

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA

NORTON BUSCHER

**MAPEAMENTO DAS FORMAS DE RELEVO ANTROPOGÊNICAS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO CASCATA, PORTO ALEGRE - RS**

PORTO ALEGRE-RS,

2018

NORTON BUSCHER

**MAPEAMENTO DAS FORMAS DE RELEVO ANTROPOGÊNICAS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO CASCATAS, PORTO ALEGRE - RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Geografia.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Nina Simone Vilaverde
Moura

PORTO ALEGRE-RS,

2018

NORTON BUSCHER

**MAPEAMENTO DAS FORMAS DE RELEVO ANTROPOGÊNICAS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO CASCATA, PORTO ALEGRE - RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a. Kátia Kellem da Rosa
Departamento de Geografia/ UFRGS

Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas
Departamento de Geografia/ UFRGS

Prof.^a Dr.^a. Nina Simone Vilaverde Moura (orientadora)
Departamento de Geografia/ UFRGS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio emocional incondicional, apoio financeiro e pela inesquecível viagem ao Canadá como presente adiantado de formatura. À minha mãe pelo carinho, dedicação e refeições reconfortantes em momentos de ansiedade. Ao meu pai pelas discussões filosóficas sobre ciência e pela ajuda para realização da atividade de campo dessa pesquisa.

Aos amigos feitos durante a minha jornada universitária, Jonathan, Jorge Antônio, Joanna, Ingrid, Bruna Rafaela e Raíssa, especialmente pelos momentos de risadas e descontração das saídas de campo:

À minha orientadora, do trabalho de conclusão e de Iniciação Científica, Professora Nina Simone Moura Vilaverde pela oportunidade como bolsista que aprofundou meus conhecimentos em Geomorfologia e despertou meu orgulho como estudante de Geografia e também pela paciência durante o trabalho de conclusão.

À Professora Rita de Cássia de Marques Alves pela minha primeira oportunidade como bolsista de Iniciação Científica (e profissional) ainda no primeiro ano de curso.

Aos demais professores do curso pela dedicação e esforço em sala de aula, laboratórios e nas atividades de campo, em contínuo trabalho para propagar a importância e os saberes da Ciência Geográfica.

À equipe do Geoprocessamento da Secretaria Municipal de Urbanismo (SMURB), atualmente parte da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SMAMS) de Porto Alegre, por ajudar no aperfeiçoamento dos meus conhecimentos de geoprocessamento e sobre o Plano Diretor, bem como pelas confraternizações, durante estágio na mesma.

Aos amigos anteriores à universidade pelos momentos de alegria e alívio do estresse em razão da vida acadêmica.

E aos familiares que sempre me veem como exemplo de responsabilidade e tem boas expectativas profissionais em relação a mim.

RESUMO

As modificações do relevo pela ação humana se intensificaram a partir da Primeira Revolução Industrial. Para muitos geocientistas esse recorte do tempo histórico constitui uma divisão específica do tempo geológico: o Antropoceno. No contexto das grandes cidades brasileiras, essas intervenções sobre o relevo ficam bastante evidentes a partir de meados do século 20 com processo de expansão urbana desordenado e que esteve vinculado a industrialização tardia. Áreas de encostas e várzeas, naturalmente suscetíveis a riscos ambientais, foram amplamente ocupadas nesse processo, em especial por populações de mais baixa renda e baixo nível de educação formal. Um exemplo disso pode ser constatado nos morros do município de Porto Alegre-RS, onde situa-se a Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata. No presente estudo foram mapeadas as formas de relevo geradas pelo processo de urbanização no século 20, bem como pelos usos atuais do território, na Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata. As formas de relevo antropogênicas foram mapeadas considerando uma taxonomia de relevo na qual formas de relevo de diferentes tamanhos apresentam gêneses distintas. Por essa perspectiva, as formas de relevo antropogênicas são consideradas as menores e mais recentes, podendo ser diferenciadas entre criadas ou induzidas. Para a análise geográfica feita foram utilizados dados vetoriais e matriciais em Sistema de Informação Geográfica, associados a revisão bibliográfica. Como resultados, foram obtidos três padrões de relevo, sete formas de relevo e sete formas de relevo antropogênicas. Em bacia marcada por ocupações espontâneas e áreas de matas e campos com diferentes graus de intervenção humana, as formas de relevo antropogênicas se apresentaram fortemente associadas à via estruturante da bacia e às áreas de ocupação irregulares recentes. Foi observada ainda relação entre as formas de relevo antropogênicas e as áreas de risco geológico anteriormente mapeadas, indicado possível relação de causa e efeito. Por fim, foi destacada a relevância da incorporação de informações de geomorfologia ao planejamento urbano, ao considerar o mapeamento feito em futura revisão do Plano Diretor municipal no que tange a área de estudo. O mapeamento apresenta compatibilidade com ao menos duas das sete estratégias que compõe o Plano de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre, a Estratégia de Qualificação Ambiental e a Estratégica de Produção da Cidade, ao trazer as formas de relevo originadas pelas usos e ocupações atuais e passados deste território.

Palavras-chave: formas de relevo antropogênicas, Arroio Cascata, Porto Alegre, planejamento urbano.

ABSTRACT

The transformation of relief by human impacts have been intensified since the First Industrial Revolution. Groups of geoscientists consider this period of historical time as a specific geological time division: the Anthropocene. In the context of the largest Brazilian cities, these relief interventions become more evident since the mid-20th century with the urban sprawl process without urban planning that was associated with late industrialization. The hillslopes and wetlands, zones that are more susceptible to natural risks, were largely occupied during this process, especially by low-income and low level of formal education populations. An example of this fact can be observed in the hills of the city of Porto Alegre-RS, where is located the Cascata River Basin. In this study the relief shapes that were created by urban sprawl in the 20th century and by the recent land uses in the Cascata River Basin were mapped. The forms of anthropogenic relief were mapped using a relief taxonomy where relief shapes with different sizes have different origins. From this perspective, the forms of anthropogenic relief are considered the smallest and most recent relief shapes and they can be classified as “created” relief shapes and “induced” relief shapes. For the geographical analysis and mapping, vector and raster data were used in a Geographic Information System and it was associated with literature review. As results were obtained three relief patterns, seven relief types and seven forms of anthropogenic relief. In the Cascata River Basin the predominant land-use and land-cover were houses in “invaded lands” and forests/ grasslands with different degrees of human intervention, where the forms of anthropogenic relief were strongly linked to the main route in the basin and the most recent areas of houses in “invaded lands”. It was also observed a relationship between the forms of anthropogenic relief and areas that were previously mapped as zones of natural geological risks, fact that can indicate cause and effect relationship. In the end, it was highlighted the relevance of incorporating geomorphological data to urban planning, when considering this mapping in future revision of the Master Plan in what concerns the area of study. The mapping is compatible with at least two of the seven strategies that make up the Environmental Urban Development Plan of Porto Alegre, the Strategy for Environmental Qualification and the Strategy of Production of the City, by bringing the relief shapes originated by the present and past land-uses and land-cover of this territory.

Keywords: forms of anthropogenic relief, Cascata River, Porto Alegre, urban planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	12
Figura 2. Diagrama dos procedimentos técnicos-operacionais do mapeamento.....	25
Figura 3. Mapa de pontos de análise em campo.....	33
Figura 4. Morfoesculturas do estado do Rio Grande do Sul.....	35
Figura 5. Compartimentação geotectônica do Rio Grande do Sul.....	37
Figura 6. Mapa Hipsométrico da Bacia do Cascata.....	42
Figura 7. Mapa Clinográfico da Bacia do Cascata.....	42
Figura 8. Mapa de Curvatura Vertical da Bacia do Cascata.....	43
Figura 9. Mapa Geomorfológico da área de estudo.....	44
Figura 10. Legenda do mapa geomorfológico.....	45
Figura 11. Perfil longitudinal.....	46
Figura 12. Perfil transversal.....	46
Figura 13. Morro da Polícia visto do Arroio Cascata, em trecho sob a Av. Prof. Oscar Pereira.....	49
Figura 14. Morrote oeste visto a partir da Av. Prof. Oscar Pereira.....	50
Figura 15. Avenida Teresópolis: exutório da Bacia do Arroio Cascata.....	52
Figura 16. Canais retinizados e semi-retinizados em diferentes trechos do Arroio Cascata.....	54
Figura 17. Canal confinado em trecho laje sobre laje.....	55
Figura 18. Diferentes tipos de casas sobre aterros.....	56
Figura 19. Aterros não edificadas.....	57
Figura 20. Novas construções sobre áreas aterradas.....	58
Figura 21. Pedreira desativada.....	58
Figura 22. Degrau de corte mal executado associado a descarte de lixo.....	59
Figura 23. Degrau de corte aparado.....	60
Figura 24. Posto de gasolina sendo construído em área de patamar.....	61
Figura 25. Condomínio horizontal em patamares.....	61
Figura 26. Área de colina suavizada na Av. Prof. Oscar Pereira.....	62
Figura 27. Área de topo suavizado de morrote, onde situa-se a Escola Estadual de Ensino Fundamental Espírito Santo.....	62
Figura 28. Paróquia Nossa Senhora da Glória e Colégio Marista Assunção.....	64
Figura 29. Pequeno conjunto residencial, inaugurado em 2018, situado junto ao arroio.....	69

Figura 30. Mapa de Usos e Ocupação Atual.....	73
Figura 31. Mapa de Usos conforme o PDDUA.....	75
Figura 32. Mapa de áreas de risco geológico x formas antropogênicas da bacia.....	79
Figura 33. Área sujeita a deslizamento planar na Rua Capitão Padilha.....	80
Quadro 1. Dados vetoriais e matriciais utilizados nos mapeamentos.....	28
Quadro 2. Síntese das características das unidades litoestratigráficas da área de estudo.....	40
Quadro 3. Formas de relevo identificadas na área de estudo e suas áreas.....	48
Quadro 4. Formas de relevo antropogênicas identificadas na área de estudo e suas áreas.....	53
Quadro 5. População (2000 e 2010) por UDH.....	65
Quadro 6. IDHM do ano 2000 por Unidade de Desenvolvimento Humano (UDH).....	66
Quadro 7. IDHM do ano 2010 por Unidade de Desenvolvimento Humano (UDH).....	66
Quadro 8. Classes de uso identificadas na área de estudo e suas áreas.....	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Área de estudo.....	11
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Objetivos.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO.....	16
2.1 Como mapear as formas de relevo?.....	16
2.2 Geomorfologia e Planejamento no contexto da Ciência Geográfica.....	20
3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS.....	24
3.1 Base de dados.....	25
3.2 Procedimentos dos mapeamentos.....	29
3.3 Atividade de campo.....	32
4 RESULTADOS.....	34
4.1 Bacia do Arroio Cascata no quadro geológico-geomorfológico regional.....	34
4.1.1 Morfogênese da área de estudo.....	36
4.1.1 Caracterização litoestratigráfica e dos solos.....	39
4.2 Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata, Porto Alegre-RS..	41
4.2.1 Padrões de formas semelhantes.....	47
4.2.2 Tipos de formas de relevo.....	48
4.2.3 Formas em processos atuais antropogênicos.....	53
4.3 Caracterização socioambiental da área de estudo.....	63
4.3.1 Histórico de ocupação.....	63
4.3.2 Síntese e análise de dados socioeconômicos.....	65
4.3.3 Análise do uso e ocupação do solo atual.....	67
4.3.4 Análise dos usos previstos Plano Diretor de Porto Alegre.....	74
4.4 O Mapeamento Geomorfológico no âmbito do PDDUA de Porto Alegre.....	76
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS.....	84

1. INTRODUÇÃO

A transformação do relevo pela ação humana já era evidente desde a sedentarização e o desenvolvimento da agricultura. Contudo, foi com a Revolução Industrial no final do século XVIII e, sobretudo, com a industrialização pós Segunda Guerra Mundial que a criação de formas de relevo pelo homem se acentua (MACHADO, 2013).

As modificações do ambiente geológico-geomorfológico atingem tal dimensão que alguns geocientistas propõe uma nova divisão no tempo geológico, em substituição ao Quaternário, baseada nessas modificações: o Antropoceno (ou Tecnógeno). Ter-Stepanian (1988) afirma que o Holoceno, época iniciada a pouco mais de 11.000 anos, marca o começo do Tecnógeno, recorte do tempo geológico que terá fim quando as condições ambientais modificadas (tecnogênicas) forem predominantes. Já Crutzen & Stoermer (2000) propõem a Primeira Revolução Industrial como princípio do Antropoceno.

No Brasil pós Segunda Guerra Mundial, especialmente entre as décadas de 1950 e 1970, observa-se uma violenta urbanização das cidades associada a um processo de industrialização tardia. Contudo, esse processo de urbanização, resultante de um êxodo rural sem precedentes na história (FUJIMOTO, 2001), não foi acompanhado por um planejamento urbano. É nesse período que há o crescimento das periferias urbanas. Ocupações espontâneas se multiplicaram em áreas de encostas de morros e várzeas, reunindo famílias de menor renda vindas do interior e/ou expulsas das áreas centrais das cidades pelos crescentes preços das moradias e por projetos higienistas.

Muitas dessas áreas de encostas e várzeas, naturalmente suscetíveis a eventos de movimentação de massa e inundações, já tinham tido sua paisagem natural transformada por usos pretéritos, a exemplo de pastagens. Todavia é nesse período de expansão urbana que as alterações são intensificadas. As matas são derrubadas; rios tornam-se “invisíveis” ou “valões”, meros canais de escoamento de esgoto doméstico; e o relevo é aplainado para atender as novas demandas, como a construção de casas e arruamentos. Um exemplo disso são áreas de morros ocupadas no município de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul.

Com esse processo de tecnogênese, como define Peloggia (2005), há transformações na morfodinâmica local pela aceleração de processos erosivos ou sua estabilização. Aumenta-se

assim o risco de eventos de movimentos de massa, enchentes e inundações com feridos e vítimas fatais.

A falta de registros legais, e mesmo a existência de lacunas na memória coletiva, sobre a modificação do relevo também podem se configurar como agravantes, vista a maior possibilidade de áreas de relevo criado ou alterado serem ocupadas sem as corretas obras de infraestrutura.

Com isso, identificar e analisar as formas de relevo resultantes da ação antrópica, as formas de relevo antropogênicas, se configura como um trabalho de base que mostra as transformações do relevo em dado local em função dos usos da terra ao longo do tempo histórico.

Para tal, a cartografia geomorfológica apresenta-se como uma ferramenta essencial ao fornecer um produto que demonstra a interação desses elementos: o mapa geomorfológico. O mapa geomorfológico é “ao mesmo tempo o instrumento que direciona a pesquisa e quando concluído deve representar uma síntese como produto desta” (ROSS, 2005).

Tendo como problemática as modificações causadas pelo homem no relevo, no contexto de urbanização nas cidades brasileiras, a questão básica proposta é: *como o mapeamento das formas de relevo antropogênicas pode contribuir para o planejamento urbano da área mapeada?*

No presente trabalho adotou-se a metodologia de Fujimoto (2001) para o mapeamento das formas de relevo antropogênicas Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata, município de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Essa metodologia utiliza as propostas de análise geomorfológica de Ab'Saber (1969) e de cartografia geomorfológica de Ross (1992), levando em conta ainda aspectos legais do uso e ocupação do solo.

1.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata é uma sub-bacia hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, por sua vez, afluente do Guaíba (Figura 1).

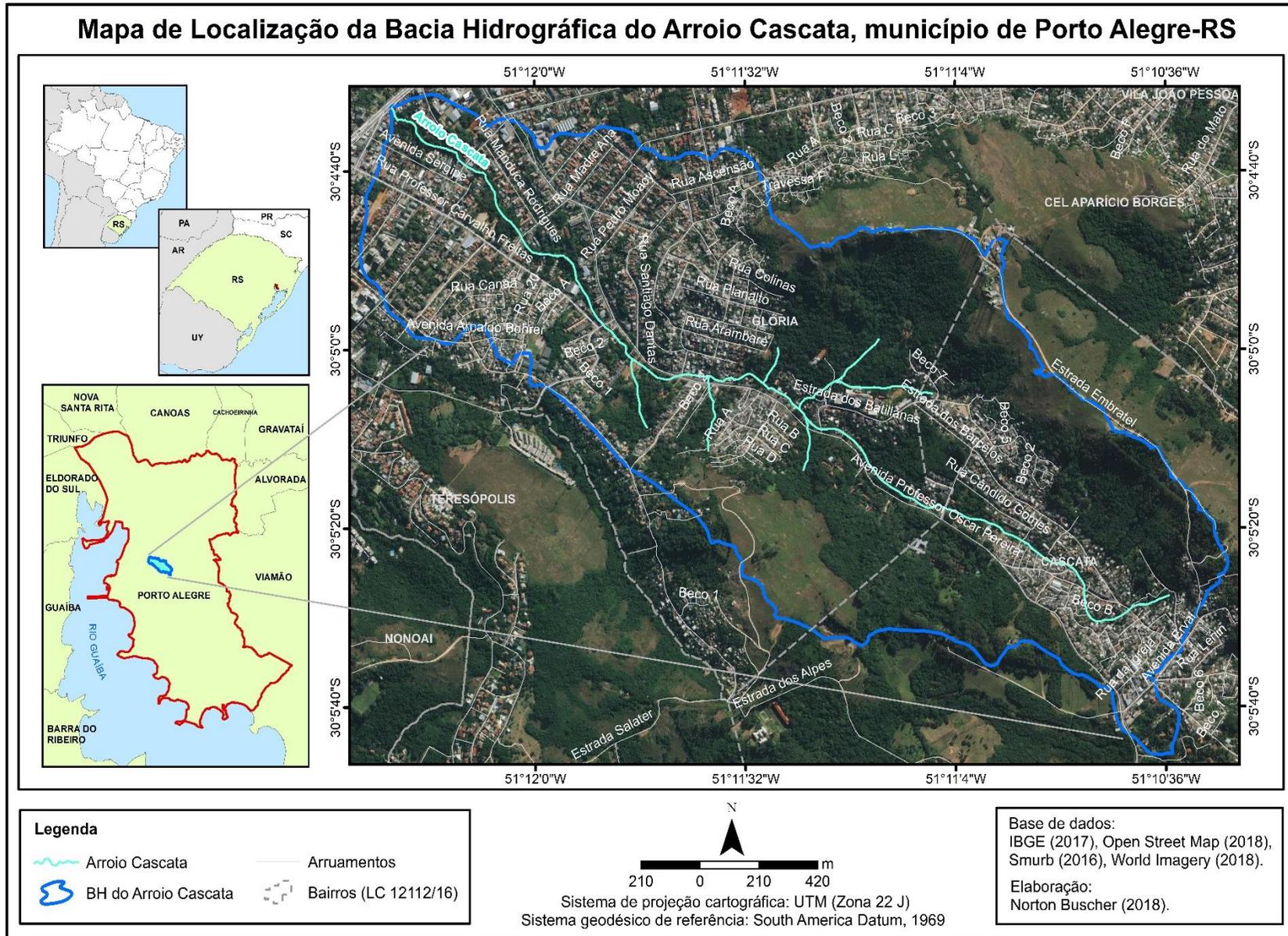


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Com cerca de 3,2 km² e alongamento SE-NO, situa-se no centro geográfico do município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A área engloba porções dos bairros Cascata, Glória e Teresópolis (Figura 1).

A bacia abrange padrão de relevo de morros graníticos com topos convexos (MOURA & DIAS, 2012), onde as altitudes médias variam entre 130 e 230 metros e as declividades médias entre 20 e 40%. O ponto mais elevado é o Morro da Polícia, com 290 m (leste).

A área apresenta majoritariamente uso residencial, com destaque para as ocupações espontâneas, nas porções de encosta e fundo de vale; matas nas encostas mais íngremes e campos naturais nas áreas de topos de morro.

Brito et al. (2017) apontam que o município de Porto Alegre possui o maior número de registros de ocorrência de movimentos de massa do estado do Rio Grande do Sul com 247 registros entre os anos de 2007 e 2013. Em virtude das suas características físicas e de ocupação desordenada, o bairro Cascata é o que apresenta o maior número de ocorrências (24 até 2012), sendo a área da Bacia do Arroio Cascata a área mais afetada.

1.2 Justificativa

A escolha da área de estudo se dá pela proximidade do autor do trabalho com a mesma. Este é morador do bairro Cascata e vizinho à Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata, na qual transita diariamente em decorrência da via estruturante do bairro, a Avenida Professor Oscar Pereira, ser paralela ao curso principal da bacia. Devido a esse trajeto foi possível observar a paisagem da bacia e deduzir parcialmente sua dinâmica.

A escolha do tema, por sua vez, ocorreu pela afinidade do autor com a Geomorfologia Urbana e a Geomorfologia Ambiental, tendo realizado Bolsa de Iniciação Científica no Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em projeto de mapeamento geomorfológico regional.

Sob uma perspectiva técnica, a escolha do tema do trabalho é relevante pois pode trazer contribuições para o debate de um tema não muito abordado através de uma abordagem geográfica. A escolha da área de estudo também pode ser destacada, visto que não há estudos

similares para esse recorte geográfico, somente mapeamentos geomorfológicos em escala de menor detalhe, como o Moura & Dias (2012).

Há ainda o fato de metodologia adotada demandar uma coleção de mapas originais para a elaboração do mapa final, dentre eles o mapa hipsométrico, o mapa clinográfico e o mapa de uso e ocupação do solo atual. Esses mapas se constituem com materiais de base analítica e de síntese e, com isso, podem ser utilizados para outros estudos na área.

Além de produtos cartográficos, o mapeamento proposto visa colaborar para possíveis atualizações do Plano Diretor Municipal no que tange a área de estudo. O Plano Diretor de um município é seu instrumento básico de definição de desenvolvimento, fornecendo as diretrizes que norteiam a organização (PMPA, 2010). Para tal deve-se haver revisão regular do mesmo, em concordância com as características de desenvolvimento e transformação do município. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) de Porto Alegre ¹ de 2010 traz atualizações para o Plano Diretor de Desenvolvimento (PDD) de Porto Alegre de 1999². Dentre essas atualizações estão a Estratégia de Qualificação Ambiental e a Estratégia de Produção da Cidade, as quais o mapeamento proposto pode contribuir positivamente uma vez que considera conjuntamente aspectos do ambientais e urbanos.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho compreende mapear e analisar as formas de relevo antropogênicas existentes na bacia hidrográfica do Arroio Cascata, município de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, Brasil, visando fornecer material de base para o planejamento urbano-ambiental da área.

