



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Raphaela Cristina Rodrigues De Negri

**MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PALATINO, PETRÓPOLIS – RJ: caracterização do meio físico
aplicada à susceptibilidade a movimentos de massa e inundações**

Rio de Janeiro
Janeiro de 2023



Raphaela Cristina Rodrigues De Negri

**MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PALATINO, PETRÓPOLIS – RJ: caracterização do meio físico
aplicada à susceptibilidade a movimentos de massa e inundações**

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geóloga.

Orientador(es):

D.Sc. Kátia Leite Mansur

D.Sc. Fernando Amaro Pessoa

Rio de Janeiro

Janeiro de 2023

DE NEGRI, Raphaela

Mapeamento da Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino, Petrópolis – RJ: caracterização do meio físico aplicada à susceptibilidade a movimentos de massa e inundações / Raphaela Cristina Rodrigues De Negri - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2023.

88 f.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2023.

Orientador(es): Kátia Leite Mansur, Fernando Amaro Pessoa.

1. Geologia. 2. Geodiversidade e Geoprocessamento – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Kátia Leite Mansur. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Mapeamento da Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino, Petrópolis – RJ: percepção de risco através da diferenciação e caracterização do meio físico.

Raphaela Cristina Rodrigues De Negri

**MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PALATINO, PETRÓPOLIS – RJ: caracterização do meio físico aplicada à
susceptibilidade a movimentos de massa e inundações**

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador(es):

D.Sc. Kátia Leite Mansur

D.Sc. Fernando Amaro Pessoa

Aprovada em:

Por:

Orientador: D.Sc. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

Orientador: D.Sc. Fernando Amaro Pessoa
(CEFET-Petrópolis)

D.Sc. Daniel Souza dos Santos (USP)

M.Sc. Elisabete do Nascimento Rocha (UFRRJ)

Dedico este trabalho a todos petropolitanos vítimas dos desastres causados pelas chuvas e pela falta de comprometimento dos governantes.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus pais, que sempre fizeram tudo para que eu pudesse ter uma vida cheia de oportunidades, tais que me possibilitaram a conquista desse grau. Agradeço todos os ensinamentos sobre amor, respeito e resiliência. À minha mãe, não tenho palavras suficientes para expressar tamanha gratidão, ela é a pessoa mais importante na minha jornada, minha melhor amiga. Ao meu pai, agradeço por todo o esforço para me proporcionar tudo isso e sempre acreditar no meu potencial, demonstrando através de enaltecimento e orgulho até seu último dia nesse plano entre nós.

Agradeço a todos os meus outros familiares de sangue ou coração, que sempre me deram apoio, incentivo e acreditaram no sucesso da minha nova carreira.

Agradeço muito ao meu companheiro Lucas Noel, que desde 2020 acompanhou minha jornada na Geologia me dando todo o suporte necessário nos momentos de maior turbulência. Ao lado dele, minha trajetória pode ser mais feliz, leve, divertida e cheia de amor.

Aos meus orientadores Kátia e Fernando, que compraram minha ideia e fortaleceram de forma impecável. À Kátia, não agradeço somente a orientação do TCC, mas todo o ensinamento desde Geologia Geral e as atividades de extensão até meus últimos momentos como bolsista do Projeto Geoparque Costões e Lagunas do RJ, no qual pude entender a responsabilidade e ética ambiental e social de uma Geocientista.

Às minhas amigas e irmãs de coração Vitória, Laís, Mayara e Aryane, em quem confio até nos momentos difíceis. Elas me dão segurança através de companheirismo e sensatez. O grupo de amigos que agregamos é único, minha segunda família.

A todos os meus amigos e amigas da graduação que compartilharam tanto conhecimento comigo, desde os do BCMT até os conquistados no DAGEO, especialmente os que fortaleceram laços além da faculdade como Thauan Vaisman, Julia Mascarenhas, Raphaela Lopes, Bianca Governo, Leonardo Ribeiro, João (Mogli), Úrsula Riente e PedroVitor (PV).

Aos meus amigos do estágio na CPRM – Serviço Geológico do Brasil, que compartilham o dia a dia comigo e trazem leveza ao trabalho. À minha chefe Alessandra Pacheco por tantos ensinamentos, ao Sergio Lins meu grande amigo e confidente, a Marianna Cruz por confiar em mim e me introduzir nessa equipe maravilhosa e especialmente ao Rafael Freitas com quem me identifico tanto e me ensinou muito sobre geoprocessamento, possibilitando a qualidade dos resultados dessa monografia.

Por fim, agradeço aos colegas geocientistas e engenheiros que colaboraram de diretamente com esse trabalho, Marcelo Dantas, Manoel Fernandes, Alexandre Martins, Jéssica Gonçalves, Bruno Venâncio, Larissa Blaudt e Jhone Araújo.

“Se a miséria dos pobres não é causada pelas leis da natureza, mas pelas instituições, é grande o nosso pecado.”

Charles Darwin

Resumo

DE NEGRI, Raphaela Cristina Rodrigues. **Mapeamento na Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino, Petrópolis – RJ: caracterização do meio físico aplicada à susceptibilidade a movimentos de massa e inundações**. 2023. 88 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Os desastres relacionados a processos naturais são recorrentes no município de Petrópolis no estado do Rio de Janeiro. Em 15 de fevereiro de 2022, o município sofreu a maior catástrofe de sua história, contabilizando a perda de 238 vidas, além de perdas materiais. A Bacia Hidrográfica do rio Palatino foi extremamente afetada pelas chuvas do evento, principalmente o Morro da Oficina. A existência de Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDECs), que atuam como voluntários na prevenção de desastres naturais, vem colaborando no preparo da população, porém, a abordagem geoespacial tem potencial para gerar a percepção de risco através do conhecimento das particularidades da geodiversidade local. A geodiversidade corresponde à diversidade do meio abiótico, que em conjunto com a biodiversidade — diversidade do meio biótico, compõe a diversidade natural. A biodiversidade é um conceito amplamente difundido, diferente da geodiversidade, cujo conceito não é tão popularizado, apesar do termo ter sido destacado desde a década de 90. Desde então, a evolução do conceito, suas metodologias quantitativas e qualitativas e aplicações, vêm ocorrendo cada vez mais. Contribuindo com a propagação do conceito e o estabelecimento de metodologias para escalas de detalhe focadas em suscetibilidade a movimentos gravitacionais e inundações, essa monografia constituiu-se do levantamento da geodiversidade a partir da integração dos elementos do meio físico, representados pela geologia, relevo, hidrografia, declividade, hipsometria e os processos do meio físico, o qual possibilitou a diferenciação de domínios e unidades de geodiversidade. A diferenciação se deu pela interpretação das características integradas do meio físico, seus usos e potencialidades além dos riscos e recomendações. O produto final agrega dados censitários e uma carta síntese da história geológica-geomorfológica da bacia. Sendo assim, possui grande potencial de propagação do conhecimento da geodiversidade em prol da percepção de risco da população integradora da bacia e de todo município.

Palavras-chave: Geodiversidade; Mapeamento; Geoprocessamento; Movimentos Gravitacionais; Inundações; Petrópolis.

Abstract

DE NEGRI, Raphaela Cristina Rodrigues. **Geodiversity Mapping of the Palatino River Hydrographic Basin, Petrópolis – RJ: characterization of the physical environment applied to susceptibility to mass movements and floods.** 2023. 88 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Disasters related to natural processes are recurrent in the municipality of Petrópolis in Rio de Janeiro State. On February 15, 2022, the city suffered the biggest catastrophe in its history, accounting for the loss of 238 lives and material losses. The Palatino River Basin was highly affected by the storm, especially at Morro da Oficina. Community Civil Defense Centers (Nudecs), which act as volunteers to prevent natural disasters, have been collaborating to prepare the population. However, the geoeeducational approach has the potential to generate risk perception through the knowledge of the local geodiversity particularities. Geodiversity corresponds to the diversity of the abiotic environment and, together with Biodiversity – the diversity of the biotic environment, makes up the natural diversity. Biodiversity is a widely spread concept, different from Geodiversity, whose concepts are not so popularized despite the term being highlighted since the 90s. Therefore, the evolution of the concept, its quantitative and qualitative methodologies and applications have occurred more often. Contributing to the propagation of the concept and to the establishment of methodologies for detailed scales focused on susceptibility to gravitational movements and floods, this monograph consisted of the assessment of Geodiversity from the integration of elements of the physical environment, represented by geology, relief, hydrography, slope, hypsometry and the associated processes, in which it enabled the differentiation of domains and units of Geodiversity. The differentiation was due to the interpretation of the integrated characteristics of the physical environment, its uses and potentialities, in addition to the risks and recommendations. The final product includes census data and a summary chart of the geological-geomorphological history of the basin. Therefore, it has great potential for spreading knowledge about geodiversity in favor of the risk perception of the population that integrates the basin and the entire municipality.

Keywords: Geodiversity; Mapping; Geoprocessing; Gravitational Movements; Floods; Petrópolis.

Lista de figuras

Figura 1 - Principais aplicações da geodiversidade (Silva <i>et al.</i> , 2008).....	16
Figura 2 - Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação (CPRM, 2016).	22
Figura 3 - Legenda da Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação (CPRM, 2016).....	23
Figura 4 - Classificação climática para o Brasil, segundo os critérios de Köppen (1936). Adaptado por Alvares <i>et al.</i> , 2014.....	24
Figura 5 - Deslizamento no Morro da Oficina, Petrópolis - RJ. Foto: Ricardo Moraes/Reuters.	27
Figura 6 - A) Desenho esquemático de queda de rocha. B) Esquema de tombamento (Highland, 2008).....	28
Figura 7 - A) Desenho esquemático de tombamento em Capitólio-MG. Esquema de Rubson Pinheiro (https://www.instagram.com/p/CYejG6r5WG/) B) Foto do desastre. (Fonte: https://altamontanha.com/o-que-causou-o-desabamento-no-canyon-de-capitolio/)	28
Figura 8 - A) Esquema de escorregamento rotacional. B) Esquema de escorregamento translacional (Highland, 2008).	29
Figura 9 - Movimento de massa ocorrido no Morro da Oficina em 15 de fevereiro de 2022, onde ocorre um destacamento do plano de contato entre solo e a rocha sã. A água presente nos planos intemperizados das fraturas gera pressão. Essa pressão faz com as partes superficiais, de aproximadamente 1 metro de espessura de solo, se destaquem e deslizem. A topografia local apresenta uma calha no sopé, onde havia o acúmulo de sedimentos ao longo dos anos. Porém, nesse episódio, o material atravessou a calha, atingindo as casas mais abaixo (setas claras) e para o resto do material mobilizado, a calha direcionou o fluxo que atingiu as casas da comunidade. A soma desses dois direcionamentos condicionou a magnitude do estrago (Dantas <i>et al.</i> 2022).....	29
Figura 10 - Inundação no centro do 1º distrito de Petrópolis, dentro da área da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Foto: Arianne Souza.....	31
Figura 11 - Densidade de eventos de inundação no 1º Distrito do Município de Petrópolis. O quadrado verde representa a posição da bacia (Neves, 2017).	32
Figura 12 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino.	33
Figura 13 - Índice de sinuosidade variando ao longo dos anos dos três canais principais (Lima <i>et al.</i> , 2020).....	34
Figura 14 - Mensurações de largura do Rio Platino (Lima <i>et al.</i> , 2020).....	34
Figura 15 - Mapa tectônico do setor central da Faixa Ribeira e do setor meridional da Faixa Brasília (Heilbron <i>et al.</i> , 2004).....	35
Figura 16 - Esquema das áreas elevadas da Serra da Mantiqueira (A) e da Serra do Mar (B), representando horsts, e blocos deprimidos, sendo os grabens (Zalan e Oliveira, 2005).	36
Figura 17 - A) Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Adaptado de: Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara (Valeriano <i>et al.</i> , 2012).....	37
Figura 18 - A) Afloramento do Complexo Rio Negro na Pedreira Bangu, Bangu Rio de Janeiro. B) Afloramento típico da unidade Bingen (Valeriano <i>et al.</i> , 2012).....	38
Figura 19 – A) Aglomerados de biotita e hornblenda ao longo da foliação de gnaiss da Suíte Serra dos Órgãos. Afloramento em corte da BR-116 a norte de Teresópolis (Tupinambá <i>et al.</i> , 2012). B) Saprólito da Suíte Serra dos Órgãos.....	39
Figura 20 - Rio Palatino com blocos e sedimentos ao leito	40
Figura 21 - Imagem de satélite com falhas e lineamentos destacados em amarelo.....	40

Figura 22 – Padrão de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Adaptado de: Carta geomorfológica do município de Petrópolis, estado do Rio de Janeiro (Shinzato <i>et al.</i> , 2017).	41
Figura 23 – Nascentes principais dos rios Palatino, Quitandinha Piabanha e Praça da Confluência (Palácio de Cristal) (Winter, 2019).	42
Figura 24 – A) Encontro dos rios Quitandinha e Palatino no Centro de Petrópolis (Gonzalez, 2014) B) Esquema do recebimento dos afluentes do Rio Palatino (Lordeiro, 2005)	43
Figura 25 - Dados climatológicos de 1991 a 2021 de Petrópolis. Fonte de dados: https://pt.climate-data.org/	43
Figura 26 - Mapa de pontos de campo.	49
Figura 27 - Mapa de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino reinterpretado. Fonte de dados: Carta geomorfológica: município de Petrópolis, estado do Rio de Janeiro. CPRM (Shinzato <i>et al.</i> , 2017); interpretações da autora.	52
Figura 28 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Fonte de dados: Valeriano <i>et al.</i> Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara. (CPRM, 2012); Penha, H. <i>et al.</i> Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Folha Petrópolis. (DRM/UFRJ, 1979); interpretações da autora.	53
Figura 29 - Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino.	54
Figura 30 - Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Fonte de dados: CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Petrópolis – RJ. Rio de Janeiro: CPRM, 2016; adaptações da autora.	55
Figura 31 - Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais, inundações e perigo de desastres na Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Fonte de dados: CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Petrópolis – RJ. Rio de Janeiro: CPRM, 2016; interpretações da autora.	56
Figura 32 - Mapa de Setores Censitário da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino incluindo renda média e número de domicílios,	57
Figura 33 - Mapa de geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino	59
Figura 34 - Morro do Cobiçado. Foto: https://trilhaefoto.wordpress.com/2017/05/21/cobicado/	63
Figura 35 - A) Morro alto ao fundo correspondente a unidade dos Gnaisses e Migmatitos em morros altos. Ponto de campo 2.	65
Figura 36 - B) Afloramento do Complexo Rio Negro exposto pelo corte da unidade CSmg na unidade GMma. Este local, no momento da visita, estava recebendo obras de contenção. Ponto de campo 8.	65
Figura 37 - Afloramento da unidade Gnaisses e Migmatitos em morros baixos. Ponto de campo 13.	67
Figura 38 - Afloramento da unidade Gnaisses graníticos no compartimento serrano. Ponto de campo 10.	70
Figura 39 - Ponto estratégico de observação da bacia próximo à antiga pista de esqui de Petrópolis, sendo possível observar todas as unidades a partir dessa localização. Ponto de campo 10.	70
Figura 40 - Afloramento da unidade Gnaisses graníticos em morros baixos. Ponto de campo 11.	71
Figura 41 - Enclave máfico no Granito Andorinha. Ponto de campo 2.	72
Figura 42 - Morro do Castelinho apresentando <i>Tors</i> em seu topo. Foto: Fernanda Hudson. ..	73
Figura 43 - Bloco rolado da unidade Granitos nos topos de morros e montanhas. Ponto de campo 2.	73
Figura 44 - Sedimentos de tamanhos variados ao longo do curso do Rio Palatino. Os sedimentos grossos são provenientes de antigos movimentos de massa. Ponto de campo 6. ..	75

