26. 2018.

VIEIRA, D. M. **Territórios negros em Porto Alegre/RS (1800-1970): geografia histórica da presença negra no espaço urbano**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 190 p. 2017.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975. 250p

VILLWOCK, J. A. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brasil a Synthesis. **Pesquisa**, n. 6, Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre, 5-59 p. 1984.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas/Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica**, Instituto de Geociências, UFRGS, n. 8, p. 1-45, 1995.

WEIMER, R. A. Do centro à periferia: “malocas” e remoções na constituição do espaço urbano de Porto Alegre (1952-1973). **Anais do XXIX Simpósio Nacional de História**. 2017.

WEISS, A. Topographic Position and Landforms Analysis – **Poster presentation**. ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.

WILSON, J. P. Digital terrain modeling. **Geomorphology**, [S.L.], v. 137, n. 1, p. 107-121, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.012>.

WOEIKOF A. I. De l'influence de l'homme sur la terre. In: **Annales de Géographie**, v. 10, n°51, 1901. p. 193-215.

WULF, A. **A invenção da natureza**: a vida e as descobertas de Alexander Von Humboldt. 2. ed. Editora: Crítica, 2019. 600 p.