Visando atingir o objetivo geral deste trabalho foram definidos quatro objetivos específicos. São eles:

- Elaborar mapa de uso e ocupação do solo atual (2018);

¹ Lei Complementar (LC) 434/99 atualizada e compilada até a LC 667/11, incluindo a LC 646/10.

² Lei Complementar (LC) nº 434 de dezembro de 1999.

- Elaborar mapa geomorfológico de detalhe, contendo as formas de relevo antropogênicas;
- Analisar as formas de relevo antropogênicas da área de estudo com base na metodologia de Fujimoto (2001), uma análise integrada urbano-ambiental;
- Enquadrar o mapeamento com as propostas do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre, com ênfase na Estratégia de Qualificação Ambiental e na Estratégia de Produção da Cidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO

O referencial teórico e metodológico foi dividido entre as referências para o mapeamento geomorfológico e como integrar as questões de Planejamento Urbano e Geomorfologia sob ótica da Geografia.

2.1 Como mapear as formas de relevo?

Para alcançar os objetivos propostos, é necessário analisar o relevo de forma a conciliar diferentes níveis espaciais e temporais. A análise geomorfológica em três níveis trazida por Ab' Saber (1969), amplamente reconhecida por geomorfólogos brasileiros, fornece as diretrizes gerais para avaliar o relevo. Os níveis propostos são:

- *1º Compartimentação do relevo*: caracterização do relevo através da compartimentação topográfica (morfometria).
- *2º Estrutura superficial da paisagem*: análise da articulação da geologia/geomorfologia visando identificar a idade geomorfológica (morfogênese).
- *3º Fisiologia da paisagem*: análise dos processos atuais, com ênfase nos climas, solos e ação antrópica (morfodinâmica).

Valoriza-se pela análise de Ab' Saber (1969) a observação da paisagem e descrição dos fatos em detalhes, com seu devido registro cartográfico e fotográfico. Contudo, essa análise apresenta em nível conceitual a necessidade de um conceito abrangente de formas de relevo (Fujimoto, 2001).

É na proposta taxonômica de Ross (1992) que se obtém essa saída teórica, visto sua compilação teórica-metodológica com o intuito do registro cartográfico. Calcado nos conceitos de Walter Penck (1953), o autor trata o relevo como o resultado do antagonismo das forças endógenas e exógenas. As forças endógenas podem ser ativas, estando ligadas a dinâmica da crosta terrestre (abalos sísmicos, vulcanismo, etc.), ou passivas, correspondendo a resistência a erosão oferecida pelas litologias e pelos arranjos estruturais. Já as forças exógenas são representadas pela ação climática local, regional e zonal, atual e pretérita.

De acordo com Ross (1992), em dado recorte espacial, formas de relevo de diferentes tamanhos possuem origem genética distinta, denudacional ou agradacional, estando interligadas pelos componentes da natureza (águas, solos, subsolo, clima, cobertura vegetal e mesmo a ação humana).

Essa hierarquia do relevo é composta de seis táxons (níveis), articulando os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura de Guerasimov (1946) e Mecerjacov (1968) com as unidades taxonômicas de Demek (1967), definidas como superfícies homogêneas, formas de relevo e tipos de relevo.

A unidade de relevo do primeiro táxon apresenta a maior dimensão espacial e a maior idade geológica. Inversamente uma unidade do sexto táxon apresenta a menor área, sendo também a mais recente. Pela ordenação proposta o maior táxon pode conter diversos exemplares do táxon logo abaixo e, assim, sucessivamente.

Os seis táxons propostos por Ross (1992) são:

- *1º táxon - Unidade Morfoestrutural:* unidade na qual predomina o fator estrutural (geológico). Exemplos: crátons, cinturões orogênicos e bacias sedimentares.
- *2º táxon - Unidades Morfoescultural:* unidade gerada “*pela ação climática ao longo do tempo geológico no seio da morfoestrutura*” (ROSS, 1992, p.19). Exemplos: planaltos, depressões e planícies.
- *3º táxon - Unidade Morfológica ou de Padrão de Formas Semelhantes:* conjunto de unidades que apresentam distinções de aparência entre si em função de rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo, bem como do formato dos topos, vertentes e vales. Exemplos: padrão em morros e padrão em colinas.
- *4º táxon - Tipos de Formas de Relevo:* correspondem as formas de relevo individualizadas dentro do 3º táxon, podendo ser de agradação ou denudação. Exemplos: planícies fluviais e marinhas (agradação) e colinas e morros testemunhos (denudação).
- *5º táxon - Tipos de Vertentes:* avaliação individual do topo, da porção intermediária e da base das vertentes quanto à forma. Essas porções podem ser côncavas, convexas ou retilíneas, com diversas combinações possíveis.
- *6º táxon - Formas de Processo Atuais:* são as formas menores produzidas por processos erosivos ou depósitos atuais, como ravinas e voçorocas, provocados por processos

naturais ou induzidos pelo homem; e as formas antrópicas (antropogênicas), por exemplo, cortes e aterros.

A representação dos táxons está intimamente relacionada a escala de trabalho que é adotada (ROSS, 2005). Escalas de menor detalhamento (escalas médias ou pequenas), como a escala 1:250.000, própria para um mapeamento geomorfológico regional, não são adequadas para representação do 4º, 5º e 6º táxons. Para representá-los nessa escala, por exemplo, seriam necessárias generalizações e informações seriam perdidas. Um mapeamento geomorfológico que se propõe a identificar formas do 6º táxon deve ser feito em escalas de detalhe (escalas grades): 1:15.000, 1:10.000, 1:5:000, 1:1.000 ou maiores.

De acordo com Peloggia (1998; 2005), apropriando-se do trabalho de Ross (1992), as formas de relevo antropogênicas podem se apresentar *“desde a posição inferior (sexto táxon), correspondente a formas menores, até formas de vertentes (quinto táxon) e mesmo, de acordo com a perspectiva, como tipos de formas de relevo individualizadas (correspondentes ao quarto táxon)”* (p. 27). Contudo, considerando a área de estudo é possível assumir que as formas de relevo antropogênicas correspondem aí ao sexto táxon.

Superadas as questões de hierarquia e escala de análise das formas de relevo antropogênicas, a proposta de Ross (1992) enfrenta limitações quanto à diferenciação das unidades do 6º táxon. Esse fato fica mais evidenciado em áreas urbanas, onde formas de gêneses distintas ocorrem em recortes espaciais pequenos, alternando-se e sobrepondo-se.

Como parte de um estudo integrado urbano e ambiental, Fujimoto (2001) elaborou mapa geomorfológico de detalhe (escala 1:12.000) em sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, entre os municípios de Porto Alegre e Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil, apresentando classificação das formas de relevo antropogênicas. Fujimoto classifica essas formas em dois grandes grupos tendo por base os trabalhos de Ross (1992), Douglas (1983) e Lima (1990) (*apud* FUJIMOTO, 2001). De forma sintética, Douglas (1983) diz que as formas são oriundas de acumulação de detritos urbanos ou de remoção/ extração, enquanto para Lima (1990) as formas são agrupadas em elementos lineares (arruamentos, rupturas) e areolares (patamares, aterros), estando os elementos lineares associados aos areolares.

Pela classificação de Fujimoto (2001) se tem:

- *Formas criadas*: provenientes da retirada e/ou acumulação de material (solos e rochas removidos, restos da construção civil e lixo doméstico), como *cicatrices de mineração, áreas planas, degraus de corte, rampas de aterro e arruamentos*; e
- *Formas induzidas*: provenientes da saída ou deposição de material (erosão intensificada), como *sulcos, cones de dejeção e planícies tecnogênicas*;

Diferencia-se que as formas do primeiro grupo visam primariamente a planificação de áreas visando posterior edificação, especialmente em áreas de maior declividade e próximas a cursos d'água, enquanto as do segundo são geradas de maneira não intencional.

Peloggia (1998; 2005), sob uma perspectiva de geologia de engenharia, aprofunda a questão de gênese dessas formas. As formas tecnogênicas, como chama, podem ser tratadas como testemunhos do Tecnógeno e são oriundas da tecnogênese, processo de transformação do ambiente geológico, que abrange o relevo, o solo e o subsolo. A tecnogênese apresenta três níveis de modificação, os quais têm como referência a proposta de análise geomorfológica de Ab' Saber (1969).

- Primeiro nível: alterações fisiográficas. Nele ocorre a criação direta de novas formas de relevo, a exemplo da formação de áreas planas por terraplanagem, ou a modificação das formas de relevo pré-existentes, como a suavização de formas;
- Segundo nível: alterações na fisiologia da paisagem. Aí se tem a intensificação de processos erosivos e de sedimentação.
- Terceiro nível: criação de depósitos correlativos, comparáveis aos quaternários (depósitos tecnogênicos). Desse último caso, Peloggia (1998) aponta os aterros e os depósitos de assoreamento, por exemplo.

Abordagem semelhante é trazida por Goudie (1994). Segundo ele, processos antropogênicos diretos abrangem aterramentos, escavações e/ou interferência hidrológica, como a retificação de canais fluviais. Já processos antropogênicos indiretos envolvem aceleração de erosão e sedimentação, subsidências e movimentos de massa.

Apesar de toda reflexão teórica-metodológica, uma dúvida ainda persiste: *afinal, o que deve obrigatoriamente ser representado em um mapa geomorfológico?* Ross (2005) aponta que é unanimidade entre os geomorfólogos que um mapa geomorfológico deve conter os tipos de forma de relevo, gênese e idade (p.55). Contudo, a padronização cartográfica desses elementos,

bem como a quantidade de informações complementares apresentadas no mapa, ainda não são unanimidade e variam em razão da linha de pesquisa do geocientista.

Os dias de hoje se configuram como um cenário de consolidação das geotecnologias no processo de mapeamento geomorfológico (MARTH, 2017). Nesse cenário os modelos digitais de elevação (MDE), modelos digitais que representam as altitudes da superfície topográfica agregada aos elementos geográficos existentes sobre ela, como cobertura vegetal e edificações (IBGE, 2010), são com frequência utilizados como base para compartimentação topográfica e, por tabela, obtenção de dados morfométricos.

Para obtenção desses dados, e ainda a integração de outras camadas de informações, os Sistema de Informações Geográficas (SIGs) são aplicados. Os SIGs são softwares de manipulação de informações geográficas, cuja estrutura é composta pela entrada e armazenamento de dados espaciais (vetor e raster), permitindo análise espacial e saída cartográfica (MARTH, 2017). Essa possibilidade de uma análise conjunta de dados espaciais pelos SIGs, os torna importantes ferramentas de planejamento territorial. Todavia, os SIGs não eliminam a necessidade de verificações de campo e de revisão bibliográfica.

2.2 Geomorfologia e Planejamento no contexto da Ciência Geográfica

Ao tratar da abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento, a qual utiliza a Geomorfologia, Ross (1995) destaca que para conhecer verdadeiramente um território é preciso uma análise integrada.

Desde modo o entendimento holístico no plano socioeconômico e ambiental de uma sociedade que vive em um determinado lugar, necessita um profundo conhecimento de sua história, seus padrões culturais, dinâmica socioeconômica atual, de seus vínculos com o 'mundo externo', dos seus recursos naturais/ambientais disponíveis e do modo como trata esses recursos (o ambiente) (ROSS, 1995).

Essa perspectiva apresentada por Ross (1995) representa a abordagem sistêmica na Geografia. A abordagem sistêmica se consolidou como umas das principais condutoras nas

pesquisas da Ciência Geográfica, sobretudo em Geografia Física, na segunda metade do século XX. Ela é uma forma de compreensão do espaço geográfico como um todo, já que homem e natureza são considerados como partes de um complexo sistema de interação, no qual não se deve compreender os elementos isoladamente (MARTH, 2017).

Em um sistema fenômenos se processam em razão de fluxos de matéria e energia, gerando relações de dependência mútua entre os fenômenos (Tricart, 1977 *apud* MARTH, 2017). Havendo aí ajustamento das variáveis internas às condições externas, tem-se o equilíbrio (Christofoletti, 1999 *apud* MARTH, 2017).

A Geomorfologia, a “*ciência das formas de relevo e dos processos que as criam*” (JORGE, 2011. p. 131), assim como a Geografia, privilegia uma análise integrada dos atributos do meio físico e socioeconômico, em escalas multitemporais e multiespaciais, identificando fragilidades e potencialidades das áreas de estudo. Muito disso se relaciona com a corrente naturalista da qual se originaram ambas ciências.

Por ter essa característica integradora, a Geomorfologia adquire relevância para as questões de planejamento territorial, sobretudo urbano, visto que é o sobre o relevo que o homem desenvolve suas atividades e na cidade que se concentra o homem (PELOGGIA, 2005).

Em questão de planejamento urbano, a ocupação de áreas de risco geológico (ou geomorfológico) deve se sobrepor às demais situações urbanas. As áreas de encostas e baixadas são suscetíveis a maior erosão, movimentos de massa e enchentes, sendo processos integrantes da dinâmica natural. Todavia, a ocupação humana dessas áreas pode acelerar, intensificar ou induzir esses processos (SANTOS FILHO, 2011), causando perdas materiais e fatalidades.

Essas áreas, no caso das grandes cidades brasileiras, foram ocupadas sobretudo no período de forte expansão das fronteiras urbanas associado a uma industrialização tardia, na segunda metade do século XX. Todavia não foi esse seu principal condicionante e sim um grande fluxo migratório campo-cidade que tinha como destino final as metrópoles nacionais, como ressalta Fujimoto (2001).

A urbanização brasileira pode ser dividida em duas fases. A primeira entre o início dos anos 1950 e meados anos 1980, marcada por uma “modernização conservadora” na qual o Estado promove a indústria e obras de infraestrutura como meios de integração do território nacional, gerando o crescimento moderado de cidades médias em função da cidade central (metrópole) e de cidades ligadas a frentes agrícolas pioneiras (FUJIMOTO, 2001). Tem-se o

crescimento da classe operária e trabalhadores temporários ou desempregados expulsos do campo pelo forte processo de mecanização, que converteu o país num país de exportação agrícola. Já a segunda fase, a partir dos anos 1980, é marcada pela pelo processo de metropolização e multiplicação de centros urbanos em meio técnico-científico-informacional (SANTOS, 1994 *apud* FUJIMOTO, 2001), marcado pela ampliação das telecomunicações e da informática, da globalização (da informação, do consumo, das empresas) e aprofundamento das desigualdades.

Com esse inchaço urbano, a periferia da cidade cresceu de forma desordenada. Áreas naturalmente impróprias para edificações, como as vertentes dos morros e várzeas, foram ocupadas majoritariamente por uma população de baixa renda e nível de educação formal, com reduzida participação junto ao mercado formal da habitação (SANTOS FILHO, 2011). Esse fato é observado com bastante clareza nas metrópoles nacionais. É aí que o equilíbrio ambiental foi mais afetado, visível pelas baixas condições de saneamento das periferias, havendo em muitos casos a degradação dos mecanismos de autorregulação dos sistemas naturais e intensificação dos riscos (FUJIMOTO, 2001).

De acordo com Santos Filho (2011), considera-se áreas de risco (geológico ou geomorfológico), o risco relacionado à forma de ocupação humana sobre o terreno, em áreas de encosta ou em baixadas, em situações que se tem cortes verticais e subverticais, com alturas variadas, executadas em rocha ou solo; o lançamento de água servida sobre os taludes, favorecendo os processos erosivos de encosta; a retirada da vegetação nativa, havendo ou não sua substituição por espécies inadequadas; e o acúmulo de lixo e entulho ao longo das encostas e locais de circulação de águas superficiais.

Peloggia (1998) aponta, exemplificando com o caso do município de São Paulo, que não só áreas de baixa renda estão em áreas de risco: áreas de média e alta renda encontram-se no município sobre áreas de colinas e terraços tecnogênicos construídas sobre outrora planícies fluviais quaternárias.

Dadas as condições de desequilíbrio ambiental atingidas nas cidades brasileiras, causada pela falta de organização e sentida pela perda de qualidade de vida, fica evidente a necessidade do planejamento urbano: o ordenamento territorial visando conciliar usos, saneamento e integração intra e intermunicipal.

O Plano Diretor, uma lei da esfera municipal, constitui-se como instrumento básico de planejamento territorial. Estabelecido como instrumento pelo artigo 182 da Constituição Federal de 1988, foi regulamentado apenas em 2001 pelo Estatuto da Cidade³. O Plano Diretor é obrigatório para municípios com mais de 20 mil habitantes e deve ser construído com participação da sociedade civil, considerando a função social da cidade e a propriedade urbana, bem como o equilíbrio ambiental. Apesar de sua obrigatoriedade ser recente, Fujimoto (2001) traz que, já na década de 1970, a maioria das médias e grandes brasileiras já tinham planos diretores, ainda que raramente implantado na totalidade de seus territórios.

Por mais que o movimento atual do poder público seja de remover populações de áreas de risco, nem sempre há essa possibilidade devido ao direito à propriedade e à localidade - ligação do homem com o ambiente urbano em que nasceu, cresceu e envelheceu (GRAEFF, 2011).

A remoção de comunidades estabelecidas nessas áreas pode ser impedida ou parcialmente autorizada, em princípio, porque o Estatuto da Cidade assegura a permanência em situações específicas (SANTOS FILHO, 2011). Regulamentando o artigo 183 da Constituição de 1988, o Estatuto da Cidade fixou que todo aquele que possuir, como sua, área urbana de até 250 m², por 5 anos, ininterruptamente e sem oposição, utilizando-a para sua moradia ou de sua família, adquirirá o seu domínio, desde que não seja proprietário de outro imóvel urbano ou rural.

Nesses casos de impossibilidade de remoção, Santos Filho (2011) diz que “devem-se prever todos os processos e materiais técnicos que possam contribuir para o retardo das alterações das configurações geomorfológicas derivadas da ocupação” (p. 236). São exemplos de ações: implantação de contenção, utilização de geotêxteis, calhas de drenagem, revegetação e reflorestamento, consolidação de fundações e muros de arrimo.

Com isso, ao pensar o ambiente urbano, geomorfólogos, sejam geógrafos ou geólogos, devem trabalhar de forma conjunta a engenheiros, arquitetos, agrônomos (entre outros profissionais), aos gestores de cidades e as comunidades locais para encontrarem as melhores saídas aos problemas que permeiam o tema relevo no contexto de planejamento urbano.

³ Lei Federal n° 10.257 de 10 de julho de 2001.

3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS

A metodologia adotada é quali-quantitativa, com uso de método indutivo. A mesma compreende duas etapas básicas para elaboração do mapa geomorfológico contendo as formas de relevo antropogênicas: *organização de banco de dados e elaboração dos mapas*.

A etapa de *organização de banco de dados* passou pela procura e organização de textos (monografias, dissertações, teses, artigos e relatórios técnicos) e tabelas, além de dados geográficos (espaciais) sobre a área de estudo. Dada a dificuldade de encontrar dados para esse recorte, adotou-se outros três recortes: o maior abrangendo o município de Porto Alegre, o intermediário abrangendo os bairros Glória e Cascata e menor englobando agrupamentos de Setores Censitário pela metodologia do Atlas de Desenvolvimento Humano. Foram utilizados para pesquisa sites de universidades, da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA), de revistas e periódicos, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Brasil (CPRM), do Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil e o software Google Earth.

Esses dados foram selecionados e agrupados, usando o trabalho de Fujimoto (2001) como guia, para caracterização do meio físico, caracterização socioeconômica e para os procedimentos de mapeamento.

Já para a etapa *elaboração dos mapas* foram utilizados os dados espaciais em um Sistema de Informação Geográficos. Os dados selecionados foram aplicados a interpretação e legenda, bem como para etapa posterior de análise dos resultados. Foram gerados sete mapas: mapa de localização, mapa hipsométrico, mapa clinográfico, mapa de uso e ocupação atual, mapa de usos de acordo com o PDDUA de Porto Alegre, mapa de áreas de risco de movimentos de massa e o mapa geomorfológico final.

O diagrama a seguir (Figura 2) sintetiza os procedimentos realizados.

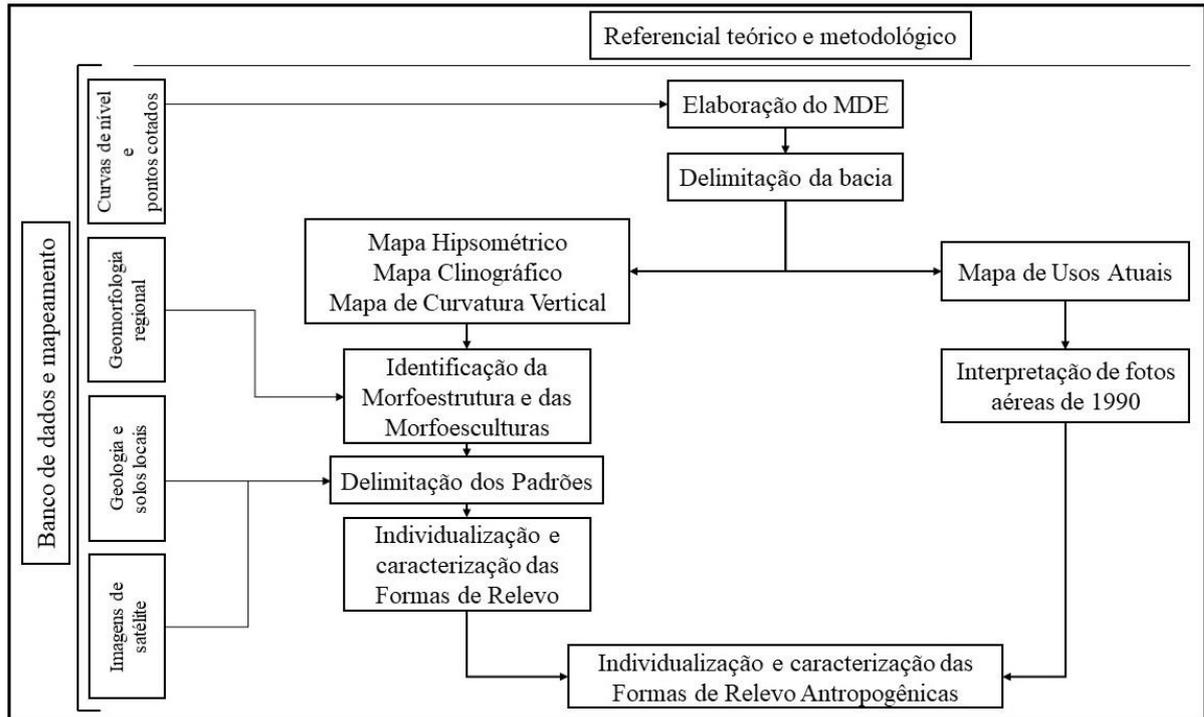


Figura 2. Diagrama dos procedimentos técnicos-operacionais do mapeamento.