Figura 45 - Obra de contenção na curva do rio desequilibrando o balanço sedimentar. Ponto de campo 12.....	76
Figura 46 – A) Unidade Rampas de remobilização de sedimentos totalmente ocupada na Avenida Sampaio, Centro. Ao fundo, observa-se a Unidade dos Granitoides homogêneos nos morros baixos. B) Unidade Rampas de remobilização de sedimentos totalmente ocupada na Rua Marechal Floriano Peixoto, Centro. Ao fundo, observa-se a Unidade dos Gnaisses graníticos em morros baixos. Ponto de campo 11 (ambas).	77
Figura 47 – A) Fotografia posicionado na unidade Pif. Observa-se a Unidade Rfde coberta por área urbana. No topo do morro, nota-se a unida CSmg cortando da unidade Gmma até a unidade Rfde. B) Blocos rolados provenientes das unidades Gtmm e Gmma, depositados na unidade Rfde. C) Visão dos sedimentos misturados com pertences de vítimas do desastre de 15 de fevereiro de 2022, depositados na unidade Rfde, Todas no ponto de campo 2.....	78
Figura 48 - A) Cicatriz de deslizamento planar, expondo afloramento de rocha, próximo à Caixa Econômica no Alto da Serra. Ponto de campo 7. B) Cicatriz de deslizamento planar, local em obra na Rua Teresa. Ponto de campo 8. C) Cicatriz de deslizamento rotacional visto do ponto estratégico da bacia na unidade GGcs no bairro Floresta. Ponto de campo 10. D) Cicatrizes de deslizamentos rotacionais vistas do mesmo ponto estratégico, porém observando a bacia hidrográfica vizinha. Ponto de campo 9.....	80

Lista de quadros

Quadro 1 – Dados de identificação das ocorrências de desastres naturais entre 2001 e 2012 no município de Petrópolis. Adaptado de COPPETEC (2014)	17
Quadro 2 – Referências utilizadas nas adaptações dos Mapas Geológico e de Relevô.....	44
Quadro 3 – Pontos de campo com numeração, toponímia, dados obtidos em campo e coordenadas	49
Quadro 4 – Densidade de drenagem de cada unidade calculadas em quilômetros	56
Quadro 5 – Carta síntese da história geológica-geomorfológica da Bacia hidrográfica do Palatino	57
Quadro 6 – Áreas das unidades, áreas ocupadas por unidade e suas proporções e classificação de risco	79

Sumário

Agradecimentos	
Resumo	
Abstract	
Lista de figuras	
Lista de tabelas	
INTRODUÇÃO	15
1.1 Motivação	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivos específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Geodiversidade	19
2.2 Aplicações do conhecimento da geodiversidade para as particularidades da área de estudo	20
2.3 Risco	24
2.3.1 Desastres	25
2.3.2 Movimentos de massa	26
2.3.3 Inundações	30
3 ÁREA DE ESTUDO	33
3.1 Localização	33
3.1.1 A relação das ocupações com as mudanças na dinâmica das bacias	33
3.2 Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino	35
3.2.1 Contexto Geológico-Geomorfológico Regional	35
3.2.2 Geologia e Geomorfologia da área	36
3.2.3 Pedologia	41
3.2.4 Hidrografia	43
3.2.5 Clima	43
4 MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1 Etapa pré-campo.....	44
4.2 Etapa de campo.....	45
4.3 Etapa pós-campo.....	46
4.3.1 Mapas de parâmetros integradores.....	46

4.3.2 Mapa censitário	46
4.3.3 Carta síntese da história geológica-geomorfológica	46
4.3.4 Mapa de geodiversidade	47
4.3.5 Áreas e proporções das unidades e suas porções ocupadas	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 Quadro de pontos de campo	47
5.2 Mapas de parâmetros integradores.....	51
5.2.1 Mapa de relevo	51
5.2.2 Mapa geológico	52
5.2.3 Mapa hipsométrico.....	53
5.2.4 Mapa de declividade.....	54
5.2.5 Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais, inundação e Risco de desastres	55
5.3 Mapa setores censitários	56
5.4 Carta síntese da história geológica da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino.....	57
5.5 Mapa de geodiversidade	58
5.5.1 Densidade de drenagens	60
5.5.2 Domínios e unidades de geodiversidade	61
5.5.3 Áreas e proporções das unidades e suas porções ocupadas	80
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	82

Referências bibliográficas

Apêndice A – Mapa da Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino, Petrópolis – RJ.

1 INTRODUÇÃO

A geodiversidade é representada pela variedade da natureza abiótica — meio físico e constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, águas, solos, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (SGB-CPRM, 2006).

O desenvolvimento da geodiversidade que hoje observamos na Terra se dá desde o Arqueano, antes mesmo do aparecimento da biodiversidade — diversidade biótica, como consequência das atividades tectônicas, as mudanças climáticas, os processos superficiais derivados do intemperismo, erosão, transporte e sedimentação, a formação da escultura do relevo e a evolução das espécies em conjuntos às grandes extinções que possibilitaram os registros fossilíferos (Gray, 2008).

O conceito da geodiversidade, começa a ter destaque após a convenção Rio 92. Desde então, há diversos autores e instituições propondo conceitos. Das definições, encontram-se aquelas mais restritivas à geologia como por exemplo Johansson *et al.* (1999) e Nieto (2001) ou as mais abrangentes como a de Kozłowski (2004), que inclui a ação humana sobre o meio físico. Entretanto, Carcavilla *et al.* (2008) menciona o fato de que a inclusão da atividade antrópica pode dificultar a aplicação do termo ao qualificar um território. É necessário escolher corretamente os conceitos a serem utilizados, dependendo de sua aplicação.

Estudos sobre a geodiversidade podem conter diversas aplicações e dentre elas, a prevenção de desastres naturais, a geoeducação, o geoturismo e a utilização como instrumento de planejamento, gestão e ordenamento territorial como vê-se na Figura 1.



Figura 1 - Principais aplicações da geodiversidade (Silva *et al.*, 2008).

No caso desta monografia, ela está sendo utilizada para a geoeducação através da popularização do conhecimento sobre as particularidades da geodiversidade local como forma de percepção de risco da população que vive em uma bacia hidrográfica com grande histórico de desastres, a Bacia do Rio Palatino. Nesse contexto, o geoturismo também é aplicável, além dos produtos também terem utilidade para planejamento, gestão e ordenamento territorial.

1.1 Motivação

Este trabalho tem como justificativa a necessidade de demonstrar a importância do conhecimento geocientífico na percepção de risco de populações residentes de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais e inundações, como por exemplo, a população residente na área de Bacia Hidrográfica do Rio Palatino no município de Petrópolis. Esta é uma das bacias mais afetadas pelos desastres relacionados aos processos naturais intensificados pela ocupação desordenada em encostas e planícies de inundação. Sendo assim, a metodologia proposta pode ser replicada para outros locais vulneráveis.

Residir em Petrópolis, apesar das diversas vantagens de morar na serra e respirar um ar mais puro do que nas metrópoles, pode significar medo e apreensão devido aos constantes desastres gerados pelas inundações, enxurradas e movimentos gravitacionais de massa.

No mês de fevereiro de 2022, a cidade sofreu a maior catástrofe de sua história, contabilizando 238 vidas perdidas, número maior do que a soma de todos os desastres

ocorridos até então no município, que possui histórico recorrente de tragédias como observa-se no Quadro 1, adaptado dos dados pertencentes à COPPETEC (2014).

Quadro 1 – Dados de identificação das ocorrências de desastres naturais entre 2001 e 2012 no município de Petrópolis. Adaptado de COPPETEC (2014).

ANO	CAUSAS	TIPIFICAÇÃO DO DESASTRE	MORTES	PESSOAS AFETADAS
2001	Chuvas intensas e contínuas; Deslizamentos; Inundações; Forte temporal com granizo;	Enxurradas; Vendavais ou tempestades; Deslizamentos e enchentes	38	10642
2003	Chuvas intensas	Enxurradas ou inundações bruscas; Escorregamentos e deslizamentos	17	1512
2004	Chuvas intensas; Deslizamentos	Escorregamentos, corridas de massa, enchentes ou inundações graduais; Alagamentos	0	103340
2005	Chuvas intensas	Escorregamento ou deslizamentos	0	130000
2007	Chuvas intensas	Escorregamento ou deslizamentos	5	30125
2008	Chuvas intensas; Enxurradas; Inundações	Enxurradas ou inundações bruscas; Escorregamentos e deslizamentos	9	45000
2009	Chuvas intensas; Deslizamentos	Escorregamento ou deslizamentos	7	22200
2010	Chuvas intensas; Inundações; Deslizamentos	Escorregamento ou deslizamentos	0	78500
2011	Chuvas intensas	Enxurradas, inundações, deslizamentos	76	70000
2012	Deslizamentos; Pancadas de chuva e fortes rajadas de vento	Vendavais ou tempestades	0	5000

Apesar da existência dos Núcleos Comunitários de Defesa Civil (Nudecs), grupos compostos por moradores de áreas de risco capacitados pela Prefeitura por meio da Defesa Civil e Ações Voluntárias, que atuam como voluntários na prevenção de desastres naturais, uma nova abordagem geoeseducativa é de grande valia, tendo em vista que todos os desastres naturais ocorridos são controlados por processos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrogeológicos, cujo combinados, fazem parte da geodiversidade.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é realizar o levantamento qualitativo de geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino, onde incluem-se áreas fortemente afetadas pelos desastres causados pelas chuvas de 15 de fevereiro de 2022, como por exemplo, o Morro da Oficina no bairro Alto da Serra. Contribuindo com a geoeseducação no campo da percepção de

risco. A utilização da metodologia proposta tem como objetivo auxiliar na ampliação do conhecimento da geodiversidade e sua aplicação voltada para prevenção de desastres naturais, educação, geoturismo e planejamento, gestão e ordenamento territorial. O mapeamento em escala de detalhe é uma abordagem distinta dos produtos já existentes publicados sobre o tema.

1.2.1 Objetivos específicos

- a.** Produção de um mapa de escala 1:12000 em formato digital, representando a integração dos elementos do meio físico em unidades e domínios de geodiversidade;
- b.** Estabelecer metodologia de mapeamento em escalas de detalhe aplicadas a áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações;
- c.** Sintetizar a história geológica-geomorfológica da bacia;
- d.** Classificar áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais e inundações com risco de desastres;
- e.** Analisar dados censitários.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geodiversidade

O conceito de geodiversidade foi introduzido na década de 1990, principalmente após a disseminação do termo biodiversidade na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), que foi realizada para apoiar a análise da conservação do meio biótico e seus elementos relacionados (Gray, 2018).

A publicidade em torno do termo chamou atenção dos geocientistas. As mudanças nos conceitos de conservação ao longo do tempo, tendo incorporado a biodiversidade, expandiram o entendimento dos componentes abióticos, visto que o meio biótico é frequentemente definido por conta desses componentes. Neste cenário, a introdução do termo geodiversidade foi inevitável (Gray, 2018; Serrano; Flaño, 2007a). Entretanto, ainda há mais reconhecimento do termo biodiversidade, tendo em vista que essa conta com estratégias para sua conservação no mundo todo (Carcavilla et al., 2008).

Uma das primeiras definições de geodiversidade foi apresentada por Sharples (1995) que a define como a diversidade de características geológicas, geomorfológicas e pedológicas além dos sistemas e processos, incluindo assembleias em atual formação ou previamente formadas e expressas em registro fóssilífero.

Outras definições foram surgindo e parte delas se restringem às características geológicas, geomorfológicas e pedológicas. Outras, são mais abrangentes, abrindo espaço para interpretações, sistemas, propriedades e até mesmo as relações com atividades antrópicas.

Dentre as definições mais restritas à geologia e processos geológicos, tem-se como exemplo, dois autores e suas definições:

- Variedade do substrato rochoso, depósitos, formas do terreno e processos geológicos formadores de paisagens (Johansson *et al.*, 1999).
- O número e a variedade de estruturas e materiais geológicos, que constituem o substrato físico natural de uma região, na qual se estabelece a atividade orgânica, incluindo a antrópica (Nieto, 2001).

Das mais abrangentes, que relacionam atividades antrópicas, pode-se citar definições como por exemplo Kozłowski (2004) que determina a geodiversidade como a variedade natural da superfície terrestre, referente aos aspectos geológicos e geomorfológicos, solos,

águas superficiais, bem como outros sistemas criados como resultado dos processos naturais (exógenos e endógenos) e da atividade humana.

. Carcavilla *et al.* (2008) destaca que a inclusão da atividade humana no conceito de geodiversidade pode dificultar a aplicação do termo quando se trata da determinação e valoração de um território e sua comparação com diferentes áreas.

O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM, 2006) também define a geodiversidade de forma mais abrangente, porém sem incluir atividades antrópicas, nesse caso, incluindo seus valores associados, sendo assim corresponde a natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, águas, solos, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico. Essa definição está sendo utilizada no presente trabalho.

Atualmente, a definição de Gray (2013) é uma das mais utilizadas e caracteriza o conceito como a variedade natural (diversidade) de características geológicas (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicas (formas de relevo, topografia, processos físicos), pedológicas e hidrológicas. Inclui suas assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para paisagens.

2.2 Aplicações do conhecimento da geodiversidade para as particularidades da área de estudo

A sociedade se insere dentro do ambiente natural. Uma intervenção inadequada na no meio físico pode gerar problemas críticos para a qualidade de vida e para o meio ambiente. Dessa maneira, somos dependentes da geodiversidade na medida em que precisamos de elementos e processos naturais abióticos para um planeta habitável, extraímos matérias-primas vitais para a nossa sobrevivência e desenvolvimento social, além de sua relação com aspectos culturais determinantes e muito mais. Devido à íntima relação entre os componentes do meio físico e os componentes bióticos, deve-se encarar de maneira sistêmica as relações de estabilidade entre esses dois grandes componentes ambientais, visto que uma vez modificados podem gerar danos irreversíveis (Silva *et al.*, 2008).

A geodiversidade pode ter diversas aplicações como demonstrado na Figura 1. Dentre elas, algumas são levadas em consideração para aplicação do conceito no presente trabalho:




prevenção de desastres naturais, educação, geoturismo e instrumento de planejamento, gestão e ordenamento territorial.

Com o adensamento populacional de áreas urbanas o risco relacionado aos desastres naturais tende a aumentar drasticamente devido às mudanças no ambiente natural, ocasionando perdas materiais, econômicas e até mesmo humanas. Portanto, aumentam as demandas por ações governamentais (Silva *et al.*, 2008).