3.1 Base de dados

Dados de geologia, geomorfologia e solos

A caracterização do contexto geológico-geomorfológico da Bacia do Arroio Cascata partiu do agrupamento de informações textuais e dados espaciais (ver *Dados espaciais*) de nível regional e local (recorte de Porto Alegre).

Os trabalhos de referência para geomorfologia foram Fujimoto (2001), Suertegaray & Fujimoto (2004), Moura & Dias (2012) e Marth (2017).

Fujimoto (2001) elaborou mapa urbano-ambiental de bacia hidrográfica entre os municípios de Viamão e Porto Alegre por meio de análise geográfica sistêmica. Para fazer o mapa urbano-ambiental final, destaca a elaboração de mapa geomorfológico de detalhe seguindo a proposta taxonômica de Ross (1992), e dois mapas de uso e ocupação do solo (1971 e 1990).

Suertegaray & Fujimoto (2004), tendo por base a Teoria da Tectônica de Placas, apresentam uma proposta mais atualizada para individualização das morfoesculturas do estado do Rio Grande do Sul valorizando os processos morfogenéticos.

Já Moura & Dias (2012) trazem mapeamento geomorfológico de Porto Alegre até o 3º táxon, o Padrão de Formas de Relevô. O mapa foi feito com fotografias aéreas em um SIG, apresentando mais detalhes do que seus predecessores, geralmente de escala regional.

Marth (2017) individualiza e caracteriza as Morfoesculturas e Padrões de Forma de Relevô da morfoestrutura do Escudo Sul-Rio-grandense com auxílio de geotecnologias. Em sua metodologia elabora e aplica um MDE utilizando o software ArcGIS como base do seu mapa geomorfológico.

Por fim, a caracterização mais aprofundada das unidades litoestratigráficas e solos, pela escala local dos mesmos, teve como base o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (Hasenack *et al.*, 2008). Já as áreas de risco de movimentos de massa foram obtidas em amplo trabalho da CPRM (2013), no qual foram mapeadas as áreas de alto risco de enchentes, inundações e movimentos de massa no município de Porto Alegre.

Dados socioeconômicos

Para análise socioeconômica da área de estudo foram utilizados dos Censos Demográficos de 2000 e 2010. Em razão da incompatibilidade da área com as unidades censitárias e a existência de diferenças entre essas unidades entre os Censos de 2000 e 2010, sendo o processo de reamostragem complexo (UMBELINO & BARBIERI, 2008), optou-se pelo uso das Unidades de Desenvolvimento Humano (UDH) do Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil.

Uma UDH do Atlas é uma área de ponderação, uma unidade geográfica que agrupa setores censitários contíguos buscando gerar áreas homogêneas para demonstrar as desigualdades das Regiões Metropolitanas brasileiras. Os dados foram personalizados por Regiões Metropolitanas e foram agregados de forma independentes para os anos de 2000 e 2010 (ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL, 2018). Por sua vez, os setores censitários são áreas contíguas, delimitadas para atender aos parâmetros da coleta e para controle cadastral, com configuração assemelhada às rotas dos leituristas de relógio de água, de

energia elétrica, de endereçamento postal ou de coleta de lixo. O setor é a menor unidade de recenseamento do IBGE.

Mesmo o recorte das UDH não é totalmente compatível com área de estudo, mas ainda sim são mais precisos do que o recorte por bairros. Assim foram selecionadas as UDH que melhor cobrissem a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata, sendo elas: Alpes, Ascensão, Canudos/ Batillanas, Glória, Santiago Dantas, Vila Gabriel Obino e Vila Graciliano Ramos.

Em razão da precisão limitada das informações, dada a sucessão de recortes espaciais, também preferiu-se utilizar o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). O índice atende ao objetivo proposto de síntese de dados socioeconômicas.

O IDHM é uma adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) Global para recortes metropolitanos, municipais e intramunicipais brasileiros. O índice, um contraponto aos índices de crescimento econômico como o Produto Interno Bruto (PIB), engloba três dimensões: longevidade, educação e renda (ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL, 2018). O IDHM Longevidade considera a expectativa de vida ao nascer da população; o IDHM Educação engloba a escolaridade da população adulta e o fluxo escolar da população jovem; e o IDHM Renda considera a renda *per capita*. O IDHM final é calculado por média geométrica, variando entre 0 e 1. Valores entre 0 e 0,499 são considerados IDHM Muito Baixo; entre 0,500 e 0,599 Baixo; entre 0,600 e 0,699, Médio; entre 0,700 e 0,799, Alto; e entre 0,800 e 1, Muito Alto.

Dada a disponibilidade de dados no Atlas, optou-se por tratar individualmente a variável população total, para as mesmas sete UDM, nos anos 2000 e 2010.

Dados de usos e ocupação do solo

A caracterização dos usos da Bacia do Arroio Cascata, por sua vez, abrangeu informações textuais e dados espaciais (ver *Dados espaciais*) de nível local (recorte de Porto Alegre).

O histórico de ocupação e a previsão de atividades do Plano Diretor foram obtidos da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA). Estudos diagnósticos de usos em escala municipal, de períodos distintos, foram utilizados para interpretação das classes de uso atuais. São eles: o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK *et al*, 2008) e os volumes

diagnósticos do Plano Municipal de Habitação de Interesse Social (PMPA, 2009) e do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMPA, 2015)

Dados espaciais

Este grupo de dados compreende dados vetoriais e matriciais (raster) utilizados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para elaboração dos mapas propostos nesse trabalho. Os dados são apresentados no Quadro 1.

Foram necessários ajustes, para a interpretação do mapa geomorfológico das formas de relevo antropogênicas, entre os dados de geomorfologia e geologia e solos, devido as escalas de elaboração dos mesmos. Visando esse ajuste foram utilizadas as curvas de nível e as imagens de satélite de 2018.

O SIG utilizado para unir os dados espaciais e para elaboração dos mapas foi o software ArcGIS, versão 10.3, da empresa norte-americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

Quadro 1. Dados vetoriais e matriciais utilizados nos mapeamentos.

Dados de origem		Fonte
Vetor	Curvas de nível (equidistância 1 m) e pontos cotados em escala 1:1.000	Hasenack <i>et al.</i> (2010)
	Geologia e solos em escala 1:15.000	Hasenack <i>et al.</i> (2008)
	Geomorfologia regional em escalas 1:50.000 e 1:250.000	Moura & Dias (2012); Marth (2017)
	Malha viária em escala variável	Open Street Map (2018)
	Limites dos bairros de Porto Alegre em escala 1.000	SMURB (2016)
	Limites municipais e estaduais em escala 1:250.000	IBGE (2017)
	PDDUA de Porto Alegre em escala 1.000	SMURB (2018)
	Risco de movimentos de massa com escala variável de 1:1.000 a 1.3.000	CPRM (2013)
Raster	Fotografias aéreas (361059, 361060, 361061, 362032, 362033) em escala 1:8.000 obtidas com a METROPLAN	FAB (1990)
	Mosaico de imagens de satélites de alta resolução, de 18 de setembro de 2018, disponível no software Google Earth	Google (2018)

	Mosaico de imagens de satélites com resolução espacial de 0,5m de 22 de junho de 2014, disponível na ferramenta World Imagery (galeria de <i>basemaps</i> do ArcGIS).	ESRI (2018)
--	---	-------------

3.2 Procedimentos dos mapeamentos

A base para elaboração do mapa geomorfológico no ArcGIS 10.3 foi a criação de um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir das curvas de nível e pontos cotados. O método de interpolação utilizado para criação do MDE foi uma rede triangular irregular (Triangular Irregular Network - TIN) e uma função parabólica para ajustar as quebras de relevo e eliminar os efeitos de ponte e de túnel (BRITO *et al.*, 2013), através da ferramenta *Create TIN* do ArcGIS 10.3. Visando uma melhor resolução espacial, foi utilizada a ferramenta *Resample*. Com isso, a resolução espacial do MDE passou de 18 m para 8 m.

Com o MDE pronto foi delimitada a bacia hidrográfica e junto com o MDE foram utilizadas as curvas de nível de equidistância de 1m para traçar os divisores de água. Ao passo que o arroio e seus afluentes foram vetorizados com as curvas de nível sobrepostas ao mosaico de 2014, parte dos *basemaps* do ArcGIS.

Na sequência da delimitação da bacia foi feito o Mapa Hipsométrico. Para elaboração do mapa se analisou o histograma da imagem. Seis classes foram definidas manualmente levando em conta quebras naturais e uma distribuição mais homogênea dentro da amplitude total do histograma. Os intervalos foram: de 33 a 55 m, de 55 a 90 m, de 90 a 130 m, de 130 a 200 m, de 200 a 225 m e de 225 a 290 m.

Por meio da ferramenta *Slope* (configurações de default) derivou-se do MDE também o Mapa Clinográfico. A escolha das seis classes de declividade em percentagem respeitou a metodologia de Marth (2017), sendo os intervalos: menor que 3%, entre 3 e 6%, entre 6 e 12%, entre 12 e 20%, entre 20 e 30% e maior que 30%.

Para definir a curvatura do relevo foi feito o Mapa de Curvatura Vertical. A curvatura vertical refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil. Teoricamente, vertentes retilíneas têm valor de curvatura nulo, vertentes côncavas têm valores

positivos e convexas têm curvatura negativa. Segundo Valeriano (2003), contudo, raramente se tem curvatura nula, cabendo nessa interpretação uma faixa de tolerância.

Tendo por base o MDE, foi utilizada a ferramenta *Curvature* (configurações de default) para obtenção do perfil vertical. O arquivo gerado apresentou variação entre - 2,155 e 2,176 (% 100 m). Com base na análise do histograma, valores de curvatura nula foram definidos entre - 0,080 e 0,009 (% 100 m), sendo, com isso, o perfil convexo correspondente ao intervalo de - 2,155 a -0,079 (% 100 m) e o perfil côncavo ao intervalo de 0,010 a 2,176 (% 100 m).

De acordo com Valeriano (2003), a variável curvatura vertical está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade, e, associada à exposição de vertentes, desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico.

Os mapas Hipsométrico, Clinográfico e de Curvatura do relevo foram representados em escala 1:8.000 e reamostrados, apenas para representação dos dados, pelo método de Convolução Cúbica, método de reamostragem por vizinhança de 16 pixels indicado para dados contínuos.

Com as informações de altimetria, declividade e curvatura vertical, foi iniciado o processo de mapeamento geomorfológico. A definição do 1º e do 2º segundo nível taxonômico da área de estudo foi possível pela sobreposição das camadas de Geomorfologia em níveis regional e local (Porto Alegre) a área da bacia. Com isso, grosso modo, obteve-se uma Morfoestrutura e duas Morfoesculturas.

Para o refinamento da camada de Padrões de Forma de Relevo existentes foi realizada a compartimentação topográfica da bacia, a definição de formas de relevo a partir de quebras no relevo. As bases para a compartimentação foram as cotas máximas das duas morfoesculturas identificadas por Marth (2017). Após foi analisada espacialmente a continuidade das classes de declividade e posteriormente de curvatura vertical. Com isso, obteve-se três grandes padrões de relevo.

No processo de definição das Formas de Relevo inicialmente se aplicou automação e álgebra de mapas a interpretação. Com a ferramenta *Raster Calculator* (configurações de default), foram testadas combinações de altimetria e declividade com base nas classes já definidas. As combinações mais promissoras foram convertidas para vetor. Essa camada base foi sobreposta as imagens de satélite de 2014 e as curvas de nível, englobando-se polígonos

com características semelhantes e contíguos que eventualmente estivessem separados. Posteriormente esse vetor foi reanalisado em conjunto aos vetores de Geologia e Solos, verificando similaridades litoestratigráficas e quebras em decorrência de lineamentos geológicos. Com isso, obteve-se a camada de Tipo de Formas de Relevo.

Para a identificação das formas de relevo antropogênicas, no entanto, foi necessário antes realizar o mapeamento de uso e ocupação atual e ainda interpretar fotografias áreas antigas. Em razão da alta resolução espacial e boa resolução temporal dos mosaicos de imagens de diferentes satélites (mais de um mosaico por ano e com resolução espacial de 1m ou mais), bem como pela gratuidade, o software Google Earth (Pro) foi utilizado para o mapeamento dos usos atuais do solo. A vetorização base foi feita no próprio software e, por isso, algumas medidas foram tomadas: 1) na opção de imagens históricas do software foi fixada a data 18 de setembro de 2018; 2) para “altitude do ponto de visão” foi fixado o valor de 745 m; 3) para o sistema de coordenadas foi escolhido o “Universal Transversa de Mercator (UTM)” e como unidade de medida “metros/ quilômetros”.

A diferenciação de classes de usos seguiu metodologia mista entre Hasenack *et al.* (2008) e Fujimoto (2001). Contudo, as classes “serviços” e “comércio” foram diferenciadas por experiência de campo prévia na área de estudo.

Acabada a delimitação de todos os polígonos no Google Earth, os mesmos foram agrupados em quatro pastas e cada qual foi convertida em um arquivo vetorial *kml*. No ArcGIS esses quatro arquivos foram convertidos para formato *shapefile* e tiveram suas geometrias ajustadas quando necessário. Em seguida os quatro arquivos foram unidos em um único e sua tabela de atributos organizada. Devido a uma pequena diferença de fechamento com a malha viária, um ajuste no sistema de coordenadas foi feito com a ferramenta *Spacial Adjustment* (configurações de default), concluindo o Mapa de Usos e Ocupação Atual.

As fotografias aéreas de 1990 foram interpretadas, para fins de geomorfologia, após o mapeamento dos usos com as imagens de satélite. As cinco fotos foram georreferenciadas no ArcGIS por meio do arquivo da malha viária, pegando como pontos de referência esquinas de ruas (aproximadamente 10 pontos por foto). Depois do georreferenciamento, foram identificadas e vetorizadas as áreas não edificadas nas fotos e que se encontram edificadas em 2018. Essa etapa visou, com auxílio das curvas de nível, verificar alterações significativas no relevo e que poderiam se caracterizar como formas antropogênicas.

As formas de relevo antropogênicas foram inicialmente obtidas por interpretações do mosaico do Google Earth (com os parâmetros descritos anteriormente). Nessa etapa foi essencial o conhecimento prévio da bacia combinado a revisão bibliográfica: as áreas ocupadas em vertentes e topos de morros e áreas próximas aos cursos d'água com piores condições de infraestrutura e áreas de grandes empreendimentos na bacia foram vetorizadas e exportadas para o ArcGIS, sendo convertidas em um único arquivo.

O arquivo proveniente do Google Earth sofreu poucas adições ao ser analisado e editado com as áreas construídas desde 1990. As áreas delimitadas, no passo que se seguiu, foram combinadas às curvas de nível, malha viária e a declividade. Nesse cenário adotou-se os seguintes critérios:

- Áreas com curvas de nível angulosas e esparsas e declividades inferiores a 12%;
- Áreas sobre arruamentos com curvas de nível concêntricas e esparsas e declividades inferiores a 12%;
- Áreas com curvas de nível mais lineares e próximas e declividades maiores que 20%;
- Áreas com curvas de nível angulosas e com rápida variação do espaçamento acompanhando baixa declividade relativa;

Com esses critérios restaram cerca de 50% das áreas iniciais. Todavia, após correções de campo, esse percentual caiu para 40%. Essas áreas, por fim, compreenderam as Formas de Relevo Antropogênicas.

Quanto aos mapas de Localização, Usos do PDDUA e Áreas de Risco de Movimentos de Massa houve apenas as etapas de layout de mapa, a organização das camadas de informação. Para os arquivos do PDDUA e das Áreas de Risco de Movimentos de Massa foi feito o recorte das informações da escala municipal para a bacia por meio da ferramenta *Clip*.

3.3 Atividade de campo

A atividade de campo realizada no dia 26 de novembro de 2018 serviu para correções pontuais dos mapeamentos feitos, bem como para o registro fotográfico das formas e formas antropogênicas de relevo. A Figura 3 apresenta o mapa com a distribuição dos pontos visitados.

A distribuição dos pontos respeitou questões de acesso e segurança, visto que porções da área de estudo são territórios de disputa do tráfico.

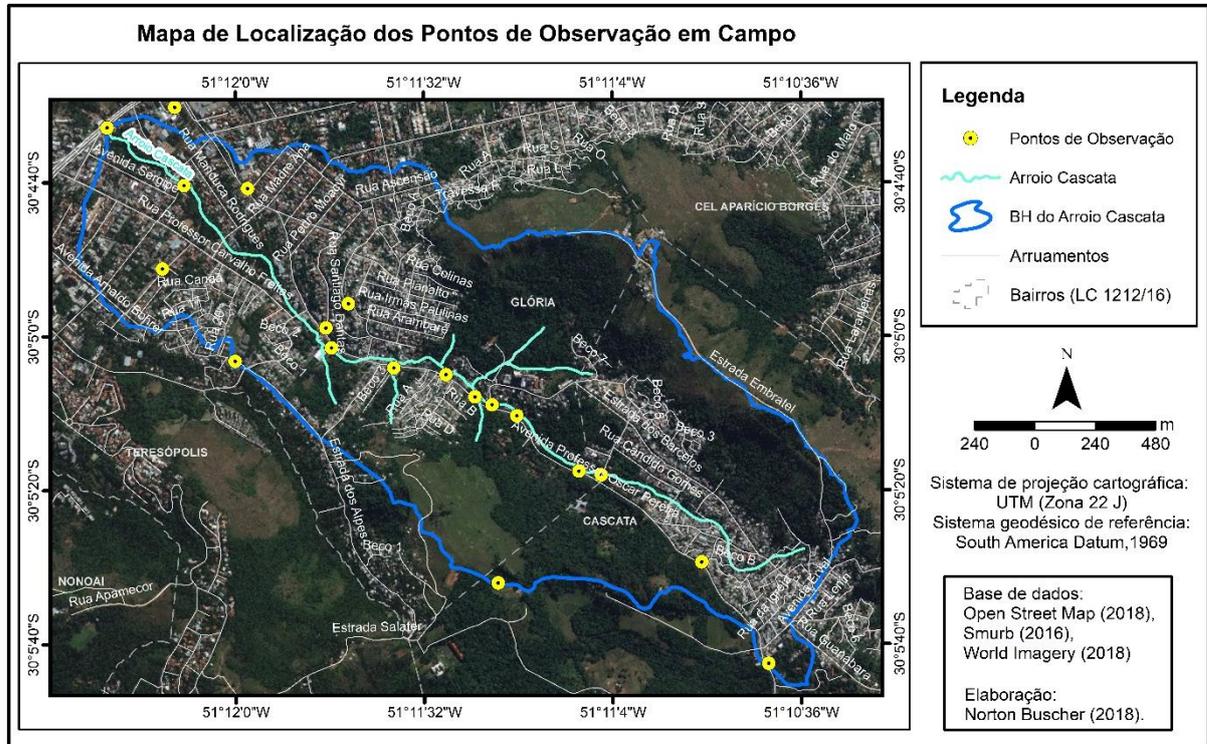


Figura 3. Mapa de pontos de análise em campo.

4. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa foram divididos entre a caracterização geológica-geomorfológica regional e a área de estudo nesse contexto, a caracterização socioambiental da bacia, o mapa geomorfológico proposto e as possíveis aplicações dos resultados ao planejamento urbano da área.

4.1 Bacia do Arroio Cascata no quadro geológico-geomorfológico regional

Suertegaray & Fujimoto (2004) trazem proposta de divisão das morfoesculturas do estado do Rio Grande do Sul com base em sua morfogênese, reunindo classificações regionais anteriores pela perspectiva da Teoria da Tectônica de Placas.

Para definição das morfoesculturas, primeiramente definem as morfoestruturas do território gaúcho, seguindo a metodologia de classificação do relevo de Ross (1992). Com isso, as seguintes morfoestruturas são apresentadas: 1) o Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano; 2) a Bacia Sedimentar do Paraná; e 3) a Bacia Sedimentar de Pelotas. Ao Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano a morfoescultura correspondente é o Planalto Uruguaio Sul Rio-rio-grandense; à Bacia do Paraná correspondem a Depressão Periférica, o Planalto Meridional e a Cuesta do Haedo; e a Bacia de Pelotas tem como morfoescultura a Planície e Terras Baixas Costeiras.

O município de Porto Alegre, por essa divisão, está no contato das morfoesculturas do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e da Planície e Terras Baixas Costeira, recebendo ainda aporte sedimentar da Depressão Periférica (Figura 4). A Bacia do Arroio Cascata situa-se na porção do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense.

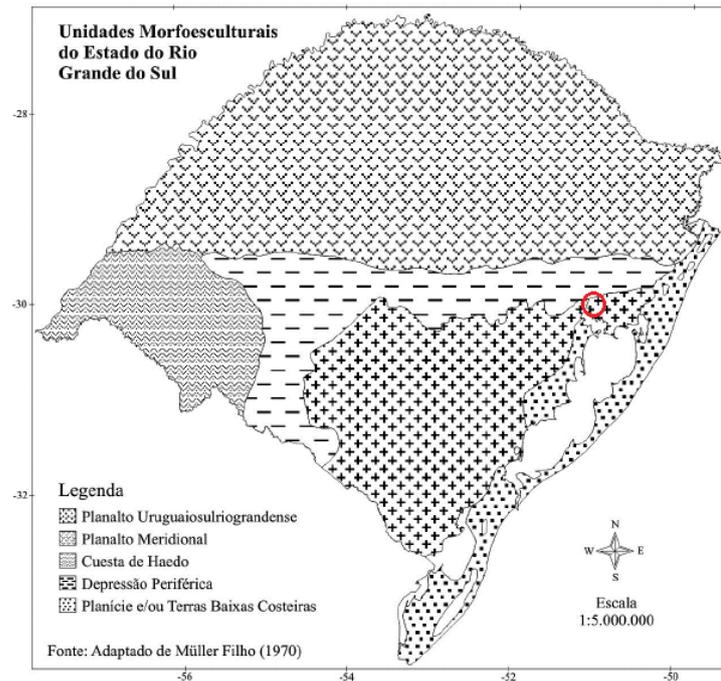


Figura 4. Morfoesculturas do estado do Rio Grande do Sul. Em vermelho a área de Porto Alegre. Fonte: Adaptado de Suertegaray e Fujimoto (2004).

Marth (2017) em seu mapeamento geomorfológico com auxílio de geotecnologias trata as morfoestruturas do Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano como uma unidade, o Escudo Sul-rio-grandense, mesmo reconhecendo suas diferenças litoestratigráficas e morfométricas. Contudo, seu trabalho apresenta uma nova divisão em nível de morfoescultura para essa unidade. Marth (2017) decompõe o Planalto em nove unidades morfoesculturais: 1) Planalto Rebaixado Marginal Leste; 2) Planalto Residual Sudeste; 3) Planalto Residual Nordeste; 4) Planalto Residual Oeste; 5) Planalto Rebaixado Marginal Oeste; 6) Planalto Rebaixado Marginal Norte; 7) Depressão Suspensa em Anfiteatro; 8) Patamares planos e dissecados da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã (BHC); e 9) Relevo Residual Isolado.

Ao adotar a classificação morfoescultural de Marth (2017), tem-se que a porção de Planalto do município de Porto Alegre é dividida entre o Planalto Marginal Nordeste e o Planalto Rebaixado Marginal Leste. A Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata situa-se no contato dessas duas unidades.

Considerando ambos os trabalhos, adotou-se as unidades morfoestrutural e morfoescultural de maior detalhamento. Com isso, a Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata pertence a morfoestrutura do Cinturão Dom Feliciano (1º táxon de ROSS, 1992) e as

morfoesculturas do Planalto Marginal Nordeste e do Planalto Rebaixado Marginal Leste (2º táxon de ROSS, 1992).

4.1.1 Morfogênese da área de estudo

O Cinturão Dom Feliciano foi originado pela colisão de dois antigos continentes, um sul-americano e outro africano, sendo constituído de rochas ígneas e metamórficas de idade Pré-cambriana (SUERTEGARAY & FUJIMOTO, 2004).

Essa unidade estende-se do sudoeste do estado do Rio Grande do Sul em direção a nordeste, onde apresenta porção isolada pelo sistema Jacuí-Guaíba, nos municípios de Porto Alegre e Viamão.

Suertegaray e Fujimoto (2004), sintetizam a formação do Cinturão Dom Feliciano tendo por base os trabalhos de Fragoso-Cesar, Wernick e Soliani Jr. (1982 a,b) e Menegat (1998). A formação do Cinturão Dom Feliciano faz parte de ciclo orogênico neoproterozóico denominado Brasileiro (900 a 535 Ma) (MARTH, 2017).

Acerca de 800 Ma (milhões de anos) houve a abertura de um paleoceanos, o oceano de Adamastor, pela deriva continental de dois protocontinentes e a consequente formação de assoalho oceânico ao longo de cadeia mesoceânica. Os vestígios desses continentes são hoje o Cráton Rio de La Plata, na América do Sul, e o Cráton Kalahari, na África. Com o fechamento desse oceano por subducção da litosfera oceânica (750 Ma), formou-se um arco de intensa atividade vulcânica na margem oriental da América do Sul.

A subducção gerou a fragmentação da borda continental e, como consequência, o isolamento do paleoceanos Charrua. Aproximadamente 730 Ma, a expansão do assoalho desse oceano levou a colisão dos protocontinentes citados e a formação de extensa cadeia de montanhas: o Cinturão Dom Feliciano. Essa cadeia de montanhas apresenta como um de seus limites a zona de falha conhecida como Sutura de Porto Alegre.

A subducção total do assoalho do Charrua sob o protocontinente sul-americano, com fechamento do oceano, levou a formação de novo arco magmático a oeste do primeiro (700 Ma). A colisão final entre os continentes fica aí marcada pela Sutura São Gabriel, individualizando o Cráton Rio de La Plata (oeste) e o Cinturão Dom Feliciano (leste), como mostra a Figura 5.

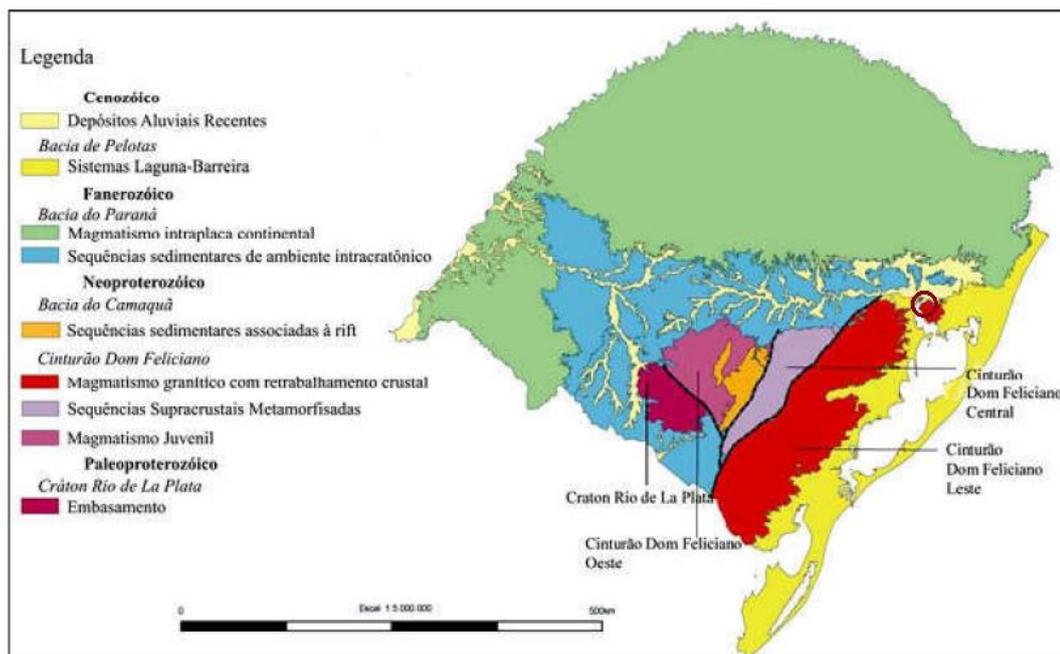


Figura 5. Compartimentação geotectônica do Rio Grande do Sul.
Fonte: Adaptado de Roisenberg *et al.* (2007) *apud* Marth, 2017.

Em decorrência da nova colisão o Cinturão Dom Feliciano apresentou inicialmente a formação de falhas de rasgamento (transcorrência), como a Zona de Cisalhamento de Porto Alegre (650 Ma). Seguiu-se lento soerguimento crustal, novos falhamentos e reativações por esforço extensionais, observados em superfície pela formação de vales em *rift* (550 Ma) (SUERTEGARAY & FUJIMOTO, 2004). As formas de relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata estão fortemente relacionadas a esse estágio, que marca a etapa final de evolução do Cinturão Dom Feliciano.

Suertegaray & Fujimoto (2004) destacam a importância do Cinturão Dom Feliciano e do Cráton Rio de La Plata como fonte de material de sedimentação paleozoica para a Bacia Sedimentar do Paraná e posteriormente para Bacia Sedimentar de Pelotas a partir de 132 Ma. É no Terciário Superior e no Quaternário que ocorrem denudação e agradação mais intensas da morfoestrutura (MARTH, 2017).

O processo de rompimento do paleocontinente de Gondwana e consequente abertura do Oceano Atlântico, iniciado com a reativação Wealdeniana no Jurássico, acarretou em gradual passagem de climas predominantemente quentes e áridos para climas mais quentes e úmidos, havendo períodos de alternância climática.

Marth (2017) aponta que no Cretáceo Superior, a área do Escudo era uma superfície relativamente plana com direcionamento geral da drenagem para o interior do continente. No Oligoceno, essa paisagem é esculpida em razão das variações dos climas: ocorre predominância do intemperismo químico e pedogênese alternados pelo entalhamento dos vales fluviais por aprofundamento linear dos canais e degradação lateral das vertentes.

Com a reativação de zonas de falhas paralelas a linha de costa gaúcha, ocorreu o basculamento e abatimento do bloco oriental e o redirecionamento das drenagens ao Atlântico (SUERTEGARAY & FUJIMOTO, 2004). Um novo nível de base regional foi criado e, com isso, o entalhamento fluvial foi intensificado durante o Mioceno, mesmo com evento de transgressão marinha (MARTH, 2017).

A passagem para o Pleistoceno é marcada por pelo menos quatro fases glácio-eustáticas, alternada com fases interglaciais (MARTH, 2017). Nas fases glaciais há o predomínio do intemperismo físico e erosão mecânica em condições áridas e semi-áridas. Sob essas condições, os depósitos sedimentares são formados por queda gravitacional e eventos torrenciais. Nas fases interglaciais há o retorno do intemperismo químico e reorganização da drenagem. Os depósitos constituídos nos períodos glaciais podem ser tanto esculpidos com totalmente descontinuados nas fases interglaciais.

No Holoceno houve a instalação de climas mais úmidos e quentes, com predomínio do intemperismo químico e intensificação da pedogênese. De acordo com Pillar et al. (2009) *apud* Marth (2017), essas condições possibilitaram que formações florestais se instalem sobre o Escudo. Entre 10.000 e 4.000 anos a vegetação florestal, antes restrita à costa pelas condições de umidade, começa a avançar pelo continente a partir dos vales fluviais. É aproximadamente 1.100 anos que as florestas ganham os espaços ocupados pelos campos nas encostas e nos topos dos planaltos, configurando o cenário que hoje pode ser observado.

Por meio desse processo de esculturação que predomina a influência da abertura do Atlântico e das variações glácio-eustáticas, a borda leste do Cinturão Dom Feliciano foi individualizada em morfoesculturas.

O Planalto Residual Nordeste engloba porções do norte e nordeste do Cinturão Dom Feliciano onde há grande diversidade litológica e estrutural. De acordo com Marth (2017), a área apresenta amplitude altimétrica de 575 m, registrado elevação máxima de 601 m no município de São Jerônimo e mínima de 26 m em Mariana Pimentel. Proporcionalmente é a

morfoescultura do Escudo Sul-Rio-grandense (Cráton e Cinturão) com a maior representatividade da classe declividade maior que 30%, apresentando preponderância da classe 6 a 12%. A drenagem é predominante de direção norte e sul, tendo vales com perfil em V nas cabeceiras e em U em trechos intermediários e baixos. Os relevos são em geral suavizados, apesar da presença de morros mais dissecados e de relevos tabulares na Bacia do Camaquã.

Quanto a morfoescultura do Planalto Rebaixado Marginal Leste, trata-se de área rebaixada que circunda toda a borda leste do Cinturão Dom Feliciano em contato com a Planície e Terras Baixas Costeiras. Esse planalto tem amplitude altimétrica de 246 m, com menor elevação junto a margem do Lago Guaíba, aproximadamente 1 m em Porto Alegre, e máxima de 247 m no município de Barra do Ribeiro. A unidade apresenta cerca de 90% de sua área com declividades abaixo de 12% (MARTH, 2017). A rede de drenagem é direcionada a Planície e Terras Baixas Costeiras (predomínio oeste-leste) e mais densa na porção sul, onde os interflúvios são mais amplos. Para as áreas mais a nordeste, como Porto Alegre, predominam relevo colinosos com topos convexos.

4.1.2 Caracterização litoestratigráfica e dos solos

O Cinturão Dom Feliciano pode ser segmentado em três grandes associações de rochas magmáticas de derivação mantélica e/ou crustal: o Terreno São Gabriel, o Terreno Tijucas e o Batólito Pelotas (MARTH, 2017). A porção leste do Cinturão Dom Feliciano, sob a qual se situa Porto Alegre, corresponde ao Batólito Pelotas.

O Batólito Pelotas é um complexo plutônico, multintrusivo e polifásico que resultou de 60 Ma de magmatismo (PHILIPP, 2003 *apud* MARTH, 2017) durante o ciclo Brasileiro. O batólito, por sua vez, apresenta seis suítes granitóides, grupos de rochas ígneas com características similares e que foram gerados no mesmo evento geológico, além da exposição de rochas metamórfica e ígneas básicas (MARTH, 2017).

Para a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata dois dos seis suítes de Philipp (1998) *apud* Marth (2017) foram identificados: o Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos, de idade paleoproterozóica, e o Suíte Intrusiva Viamão, de idade neoproterozóica.

Por meio do *Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre* (HASENACK *et al.*, 2008), pode-se verificar a correspondência desses suítes as unidades litoestratigráficas da bacia. Ao Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos corresponde as Gnaisses de Porto Alegre, enquanto ao

Suíte Intrusivo de Viamão correspondem o Granito Ponta Grossa, o Granito Santana e Diques Riolíticos. A bacia também apresenta depósitos aluviais neoproterozóicos e do Cenozóico. O Quadro 2 sintetiza as principais características dessas unidades litoestratigráficas.

Quadro 2. Síntese das características das unidades litoestratigráficas da área de estudo

Unidade litoestratigráfica	Petrografia	Idade geológica	Cor, Textura e Estrutura	Composição predominante	Ocorrência	Grau de alteração
Gnaisses Porto Alegre	Gnaisses tonalíticos e granodioríticos; Gnaisses dioríticos	Paleoproterozóico e Neoproterozóico	Cor cinza escura a preta e um bandamento pouco contínuo a contínuo de minerais félsicos e máficos	Nível félsico: quartzo e feldspatos (até 35%); Nível máfico: rico em biotita; pequenas proporções de anfibólio	Pouco numerosos e suavizados; muito urbanizados	Muito elevado (10 a 15m de perfil de alteração)
Granito Ponta Grossa	Leucogranitos; sienogranitos	Neoproterozóico	Cor rosa a avermelhada, textura média a grossa e estrutura maciça	K-feldspato (rosa), plagioclásio (branco) e quartzo (incolor), com pouca biotita máfica; Minerais acessórios: alanita e titanita (sobretudo)	Lajeados abundantes, com diâmetros de 4 a 8m	Médio
Granito Santana	Ortlásio-microclínico granito	Neoproterozóico	Cor rosa-claro, avermelhada a castanho-avermelhada, textura grossa a média e estrutura em foliação primária	Trama dominada por K-feldspato (rosa), sobretudo pertita, e quartzo (incolor), com raros plagioclásio e biotita; Minerais acessórios: titanita, zircão, apatita, alanita e opacos	Lajeados abundantes em topos e matacões em encostas	Baixo (mas o excesso de falhamentos o tomam frágil)
Diques Riolíticos	Riolitos	Neoproterozóico	Cor rosa e estrutura porfírica	Presença de 2 a 7% de fenocristais de quartzo (incolor) e k-feldspatos (sanidina rosa), com rara biotita	Enxames de diques nas adjacências do Granito Santana	Baixo
Depósitos Aluviais	Diamictitos; conglomerados; arenitos; lamitos	Neoproterozóico e Cenozóico	Cor variada; textura imatura	Elevado conteúdo de feldspatos	Leques junto a rocha matriz	Alto

Fonte: o autor (2018) a partir de Hasenack *et al* (2008).

Na área de estudo, o Granito Santana ocorre nas áreas de maior elevação, como o Morro da Polícia e o Morro Teresópolis, estando os Diques Riolíticos associados a esse granito. As Gnaisses e o Granito Ponta Grossa aparecem nos relevos colinosos na porção baixa da bacia. Já os depósitos aluviais situam-se nas áreas mais planas do curso principal.

Associados a essas unidades litoestratigráficas estão três grandes unidades de solos, de acordo com Hasenack *et al.* (2008). São elas: o Grupo indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos (PV1), a Associação de Argissolos Vermelhos ou Argissolos Vermelho-Amarelos com Cambissolos Hápicos (PV2) e a Associação de Cambissolos Hápicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos (CX).

A unidade PV1 ocorre em áreas de suavemente ondulado a plano, correspondendo, na área de estudo, à porção final do curso inferior do Arroio Cascata. Já a unidade CX abrange

topos e encostas de morros, em relevo fortemente ondulado, e é predominante na área analisada. Por fim, a unidade PV2 abrange relevos de transição entre a PV1 e a CX.

Tanto o Argissolo Vermelho quanto o Vermelho-Amarelo são solos profundos, com espessuras de 1,5 m ou maior até a rocha altera (saprólito de granito), apresentando um perfil com sequência de horizontes A-Bt-C. As diferenças mais marcantes entre os Argissolos Vermelhos e os Argissolos Vermelhos-Amarelados residem na cor do horizonte Bt e na maior capacidade de drenagem do primeiro (moderadamente drenado).

Os Cambissolos Háplicos são solos rasos (profundidade inferior a 1m) até profundos; apresentam horizontes A-Bi-C, nas respectivas colorações: acinzentado, avermelhado ou amarelado e variegado (mosqueado). É uma variedade de solo bem drenado.

Também pouco profundos, os Neossolos Litólicos têm apenas os horizontes A-C-R ou A-R, onde a camada R (rocha) situa-se a partir de 50 centímetros (cm) ou menos da superfície; a coloração de A é bruno-vermelho-escuro e de C variegada. Os Neossolos Regolíticos, de sequência A-C-R, apresentam profundidade maior do que 50 cm da superfície, sendo o horizonte A bruno e o C variegado - com transição irregular (com “línguas”) entre eles. Ambos são bem drenados (excetuando-se em áreas de depressões).

Todos os solos apresentados são distróficos, ou seja, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes para plantas (HASENACK *et al.*, 2008).

A unidade PV1 está apta a ocupação humana, enquanto as unidades PV2 e CX são aptas com restrições, necessitando de verificações de campo, ou apresentam baixa aptidão a ocupação humana (HASENACK *et al.*, 2008).

4.2 Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata, Porto Alegre - RS

O mapa geomorfológico tem como base os mapas hipsométrico e clinográfico apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

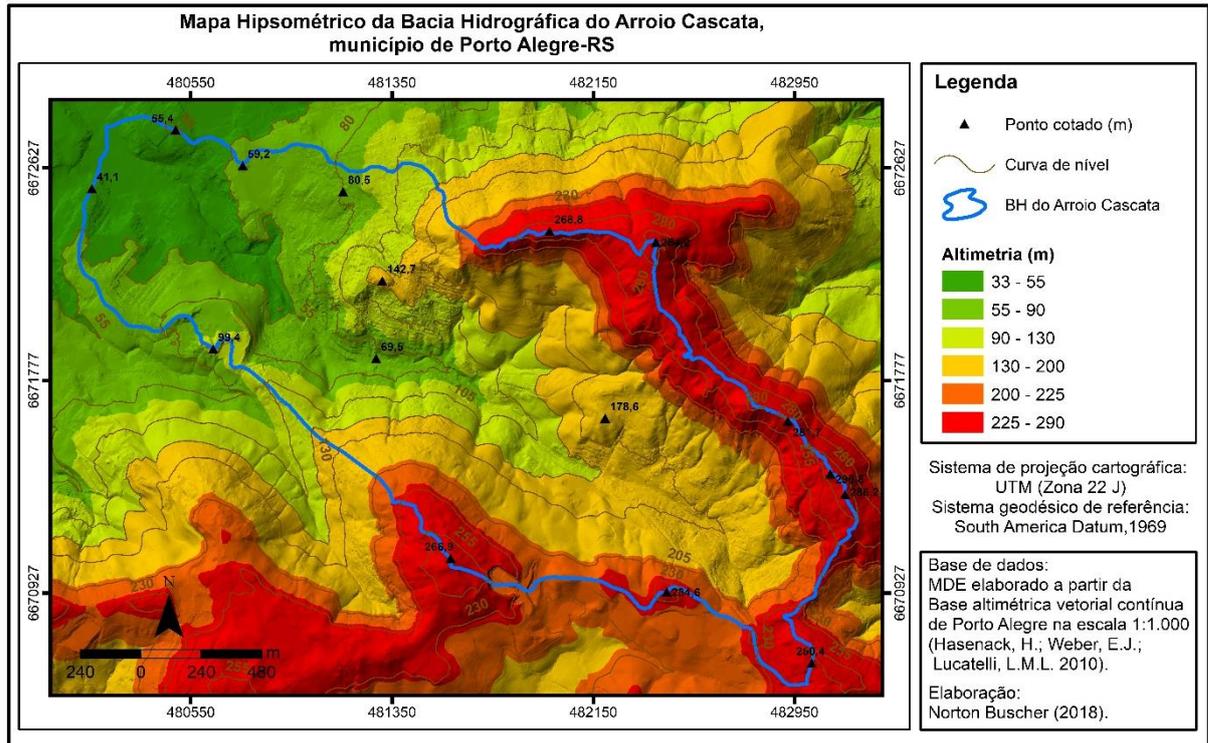


Figura 6. Mapa Hipsométrico da Bacia do Cascata.

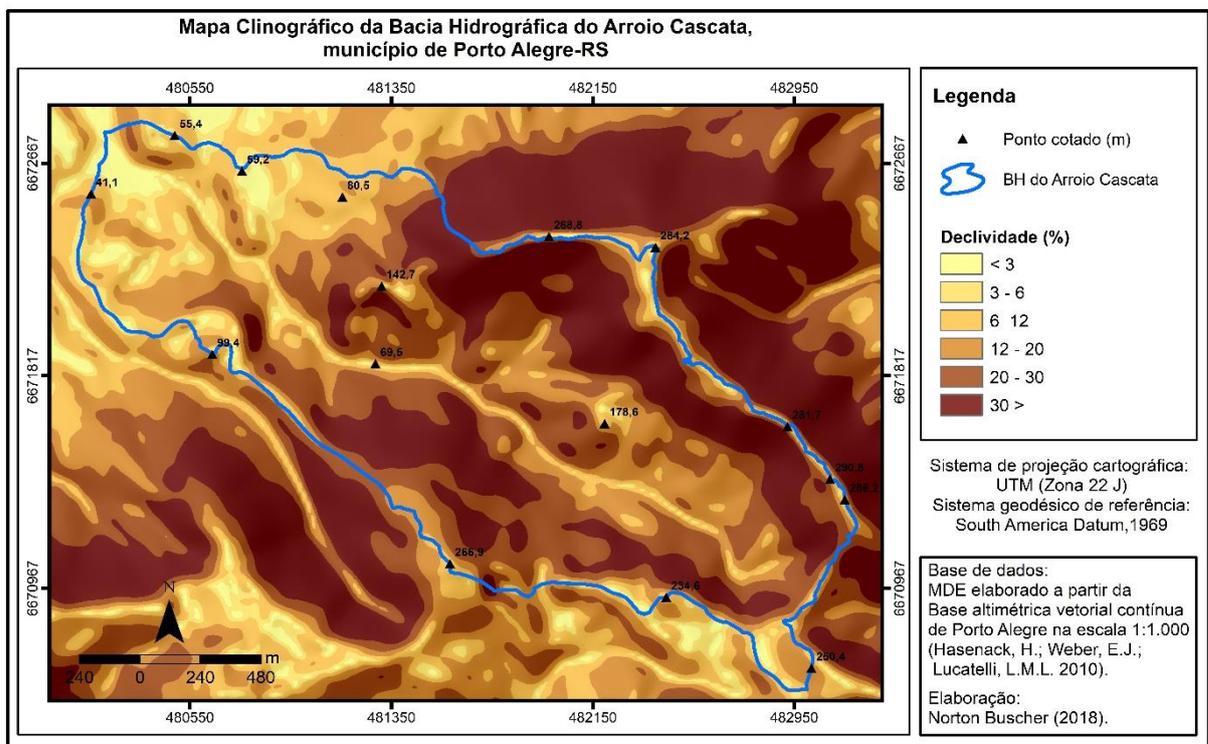


Figura 7. Mapa Clinográfico da Bacia do Cascata.