No caso de Petrópolis, essas demandas se dão principalmente por conta dos recorrentes movimentos de massa e inundações recorrentes que afetam as comunidades residentes de áreas de risco. Observa-se na carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do Serviço Geológico do Brasil (Figuras 2 e 3), que grande parte do município se encontra em áreas de risco médio a alto.

QUADRO-LEGENDA A - SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA						
Classe	Foto ilustrativa	Características predominantes	Área		Área urbanizada/edificada	
			km ²	% (*)	km ²	% (**)
Alta		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: predomínio de encostas, montanhas e morros elevados; • Formas de encostas: retilíneas e côncavas; • Amplitudes: variáveis entre 150 m e 700 m; • Declividades: superiores a 20° apresentam suscetibilidade maior reduzindo-se quando forem entre 10° e 20°; • Litologias: substrato de rochas cristalinas constituído por gnaisses orto e para derivados, por vezes migmatizados e granitoides diversos; • Densidade de lineamentos/estruturas: alta; • Solos jovens e rasos tipo neossolos litólicos com abundantes exposições rochosas; • Processos: deslizamento planar junto ao contato solo rocha, queda e/ou rolamento de blocos e matacões, lascas e formação de cunhas e rastejos. 	386,57	48,82	9,41	13,42
Média		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: predomínio de colinas dissecadas e/ou colinas arredondadas ou alongadas e subordinadamente morros elevados; • Formas de encosta: convexas e côncavas; • Amplitudes: entre 50 e 200; • Declividade: entre 10° e 20° graus; • Litologia: rochas cristalinas, constituídas por gnaisses orto e paraderivados, por vezes migmatizados; • Densidade de lineamentos/estruturas: moderada a baixa; • Solos: moderadamente a bem desenvolvidos tais como latossolos e argissolos; • Processos: deslizamentos e rastejos. 	332,62	42,01	38,04	54,28
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> • Área de relevo plano situados nos fundos dos vales, ocupadas por planícies de inundação e terraços fluviais; • Formas de encostas: côncavas; • Amplitudes: entre 0 e 50; • Declividade: entre 0° e 5°; • Litologia: depósitos aluvionares, inconsolidados, de espessuras variáveis, formados por cascalhos, areais, siltes e argilas; • Solos: sem informação; • Processos: rastejos. 	75,56	9,54	22,26	31,76

(*) Porcentagem em relação à área do município. (**) Porcentagem em relação à área urbanizada/edificada do município.

QUADRO-LEGENDA B - SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES						
Classe	Foto ilustrativa	Características predominantes	Área		Área urbanizada/edificada	
			km ²	% (*)	km ²	% (**)
Alta		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: sub-horizontais a planos com amplitudes e declividades muito pequenas. Correspondem às planícies aluviais; • Solos hidromórficos mal drenados (neossolos flúvicos, gleissolos e organossolos) argilosos a arenargilosos; • Altura de inundação: 0 a 3; • Processos: inundações de baixa energia e longa duração nos períodos mais chuvosos pela ausência de relevo. 	11,75	1,48	5,09	7,26
Média		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: terrenos sub-horizontais, com pequenas amplitudes e declividades situadas nos flancos dos fundos de vales. Correspondem aos baixos terraços fluviais; • Solos hidromórficos e solos não hidromórficos; • Altura de inundação: de 3 a 6 em relação às planícies de inundação atuais; • Processos: inundações menos frequentes. 	3,68	0,48	1,56	2,22
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: terrenos sub-horizontais expostos nos flancos e fundos dos vales. Correspondem aos altos terraços fluviais; • Solos: siltearenoso, muitas vezes interdigitados com colúvio; • Altura de inundação: superior a 6 metros em relação às planícies de inundação atuais; • Processos: inundações muito pouco frequentes. 	0,99	0,12	0,28	0,39

(*) Porcentagem em relação à área do município. (**) Porcentagem em relação à área urbanizada/edificada do município.

Figura 3 - Legenda da Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação (CPRM, 2016).

O conhecimento das particularidades da geodiversidade local se faz essencial para o uso responsável das diferentes áreas do município ou para realocação de comunidades que hoje inserem-se em áreas perigosas, principalmente, quando essas particularidades são combinadas ao clima chuvoso da região. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, apurada por Alvarez *et al.* (2014), Petrópolis insere-se na unidade climática Cfb (Figura 4). Para maior clareza dessa unidade climática a EMBRAPA (s/d) atribui o seguinte significado: clima temperado, com verão ameno. Chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22 °C. A precipitação é de 1.100 mm a

2.000 mm. No clima temperado, as geadas severas são frequentes, num período médio de ocorrência de 10 a 25 dias por ano.

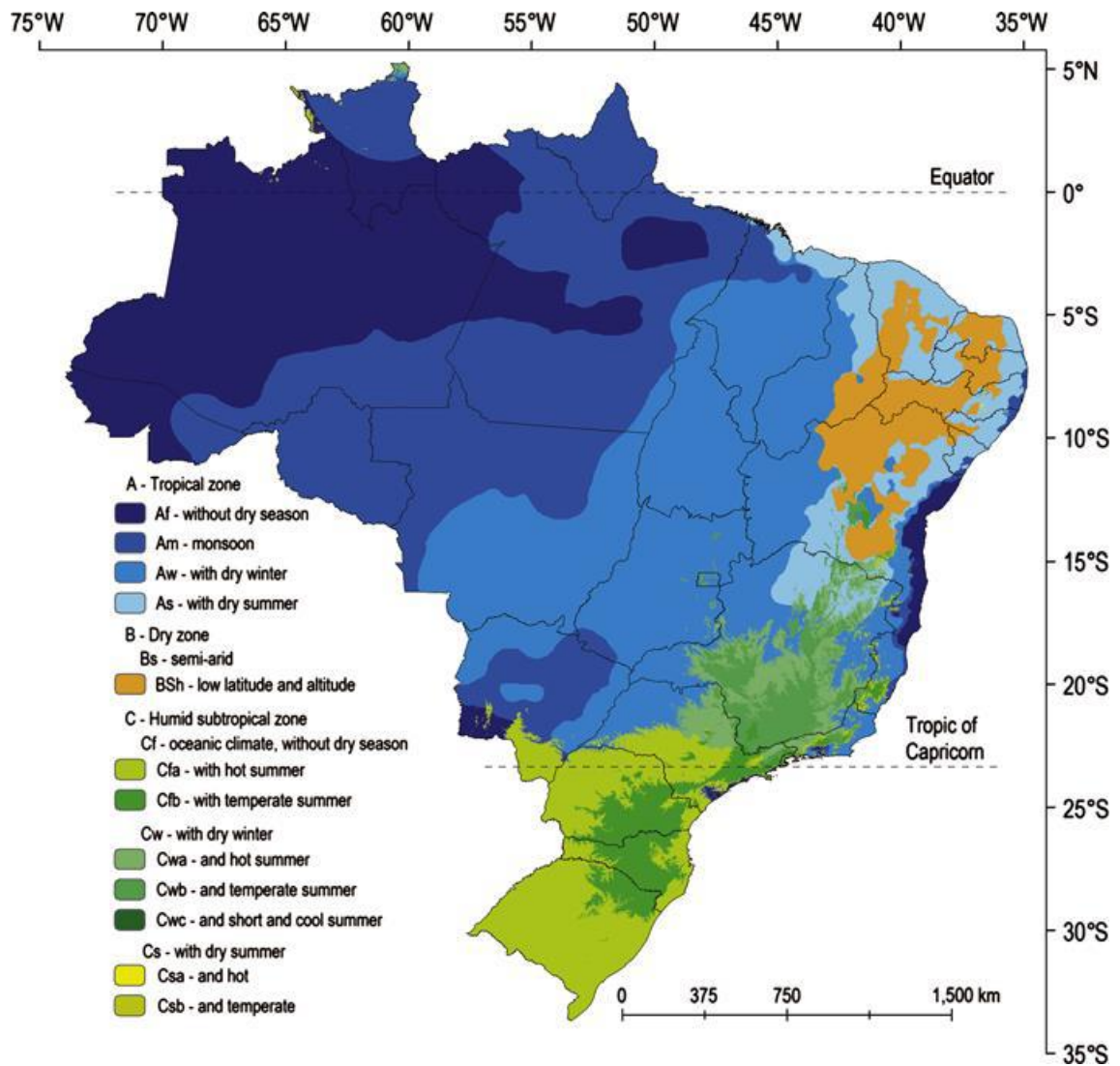


Figura 4 - Classificação climática para o Brasil, segundo os critérios de Köppen (1936).

Adaptado por Alvares *et al.*, 2014.

2.3 Risco

De forma resumida, risco está definido no Glossário de Defesa Civil (Castro, 1998) como a probabilidade de um acidente ou evento adverso, no qual relacionam-se danos ou perdas consequentes de sua ocorrência.

Já Cunha (1991) entende por risco a possibilidade de perigo, perda ou dano, do ponto de vista social e econômico, a que população esteja submetida caso ocorram escorregamentos ou processos correlatos.

Para análise de risco, alguns conceitos são aplicados, sendo esses diferenciados por Cerri; Amaral (1998) como:

- Acidente: fato ocorrido com registros de consequências (perdas e danos) sociais e econômicas relacionadas;
- Evento: fato ocorrido sem registros de consequências sociais e econômicas relacionadas;
- Risco: Possibilidade de ocorrência de um acidente;
- Susceptibilidade: Possibilidade de ocorrência de um evento.

Risco também pode ser expresso pela equação: $R = P(fA)*C(fV)*g-1$, onde risco **R** representa a probabilidade **P** de ocorrer um fenômeno físico (ou perigo) **A**, em local e intervalo de tempo específicos e com características determinadas (localização, dimensões, processos e materiais envolvidos, velocidade e trajetória); causando consequências **C** (às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade **V** dos elementos expostos; podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento **g** (Nogueira, 2006).

O mapeamento de áreas de risco geológico é fundamental na gestão dessas áreas a fim de evitar acidentes.

2.3.1 Desastres

Desastres podem conter diversas definições, dessa forma a busca por diferentes autores pode aprimorar sua compreensão. Portanto, foram selecionadas as seguintes caracterizações do termo:

- Castro (1999) – *"Desastre é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais"*.

- Tucci (2007) – “*Desastre é a situação ou evento que supera a capacidade local, necessitando de apoio externo ou é um evento que causa grande dano, destruição e sofrimento humano*”.

Já os desastres naturais, são catástrofes que ocorrem quando um evento perigoso, tal como inundação, vulcanismo, terremoto, furacão e movimentos de massa, é deflagrado causando danos à propriedade ou fazendo grande número de vítimas, como por exemplo vulcanismo, furacões e movimentos gravitacionais de massa. No Brasil, os desastres naturais que causam maiores danos são os movimentos de massa e as inundações (Pimentel *et al.*, 2007).

2.3.2 Movimentos de massa

São movimentos gravitacionais ou rupturas de talude responsáveis pela mobilização de solo, sedimentos, vegetação ou rochas pela encosta abaixo, geralmente potencializados pela ação da água, como observado na Figura 5. Ocorrem quando a força de tração, ou seja, força cisalhante, dada pela ação da gravidade na declividade do terreno, supera a força de resistência, sendo essa principalmente, a força de atrito (Montgomery, 1992; Highland, 2008; Goés, 2018).

Dentre os condicionantes naturais que causam movimentos de massa, destacam-se a declividade do terreno, as características geotécnicas das rochas e dos solos, a atitude das camadas, falhas e fraturas, grau de intemperismo, duração e intensidade das chuvas, quantidade de água infiltrando no solo, dentre outras. Em relação aos condicionantes antrópicos, tem-se a remoção da cobertura vegetal, a plantação de bananeiras (acumulam água e geram sobrepeso nas encostas), cortes e aterros em locais inadequados, vazamentos nas redes de esgoto, lançamento de lixo/entulho nas encostas e taludes, ruas sem calçamento e sistema de drenagem, etc (Goés, 2018; Pimentel *et al.*, 2007).



Figura 5 - Deslizamento no Morro da Oficina, Petrópolis - RJ. Foto: Ricardo Moraes/Reuters.

As classificações dos diferentes tipos de movimentos de massa estão relacionadas aos seus mecanismos específicos de fraturas ou falhas geológicas em taludes e às propriedades e características desses tipos de falhas (Highland, 2008). Dentre os tipos básicos de deslizamentos, ocorrem:

- **Quedas:** iniciam-se com a separação do solo e/ou da rocha de um talude íngreme ao longo de sua superfície, na qual tenha ocorrido quase nenhum deslocamento por cisalhamento. Uma vez separado, o material desce repentinamente por queda, salto ou rolamento. Uma queda pode ocorrer por tombamento, quando há rotação frontal do solo e/ou rocha para fora do talude (Figura 6). Um exemplo de tombamento que resultou em um desastre ocorreu em Capitólio, Minas Gerais, no dia 8 de janeiro de 2022 (Figura 7).

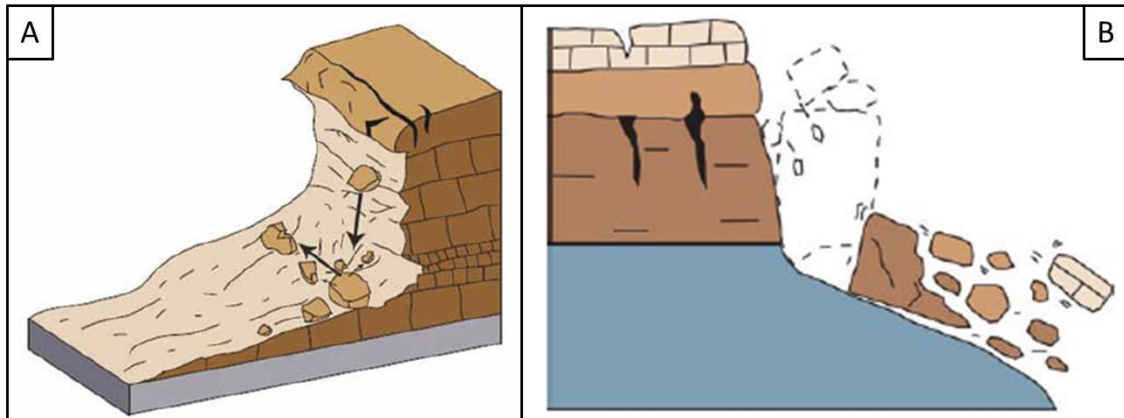


Figura 6 - A) Desenho esquemático de queda de rocha. B) Esquema de tombamento (Highland, 2008).