As cotas observadas na bacia hidrográfica variam de 33 m a 290 m, onde as classes de altitude predominantes são de 90 m a 130 m e de 130 m a 200 m. Destaca-se ainda grande faixa

da classe de 225 m a 290 m a leste e que se fragmenta a sul e a oeste. A classe de 55 m a 90 m surge a partir do curso médio do Arroio Cascata e torna-se a mais representativa nas porções médias da bacia. Já a classe de 33 m a 55 m aparece no curso inferior do arroio e em faixa restrita entre áreas da classe 55-90 m.

A bacia apresenta grandes declividades. As classes de 20 a 30% e acima de 30% são as preponderantes e não estão restritas as vertentes das áreas de maior altitude. As classes de declividade menor que 3%, de 3 a 6% e de 6 a 12% são as principais no curso inferior do arroio. Por fim, a classe de 12 a 20% caracteriza-se como uma classe intermediária e que aparece em diferentes porções do recorte analisado.

Quanto ao perfil de curvatura vertical, trazido na Figura 8, são observados topos convexos e vertentes convexas-côncavas. Porções retilíneas ocorrem em áreas de transição, caracterizando-se por faixas restritas e que somente em porções do nordeste (NE), oeste (O) e trechos pontuais próximos a calha do arroio são mais representativas.

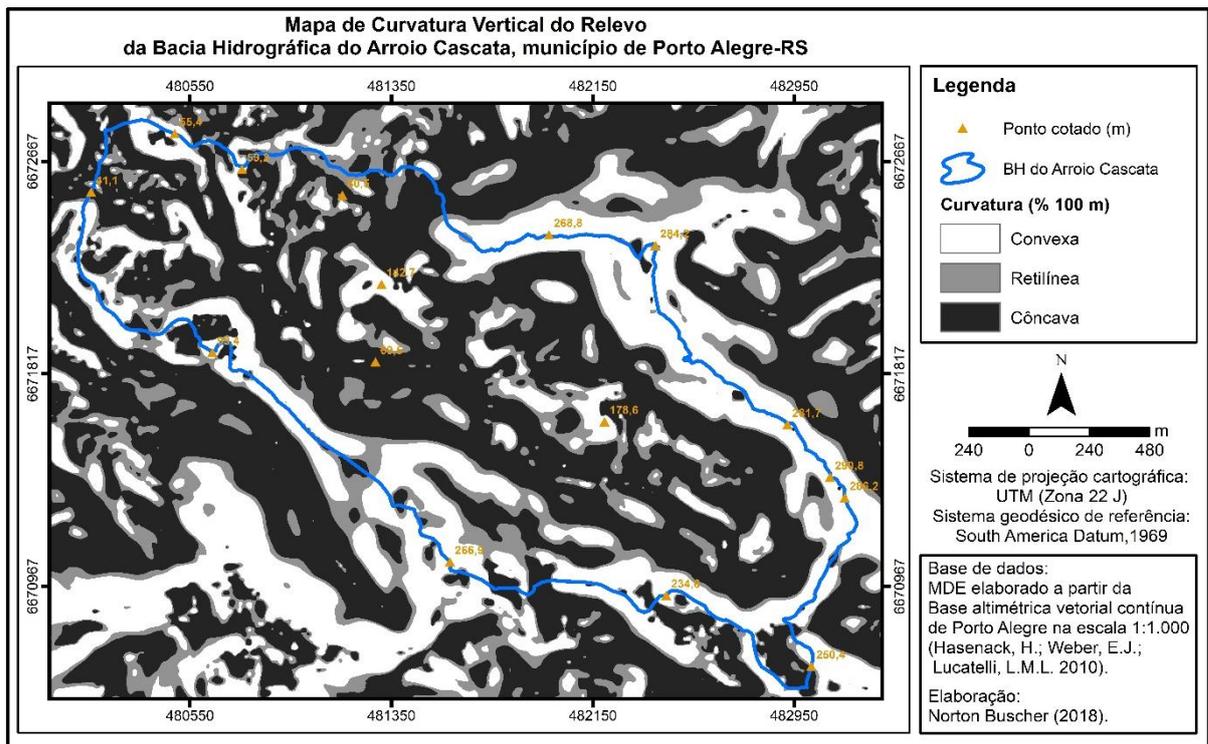


Figura 8. Mapa de Curvatura Vertical da Bacia do Cascata.

Os resultados obtidos pela combinação dessas informações, bem como pela revisão de literatura, são vistos no Mapa Geomorfológico da bacia (Figura 9) e descritos em sua legenda (Figura 10).

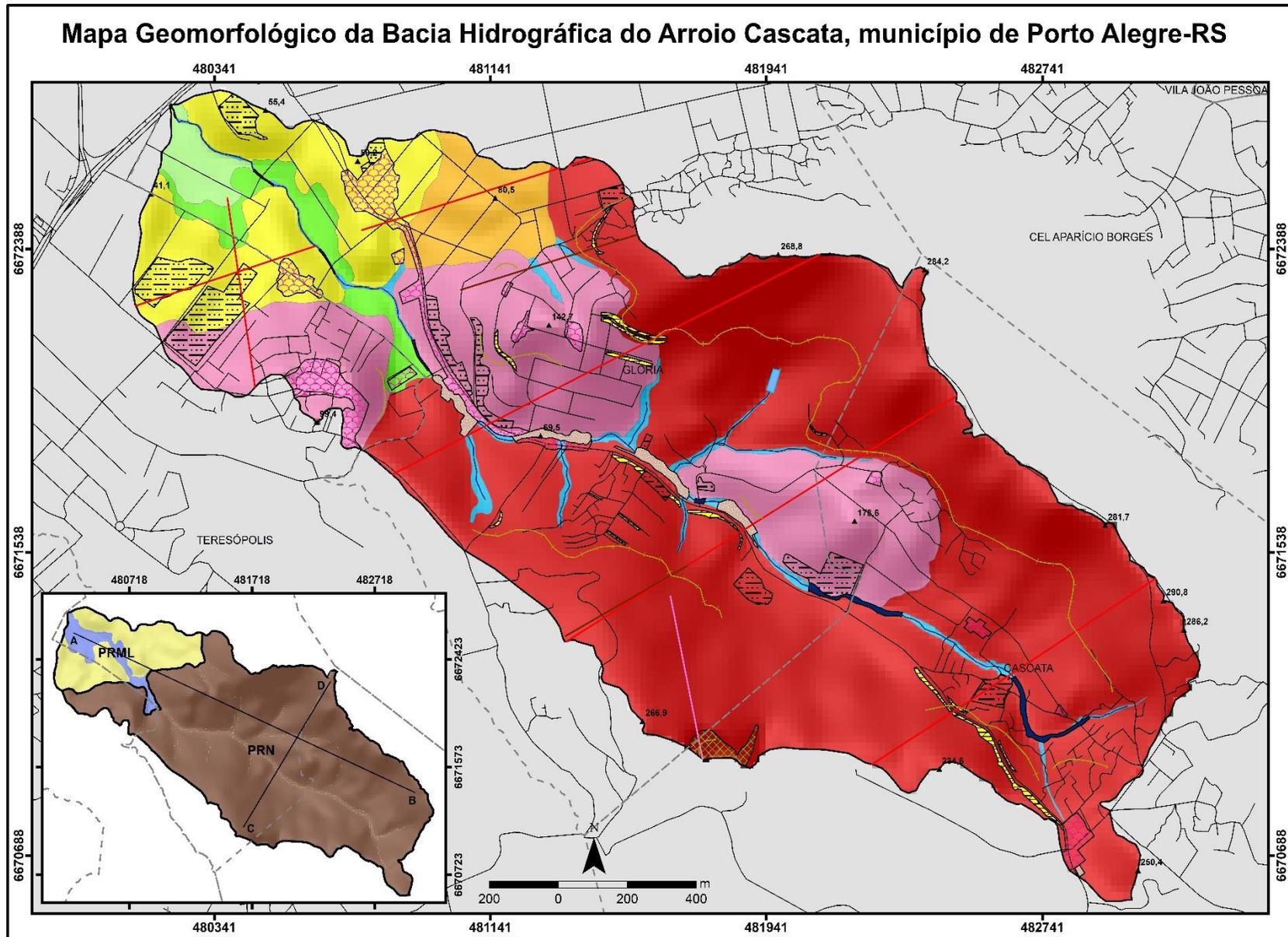


Figura 9. Mapa Geomorfológico da área de estudo.

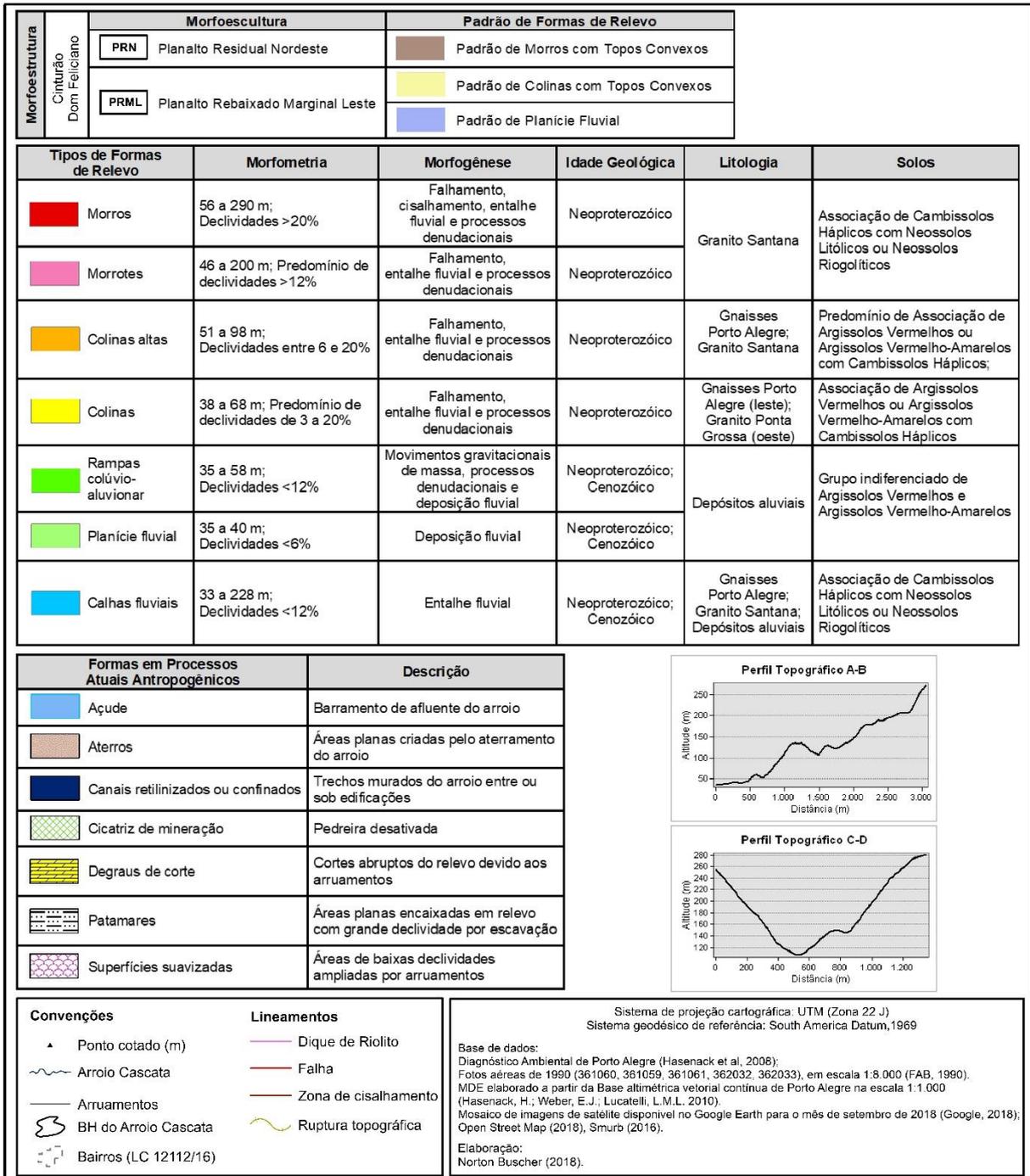


Figura 10. Legenda do mapa geomorfológico.

Para o estabelecimento de quebras do relevo também foram elaborados perfis topográficos da bacia, vistos no mapa acima. O perfil longitudinal A-B (Figura 11) apresenta cerca de 3 km de extensão e varia de 35 a 280 m de altitude. Nele é possível verificar a existência de irregularidades no perfil, onde se destaca feição aguçada na porção média, individualizada como um morrote.

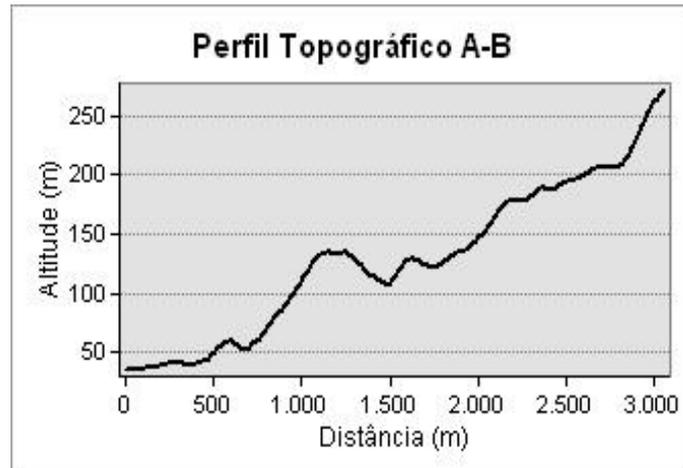


Figura 11. Perfil longitudinal.

O perfil transversal C-D (Figura 12) varia de 120 a 280 m de altitude e tem aproximadamente 1,2 km, a maior distância entre os extremos leste e oeste da bacia. Nele verifica-se profundo vale fluvial em formato de “U”, onde a vertente a oeste (C), mais baixa, têm queda mais abrupta e retilínea em direção a calha do Arroio Cascata e a vertente leste (D) apresenta patamar suave em sua porção inferior.

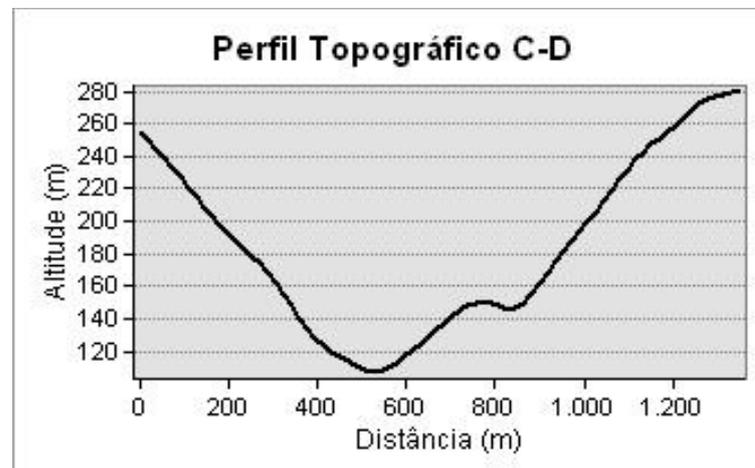


Figura 12. Perfil transversal.

Para fins de melhor estruturação dos dados, os resultados foram analisados por táxon, individualizando os Padrões de Forma de Relevo, os Tipos de Forma de Relevo e as Formas em Processos Atuais Antropogênicos (Formas de Relevo Antropogênicas).

4.2.1 Padrões de forma de relevo

Mapeamentos geomorfológicos como Moura & Dias (2012) e Marth (2017), de escala local (município) e regional, respectivamente, trazem que a área de estudo se enquadra em um Padrão de Morros com Topos Convexos. De fato, esse foi o padrão de relevo predominante verificado na bacia. Contudo, a maior escala de detalhe do mapeamento atual possibilitou identificar outros dois padrões: o Padrão de Colinas com Topos Convexos e o Padrão de Planície Fluvial.

O Padrão de Morros com Topos Convexos apresenta umas das maiores elevações de Porto Alegre, o Morro da Polícia (290 m). O Morro da Polícia faz parte da Crista de Porto Alegre (MENEGAT, 1998 *apud* Hasenack *et al.*, 2008), estrutura marcada por falhamentos geológicos e que apresenta as maiores altitudes no município.

Esse padrão engloba formas de morros e morrotes graníticos com topos convexos e vertentes predominantemente convexas-côncavas, com algumas seções de maiores declividades de perfil retilíneo. As nascentes do Arroio Cascata e de seus afluentes estão nos morros desse padrão. As maiores altitudes, acima de 280 m, estão concentradas em seus quadrantes sudeste e leste (Morro da Polícia), com alinhamento de morros mais baixos a sul e novo crescimento das cotas a oeste. A norte há a presença de morrotes. Fortes rupturas topográficas são registradas tanto a leste quanto a oeste.

O Padrão de Colinas com Topos Convexos aparece nas porções intermediárias da bacia, em terrenos de granitos e gnaisses mais antigos e suavizados. As colinas apresentam topos convexos e vertentes convexas-côncavas, com áreas mais planas por falhamentos e ação antrópica. O padrão é cortado ao meio pelo Arroio Cascata apresentando características distintas nas duas porções. A leste as colinas são mais elevadas (até 98 m), com maiores declividades próximo a calha e transição abrupta do Padrão dos Morros com Topos Convexos. Já na porção oeste as transições são mais suaves.

O Padrão de Planície Fluvial situa-se encaixado entre a porção mais baixas dos morros e entre as colinas. No contato entre os padrões aparecem rampas aluviais e apenas na porção final da bacia surge planície fluvial expressiva em área. As altitudes variam entre 33 a 58 m, tendo declividades baixas.

4.2.2 Tipos de forma de relevo

A compartimentação topográfica levou a identificação de sete Tipos de Formas de Relevo. O Quadro 3 traz essas formas e suas respectivas áreas.

Quadro 3. Formas de relevo antropogênicas identificadas na área de estudo e suas áreas.

Tipo de Forma	Área (m²)
Calhas fluviais	90.510,5
Colinas	316.625,8
Colinas altas	112.033,9
Morros	1.947.017,5
Morrotos	659.200,0
Planície fluvial	37.410,9
Rampas colúvio-aluvionares	76.323,5
Total	3.239.122,1

Formas de Morros

São as formas mais representativas em área da bacia. Apresentam cotas altimétricas entre 56 e 290 m e declividades acima de 20%, mas principalmente acima de 30%.

Dois grandes morros e um conjunto de morros menores podem ser individualizados considerando a variação altimétrica, apesar se seus limites exatos serem de difícil traçado: 1) a leste há o Morro da Polícia (Figura 13), o mais elevado; 2) a oeste há o Morro dos Alpes ou Morro da Glória, “braço” do Morro Teresópolis entre os arroios Cascata e Cascatinha; 3) a sul, interligando os dois grandes morros, há um conjunto de morros mais baixos cuja extremidade próxima ao Morro da Polícia forma porção mais alongada e rebaixada.



Figura 13. Morro da Polícia visto do Arroio Cascata, em trecho sob a Av. Prof. Oscar Pereira (Coordenadas: Lat.: 30° 5'4.03"S, Long.: 51°11'36.85"O).
Foto: Norton Buscher (no., 2018).

Essas formas apresentam como litologia o Granito Santana, bem como Diques de Riolito, ambos de idade neoproterozóica. Seu processo de morfogênese relaciona-se a falhamentos e soerguimentos e neofalhamentos que reordenaram a drenagem. A erosão fluvial e ação das intempéries, ao longo do tempo geológico (sobretudo a partir do Jurássico), esculpiram as formas arredondadas hoje verificadas, sendo facilitadas pela existência dos falhamentos. A ação biológica nas vertentes médias e nos fundos de vale, com a instalação de vegetação arbórea também contribuiu para o desgaste do material rochoso.

Contudo, o Granito Santana que forma os morros da bacia é em certa medida resistente a esses processos erosivos. Isso pode-se verificar pelos solos pouco espessos e com alta pedregosidade e rochosidade da área de morros, predominando Neossolos Litólicos e Rigolíticos.

Formas de Morrotes

Os morrotes, no contexto da área de estudo, podem ser entendidos como porções dos morros que tiverem o processo denudacional acelerado, resultando em individualização por diminuições das cotas altimétricas. Essas formas apresentam altitudes entre 46 e 200 m, onde predominam declividades entre 12 e 30%.

Três unidades foram definidas como morrotes. As duas primeiras estão no contato entre os morros e as áreas colinosas da bacia. Esses dois morrotes tem sua gênese ligada aos

falhamentos que rebaixaram a área de colinas durante o Neoproterozóico. Há a especificidade do morrote a leste do Arroio Cascata ter sofrido novo soerguimento e deformação por cisalhamento. Com esses processos, a vertente norte do morrote apresentou deformações que acarretaram na formação de pequenas drenagens.

O segundo caso de morrote ocorre no meio da bacia, em meio aos morros. Nele se observa forte entalhamento por afluente do arroio a norte e do Arroio Cascata a leste, com individualização de topo relacionada a falhamento.

A litologia e os solos são os mesmos dos morros. Todavia, deve-se destacar a intervenção antrópica no morrote oeste, praticamente todo urbanizado (Figura 14), como um forte agente de interferência geológica e hidrológica.



Figura 14. Morrote oeste visto a partir da Av. Prof. Oscar Pereira (Coordenadas: Lat.: 30° 5'4.22"S, Long.: 51°11'37.10"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Formas de Colinas e Colinas Altas

As formas de colinas e colinas altas representam os terrenos geologicamente mais antigos e suavizados da área de estudo. As colinas apresentam altitudes entre 38 e 68 metros e predomínio de declividades de 3 a 20%, enquanto nas colinas altas as cotas altimétricas vão de 51 a 98 m, com declividades de 3 a 20%.

As colinas correspondem a basicamente as litologias do Granito Ponta Grossa e as Gnaisses Porto Alegre, com menores porções do Granito Santana. Os gnaisses são as rochas mais antigas de Porto Alegre, remontando ao Paleoproterozóico, e o Granito Ponta Grossa é de

idade neoproterozóica. Essas diferenças litológicas correspondem a setores diferentes das colinas: a oeste do Arroio Cascara se tem o predomínio dos granitos, e a leste os gnaisses. Ambas estruturas foram originadas por falhamentos e amplamente erodidas por processos paleoclimáticos.

Apesar da mesma litologia, as colinas altas se diferenciam pela sua associação a zona de cisalhamento. A mesma zona que definiu o morrote oeste, deformou as colinas nesse setor, resultando em acréscimo altimétrico.

Tanto as colinas quanto as colinas altas são áreas de ocorrência de Argissolos Vermelhos ou Vermelho-Amarelos em associação a Cambissolos Háplicos, sobretudo.

Formas de Rampas colúvio-aluvionares

As rampas são as formas resultantes dos sedimentos erodidos e mobilizados das colinas e morros. Suas características morfométricas são: declividades baixas, inferiores a 12%, e cotas altimétricas entre 35 e 58 metros.

Litoestratigraficamente são depósitos aluviais originados pela deposição de sedimentos neoproterozóicos e cenozóicos por movimentos gravitacionais de massa e ação fluvial e posteriormente esculpido por ação pluvial. Podem apresentar corpos residuais graníticos.

Ocorrem de forma expressiva no contato entre as colinas e planície fluvial, entre as colinas e calha fluvial e na área de contato do morrote leste com a calha fluvial, justamente em áreas de relevo mais antigo e que fornecem maior aporte sedimentar.

As variedades de solos presentes nas rampas geralmente são Argissolos Vermelhos ou Argissolos Vermelho-Amarelos.

Formas de Calhas Fluviais e Planície Fluvial

As áreas entalhadas mais recentemente pelos cursos fluviais perenes, delimitadas por barrancos marginais, foram definidas como calhas fluviais. Essas formas cortam os terrenos ígneos e sedimentares descritos, entre cotas altimétricas de 33 e 228 m e declividades inferiores a 12%.

No caso da calha do canal principal, ela tem em média 3 m de largura e 4 m de profundidade, sendo mais profunda nos trechos de morro.

Pode-se salientar também que o Arroio Cascata é um rio de 2ª ordem, de acordo com a hierarquia fluvial apresentada por Hasenack *et al.* (2008) para Porto Alegre e constada pela escala adotada no presente mapeamento. A rede de drenagem da bacia representa entre 70 e 80% do escoamento superficial das áreas de nascentes, nos topos dos morros, e entre 90 e 100% nas demais áreas (HASENACK *et al.*, 2008).

Por sua vez, a única planície fluvial mapeada, em virtude da escala de trabalho, situa-se na porção final da bacia. A planície apresenta cotas entre 35 e 40 m e declividades inferiores a 6%. As litologias são depósitos aluviais iniciados no Neoproterozóico e raros afloramentos graníticos. Os solos são predominantemente Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos.

A planície é dividida em duas porções. A porção a leste é ínfima, sendo restrita a oeste pela calha fluvial e a leste por vertente acentuada de colina. A porção a oeste é ampla e separada da planície fluvial do Arroio Cascatina por divisor de águas extremamente baixo (cerca de 1 m). O Arroio Cascata e o Arroio Cascatina se unem sob a Avenida Teresópolis e originam o Arroio das Águas Mortas (Figura 15).



Figura 15. Avenida Teresópolis: exutório da Bacia do Arroio Cascata (Coordenadas: Lat.: 30° 4'32.83"S, Long.: 51° 12'18.85"O).

Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

4.2.3 Formas em processos atuais antropogênicos

Considerando os níveis de tecnogênese de Peloggia (1998; 2005) e a classificação das formas antropogênicas de Fujimoto (2001) foram diferenciadas sete formas de relevo antropogênicas na Bacia do Arroio Cascata. O Quadro 4 traz essas formas e suas respectivas áreas.

Quadro 4. Formas de relevo identificadas na área de estudo e suas áreas.

Forma de relevo antropogênica	Área (m ²)
Açude	1.302,7
Aterros	20.781,2
Canais retelinizados ou confinados	9.784,5
Cicatriz de mineração	10.244,5
Degraus de corte	19.331,2
Patamares	113.355,7
Superfícies suavizadas	95.679,5
Total	270.479,3

Essas formas são predominantemente criadas e resultantes de alterações do relevo e não induzidas pelo aumento de erosão e sedimentação em razão da ação antrópica. Todavia isso não significa que esses processos não ocorram sobre elas.

Açude e canais retelinizados ou confinados

A forma antropogênica denominada “açude” corresponde a um pequeno lago artificial gerado pelo barramento parcial de afluente do Arroio Cascata. O barramento se deu em trecho de alta declividade entre morros, em formato semelhante a anfiteatro.

A área é privada e pertence a Congregação das Irmãs da Divina Providência. Por essa razão, não foi possível sua verificação em campo, apenas por análise de imagens de satélite.

Os canais retelinizados ou confiados são uma constante no Arroio Cascata. Desde o curso superior até o inferior, o arroio apresenta trechos onde está retelinizado ou semi-retelinizado, sob trechos de pontes ou entre casas (Figura 16), geralmente nos fundos das propriedades. A retelinização, na grande maioria desses casos, não é uma obra de engenharia feita pelo poder público, mas sim pelas comunidades locais. O processo compreende o erguimento de muros de pedra nos/ sobre os barrancos marginais (em raros casos há armação

de ferro) como intuito de proteção contra eventuais cheias. Em muitos trechos esses muros de contenção já colapsaram e foram refeitos.



Figura 16. Canais retinizados e semi-retinizados em diferentes trechos do Arroio Cascata
 (Coordenadas: **(a)** Lat.: 30° 5'8.89"S, Long.: 51°11'21.63"O;
(b) Lat.: 30° 5'17.44"S, Long.: 51°11'8.96"O; **(c)** Lat.: 30° 5'17.52"S;
 Long.: 51°11'5.39"O; **(d)** Lat.: 30° 4'40.36"S; Long.: 51°12'7.35"O).
 Foto: Norton Buscher (nov.; 2018).

Em alguns casos o arroio encontra-se confinado: as margens estão retinizadas e ocorre a construção de laje sobre pilares dentro do arroio. As lajes são a base de edificações (casas direto sobre a laje) e, em menor frequência, servem como passagens para pedestres. Não raro, há a construção de laje sobre laje, como visto na Figura 17.



Figura 17. Canal confinado em trecho laje sobre laje.
(Coordenadas: Lat.: 30° 5'8.82"S; Long.: 51°11'22.29"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Tanto no caso do barramento quanto nos casos de retificação, as novas formas tendem a modificar os processos de erosão e deposição. O barramento acarreta em erosão remontante e aumento da sedimentação de fundo, enquanto as retificações restringem e aceleram o fluxo d'água em porções de maior declividade e facilitam a deposição de sedimentos em áreas mais planas.

Soma-se a esses problemas geomorfológicos o descarte de lixo e de esgoto doméstico no arroio, visto como um “valão” e não mais como um rio.

Aterros

As formas de aterros correspondem a áreas planas criadas pela deposição de sedimentos terrosos e materiais antrópicos sobre as calhas do Arroio Cascata e de seus afluentes. Dada a profundidade média da calha do Arroio Cascata, os aterros aí ocorrem quase sempre sobre lajes e apresentam profundidades variadas.

Os aterros são feitos visando a edificação das áreas terradas. Diferentes tipos de casas, refletindo condições socioeconômicas distintas (Figura 18), e comércios podem ser vistos sobre essas áreas. Poucas formas desse tipo não foram criadas, na área de estudo, visando ocupações.

Alguns aterros, oriundos do descarte de materiais da construção civil, são utilizados atualmente como áreas de estacionamento e/ou para descarte irregular de resíduos (Figura 19).

Aterros constituem áreas de risco hidrológico (Peloggia, 1998). O tipo de sedimentos utilizados e sua forma de compactação podem tanto permitir que a água da chuva se infiltre e sature o depósito tecnogênico, tornando-o instável, como podem formar uma camada impermeável, tornando-o da mesma forma instável. Isso gera consequência nas edificações instaladas sobre ele, tal como rachaduras.



Figura 18. Diferentes tipos de casas sobre aterros
(Coordenadas: (a) Lat.: 30° 5'10.40"S, Long.: 51°11'18.13"O; (b) Lat.: 30° 5'7.94"S,
Long.: 51°11'24.11"O; (c) Lat.: 30° 5'5.29"S, Long.: 51°11'27.85"O).

Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

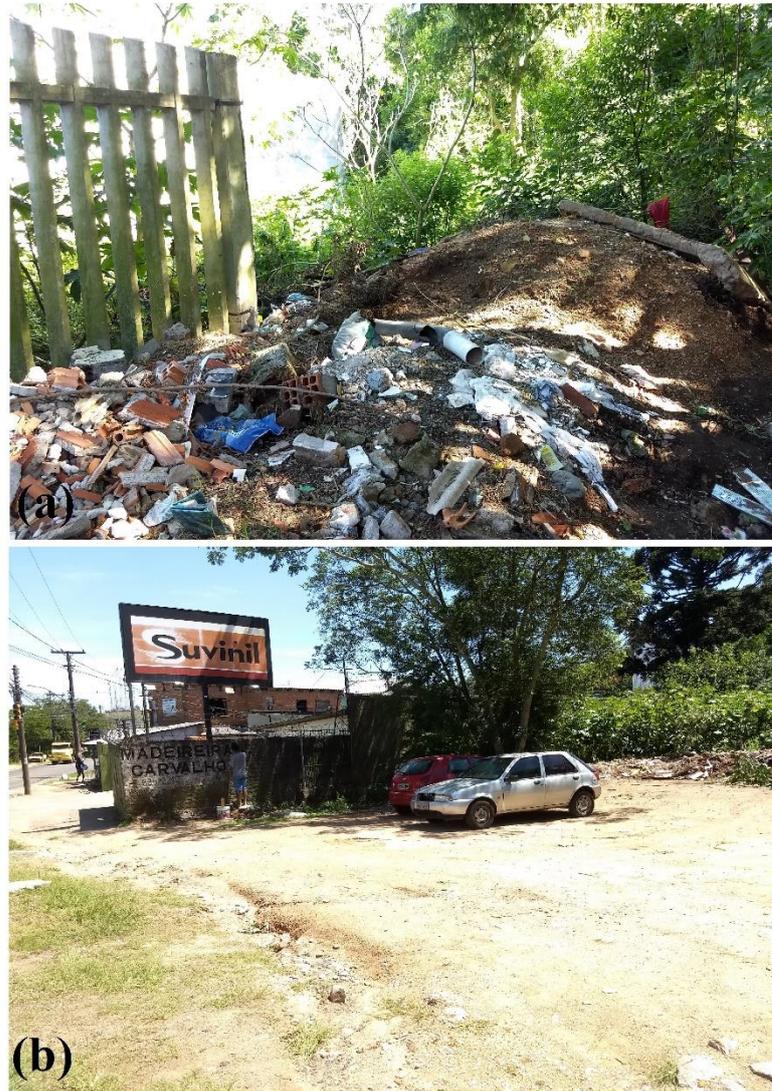


Figura 19. Aterros não edificadas.
(Coordenadas: (a) Lat.: 30° 5'4.08"S, Long.: 51°11'30.61"O;
(b) Lat.: 30° 5'42.40"S, Long.: 51°10'40.67"O).
Foto: Norton Buscher (no., 2018).

Outra questão estrutural que envolve especialmente os aterros da bacia em estudo é a resistência das lajes construídas. O peso do aterro e das construções sobre ele podem sobrecarregar as lajes. Esse fato implica na instabilidade ou ruína da laje e dos pilares que a sustentam, levando a perdas materiais e humanas. Essa preocupação com a estrutura base dos aterros da Bacia do Arroio Cascata é uma questão que deve ser mais apurada, visto a mudança dos tipos de ocupações que estão se instalando sobre o mesmo: de casas de um pavimento para casas de vários pavimentos, pequenos conjuntos residenciais e novas áreas comerciais (Figura 20).



Figura 20. Novas construções sobre áreas aterradas
(Coordenadas: (a) Lat.: 30° 5'0.90"S, Long.: 51°11'46.03"O;
(b) Lat.: 30° 5'17.87"S, Long.: 51°11'7.78"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Cicatriz de mineração

Uma área de pedreira desativada foi mapeada como uma cicatriz de mineração. A pedreira, que operou até meados dos anos 1950 explorando dique riolítico, hoje é utilizada como local de testes de tiros e detonação de explosivos pela Brigada Militar de Porto Alegre. Aproximadamente nos últimos 10 anos a área também tem sido utilizada para o descarte irregular de matérias, como eletrodomésticos e móveis velhos e restos da construção civil (Figura 21).

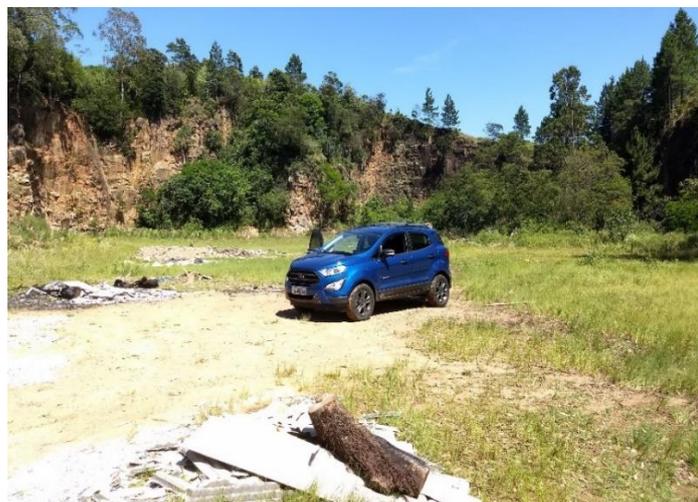


Figura 21. Pedreira desativada.
(Coordenadas: Lat.: 30° 5'32.48"S, Long.: 51°11'18.86"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

A área situa-se no divisor de águas da bacia. Esse fato fez com que parte dos escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo que eram direcionados aos afluentes do Arroio Cascata, a leste, fosse redirecionada para oeste. O resultado desse processo é observado em área plana constantemente encharcada na base da face leste da pedreira.

Degraus de corte

Os degraus de corte são taludes artificiais resultantes do corte do relevo para a abertura de vias. Estão presentes sobretudo nas áreas de morros e morrotes com declividades superiores a 20%.

Com frequência esses cortes são mal executados, não respeitando um ângulo de repouso, o que facilita a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa em áreas já naturalmente suscetíveis. As quedas de blocos e os deslizamentos planares são os movimentos de massa mais comuns associados aos degraus de corte na bacia (CPRM, 2013). Áreas de descarte de lixo doméstico foram criadas em associação a essas feições em diversos trechos da Avenida Professor Oscar Pereira, como visto na Figura 22.



Figura 22. Degrau de corte mal executado associado a descarte de lixo
(Coordenadas: Lat.: 30° 5'5.56"S, Long.: 51° 11'28.66"O).

Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Tentativas pontuais de correção dos cortes mal executados foram feitas pelo poder público. A suavização do corte no alto da Avenida Professor Oscar Pereira (Figura 23) e a construção de taludes de concreto na Rua Colinas, são exemplos.



Figura 23. Degrau de corte aparado
(Coordenadas: Lat.:30° 5'29.38"S, Long.: 51° 10'50.82"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Patamares

As formas antropogênicas definidas como patamares são áreas planas encaixadas por escavação em áreas de maior declividade, podendo ser uma ou mais áreas planas em sucessão. A transição entre as áreas é marcada por degrau.

Essas áreas ocorrem com maior frequência ao longo da Avenida Professor Oscar Pereira, envolvendo a edificação de casas que refletem boas condições econômicas e também comércio de bairro (Figura 24).



Figura 24. Posto de gasolina sendo construído em área de patamar
(Coordenadas: Lat.: 30° 4'59.20"S, Long.: 51° 11'46.53"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Fora do eixo da avenida são observados casos de patamares relacionados a obras como escolas, a exemplo da Escola Estadual de Ensino Fundamental Espírito Santo e do Colégio Marista Assunção, e de condomínios, como mostra a Figura 25.

Mesmo em áreas de maiores declividades, na maioria desses casos não foram identificados cortes ligados a patamares que oferecessem risco de movimentos de massa.



Figura 25. Condomínio horizontal em patamares
(Coordenadas: Lat.: 30° 4'51.24"S, Long.: 51° 12'10.28"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Superfícies suavizadas

As superfícies suavizadas compreendem áreas de baixa declividade e relevo suavemente ondulado que sofreram aplainamento total ou parcial pela construção de vias.

Localizam-se na área de estudo principalmente ao longo da Avenida Professor Oscar Pereira (Figura 26) e sobre áreas de topo de morrotes, como visto na Figura 27.

Nos dois casos a suavização representa, além da edificação, o asfaltamento e retirada da vegetação natural. Esses processos geram, sobretudo nas áreas de topo, perda da capacidade de recarga dos reservatórios subterrâneos de água pela impermeabilização do solos e aumento do escoamento superficial.



Figura 26. Área de colina suavizada na Av. Prof. Oscar Pereira (Coordenadas: Lat.: 30° 4'40.80"S, Long.: 51°11'57.92"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).



Figura 27. Área de topo suavizado de morrote, onde situa-se a Escola Estadual de Ensino Fundamental Espírito Santo (Coordenadas: Lat.: 30° 5'2.83"S, Long.: 51°12'0.38"O)
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

4.3 Caracterização socioambiental da área de estudo

A análise socioambiental da Bacia do Arroio Cascata foi desdobrada em três frentes que estão inter-relacionadas: *histórico de ocupação, síntese e análise de dados socioeconômicos e análise do uso e ocupação atual.*

4.3.1 Histórico de ocupação

Para se entender as origens da ocupação da Bacia do Arroio Cascata é necessário recorrer a formação histórica dos bairros Glória e Cascata.

O bairro Glória tem sua origem no final do século XIX. As primeiras ocupações ocorreram com a abertura da Estrada de Belém em 1883, atual Avenida Professor Oscar Pereira, que ligava Porto Alegre (Centro Histórico) a Freguesia de Belém Velho (hoje bairro Belém Velho).

Um pequeno incremento no número de residências ocorreu em 1895, com a criação de um loteamento nas proximidades da Estrada de Belém. No ano seguinte, novas ocupações ocorreram pela instalação da primeira linha de bonde, a qual tinha seu último ponto no então constituído Arraial da Glória. Em 1897, a linha de bonde é prolongada até a capela local, construída em 1894, onde hoje é a Paróquia Nossa Senhora da Glória (1916). Uma das escolas tradicionais do bairro é aberta mais de uma década depois, em 1928, o Colégio Nossa Senhora da Glória (antigo Colégio Santa Terezinha) (PROCEMPA, 2016).

Povoamento significativo só volta a ocorrer a partir de 1935, com início do serviço de abastecimento de água. Pequenos loteamentos surgem próximos ao Arraial da Glória e ao longo da Estrada de Belém, também chamada a época de Estrada da Cascata. Em 1951, o Colégio Marista Assunção, outro colégio tradicional da região, entrou em funcionamento ao lado da paróquia local (PROCEMPA, 2016), como visto na Figura 28.

Entre os anos de 1930 e 1940 também houve o estabelecimento de uma comunidade tradicional afrodescendente que ainda hoje resiste na região, o Quilombo dos Alpes. Formado por Dona Edwirges (Edwirges Francisca Garcia da Silva), após fugir de uma fazenda onde trabalhava no atual bairro de Belém Novo. Situado numa área de campo rupestre e mata, no setor sudoeste do divisor de águas da Bacia do Arroio Cascata, o Quilombo dos Alpes tem

oficialmente 58 hectares, onde vivem 62 famílias. Tal área, contudo, é bem inferior a reivindicada pela comunidade do quilombo: cerca de 114 hectares, onde vivem 75 famílias (LAITANO, 2012).



Figura 28. Paróquia Nossa Senhora da Glória e Colégio Marista Assunção (Coordenadas: Lat. 30° 4'30.56"S, Long.: 51°12'8.97"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

A partir de meados dos anos 1950, indo até o final dos anos de 1980, loteamentos irregulares e ocupações espontâneas isoladas surgem mais afastadas da antiga Estrada de Belém (já renomeada para Avenida Professor Oscar Pereira), em áreas de encosta íngreme e recobertas por mata. A face sul do Morro da Polícia (da Embratel ou das Antenas) foi a mais ocupada. Esse processo foi propiciado pela ampliação da rede de água e energia para as áreas no entorno da avenida.

É nesse período que outra instituição se instala na região: o Hospital Divina Providência (1969). Junto ao hospital também foi inaugurada a Gruta Nossa Senhora de Lourdes, local de romarias e ponto turístico. As características torres de telecomunicações do Morro da Polícia também começam a ser implantadas entre o final dos anos 1970 e início dos anos 1980 (processo ainda em andamento).

A criação oficial do bairro Glória ocorre com a lei municipal nº 2002 de 12 de julho de 1959. Poucos anos depois a lei foi revista e o bairro parcialmente desmembrado (PROCEMPA, 2016). Nessa revisão o bairro Cascata foi criado pela lei municipal nº 2681 de 21 de dezembro de 1963, englobando as porções mais elevadas a sul e oeste do Glória.

Nos anos 1990 e 2000 houve pouca ampliação da área construída, seja de forma regular ou não. O que ocorreu foi a ocupação de vazios existentes entre manchas construídas e a mudança de usos das áreas construídas. Um exemplo é a comunidade Gabriel Obino, no bairro Teresópolis, iniciada nos anos 2000. A área de topo de morro baixo ocupada interliga áreas de ocupações mais antigas na Estrada dos Alpes e na Rua Carlos Ferreira.

4.3.2 Síntese e análise de dados socioeconômicos

A Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata apresenta divisão socioeconômica bem marcada espacialmente. As áreas do bairro Glória de povoamento mais antigo e situadas em áreas mais planas apresentam os melhores Índices de Desenvolvimento Humano (IDHMs), enquanto áreas de ocupação recente e/ou em sítios com acidentes geográficos mais acentuados (vertentes fortemente inclinadas e topos de morros baixos) os piores IDHMs.

Pelos dados obtidos no Atlas de Desenvolvimento Humano e apresentados no Quadro 5, a bacia apresentava população próxima a 29 mil habitantes nos anos 2000, com decréscimo em 2010, quando chegou a cerca de 28 mil. Observando as taxas de crescimento anual das UDHS no período 2000-2010, percebe-se que a tendência geral é de estabilização a queda de população da área. Apenas a área da Vila Gabriel Obino, de ocupação recente e parcialmente inclusa na bacia, apresentou taxas excepcionais de crescimento (cerca de 15%).

Quadro 5. População (2000 e 2010) por UDH.