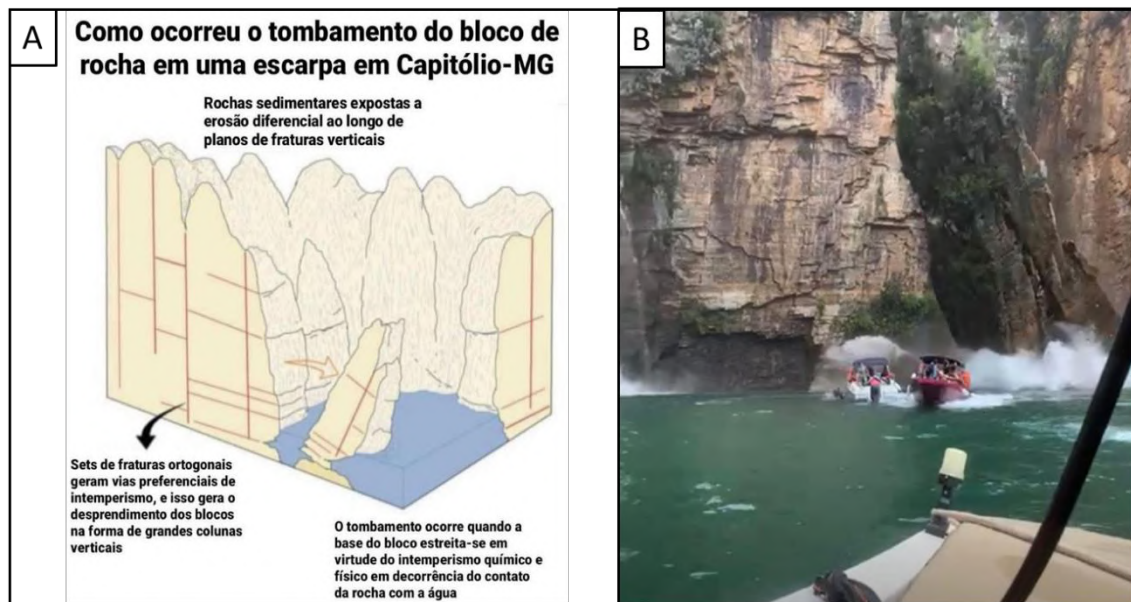


Figura 7 - A) Desenho esquemático de tombamento em Capitólio-MG. Esquema de Rubson Pinheiro (<https://www.instagram.com/p/CYetjG6r5WG/>) B) Foto do desastre. (Fonte: <https://altamontanha.com/o-que-causou-o-desabamento-no-canyon-de-capitolio/>)

- **Escorregamentos:** são os movimentos de massa (solo ou rocha) em declives, devido à deformação por cisalhamento, que ocorrem sob superfícies em ruptura. Todo o movimento não ocorre de forma simultânea por toda a superfície, o que ocorre é um aumento na quantidade de material deslocado a partir da ruptura. Podem ser rotacionais (circulares) (Figura 8A), quando a superfície é curvada no sentido superior, tornando o movimento relativamente rotatório, assim como podem ser translacionais (planares) (Figura 8B), quando

a massa se move para fora ou para baixo da superfície, podendo progredir por até longas distâncias. Os translacionais geralmente são associados a falhas geológicas, estratificações ou outros planos.

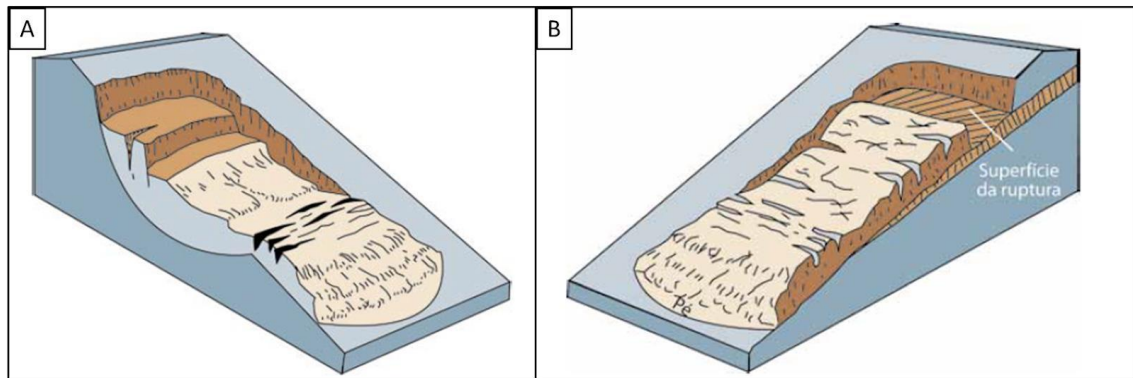


Figura 8 - A) Esquema de escorregamento rotacional. B) Esquema de escorregamento translacional (Highland, 2008).

Na Figura 9, observa-se um desenho esquemático elaborado por Dantas *et al.* (2022), explanando o deslizamento ocorrido no Morro da Oficina.



Figura 9 - Movimento de massa ocorrido no Morro da Oficina em 15 de fevereiro de 2022, onde ocorre um destacamento do plano de contrato entre solo e a rocha sã. A água presente nos planos intemperizados das fraturas gera pressão. Essa pressão faz com as partes superficiais, de aproximadamente 1 metro de espessura de solo, se destaquem e deslizem. A topografia local apresenta uma calha no sopé, onde havia o acúmulo de sedimentos ao longo dos anos. Porém, nesse episódio, o material atravessou a calha, atingindo as casas mais abaixo (setas claras) e para o resto do material mobilizado, a calha direcionou o fluxo que atingiu as

casas da comunidade. A soma desses dois direcionamentos condicionou a magnitude do estrago (Dantas *et al.* 2022).

- **Fluxo de detritos**

Movimento de massa rápido em que solo, rocha e matéria orgânica se misturam em uma lama que escoia talude abaixo. Um escorregamento ao ganhar velocidade pode se tornar um fluxo de detritos, que podem apresentar muito perigo, visto que ocorrem de forma repentina. (Highland, 2008).

2.3.3 Inundações

Inundações são transbordamentos de água proveniente de rios, lagos e açudes que podem ser classificadas em função da magnitude e da evolução. Em função da magnitude, as inundações, através de dados comparativos de longo prazo, são classificadas em: excepcionais, grande magnitude; normais ou regulares; pequena magnitude. Em função da evolução, as inundações são classificadas em: enchentes ou inundações graduais; enxurradas ou inundações bruscas; alagamentos; inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar Castro (2003). Esses eventos passam a causar desastres, como na Bacia Hidrográfica do Rio Palatino, quando há o estreitamento dos canais e a ocupação em leitos e margens de rios e nas planícies de inundação (Figura 10).

As perdas de uma inundação podem ser tanto materiais como vitais. Inclui-se também o risco de doenças causadas pelo contato com águas contaminadas. Várias regiões do município apresentam de média a alta densidade de inundações (Neves, 2017) (Figura 11).



Figura 10 - Inundação no centro do 1º distrito de Petrópolis, dentro da área da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Foto: Arianne Souza.

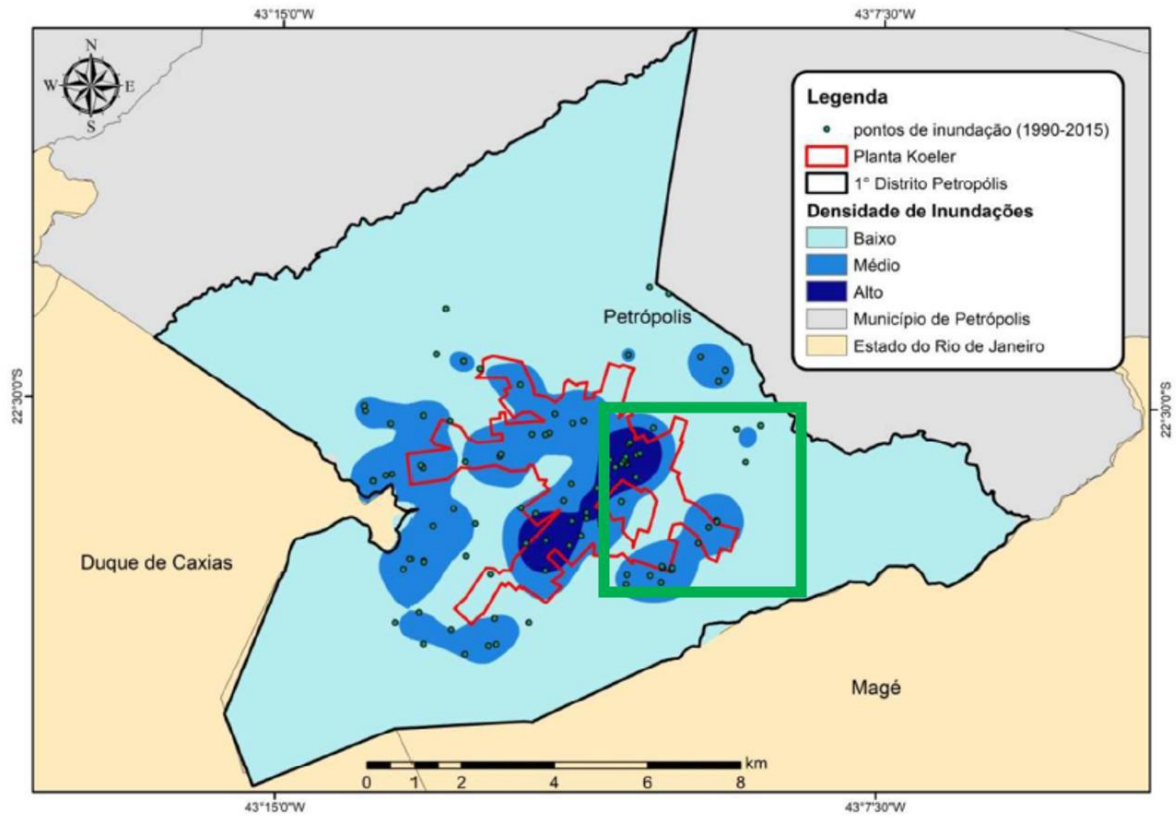


Figura 11 - Densidade de eventos de inundação no 1º Distrito do Município de Petrópolis. O quadrado verde representa a posição da bacia (Neves, 2017).

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A Bacia Hidrográfica do Rio Palatino está localizada na porção sul do município de Petrópolis (Figura 12), sendo delimitada pela Escarpa da Serra dos Órgãos (Serra do Mar), onde também está delimitada a divisão política da cidade. Essa bacia hidrográfica compreende os bairros, Alto da Serra, Cascatinha, Castelânea, Caxambu, Centro, Chácara Flora, Floresta e Morin.

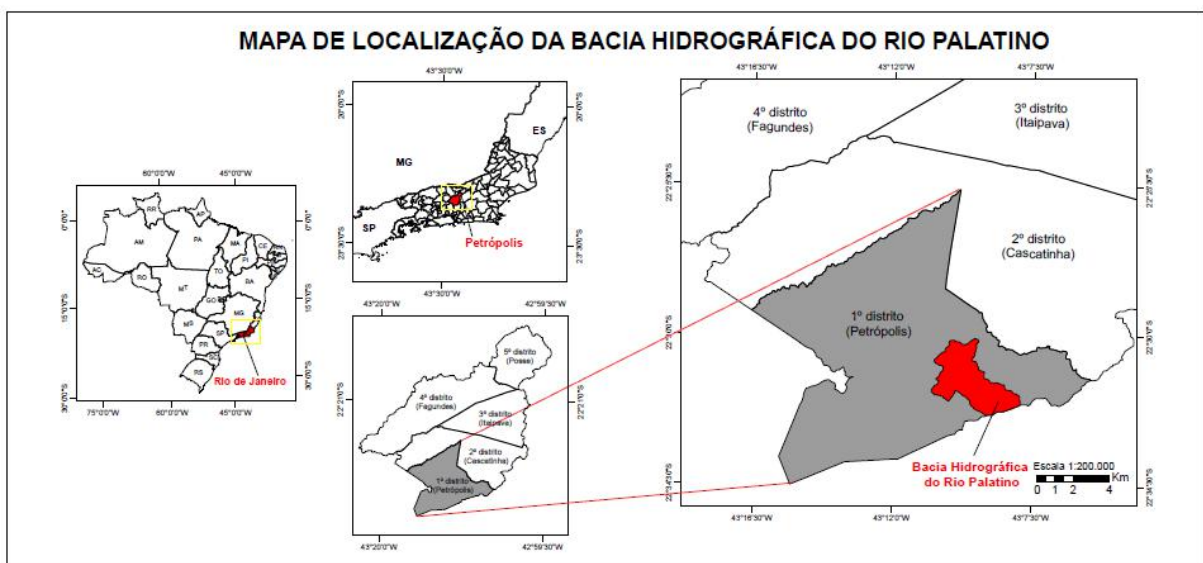


Figura 12 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino.

3.1.1 A relação das ocupações com as mudanças na dinâmica das bacias

Petrópolis começou a ser elaborada a partir do Plano de Ocupação do Major de Engenheiros Júlio Frederico Koeler, que executou a Planta Koeler de 1846, norteando a expansão urbana da cidade. No plano planejou-se a ocupação seguindo a rede de drenagem, com ruas e avenidas acompanhando o curso dos rios, com a frente das residências sempre de frente para o corpo d'água e esgotos direcionados para fossas nos fundos. Também se propôs a retificação dos três principais rios da cidade, Palatino, Quitandinha e Piabanha, visando facilitar a ocupação da área. Ou seja, desde o surgimento da cidade, os rios vêm sendo modificados, alterando a dinâmica das bacias hidrográficas, principalmente na área central onde encontram-se os três rios (Lima *et al.*, 2020).

Para um melhor entendimento dessas modificações, que também afetam a paisagem, Lima *et al.* (2020) realizaram a análise da sinuosidade dos canais através do levantamento da cartografia histórica (antigas plantas georreferenciadas) e SIG, onde determinou-se as variações desse parâmetro medido pelo índice de sinuosidade, expresso por Índice de sinuosidade = L/t , onde L é o comprimento do canal principal e t é a distância vetorial entre o ponto inicial e o final do canal. Obtendo-se os seguintes resultados variando ao longo dos anos (Figura 13 A), podendo haver incertezas devido às diferentes escalas.

Rio\Planta	1846 (1:5.000)	1917 (1:5.000)	1945 (1:20.000)	1999 (1:10.000)
Piabanha	1,3	1,27	1,22	1,28
Quitandinha	1,85	1,83	1,81	1,84
Palatino	1,8	1,75	1,69	1,76

Figura 13 - Índice de sinuosidade variando ao longo dos anos dos três canais principais (Lima *et al.*, 2020).

De acordo com a classificação de Leopold; Wolman (1957) valores menores que 1,5 representam canais retilíneos, valores iguais ou maiores que 1,5 correspondem a canais meandrantés. Nota-se então, a diminuição da sinuosidade nos três rios.

No mesmo estudo, avaliou-se também a variação das larguras máximas e mínimas dos rios, no caso do Rio Palatino observa-se a diminuição da largura do canal ao longo dos anos, principalmente a largura máxima, que reduz em 46% (Figura 14).

Rio Palatino	Largura min. (m)	Largura máx. (m)	Largura média (m)
1846	3	22,8	8,74
1917	5,34	22,02	11,57
1999	3,4	12,30	7,20

Figura 14 - Mensurações de largura do Rio Platino (Lima *et al.*, 2020).

3.2 Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino

3.2.1 Contexto Geológico-Geomorfológico Regional

Petrópolis está inserida integralmente na Faixa Móvel Ribeira (Figura 15), que constitui um sistema orogênico, com 1.400 km de extensão ao longo da costa S-SE do Brasil de direção preferencial NE. Foi gerada a partir da colisão entre o paleocontinente São Francisco com a parte ocidental do Cráton da Angola. A Faixa móvel se desenvolveu em vários episódios de convergência durante o evento da Orogênese Brasileira-Panafricana durante o Neoproterozoico-Cambriano com estágios finais no Ordoviciano Inferior (Heilbron *et al.*, 2004)

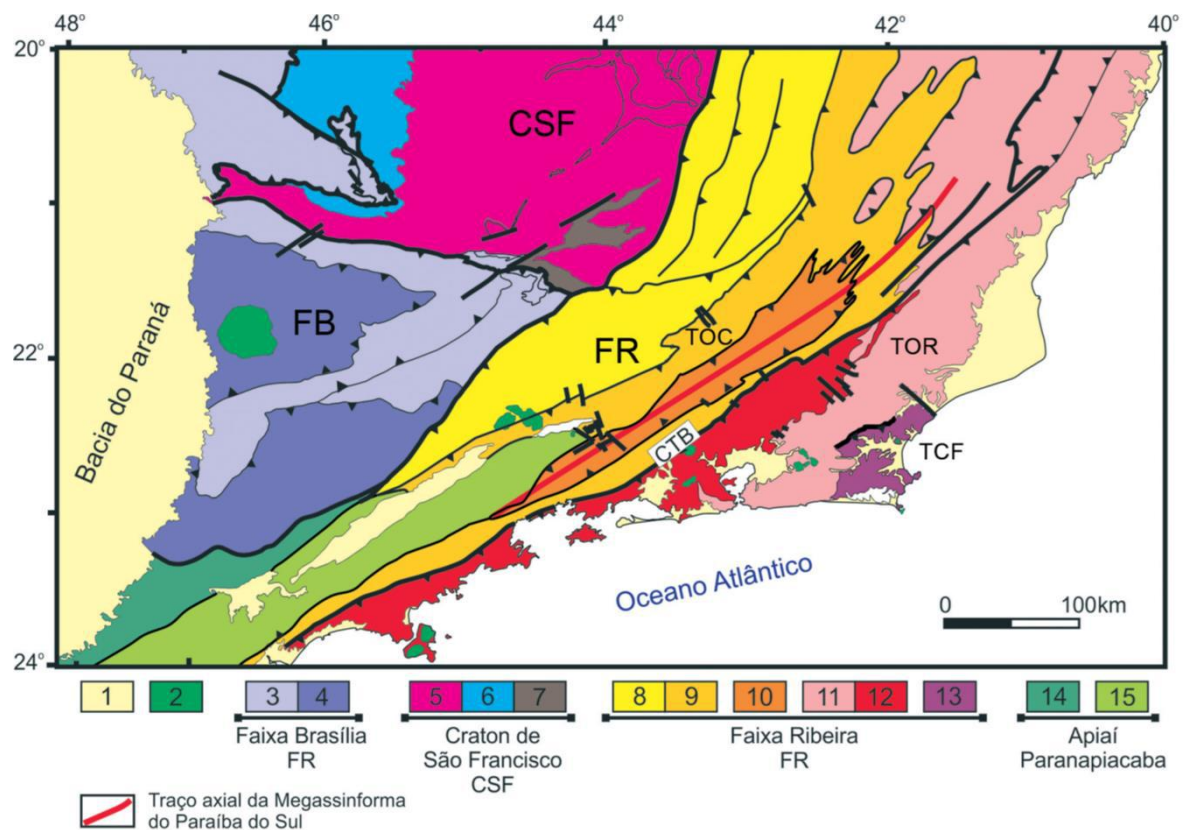


Figura 15 - Mapa tectônico do setor central da Faixa Ribeira e do setor meridional da Faixa Brasília (Heilbron *et al.*, 2004)

Após a Orogenia, não há registros que evidenciem eventos até aproximadamente 300 milhões de anos depois, no Cretáceo Inferior, quando a região sudeste brasileira passou por eventos tectono-magmáticos relacionados à quebra do Supercontinente Gondwana, que ocasionou a abertura do Oceano Atlântico Sul. Processos epirogenéticos passaram a reger a

plataforma Sul-americana, sendo responsáveis pelo soerguimento e formação do Planalto Atlântico que veio a colapsar posteriormente, se rearranjando num sistema de *horsts* (blocos elevados) e *grabens* (blocos deprimidos), representados respectivamente, por exemplo, pela Serra do Mar e pela Baía de Guanabara (Figura 16) (Zalan; Oliveira, 2005, Almeida e Carneiro, 1998; Valeriano *et al.*, 2012; Dantas *et al.*, 2022).

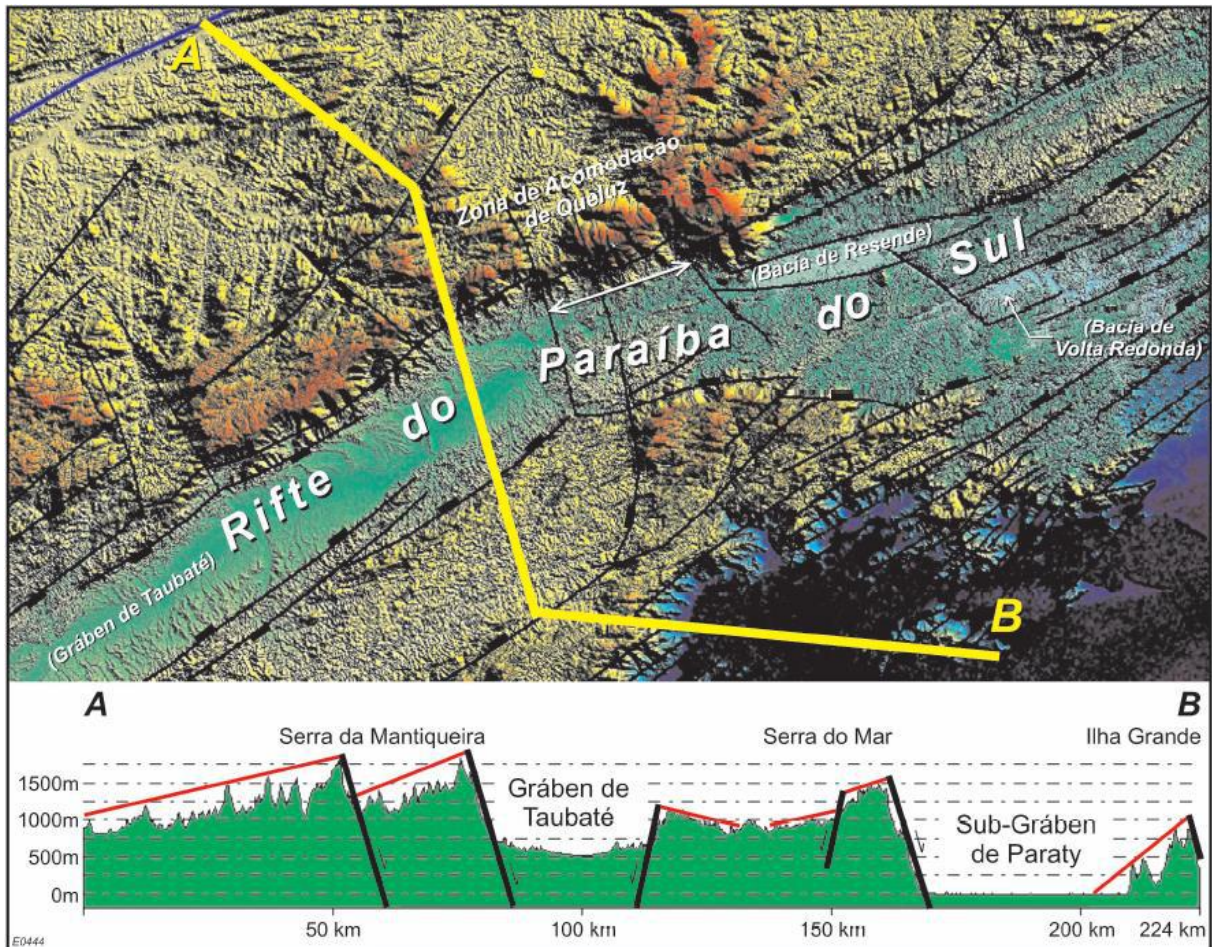


Figura 16 - Esquema das áreas elevadas da Serra da Mantiqueira (A) e da Serra do Mar (B), representando horsts, e blocos deprimidos, sendo os grabens (Zalan e Oliveira, 2005).

Destaque no relevo do Planalto Atlântico é sua configuração morfológica predominantemente estabelecida ao longo dos grandes dos lineamentos de *trend* NE pré-cambriano, formado durante a Orogenia Brasileiro/Pan-Africana, reativados como zonas de falhas no Cretáceo e Cenozoico (Valeriano *et al.*, 2012).

3.2.2 Geologia e Geomorfologia da área

Dentre as unidades existentes dentro do limite da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino (Figura 17), encontram-se:

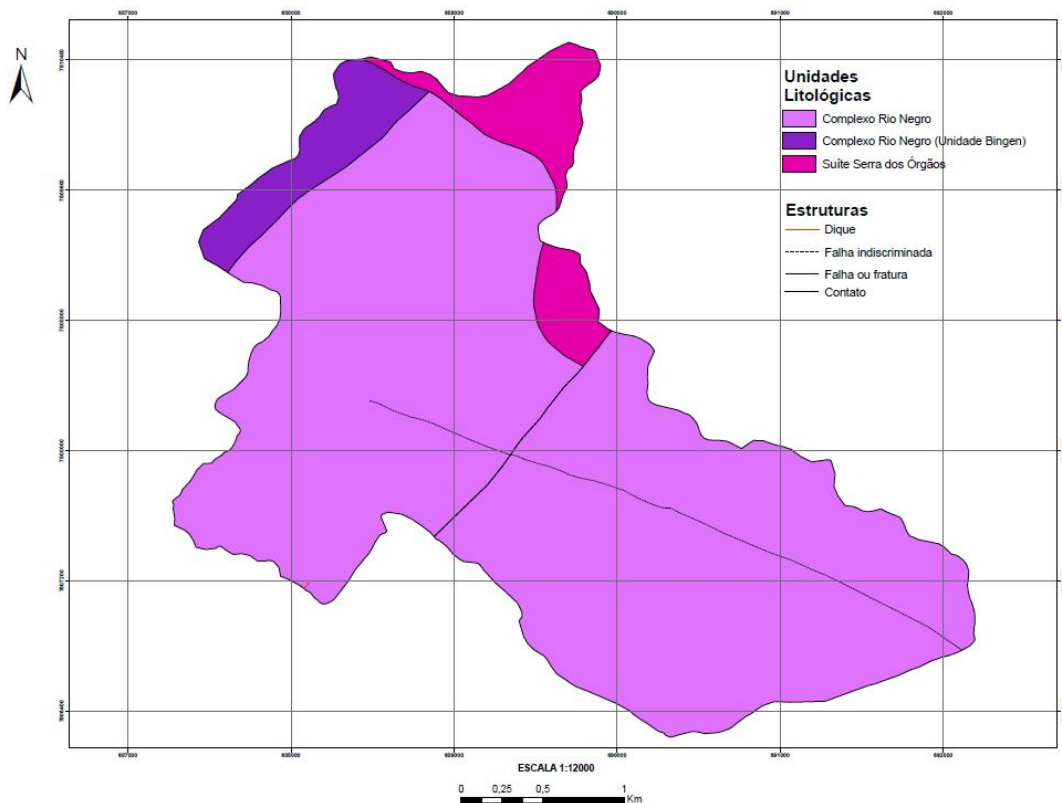


Figura 17 - A) Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Adaptado de: Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara (Valeriano *et al.*, 2012).

- Unidades Litoestratigráficas de Ortognaisses Pré-Colisionais Neoproterozoicos (Complexo Rio Negro e Complexo Rio Negro, Unidade Bingen)

Os ortognaisses do Complexo Rio Negro derivam do metamorfismo das rochas ígneas mais antigas aflorantes na região serrana fluminense, geradas entre 630 e 600 milhões de anos atrás (Tupinambá *et al.* 1999; Heilbron; Machado, 2003). São rochas representantes de um arco magmático constituídas por ortognaisses e granitoides (diorito, tonalito gnaisse, leucogranito e gnaisse porfiróide), com pouca deformação e recorrentes feições de injeção entre si, dificultando a identificação do tipo predominante (Tupinambá *et al.*, 1996). São gnaisses equigranulares, com raros porfiroblastos de feldspatos ou megacristais ígneos preservados. A granulação é mais grossa nas porções félsicas e máficas e fina que nas porções intermediárias. A Unidade Bingen se diferencia da Unidade Santo Aleixo (migmatitos heterogêneos) por designar biotita-gnaisses graníticos homogêneos de granulometria média a grossa de cor clara, granulação média a grossa e núcleos de aspecto tipicamente ígneo (Valeriano *et al.*, 2012) (Figura 18).

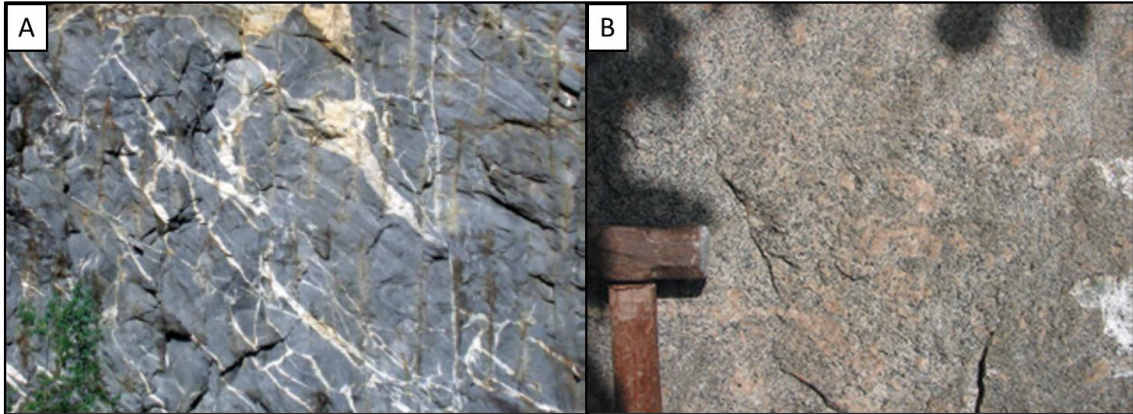


Figura 18 - A) Afloramento do Complexo Rio Negro na Pedreira Bangu, Bangu Rio de Janeiro. B) Afloramento típico da unidade Bingen (Valeriano *et al.*, 2012).

- Unidades Litoestratigráficas dos Ortognaisses Sin a Pós-Colisionais Neoproterozoicos (Suíte Serra dos Órgãos e o Granito Andorinha)

A Suíte Serra dos Órgãos (ou Batólito Serra dos Órgãos) foi denominada por Barbosa; Sad (1983), que individualizaram a unidade do seu domínio de gnaisses e granitóides correspondente: a Série (ou *Nappe*) da Serra dos Órgãos (Rosier, 1957). Rosier (1957) considera os gnaisses da Suíte como o resultado da remobilização mais ou menos intensa de gnaisses arqueanos durante o Brasiliano. Cordani *et al.* (1973) também interpreta os gnaisses como produto de anatexia e granitogênese sintectônica no Brasiliano, sem mencionar rochas arqueanas. Machado; Demange (1994) a consideraram um típico batólito cordilheirano, de margem continental ativa, com subducção de litosfera oceânica. Se caracterizam pela granulação grossa, índice de cor de meso a leucocrático, foliação descontínua, dada por aglomerados centimétricos de biotita +/- hornblenda, granada nos termos leucocráticos e quartzo visível a olho nu, em grandes cristais acinzentados, em forma de “gota” (Figura 19) (Tupinambá *et al.*, 2012).