UDH	Bairro atual	Ano		Taxa média anual de crescimento
		2000	2010	
Alpes	Cascata, Glória e Teresópolis	4196	4264	0,16%
Ascensão	Glória	1713	1770	0,33%
Canudos/ Batillanas	Cascata e Glória	9925	8961	-1,02%
Glória	Glória	8631	7450	-1,46%
Santiago Dantas	Glória e Teresópolis	2528	2378	-0,61%
Vila Gabriel Obino	Teresópolis	514	2212	15,71%
Vila Graciliano Ramos	Glória	1360	1027	-2,77%
População total	-	28867	28062	-0,52%
Porto Alegre	-	1360590	1409351	0,35%

Contudo, mesmo adotando como critério a inclusão de apenas UDHS com áreas espacialmente representativas na bacia, os dados possivelmente estão superestimados. É provável que a população da bacia, que pelos dados girou entorno de 28 mil habitantes, seja de 20 a 25 mil habitantes.

Quanto ao IDHM, foi observada significativa melhora na região entre 2000 e 2010. No ano 2000, boa parte da área apresentava IDHM Baixo (0,500 a 0,599) e Médio (0,600 a 0,699), enquanto o IDHM do município já se encontrava no patamar Alto (0,700 a 0,799), como visto no Quadro 6.

Quadro 6. IDHM do ano 2000 por Unidade de Desenvolvimento Humano (UDH).

Índice	Município	UDH na Bacia do Arroio Cascata						
	Porto Alegre	Alpes	Ascensão	Canudos/Batillanas	Glória	Santiago Dantas	Vila Gabriel Obino	Vila Graciliano Ramos
IDHM Longevidade	0,811	0,785	0,793	0,752	0,858	0,846	0,726	0,727
IDHM Educação	0,612	0,520	0,467	0,401	0,758	0,688	0,345	0,349
IDHM Renda	0,830	0,666	0,673	0,647	0,836	0,779	0,616	0,616
IDHM	0,744	0,648	0,626	0,580	0,816	0,768	0,536	0,539
Muito Baixo			Baixo		Médio	Alto	Muito Alto	

O componente IDHM Educação estava enquadrado como Muito Baixo (0,400 a 0,499) em quatro das sete UDH consideradas e o IDHM Renda estava em nível Médio em cinco das sete, muito atrás do IDHM Educação Médio e IDHM Renda Muito Alto de Porto Alegre. A exceção observada, em 2000, entre as UDH era a Glória, com IDHMs iguais ou melhores que Porto Alegre.

Ao analisar os IDHMs de 2010, nota-se o desaparecimento da classe Baixa do índice geral, tendo-se o predomínio dos IDHMs Alto e Muito Alto (Quadro 7).

Quadro 7. IDHM do ano 2000 por Unidade de Desenvolvimento Humano (UDH).

Índice	Município	UDH na Bacia do Arroio Cascata						
	Porto Alegre	Alpes	Ascensão	Canudos/Batillanas	Glória	Santiago Dantas	Vila Gabriel Obino	Vila Graciliano Ramos
IDHM Longevidade	0,857	0,845	0,845	0,812	0,912	0,912	0,774	0,786
IDHM Educação	0,702	0,595	0,595	0,557	0,792	0,825	0,518	0,525
IDHM Renda	0,867	0,725	0,725	0,697	0,858	0,851	0,664	0,678
IDHM	0,805	0,714	0,714	0,681	0,853	0,862	0,643	0,654
Muito Baixo			Baixo		Médio	Alto	Muito Alto	

Houve melhoras generalizadas das componentes Longevidade, Educação e Renda nas sete UDH, mas a Educação ainda se encontrava em nível Médio em três unidades (abaixo do nível Alto municipal). Destaque positivo deve ser dado ao fato de duas das sete UDH apresentarem, em 2010, IDHMs mais elevados do que os do município, Glória e Santiago Dantas, estando essa última com todos IDHMs em nível Muito Alto.

4.3.3 Análise do uso e ocupação do solo atual

A análise de imagens de satélite, conciliada a investigação de campo e revisão de estudos anteriores de uso e ocupação do solo em escala municipal, resultou na identificação de dezesseis classes de usos da terra e cobertura vegetal. O Quadro 8 traz essas classes de usos e cobertura vegetal e suas respectivas áreas.

Quadro 8. Classes de uso identificadas na área de estudo e suas áreas.

Classe		Área (m ²)
Diversos	Afloramentos rochosos	49.641,5
	Arruamentos	159.785,3
	Solo exposto	6.045,1
Vegetação	Campos rupestres e/ou manejados	266.144,6
	Matas	280.923,9
	Matas com vegetação exótica	707.430,0
	Praças	10.459,0
	Vegetação de fundo de lote	146.586,0
Residencial	Casas em ocupações espontâneas	850.318,8
	Casas em ocupações regulares	451.700,4
	Condomínios horizontais	20.540,6
	Condomínios verticais	76.939,9
Comércio, serviços e indústria	Comércio	71.352,3
	Indústria	4.561,6
	Serviços	110.082,3
	Serviços públicos	26.610,8
Total		3.239.122,1

Tipos de uso

Por meio do quadro acima é possível avaliar que a área é predominantemente residencial, onde se tem sobretudo casas em ocupações espontâneas. Essas ocupações se concentram nas porções média e alta da bacia e são espacialmente caracterizadas pelos arruamentos estreitos, sinuosos e/ou de grande declividade, imprimindo formas orgânicas. As casas nessas ocupações são geralmente de um a dois pavimentos e de alvenaria, mas apresentam qualidades distintas. As que se concentram ao longo da Avenida Professor Oscar Pereira e nas ruas principais que derivam da avenida apresentam as melhores condições. Já as situadas nos topos de morros, mais isoladas, apresentam condições mais precárias.

Essas áreas são apontadas pelo Plano Municipal de Habitação de Interesse Social (PMPA, 2009) como irregulares ou que sofreram regularização. A maior parcela dessas ocupações irregulares faz parte do que o IBGE (2010) chama de aglomerados subnormais. Pelo menos nove aglomerados estão total ou parcialmente incluídos na bacia. São eles: Alto Embratel, Alpes, Batillanas, Chácara do Primeiro, Glorinha, Graciliano Ramos, Jardim Marabá, Primeiro de Maio e Vale dos Canudos.

De acordo com o Plano Municipal de Habitação de Interesse Social (PMPA, 2009) entre os problemas identificados nesses recortes espaciais estão a falta de abastecimento de água, rede coletora de esgoto, ausência de iluminação pública e carência de coleta de lixo urbano (7% do total de residências), em especial nas áreas mais íngremes das vertentes e nos topos de morro.

A violência urbana também se configura nessas regiões como um problema social de grandes dimensões. Pelo descaso do poder público, o tráfico de drogas é uma constante na vida das comunidades. Contudo, as disputas de território do tráfico acentuaram os crimes violentos nos últimos cinco a dez anos⁴.

Poucas áreas caracterizadas como ocupações espontâneas já foram regularizadas. Dois exemplos são o loteamento Jardim Cascata, nos anos 1990, e partes da comunidade Primeiro de Maio, entre os anos 1990 e 2010 (PMPA, 2009).

Quanto às ocupações regulares, elas estão presentes sobretudo na porção baixa da bacia, correspondendo a área de ocupação mais antiga. São observados dois padrões nessa porção: a oeste do Arroio Cascata, em áreas colinosas do bairro Teresópolis (e parte do Glória), se tem

⁴ Experiência do próprio autor como morador da região.

condomínios verticais e alguns condomínios horizontais; a leste do arroio, já no bairro Glória, são observadas casas de alvenaria de um a dois pavimentos. Os condomínios apresentam idades variadas, alguns são da década de 1970 e outros estão em plena construção, enquanto as casas do lado leste encontram-se com frequência com placas de “vende-se” ou “aluga-se” indicando possível esvaziamento da área.

Condomínios aparecem de forma pontual também a nordeste e no extremo sul da bacia e ainda no curso médio do Arroio Cascata, onde se configuram como pequenos conjuntos residenciais (Figura 29).



Figura 29. Pequeno conjunto residencial inaugurado em 2018 situado junto ao arroio (Coordenadas: Lat.: 30° 5'18.42"S, Long.: 51°11'5.60"O). Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Os terrenos, via de regra, não são grandes, as exceções são os condomínios na parte baixa e a oeste do arroio e em áreas ao sul da bacia que apresentam características rururbanas: grandes residências com piscina circundadas por matas nativas, em propriedades amplas a pouco minutos de centros de consumo.

Na porção baixa da bacia é onde também está concentrado o comércio, em especial ao longo da Avenida Professor Oscar Pereira e trechos da Rua Professor Carvalho Freitas. Fora desses eixos se observa comércios dispersos, tendo tendência a maior aglomeração em cruzamentos, como no caso da Avenida Erval com Avenida Professor Oscar Pereira, no alto da bacia. São característicos mercados, padarias, farmácias, lojas de material de construção e

bazares, com ocorrência de concentração de lojas de peças de automóveis e mecânicas no trecho da Avenida Professor Oscar Pereira entre a Rua Madre Ana e a Rua Capitão Padilha.

A classe definida como “serviços” encontra-se em diferentes porções da bacia ao longo da via estruturante da região, a Avenida Professor Oscar Pereira. Nessa classe foram englobados serviços de saúde e educação privados e ainda as áreas de torres de telecomunicação do Morro da Polícia. São exemplos o Colégio Marista Assunção e o Colégio Nossa Senhora da Glória na área baixa da bacia e o Hospital Divina Providência e a Clínica (Psiquiátrica) São José no médio Cascata.

Os serviços públicos, por sua vez, englobam os serviços de saúde e educação pública⁵ e ainda três estações de bombeamento de água na Avenida Professor Oscar Pereira. Há quatro escolas públicas na bacia: a Escola Estadual Professor Oscar Pereira (sul), próxima a calha do Arroio Cascata; a Escola Municipal de Ensino Fundamental Gabriel Obino (oeste), em área de divisor de águas; e a Escolas de Educação Especial Nazareth e a Escola Estadual de Ensino Fundamental Espírito Santo (leste), também em área de divisor de águas. Não há hospitais públicos na área, mas foram identificados ao menos seis Unidades Básicas de Saúde distribuídas uniformemente.

Apenas uma indústria está situada na área de estudo. A Corfix, empresa de tintas para diferentes aplicações (artesanato, decoração e produtos escolares) fundada em 1943, ocupa área entre a Avenida Professor Oscar Pereira e o Arroio Cascata.

Essas áreas são abastecidas pelo Sistema Menino Deus de tratamento e distribuição de água, de acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMPA, 2015). Para o recorte da bacia ao menos 12 subsistemas, elevatórias e reservatórios foram identificados. O Sistema Menino Deus atende 99% de sua área de abrangência, a exceção de 30 casas na Avenida Amir Rodrigues (Estrada da Embratel) (PMPA, 2015), no alto da Bacia do Arroio Cascata. Essas casas são atendidas por caminhões-pipa.

Ainda segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMPA, 2015), a área faz parte do Sistema Ponta da Cadeia de coleta e tratamento de esgoto sanitário. A bacia encontra-se total ou parcialmente em três subsistemas marcados pelo baixo atendimento (percentual), relação entre os logradouros existentes e aqueles com rede coletora de esgoto. O subsistema D7

⁵ Creches conveniadas a Prefeitura de Porto Alegre na região foram englobadas nas categorias de “casas” visto que não apresentam distinção espacial.

apresenta o mais baixo atendimento, apenas 37,52%, enquanto os subsistemas D8 e D15 apresentam, respectivamente, 79,93% e 57,65%.

Tipos de cobertura vegetal

Quanto à vegetação, Porto Alegre apresenta características mistas entre os dois biomas encontrados no estado do Rio Grande do Sul: a Mata Atlântica e o Pampa. Isso ocorre pelo fato de o município estar próximo ao limite entre os dois biomas (HASENACK *et al.*). Predominam no município as Áreas de Tensão Ecológica (54,0%) e as Áreas de Formações Pioneiras (45,6%). As primeiras correspondem, em Porto Alegre, à transição entre formações florestais, campestres e pioneiras, e as segundas a vegetação que se estabeleceu sobre terrenos do Quaternário, bem drenados (campos) ou mal drenados (banhados) (HASENACK *et al.*, 2008). A Bacia do Arroio Cascata está incluída em Área de Tensão Ecológica.

Deve-se destacar que a vegetação encontrada no município, bem como na área de estudo, apresenta diferentes graus de intervenção humana. De acordo com Hasenack *et al.* (2008) resta apenas 24,1% da área de vegetação original porto-alegrense. Com base nesses aspectos foram identificadas três classes de vegetação contínua e outras duas mais fragmentadas.

A classe “mata com vegetação exótica” compreende matas primárias e secundárias com exemplares de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, bem como manchas de reflorestamento das mesmas espécies. Essas destoam da vegetação nativa através de análises por imagens de satélite por características como textura e cor. É a classe de vegetação mais representativa e ocorre nas porções alta e média da bacia sob a forma de grandes manchas contínuas que diminuem em área em direção a foz.

A classe “mata” engloba matas primárias e secundárias em diferentes graus de sucessão ecológica, onde não foram verificados núcleos expressivos de vegetação exóticas por imagem de satélite. Surge nas áreas de encosta mais íngremes da Bacia do Arroio Cascata, no contato com os campos rupestres, sob a forma de duas manchas contínuas a leste e uma macha contínua a oeste.

Já as áreas de matas fragmentadas entre as edificações, normalmente nos fundos das propriedades, foram definidas como “vegetação de fundo de lote”. O Arroio Cascata está

intimamente associado a essa classe, visto que desde seu curso superior percorre por entre essas machas.

A classe “praças” compreende manchas de vegetação criadas ou remanescentes da vegetação original mantidas durante o processo de urbanização, legalmente estabelecidas, visando ser uma área de lazer e recreação e ao mesmo tempo servindo ao controle hidrológico como uma bacia de amortecimento em eventos de chuvas intensas.

Dois tipos de campo foram identificados na bacia: os campos rupestres e os campos manejados. Contudo, como muitas das áreas de ocorrência estavam associadas, os dois foram agrupados.

Os campos rupestres são campos naturais que ocorrem nos topos dos grandes morros da bacia, onde surgem afloramentos rochosos e solos extremamente rasos. São formações herbáceas com predomínio de gramíneas (com raras árvores) constituídas sobre neossolos. Os afloramentos rochosos, definidos também como uma classe, são predominantemente lajes do Granito Santana.

Os campos manejados são formações herbáceas bastante homogêneas, devido ao pastejo, corte e/ou queima periódico de matas. Situam-se no contato com área construídas na forma de manchas isoladas.

A espacialização dos tipos de cobertura vegetal, bem como dos usos, é dada pelo Mapa de Uso e Ocupação do Solo Atual (Figura 30).

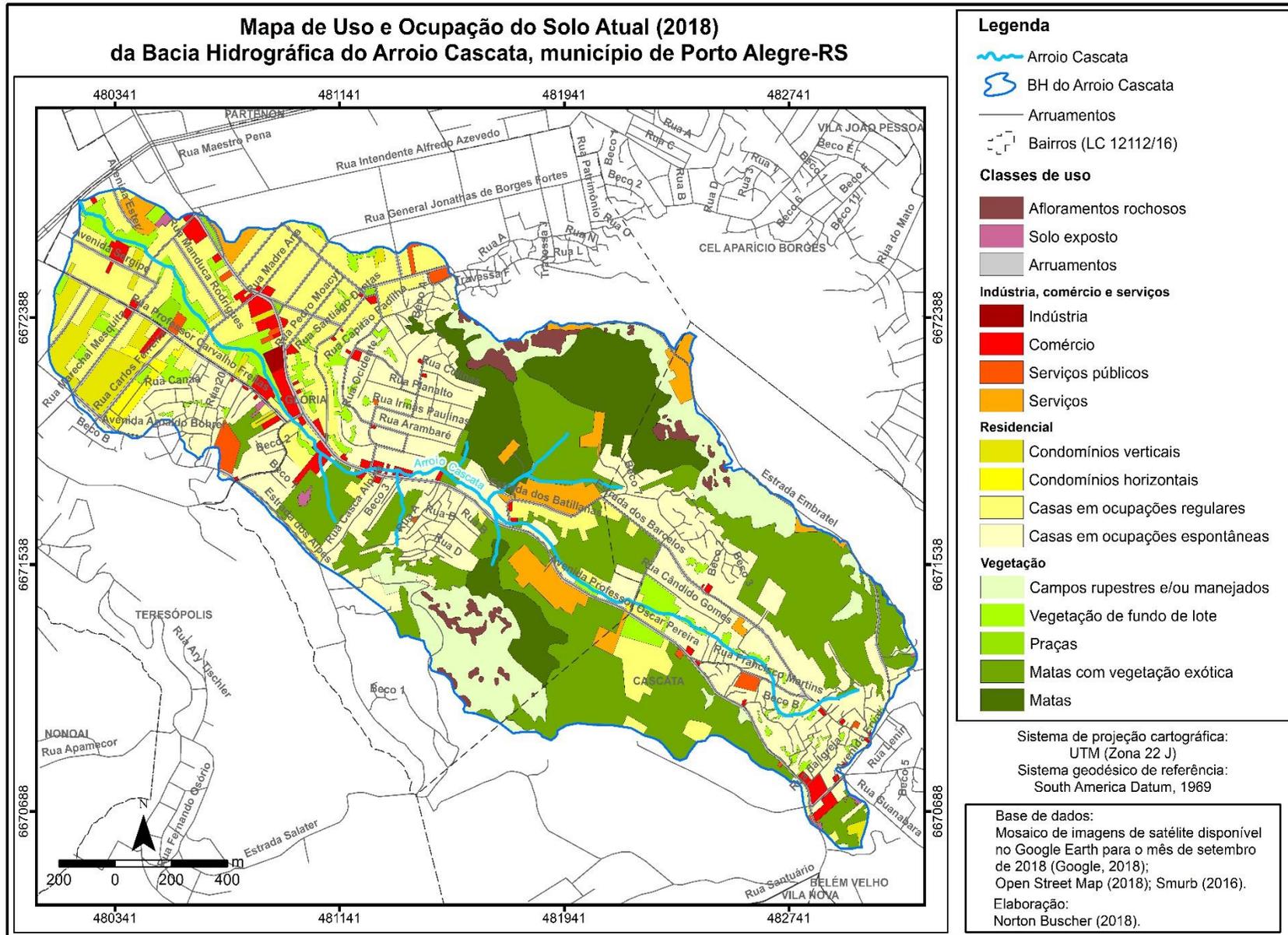


Figura 30. Mapa de Usos e Ocupação Atual.

4.2.4 Análise dos usos previstos no Plano Diretor de Porto Alegre

Na Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata predominam ocupações irregulares em morros e morros baixos associadas a manchas de vegetação ainda bem expressivas em área, como visto no mapa de usos do solo.

No entanto, *os usos constatados na área são condizentes com as atividades propostas pelo Plano Diretor?* Visando esclarecer esse questionamento foi elaborado Mapa de Usos a partir do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) de Porto Alegre (Figura 31) para a bacia.

Percebe-se forte correspondência dos usos reais e previstos, ao analisar o mapa de usos do PDDUA.

- As áreas definidas como de “uso misto comercial e residencial” correspondem a área de concentração comercial ao longo da Avenida Professor Oscar Pereira, identificada no mapa de usos atuais, e também a área comercial próxima ao exutório da bacia.
- O “uso predominantemente residencial” relaciona-se as áreas de casa em ocupação regular, incluídos os condomínios, e a basicamente toda área definida como de casas em ocupação espontânea no mapa de usos atuais;
- Já as áreas definidas como “AEIS” englobam ocupações espontâneas mais antigas e consolidadas da bacia e que apresentam forte organização e atuação comunitárias (PROCEMPA, 2016), como as comunidades Graciliano Ramos, Primeiro de Maio e Alto Embratel;
- A única “AIC” corresponde a um conjunto residencial com arquitetura da primeira metade do século 20 e que apresenta relevância para o patrimônio histórico;
- As Áreas de Proteção do Ambiente Natural englobam as manchas contínuas de campo rupestre/ manejados e matas identificadas no mapa de usos atuais;

São observadas semelhanças entre os mapeamentos mesmo quando analisadas as Áreas de Proteção Permanente. As áreas de APPs de cursos fluviais estão descontinuas, em conformidade as áreas de uso predominantemente residencial. Isso fica bastante evidente no caso do curso fluvial, onde as áreas de APPs correspondem as áreas de “vegetação de fundo de lote” sobretudo.

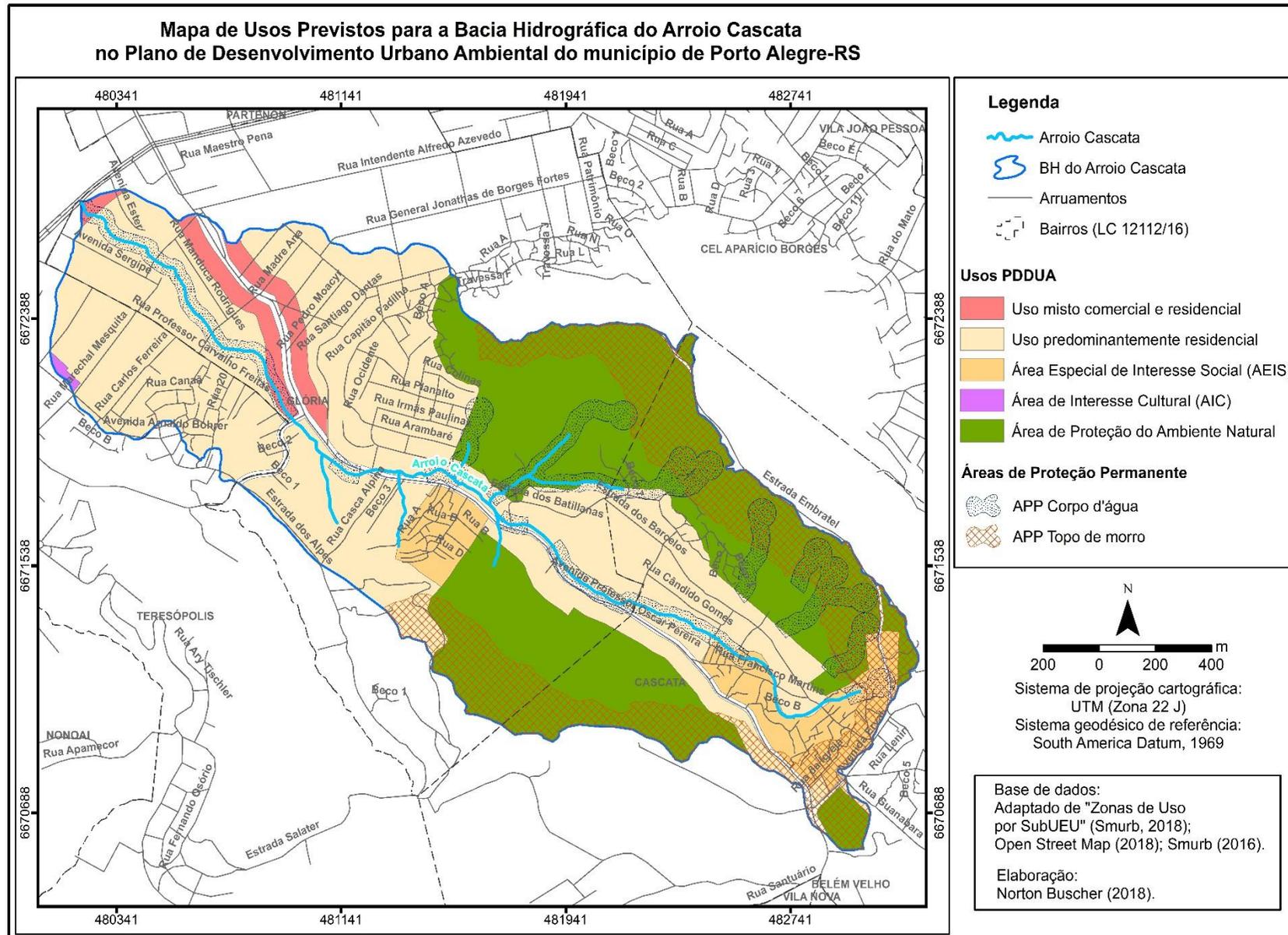


Figura 31. Mapa de Usos conforme o PDDUA.