- Já o Granito Andorinha foi definido por Penha *et al.* (1979) como um biotita-granito médio a fino, com tendência porfírica, com os minerais acessórios allanita e apatita. Sua textura é homogênea no interior e fluidal nas proximidades dos contatos com as encaixantes (Tupinambá *et al.*, 2012). A representação em mapa do Granito Andorinha, em escalas de pouco detalhe, é extremamente difícil e por isso não aparece na Figura 17. Ocorre sob forma de diques pouco espessos, sub-horizontais,

intercalados a todos os gnaisses encaixantes, eventualmente apresenta xenólitos (Valeriano *et al.*, 2012)

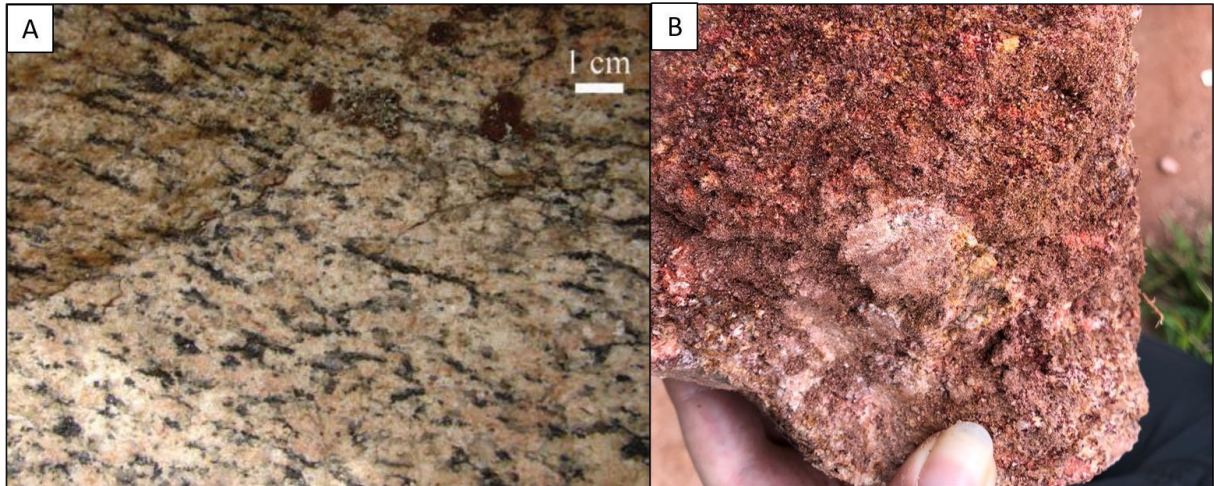


Figura 19 – A) Aglomerados de biotita e hornblenda ao longo da foliação de gnaisse da Suíte Serra dos Órgãos. Afloramento em corte da BR-116 a norte de Teresópolis (Tupinambá *et al.*, 2012). B) Saprólito da Suíte Serra dos Órgãos.

- Sedimentos Quaternários

Por se tratar de uma bacia hidrográfica, predominam os depósitos fluviais heterogêneos nas planícies de inundação e depósitos de colúvio-alúvio e de tálus nas encostas. As rampas de colúvio e depósitos de tálus são superfícies deposicionais com sedimentos grossos ricos em blocos e matacões em meio a uma matriz de areia e lama. Já as rampas de alúvio e colúvio, são áreas menos inclinadas, portanto são depósitos argilo-arenosos e areno-argilosos. Na planície de inundação do Rio Palatino encontram-se depósitos de sedimentos, como matacões e blocos rochosos, cascalho, areia e lama. Os rios estão encaixados em grandes falhas geológicas e lineamentos. Essas falhas estão relacionadas aos esforços tectônicos ocorridos durante a formação da Serra do Mar, que resultam em vales profundos por onde percorre o curso do rio.



Figura 20 - Rio Palatino com blocos e sedimentos ao leito

- Estruturas gerais da bacia

Percebe-se pelas imagens de satélite dois *trends* de falhas e lineamentos, sendo esses NW-SE e NE-SW. O segundo, provavelmente está associados às estruturas regionais (Figura 21).



Figura 21 - Imagem de satélite com falhas e lineamentos destacados em amarelo.

- Geomorfologia

Em relação a geomorfologia da área, trata-se da resultante de dobramentos, reativações de falhas e remobilização de blocos esculpidos pelas forças exógenas. A

topografia reflete esses condicionamentos geológicos predominantes. São registrados vales alongados, segmentos de drenagem retilíneos, linhas de cristas e cumeadas paralelas, relevos com grandes desníveis altimétricos e escarpas íngremes (Gonçalves, 2007). O setor leste da bacia do Palatino é predominantemente caracterizado como domínio serrano, já a parte oeste possui morros altos e baixos, colinas, terraços fluviais e planícies de inundação. Em toda área notam-se rampas de alúvio, colúvio e depósito de tálus. (Figura 22)

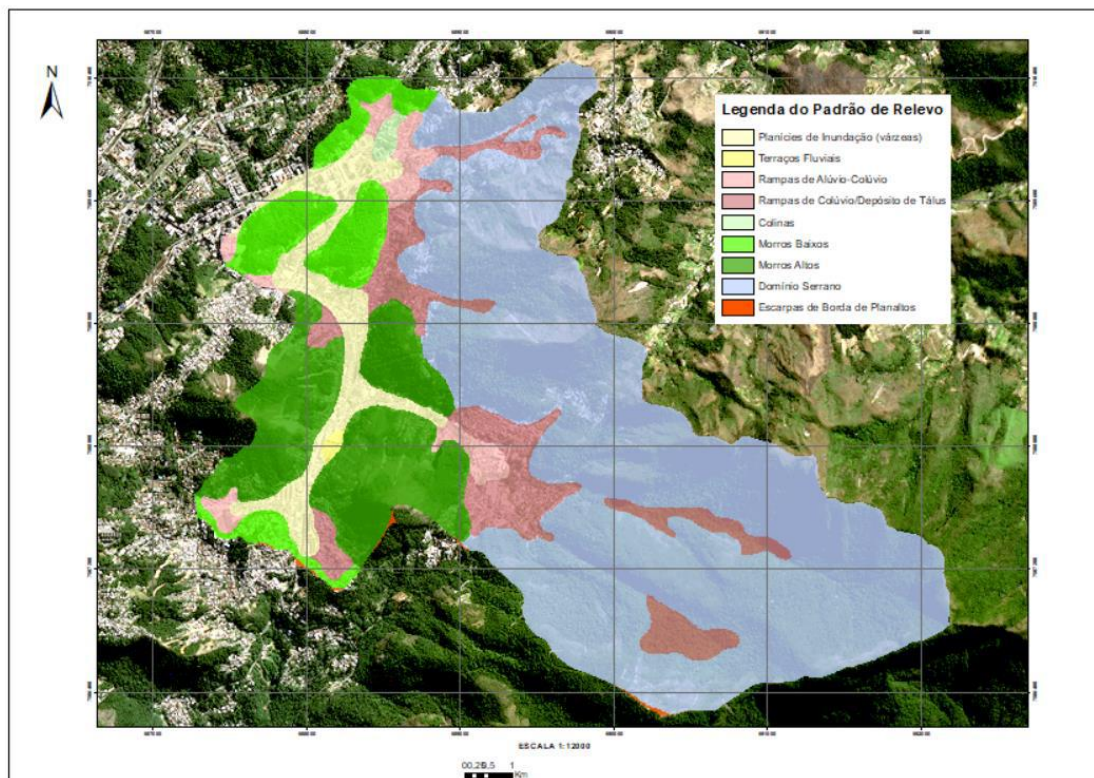


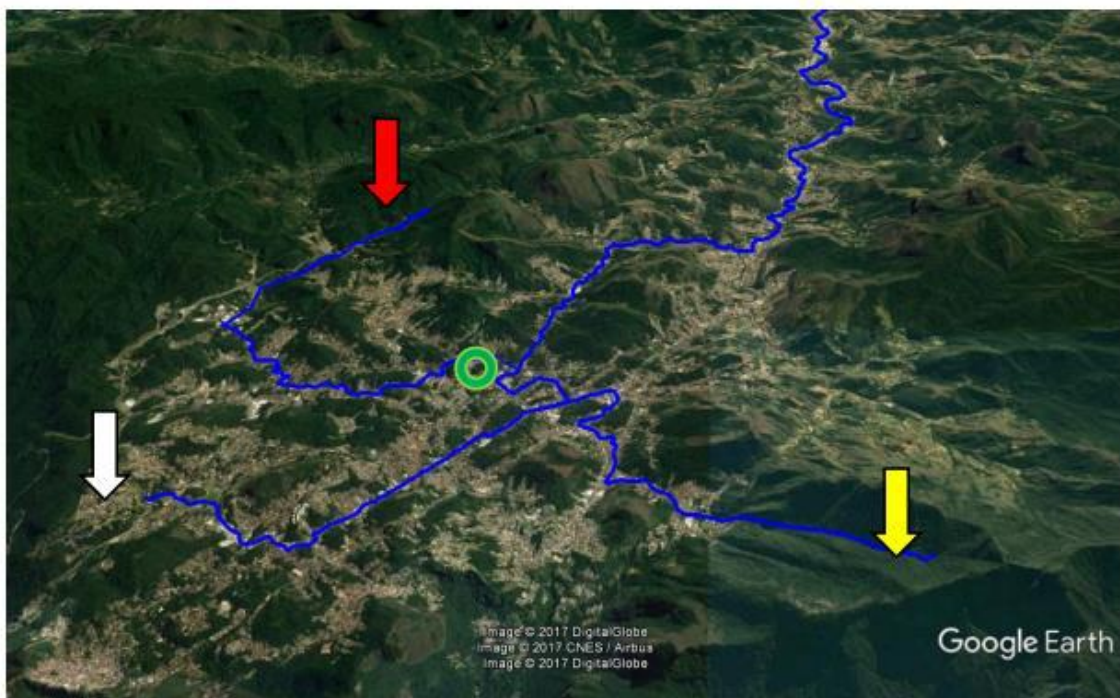
Figura 22 – Padrão de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Adaptado de: Carta geomorfológica do município de Petrópolis, estado do Rio de Janeiro (Shinzato *et al.*, 2017).

3.2.3 Pedologia

A classe dominante de solos na área de mapeamento é a dos Cambissolos Háplicos, que constituem aproximadamente 40% dos solos do município, de textura argilosa ou média, tipicamente pouco desenvolvidos. Entretanto, apresentam boa drenagem na região (Nascimento *et al.*, 2021)

3.2.4 Hidrografia

A bacia do Rio Palatino é tributária do Rio Piabanha, maior rio da região que segue até o município de Três Rios. A nascente do Rio Palatino se dá na vertente leste (Figura 22) e segue de encontro ao rio Quitandinha na confluência localizada no Obelisco, no centro da cidade. A confluência original se dava onde hoje é o Palácio de Cristal (Figura 23) (Gonzalez, 2014; Winter, 2019).



Legenda:





- | | | | |
|---|------------------------------------|---|---------------------------------|
|  | Nascente principal rio Piabanha |  | Nascente principal rio Palatino |
|  | Nascente principal rio Quitandinha |  | Confluência original |

Figura 23 – Nascentes principais dos rios Palatino, Quitandinha Piabanha e Praça da Confluência (Palácio de Cristal) (Winter, 2019).

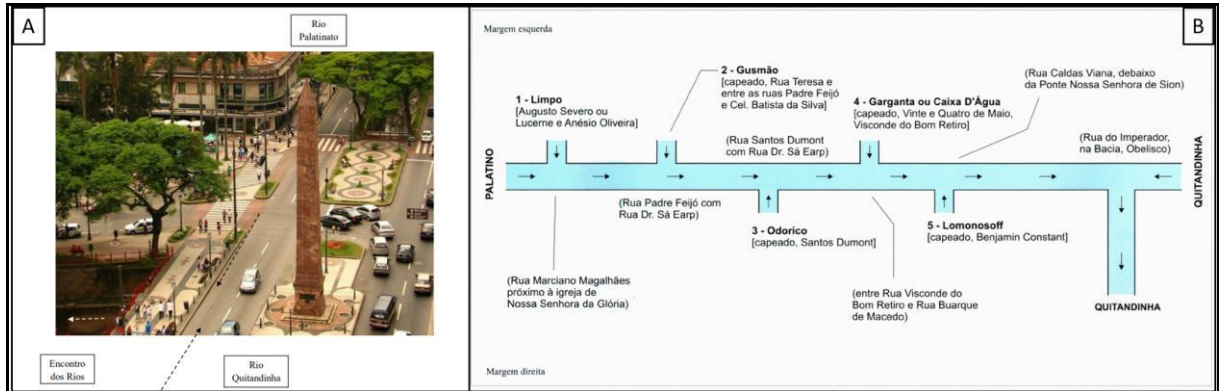


Figura 24 – A) Encontro dos rios Quitandinha e Palatino no Centro de Petrópolis (Gonzalez, 2014) B) Esquema do recebimento dos afluentes do Rio Palatino (Lordeiro, 2005)

3.2.5 Clima

Petrópolis localiza-se no domínio tropical, cujo relevo montanhoso, a influência da maritimidade em conjunto com a circulação atmosférica resultam em variações climáticas expressivas gerando variações nos índices térmicos e pluviométricos no decorrer do ano (Nimer, 1989). O relevo atua como importante fator na ascendência orográfica, ou seja, o aumento da turbulência do ar e quando o ar se eleva e perde temperatura o resultado é de chuvas prolongadas e intensas. O município de Petrópolis tem pluviosidade média anual acima de 2.000 mm (Araújo *et al.*, 2018).

Há uma diferença na precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso de 268 mm. As temperaturas médias têm, durante o ano, uma variação de 6.3 °C (Climate Data, 2023) (Figura 23).

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	22.6	22.7	21.8	20.2	17.7	17	16.5	17.3	18.8	20.2	20.4	21.8
Temperatura mínima (°C)	19.5	19.4	18.9	17.3	14.6	13.7	12.9	13.4	15.1	16.7	17.5	18.8
Temperatura máxima (°C)	26.8	27.2	25.9	24.2	21.8	21.5	21.3	22.5	23.9	24.8	24.5	25.9
Chuva (mm)	313	232	252	116	76	46	45	46	95	144	255	297
Umidade(%)	79%	78%	82%	82%	81%	80%	78%	74%	74%	77%	81%	81%
Dias chuvosos (d)	16	13	16	11	9	6	5	6	9	12	15	17
Horas de sol (h)	8.4	8.7	7.3	6.4	6.0	6.3	6.5	6.7	6.5	6.3	6.2	7.3

Figura 25 - Dados climatológicos de 1991 a 2021 de Petrópolis. Fonte de dados: <https://pt.climate-data.org/>.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho, objetiva o mapeamento qualitativo da geodiversidade aplicado à suscetibilidade de movimentos gravitacionais e inundações, voltado para a geoeeducação no campo da percepção de risco. Para isso, foi utilizado como direcionamento inicial o Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial do SGB-CPRM (Ramos *et al.*, 2021), que se destina ao levantamento da geodiversidade nas escalas 1:100.000 a 1:50.000 e por isso o presente mapeamento foi adaptado para a escala de maior detalhe 1:12.000 atendendo especificidades e objetivos na área de mapeamento. O objetivo da metodologia apresentada é uma tradução do conhecimento geológico-científico para a sua aplicação e uso adequado do território, que se relaciona com o objetivo do presente trabalho.

O método qualitativo, assim como utilizado em Gonçalves (2018), utiliza da caracterização dos elementos integrados do meio físico e seu uso para determinar os diferentes domínios e unidades de geodiversidade. Em Santos *et al.* (2018) e Gonçalves (2018) os mapas geomorfológicos foram utilizados para a diferenciação das unidades. O mesmo foi feito nesse trabalho, porém interseccionando os compartimentos geomorfológicos com as unidades litológicas.

4.2 Etapa pré-campo

A etapa pré-campo compreendeu o levantamento bibliográfico e de produtos anteriormente elaborados, buscando trabalhos com objetivos similares ou com informações relativas às características da área; o download da imagem de satélite de alta resolução adquirida na plataforma <https://www.planet.com/>, com intuito de realizar a fotointerpretação da área de estudo após os últimos desastres identificando cicatrizes, lineamentos e rede de drenagem; a preparação da base cartográfica do município (IBGE, Google Earth e GEOCART). No ArcGis 10.8 (ArcMap) foi produzido do modelo digital de elevação (MDE) a partir das curvas de nível; as adaptações (recorte na área de estudo, correção de escala e legendas) dos mapas geológico e de compartimentos de relevo a partir dos produtos do SGB-CPRM (Quadro 2); a produção do mapa de campo na escala de mapeamento 1:12000 que contava com as *layers* de curvas de nível, arruamento e rede de drenagens. O material produzido no ArcMap, foi importado para o aplicativo Avenza a fim de ser consultado em campo.

Quadro 2 – Referências utilizadas nas adaptações dos Mapas Geológico e de Relevô.

Valeriano, C. M. <i>et al.</i> Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV, estado do Rio de Janeiro – Belo Horizonte: CPRM, 2012. 156p. Mapa Geológico. Escala 1:100.000
Shinzato, E. <i>et al.</i> Carta geomorfológica: município de Petrópolis, estado do Rio de Janeiro. CPRM, 2017. Escala 1:100.000
CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Petrópolis – RJ. Rio de Janeiro: CPRM, 2016. Escala 1:80.000
PENHA, H. <i>et al.</i> Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: DRM/UFRJ, 1979. Folha Petrópolis. Escala 1:50.000
Heilbron, M.; Eirado, L.G.; Almeida, J. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro. Belo Horizonte: CPRM, 2016. Escala 1:400.000

4.2 Etapa de campo

A etapa de campo consistiu na validação e detalhamento dos produtos previamente publicados através da caracterização geológica-ambiental de pontos estratégicos dentro da bacia, que foram escolhidos pelo acesso, pela presença de afloramentos, cicatrizes de deslizamentos, obras de contenção ou visão privilegiada da bacia. A validação foi feita através do comparativo do que se encontrava em campo com os dados importados no Avenza, com a descrição na caderneta de afloramentos rochosos, sedimentos, cicatrizes de deslizamentos, vegetação. Em campo, foram determinadas as potencialidades e usos dos locais a partir da observação dos aspectos e discussões com os orientadores, além da identificação de locais com potencial geoturístico educacional, sendo esses aqueles que possuíam bom acesso e boa visibilidade para os aspectos gerais da bacia.

Foram visitadas 13 localidades denominadas de acordo com características do local ou nomes popularmente conhecidos. As toponímias foram atribuídas de acordo com características que remetem ao local ou como são popularmente conhecidos.

4.3 Etapa pós campo

Foram reunidos os dados de caderneta de campo de cada local visitado em uma tabela de pontos. Os pontos coletados em campo através do aplicativo Avenza foram importados para o ArcGis sobrepondo os mapas geológico e geomorfológico, com objetivo de relacionar as características observadas em campo com aquelas adquiridas na bibliografia.

4.3.1 Mapas de parâmetros integradores

Após a correlação, foi possível redesenhar os compartimentos de relevo e unidades litológicas para a escala do trabalho a partir da interpretação com base na consulta dos dados bibliográficos e de campo, na observação dos padrões de falhas e lineamento na imagem de satélite, na correlação da imagem com o MDE e as camadas de curvas de nível e drenagens. O redesenho resultou nos novos mapas de relevo e geológico.

Para produção do mapa de susceptibilidade a movimentos gravitacionais e inundações foram utilizadas as informações da Carta de Susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Petrópolis - RJ (SGB-CPRM, 2016). A reinterpretção foi feita, desenhando novos polígonos em *shapefiles* tendo como base os novos mapas de relevo e declive, produzido por meio da ferramenta *clip* aplicada no *raster* de declividade do SIG mencionado. Para integrar o perigo de desastres aos movimentos gravitacionais e inundações, foi adicionada a *layer* de área urbana da base cartográfica.

4.3.2 Mapa censitário

Foi feito um mapa no ArcMap com os dados censitários da bacia, adquiridos do Censo Demográfico de 2010, onde foram classificados os setores censitários, suas rendas médias e número de domicílios.

4.3.3 Carta síntese da história geológica-geomorfológica

Foi agregada ao mapa uma tabela síntese da história geológica da bacia, produzida no Microsoft Excel. Para subdivisão dos eventos e a correlação com a formação das rochas, utilizou-se da subdivisão estratigráfica proposta por Tupinambá *et al.* (2007).

Para a produção da carta síntese da história geológica da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino, integrada ao mapa, resumiram-se em uma planilha Excel os eventos ocorridos e suas influências geológicas e geomorfológicas na área. Também em planilha Excel, foi produzida a tabela descritiva dos domínios e unidades.

4.3.4 Mapa de geodiversidade e descrição dos domínios e unidades

O mapa de geodiversidade foi feito a partir da diferenciação dos Domínios de geodiversidade estabelecidos com base nos eventos da história geológica da bacia e as características geológicas associadas. Os domínios são subdivididos em diferentes Unidades de geodiversidade, sendo essas caracterizadas individualmente pelos parâmetros geológicos e geomorfológicos, os processos hídricos e geológicos associados, seus usos e potencialidades, além dos riscos e recomendações. No mapa, foram integradas as camadas de hidrografia, arruamento, falhas e lineamentos.

Para descrição dos processos hídricos e geológicos com maior detalhe, foi calculada a densidade das drenagens para cada unidade, dividindo o comprimento dos canais pela área da unidade, adotando-se os parâmetros alta, média e baixa. A área das unidades foi obtida através do cálculo de geometria na tabela de atributos, na qual cada unidade foi unificada em um único atributo a partir da ferramenta *dissolve*. A hidrografia foi subdividida por meio da ferramenta *clip* e o comprimento dos canais foi obtido através do cálculo de geometria e as estatísticas da tabela de atributos.

Para a definir os limites das unidades foram interseccionados os compartimentos de relevo com as unidades litológicas integrando-se aos processos hídricos e geológicos.

Os solos não foram priorizados em determinar os limites de unidades, visto que não foram primordiais em suas caracterizações por haver somente cambissolos superficiais na região da bacia. Além disso, não foi realizado detalhamento pedológico em campo, de forma que os SIGs localizados não contêm a escala de trabalho necessária. Sendo assim, as influências do solo na geodiversidade estão descritas nas unidades em que aparecem, correlacionadas ao declive, infiltração e escoamento superficial.

Utilizou-se de transparência para sobrepor o mapa à imagem de satélite que sobrepõem o modelo digital de elevação a fim de agregar ao layout uma melhor visualização do terreno.

No produto final (Apêndice A) onde todos os resultados estão integrados, foi utilizado tamanho de papel A0 para layout legível incluindo todos os elementos.

4.3.5 Áreas e proporções das unidades e suas porções ocupadas

A tabela síntese das áreas das unidades e suas proporções em relação à área total foi feita a partir do cálculo de geometria na tabela de atributos, na qual cada unidade foi unificada em um único atributo a partir da ferramenta *dissolve*. Da mesma maneira que se calculou as áreas das unidades, foram calculadas as áreas ocupadas e suas proporções dentro de cada unidade. Para isso, as áreas ocupadas foram fragmentadas em cada unidade pela ferramenta *clip*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.2 Dados de campo

Os pontos de campo estão representados no mapa da Figura 26 e os dados de campo foram reunidos no Quadro 3, apresentando o número do ponto de campo, a toponímia atribuída ao ponto, sua descrição e coordenadas.

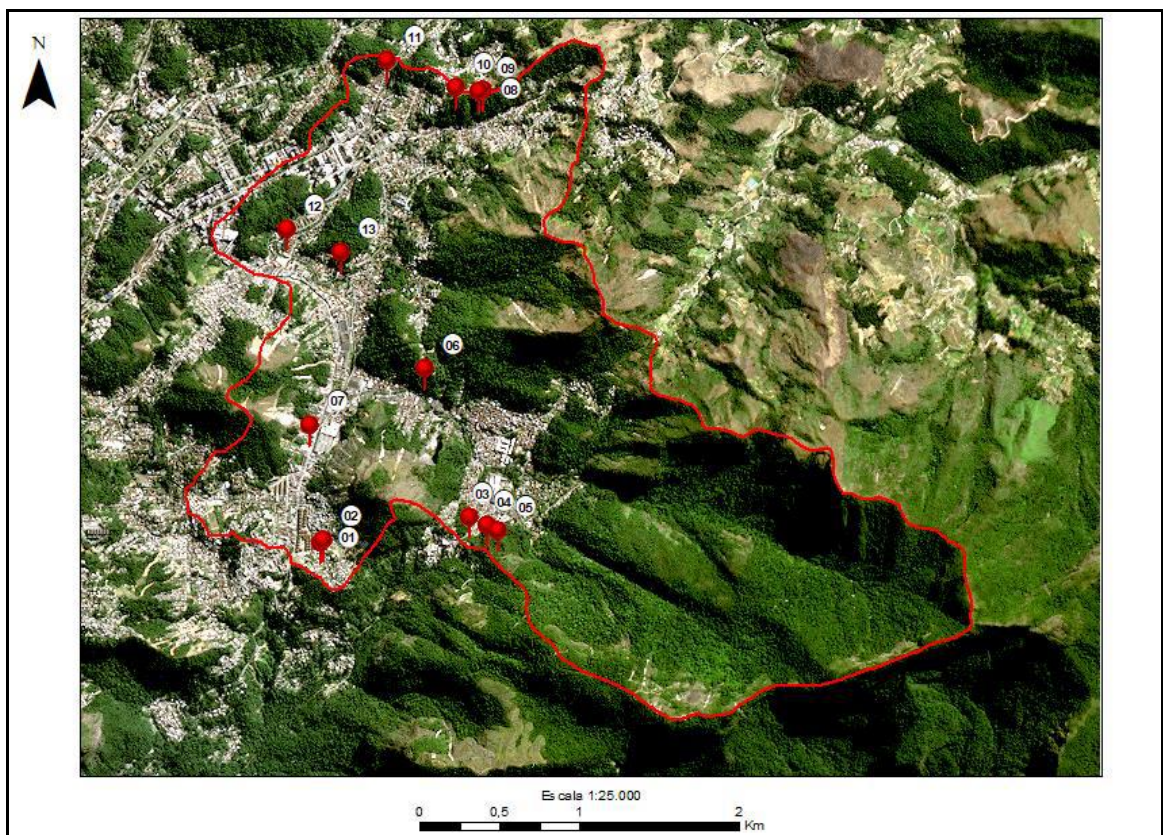


Figura 26 - Mapa de pontos de campo.

Quadro 3 – Pontos de campo com numeração, toponímia, dados obtidos em campo e coordenadas.

Ponto	Toponímia	Descrição	LAT	LONG
1	Pedreira Inativa no Morro da Oficina	Paredão rochoso com 2 padrões de fratura por onde percorre o fluxo d'água. Um deles é proveniente de alívio de pressão. Na base o lençol freático aflora, apresentando risco de dengue por água parada. Encontram-se blocos de gnaisses pouco foliados com pouca biotita e enclaves de	-22,530346	-43,170821

		rocha biotítica fortemente foliada. Há muito lixo no local, principalmente de antigas casas, provavelmente danificadas por desastres. Usos: antiga pedreira (recursos para construção civil) e ocupação.		
2	Deslizamento de grande porte no Morro da Oficina	Blocos de granitos, gnaisses e migmatitos depositados em meio à uma matriz ora lamosa, ora arenosa. O local era constituído por um conjunto de casas que foi destruído no desastre causados pelas chuvas do dia 15 de fevereiro de 2022. Muitos itens pessoais das vítimas ainda são encontrados no local que não recebeu nenhuma obra até o momento.	-22,530133	-43,170661
3	Próximo ao ponto final do Lagoinha	Afloramento de gnaiss migmatítico porfirítico em contato com saprólito e veios de pegmatitos. Há planos de falha com a presença de estrias, sendo uma delas <i>down-dip</i> . Medidas: 000/70; 155/45	-22,528767	-43,161830
4	Estrada sentido Castelinho	Deslizamento com blocos de gnaiss porfirítico. Há blocos orientados e blocos sem orientação.	-22,529223	-43,160735
5	Um pouco acima na estrada sentido Castelinho	Migmatito cortado por granito. Mais presença de solo, árvores maiores e um menor número de ocupações, porém as que existem estão nas encostas. Percebe-se através de cicatrizes, deslizamento planar e rotacional, quedas de blocos e corridas. Também observa-se rastejo.	-22,529507	-43,160068
6	Beira do Rio Palatino na entrada do Morin	Sedimentos de tamanhos variados espalhados no curso do rio. Os sedimentos grossos indicam antigos movimentos de massa, visto que a energia atual é incapaz de transportá-los. Blocos de gnaiss porfirítico com pouca ou sem foliação.	-22,520416	-43,164659
7	Visão do deslizamento atrás da caixa econômica	Deslizamento de grande porte. Obras de contenção estão sendo realizadas no local.	-22,523646	-43,171621
8	Deslizamento na Rua Teresa próximo ao posto de Gasolina	Deslizamento de grande porte. Obras de contenção estão sendo realizadas no local. Migmatito com granito truncando.	-22,504543	-43,161290
9	Antiga pista de esqui	Local onde pode-se observar diversas cicatrizes de deslizamentos nas encostas em redor.	-22,504668	-43,161495

10	Campinho próximo à antiga pista de esqui	Divisor de águas na parte norte da Bacia. Local de excelente visada para a Bacia como um todo. Presença de afloramento de saprólito avermelhado (indicando rocha mais máfica)	-22,504445	-43,162961
11	Casa em reforma no final da Rua Floriano Peixoto	Afloramento de gnaiss migmatítico intemperizado	-22,501825	-43,167174
12	Ponte sob o Rio Palatino próximo ao colégio CEMO	Sedimentos de tamanhos variados espalhados no curso do rio. Obras de contenção estão sendo realizadas no local de um deslizamento. A obra em questão parece estar desequilibrando a sedimentação e a erosão, visto que está na localizada na curva do rio impedindo o curso natural.	-22,512606	-43,173149
13	Afloramento em frente à antiga "fábrica de sons"	Afloramento de gnaiss intemperizado	-22,513846	-43,16985

5.2 Mapas de parâmetros integradores

Os mapas de parâmetros integradores serviram de base para a integração dos elementos do meio físico e para a definição das unidades. Esses compõem o layout do produto final em conjunto com os outros resultados.