Para as APPs de topo de morro tem-se dualidade: nas áreas mais elevadas, a leste e a oeste, as APPs estão basicamente ligadas a vegetação; a sul, no entanto, as APPs coincidem com área de ocupação espontâneas reconhecidas como AEIS.

4.4 O Mapeamento Geomorfológico no âmbito do PDDUA de Porto Alegre

O Plano Diretor é o principal instrumento legal para ordenamento e desenvolvimento territorial em escala municipal (PMPA, 2016). Apesar de trazer diretrizes, sua atualização deve ser periódica, acompanhando as mudanças de usos da cidade sem perder de vista questões como habitação, saneamento e preservação ambiental.

O mapa geomorfológico instrumento e síntese dessa pesquisa pode servir como auxílio a futura atualização do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) de Porto Alegre no que diz respeito ao recorte da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata, ao trazer as formas de relevo originadas pelas usos e ocupações atuais e passados deste território.

O PDDUA é composto de sete estratégias integradas, as quais são constituídas de programas e projetos. Ao analisar as estratégias, o presente estudo pode colaborar em ao menos duas: a Estratégia de Qualificação Ambiental e a Estratégica de Produção da Cidade.

A Estratégia de Qualificação Ambiental visa a preservação, a superação de conflitos e a promoção das potencialidades no que se refere ao patrimônio ambiental, que inclui tanto o patrimônio natural quanto cultural. São englobados pelo conceito de patrimônio cultural: edificações, parques, praças, sítios e áreas remanescentes de quilombos e comunidades indígenas, paisagens, bens arqueológicos e manifestações culturais de valor significativo e que conferem identidade a esses espaços. Enquanto o patrimônio natural diz respeito aos elementos naturais (ar, água, solo) bem como fauna e flora voltados a preservação dos ambientes naturais, preservação das condições de equilíbrio urbano e marco paisagístico.

Trazida pelo Artigo 13 do PDDUA de Porto Alegre, a Estratégia de Qualificação Ambiental apresenta seis programas, sendo um deles uma diretriz espacial na qual o mapeamento das formas de relevo antropogênicas pode auxiliar: o Programa de Proteção (e Recuperação) às Áreas Naturais. Esse programa propõe estudos para identificar e proteger

espaços representativos de valor natural, tendo por base o uso sustentável dos mesmos, além de visar a recuperação de áreas degradadas e a prevenção de riscos ambientais.

Ao considerar esse programa a Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata apresenta duas situações: nas áreas de grande declividade e nos topos dos morros há o interesse de proteção do ambiente natural e recuperação paisagística, enquanto no fundo do vale e no exutório o interesse do poder público volta-se para recuperação urbana.

Já a Estratégia de Produção da Cidade, definida no Artigo 21 do PDDUA, visa:

[...] a capacitação do Município para a promoção do seu desenvolvimento através de um conjunto de ações políticas e instrumentos de gerenciamento do solo urbano que envolvem a diversidade dos agentes produtores da cidade e incorporam as oportunidades empresariais aos interesses do desenvolvimento urbano como um todo (Art.21. do PDDUA de Porto Alegre).

Essa estratégia é composta por cinco programas, dos quais dois se constituem com diretrizes espaciais básicas: o Programa de Projetos Especiais e o Programa de Habitação de Interesse de Social.

- Programa de Projetos Especiais: conjunto de intervenções específicas promovidas pelo Poder Público em áreas determinadas do município, em concordância ao Plano Diretor, levando em conta o grupo de atores que produzem a área ou a localização da mesma.
- Programa de Habitação de Interesse Social: ações e projetos de regulamentação, manutenção cadastral e produção de empreendimentos de Habitação de Interesse Social (HIS) em áreas de ocupação informal do solo urbano. Com essas medidas, visa-se o acesso dos setores sociais de baixa renda ao solo urbanizado e legalizado, levando em consideração “áreas de risco, compatibilização com o meio ambiente, posição relativa aos locais estruturados da Cidade, em especial o acesso ao trabalho e aos serviços essenciais” (Art.23 do PDDUA de Porto Alegre).

Ao considerar essas duas principais diretrizes da Estratégia de Produção da Cidade, componente do PDDUA de Porto Alegre, a Área da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata encontra-se em áreas onde se prioriza a regularização das habitações e a preservação do ambiente natural.

O Programa de Projetos Especiais, a área de estudo situa-se em área onde habitação, proteção do ambiente natural, comércio, serviços e lazer são prioritários. Para mesma área os principais agentes produtores do espaço urbano são o setor privado, o setor informal e a Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA).

O Programa de Habitação de Interesse Social, a Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata está situada na Área de Interesse Ambiental, área que deve ter a sua ocupação e utilização reguladas, no sentido de conservar o patrimônio ambiental do município, natural ou cultural. Para essa área, assim, tem-se com foco “qualidade de vida para os assentamentos e qualidade ambiental para o entorno” em referência as Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS) (PMPA, 2010). As AEIS são áreas destinadas à produção e à manutenção de Habitação de Interesse Social, por sua vez, aquela destinada a população que vive em condições de habitabilidade precária e/ou com renda igual ou inferior a cinco salários mínimos (PMPA, 2016).

Dada a ênfase em regularização de ocupações e a preservação ambiental das áreas de morro previstas nas duas estratégias do PDDUA, a atenção volta-se para as áreas de risco geológico/ geomorfológico existentes na bacia. É sobretudo nessas áreas onde se dá o *conflito preservar x regularizar*.

Em razão da sua elevada suscetibilidade a desastres naturais, o município de Porto Alegre foi considerado como um dos prioritários pelo Governo Federal em ações de prevenção a desastres naturais em 2013 (BRITO *et al.*, 2017). Parte dessas ações foi o trabalho “Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa” edição de Porto Alegre (CPRM, 2013). O trabalho, a nível nacional, foi realizado pelos técnicos da CPRM com apoio de representantes locais, no caso de Porto Alegre, parte da equipe do Programa de Áreas de Risco da Secretaria de Meio Ambiente e da Defesa Civil Municipal.

Para a área de estudo, em razão do relevo de morros, o mapeamento da CPRM (2013) aponta que os maiores riscos estão relacionados a movimentos de massa, sobretudo deslizamentos planares. As áreas de risco geológico da Bacia do Arroio Cascata, com os respectivos movimentos de massa, são apresentadas em associação as formas de relevo antropogênicas na Figura 32. Quando esses dados são analisados conjuntamente, é possível verificar algumas correspondências.

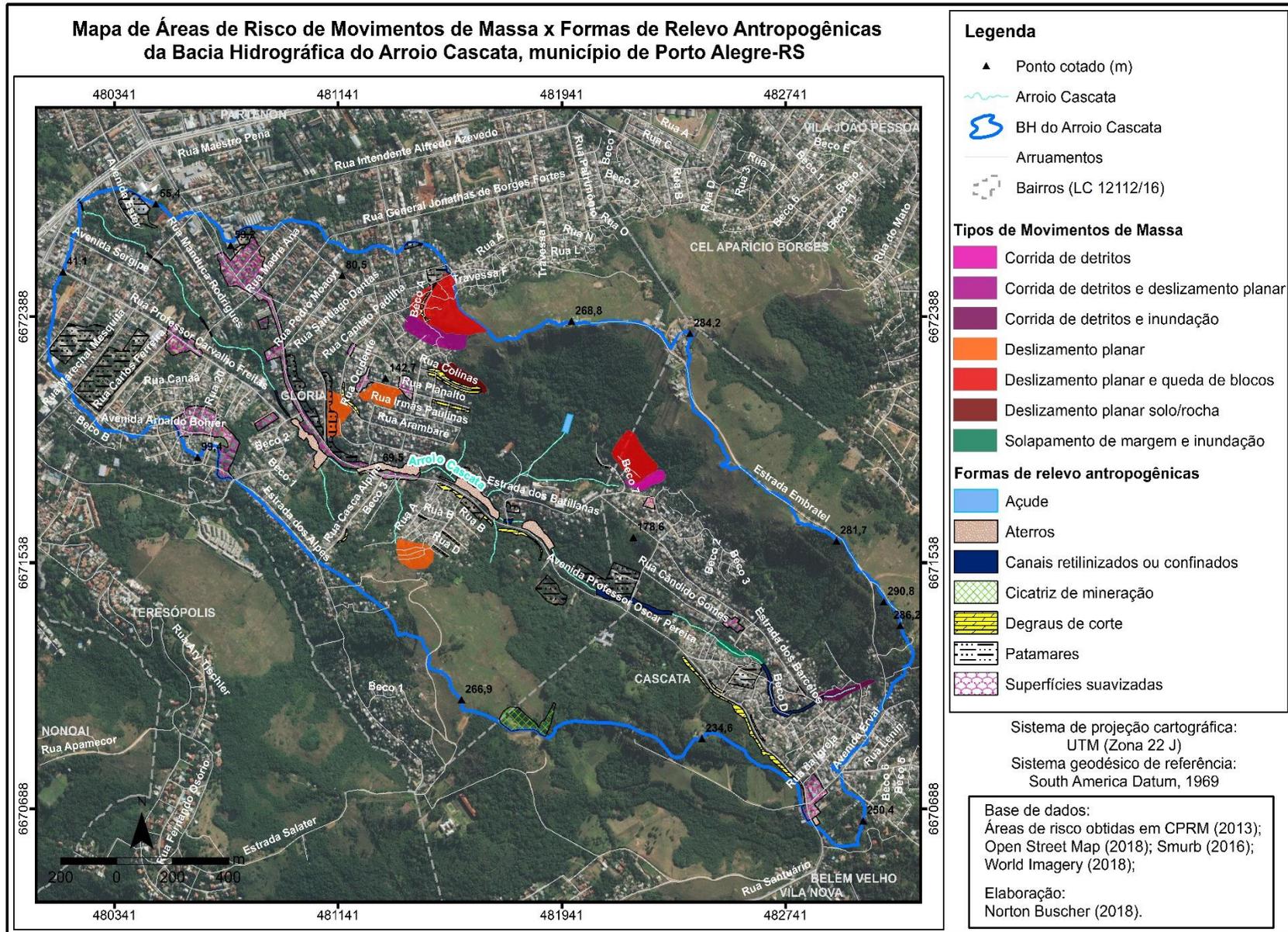


Figura 32. Mapa de áreas de risco geológico x formas antropogênicas da bacia.

- As áreas suscetíveis a deslizamento planares se sobrepõem a degraus de corte (Figura 33), indicando possível relação de causa e feito;
- Outro caso de sobreposição entre formas antropogênicas e áreas de risco ocorrem na Rua Santiago Dantas, onde patamares estão em áreas de possível ocorrência de deslizamento planares;
- Junto à calha do Arroio Cascata, a norte, área suscetível a solapamento de margem e inundação está separada de outra área de risco de corrida de detritos e inundação por pequeno intervalo. Este intervalo corresponde a área de canal retificado ou confinado. Pode-se correlacionar que as áreas de risco imediatamente a jusante e a montante dessa forma estejam relacionadas a intensificação de processos erosivos causados por sua existência;
- Contudo, as áreas de aterro ocupadas sobre o Arroio Cascata não são consideradas áreas de risco;



Figura 33. Área sujeita a deslizamento planar na Rua Capitão Padilha (Coordenadas: Lat.: 30° 4'55.13"S, Long.: 51°11'43.71"O).
Foto: Norton Buscher (nov., 2018).

Levando em conta os padrões socioeconômicos e de ocupação do solo verifica-se que as áreas de risco delimitadas, no caso da bacia, englobam principalmente áreas de ocupação

espontânea com características mais precárias. Isso fica evidente quando áreas aterradas do Arroio Cascata, em sua maioria ocupadas por casas melhores e comércios, não foram consideradas como de risco.

Com isso, pode-se dizer que o mapeamento das formas de relevo antropogênicas da bacia é, ao mesmo tempo, complementar ao mapeamento de áreas de risco geológico/geomorfológico e mais inclusivo, por não considerar apenas áreas carentes.

Essa avaliação é essencial para ao planejamento urbano e ambiental da área. Não se pode presumir que apenas ocupações de mais baixo padrão socioeconômico causem alterações paisagísticas e ambientais, incluindo aí a modificação do relevo, e estejam sujeitas aos impactos resultantes dessas intervenções.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata abrange, sobretudo, formas de morros, morrotes e colinas com topos convexos. A origem dessas formas de relevo passa pela formação da morfoestrutura do Cinturão Dom Feliciano, no Neoproterozóico, e sua lenta esculturação pela ação fluvial, climática e glacial, resultando em duas morfoesculturas: o Planalto Residual Nordeste, representado pelos morros e morrotes; e o Planalto Rebaixado Marginal Leste, representado pelas colinas, rampas e planície da área. Apenas no Holoceno, as condições climáticas e pedogênicas possibilitam o desenvolvimento de um estrato arbóreo expressivo para além dos fundos de vale fluviais, indo em direção as vertentes altas e porções de topos, em detrimento dos campos e campos rupestres.

As formas de relevo antropogênicas na área estão vinculadas ao processo de expansão urbana desordenada característico das grandes cidades brasileiras a partir da segunda metade do século 20. As áreas de encostas de morros e morrotes e os topos dos morrotes foram predominantemente ocupados por populações de baixa renda e de baixo nível de educação formal. Todavia, no caso da Bacia do Cascata há ainda cobertura de matas e campos representativas nas encostas e topos dos morros.

Ao analisar a área construída da bacia, em 1990 e em 2018, observou-se que há tendência a sua estabilização. Novas edificações surgiram de forma pontual, em áreas não ocupadas ou de baixa densidade de edificações entre áreas de ocupação mais antiga. Nesse processo, foram sobretudo os morrotes que foram ocupados de forma espontânea. Essa estabilização pode ser vinculada a estabilização do crescimento populacional (com tendência a queda) observada entre 2000 e 2010.

Ao contrário do que se pode esperar, as formas de relevo antropogênicas não estão predominantemente nas áreas de ocupação espontânea mais carentes na Bacia do Cascata. Essas formas estão concentradas junto à via mais antiga e estruturante dos bairros Glória e Cascata e por tabela da bacia, a Avenida Professor Oscar Pereira. Ao longo desse eixo são vistas casas com melhor estrutura e pequenos comércios.

Contudo, as áreas de ocupação espontâneas mais recentes apresentam também formas desse tipo, em especial degraus de corte. Pode-se inferir que essas populações prezam por uma ocupação mais imediata, evitando custos de escavações mais acentuadas, o que implica em alterações vinculadas essencialmente aos arruamentos.

As formas identificadas como *degraus de corte* apresentaram forte compatibilidade às áreas mapeadas em trabalho da CPRM (2013) como de muito alto e lato risco de movimentos de massa. De forma menos acentuada também pode-se relacionar *patamares* e *canais retelinizados* a áreas suscetíveis.

Essa correspondência entre relevo antropogenizado e as áreas de risco geológico/geomorfológico serve ao planejamento urbano da área de estudo. Com base no PDDUA de Porto Alegre e visto a necessidade de revisão periódica desse instrumento de planejamento, o mapeamento das formas de relevo antropogênicas poderia servir para conciliar os impasses entre *preservar x regularizar* áreas. O mapeamento ao trazer as formas de relevo originadas pelas usos e ocupações atuais e passados da bacia, e conseqüentemente suas fragilidades e potencialidades, enquadra-se no âmbito da Estratégia de Qualificação Ambiental e da Estratégia de Produção da Cidade.

Deve-se dizer que existem certas limitações nas técnicas de mapeamento empregadas. Mesmo com a boa precisão das informações de altimetria e declividade, algumas áreas foram homogeneizadas. Assim, para futuros trabalhos recomenda-se o uso de outras camadas de apoio e mais pontos de controle e análise de campo, tomando cuidado com a escolha dos mesmos vista a disputa de territórios do tráfico na área.

Assim, os três padrões e as sete formas de relevo e as sete formas de relevo antropogênicas, bem como os demais dados sintetizados para a escala da Bacia Hidrográfica do Arroio Cascata, constituem um banco de dados urbanos e ambientais obtidos por análise geográfica e instrumental da Geomorfologia. Esses dados, por sua integração, podem servir ao monitoramento e ao planejamento desse território.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. **Um conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário**. Geomorfologia, 18, São Paulo: IGEOG-USP, 1969.
- ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. Unidades de Desenvolvimento Humano (UDH). Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/mapa/>>. Acesso em: jul 2018.
- BRITO, M.M.; WEBER, E.J.; PASSUELLO, A. **Avaliação multicritério aplicada ao mapeamento a suscetibilidade a escorregamentos: o caso do Bairro Cascata, Porto Alegre, RS**. Revista Brasileira de Geografia Física v.10, n.03 (2017) 735-749.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Brasil. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa, Porto Alegre - Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: MME, 2013. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20119>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- FUJIMOTO, N.S.V. **Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto Alegre-RS: Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio**. Tese de Doutorado da FFLCH/USP. Orientador: Professor Doutor Jurandyr Luciano Sanches Ross. São Paulo: USP, 2001.
- GRAEFF, O.R. Licenciamento Ambiental Urbano. In: GUERRA, A.J.T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 280p.
- 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. 84p. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Livros_ou_capitulos/2008/Hasenack_et_al_2008_Diagnostico_ambiental_de_Porto_Alegre.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2016.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010: Aglomerados Subnormais**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/agsn/>>. Acesso em: 14 dez. 2016.
- JORGE, M.C.O. Geomorfologia Urbana: conceitos, metodologias e teorias. In: GUERRA, A.J.T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 280p.
- LAITANO, G. S. **Os jovens do Quilombo dos Alpes no duelo ético-estético: identidades, territórios e o lugar**. Tese de Doutorado POSGEA/IGEO/UFRGS. Orientador: Professor Doutor Nelson Rego. Porto Alegre: UFRGS, dez 2012.
- MACHADO, C.A. **A Pesquisa dos Depósitos Tecnogênicos no Brasil e no Mundo**. Revista Tocantinense de Geografia, ano 01, nº 02, p. 15-35, jan-jun, 2013. Disponível em: <<https://sistemas2.uft.edu.br:8004/index.php/geografia/article/view/522>>. Acesso em: 02 nov. 2016.
- MARTH, J.D. **Mapeamento dos Padrões de Forma do Escudo Sul-Rio-grandense (RS) com Auxílio de Geotecnologias: um Estudo das Inter-relações dos Processos Morfoestruturais e Morfoesculturais na Conformação do Relevo**. Tese de Doutorado do

- POSGEA/IGEO/UFRGS. Orientadora: Professora Doutora Nina Simone Vilaverde Moura. Porto Alegre: UFRGS, 2017.
- MOURA, N.S.V; DIAS, T.S. **Mapeamento Geomorfológico do Município de Porto Alegre-RS**. Revista Ciência e Natura (UFSM), V. 34, nº 2, p. 113-138, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9345>>. Acesso em: 23 out. 2016.
- PELOGGIA, A.U.G. **O Homem e o ambiente geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo**. São Paulo: Xamã, 1998. 271p.
- 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 (USP), V. 16, p.24-31, 2005. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Alex_Ubiratan_Goossens_Peloggia.pdf>. Acesso em 02 nov. 2016.
- PMPA - Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental**. Porto Alegre-RS: PMPA, 2010. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/planodiretortexto.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2017.
- PMPA - Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB). **Plano Municipal de Habitação de Interesse Social. Etapa II - Diagnóstico do Setor Habitacional de Porto Alegre**. Porto Alegre-RS: PMPA, 2009. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/demhab/usu_doc/diagnstico_porto_alegre.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2016.
- PMPA - Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Municipal de Saneamento Básico. Volume 1: Diagnóstico**. Porto Alegre: PMPA, 2015. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmlu/usu_doc/01pmsb.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.
- PROCEMPA - Companhia de Processamento de Dados do Município de Porto Alegre. **História dos Bairros de Porto Alegre**. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/observatorio/usu_doc/historia_dos_bairros_de_porto_alegre.pdf>. Acesso em: 08 set. 2016.
- ROSS, J.L.S. **Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental**. Revista do Departamento de Geografia (USP), V. 9, p.65-75, 1995. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53692/57655>>. Acesso em: 02 dez. 2016.
- ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 2005. 8.ed. Coleção Repensando a Geografia.
- ROSS, J.L.S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. Revista do Departamento de Geografia (USP), V. 6, p. 17-29, 1992. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108>>. Acesso em: 18 set. 2016.

- SANTOS FILHO, R. D. Antropogeomorfologia urbana. In: GUERRA, A.J.T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 280p.
- SUERTEGARAY, D. M. A. & FUJIMOTO, 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, 2004. 11-26p.
- UMBELINO, G.; BARBIERI, A. **Metodologia para a compatibilização de setores censitários e perímetros urbanos entre os censos de 1991, 2000 e 2010**. Trabalho apresentado no XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais, realizado em Caxambu, MG, Brasil, de 29 de setembro a 03 de outubro de 2008.
- VALERIANO, M. M. **Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.539-546, 2003