5.2.1 Mapa de relevo

O Mapa de Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino (Figura 27) reinterpretado para escala de trabalho é subdividido nos compartimentos de relevo Domínio Serrano, Morros Altos, Morros Baixos, Rampas de Alúvio e Rampas de Colúvio. O detalhamento do mapa fez com que os limites dos compartimentos fossem mais bem definidos, para a escala em questão, em relação aos inicialmente apresentados por Shinzato *et al.* (2017).

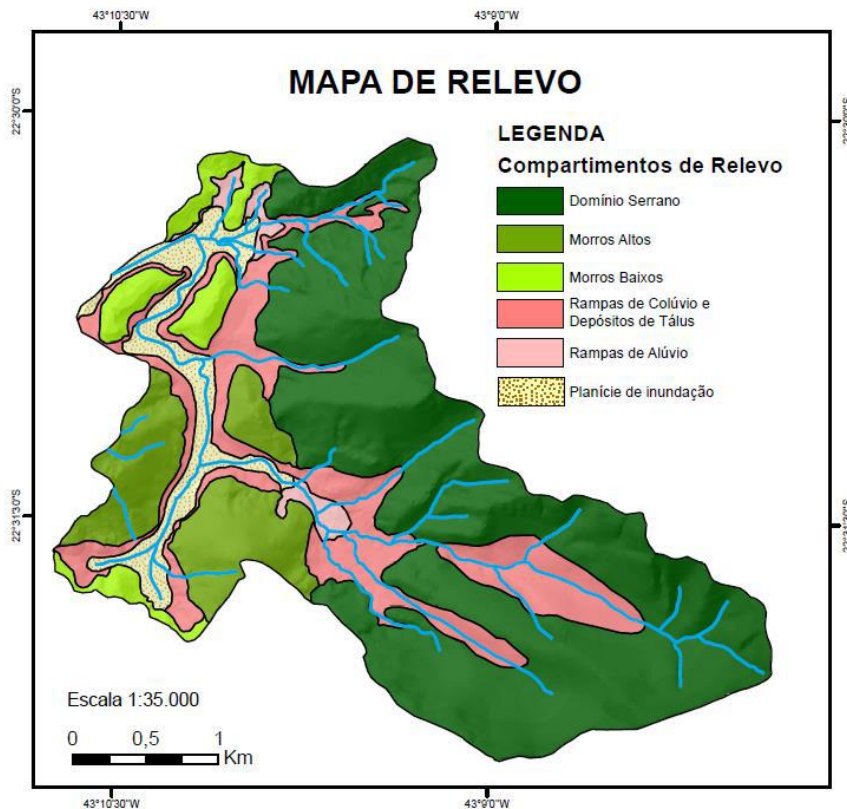


Figura 27 - Mapa de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino reinterpreto. Fonte de dados: Carta geomorfológica: município de Petrópolis, estado do Rio de Janeiro. CPRM (Shinzato *et al.*, 2017); interpretações da autora.

5.2.2 Mapa geológico

O Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino (Figura 28) reinterpreto para escala do trabalho apresenta as unidades litológicas Complexo Rio Negro (Indiviso e Unidade Bingen), Suíte Serra dos órgãos, Granito Andorinha e Sedimentos Quaternários, além das estruturas geológicas representadas pelas falhas e lineamentos. O mapa geológico mais atualizado, que engloba a região da bacia, é o produto do SGB-CPRM da Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara (Valeriano *et al.* 2012), na escala de 1:100.000 não apresenta a unidade Granito Andorinha. Essa unidade aparece na Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, Folha Petrópolis. (DRM/UFRJ, 1979), sendo assim integrada ao mapa geológico final, detalhado com interpretações realizadas neste trabalho.

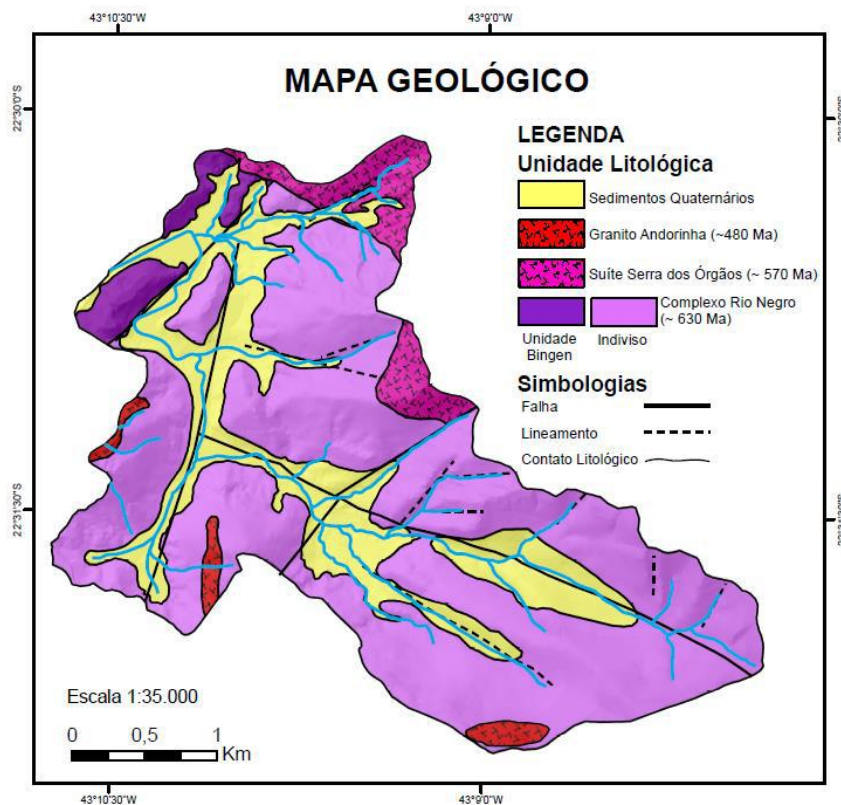


Figura 28 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Fonte de dados: Valeriano *et al.* Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara. (CPRM, 2012); Penha, H. *et al.* Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Folha Petrópolis. (DRM/UFRJ, 1979); interpretações da autora.

5.2.3 Mapa hipsométrico

O Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino (Figura 29), gerado a partir do Modelo Digital de Elevação, está classificado em escala de cores, do azul - porção menos elevada ao vermelho - porção mais elevada, em classes de 100 metros.

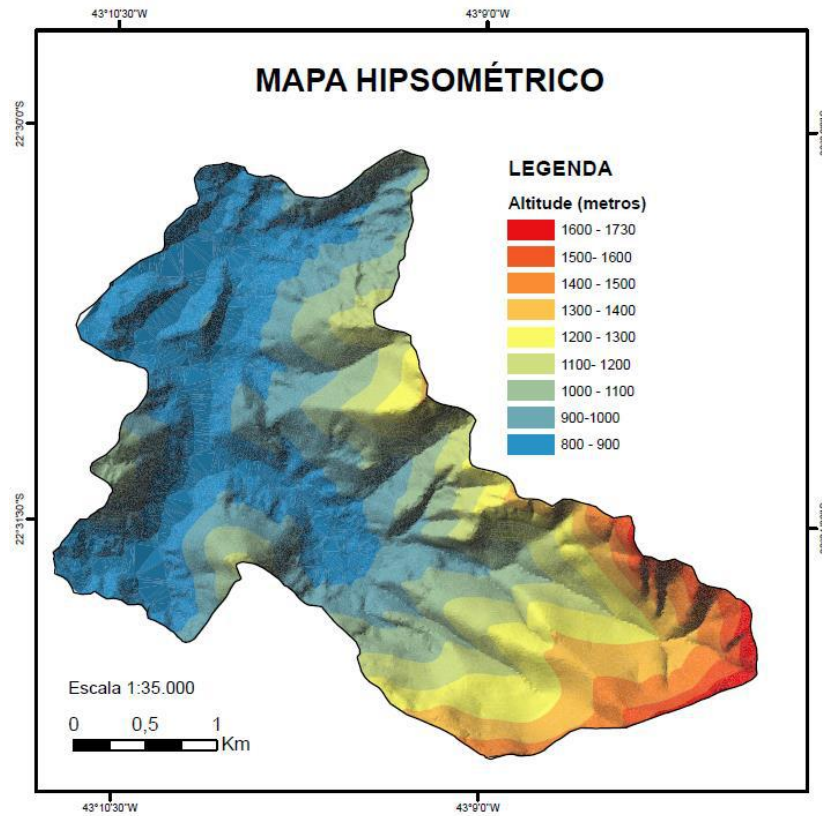


Figura 29 - Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino.

5.2.4 Mapa de declividade

O Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino (Figura 30) foi subdivido em escala de cores em classes de 10°, do azul - menor declive, ao vermelho - maior declive.

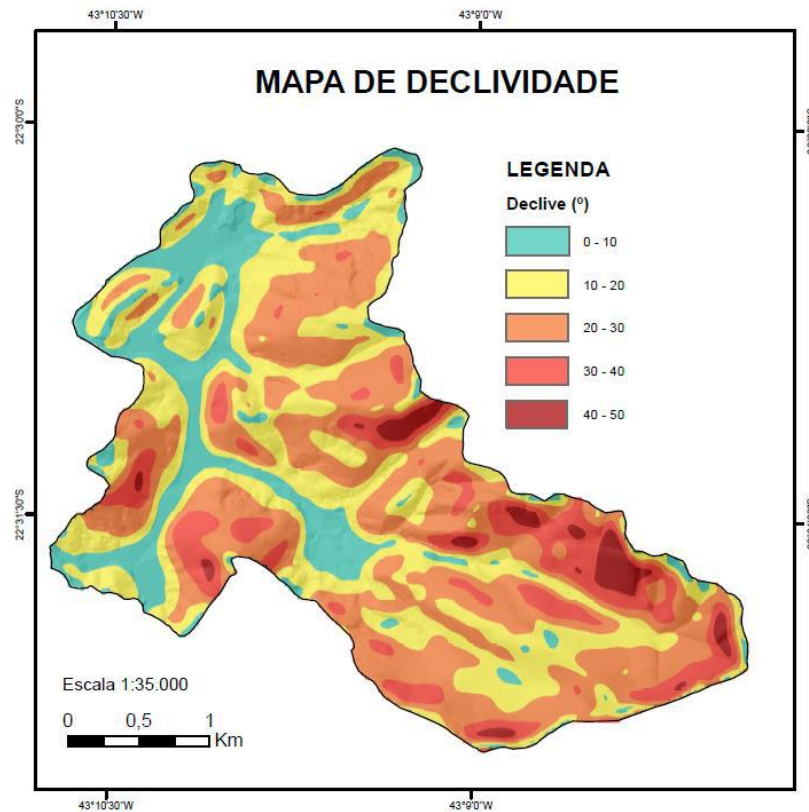


Figura 30 - Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Fonte de dados: CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Petrópolis – RJ. Rio de Janeiro: CPRM, 2016; adaptações da autora.

5.2.5 Mapa de susceptibilidade à movimentos gravitacionais e inundações e risco de desastres

O Mapa de Susceptibilidade e Risco (Figura 31) apresenta áreas com alta, média e baixa susceptibilidade a movimentos gravitacionais, e susceptibilidade a inundações. O risco se apresenta pelo polígono vermelho hachurado, que corresponde à área urbana dentro da área de estudo, inteiramente inserida em área de risco baixo a alto de desastres por inundações, escorregamentos, deslizamentos, quedas de blocos, fluxo de detritos, dentre outros processos.

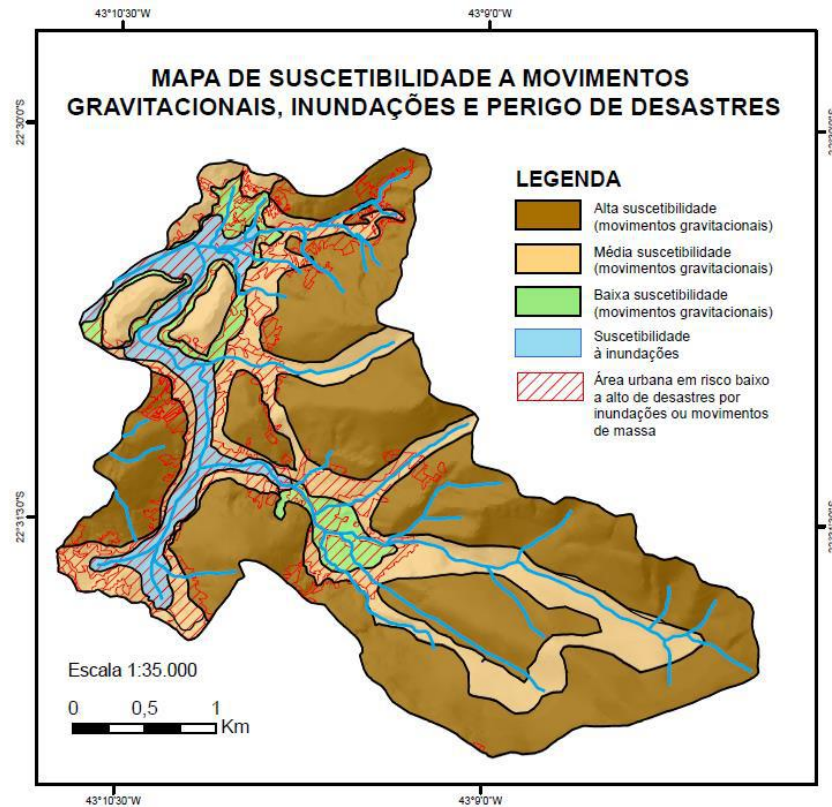


Figura 31 - Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais, inundações e perigo de desastres na Bacia Hidrográfica do Rio Palatino. Fonte de dados: CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Petrópolis – RJ. Rio de Janeiro: CPRM, 2016; interpretações da autora.

5.3 Mapa de setores censitários

O Mapa de Setores Censitário da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino (Figura 32), com dados do Censo Demográfico (2010) indica a população total residente de 39.107 habitantes naquele ano, além da renda média de cada um dos setores censitários e a quantidade de domicílios por setor.

De acordo com o mapa de setores censitário da bacia, notou-se que dos 61 setores existentes, 57 são ocupados por população de baixa renda (menor que três salários mínimos), permitindo concluir que áreas repletas de riscos geológicos, são ocupadas por populações de baixas condições financeiras, expostas ao perigo muitas vezes pela falta de oportunidades de se colocarem em locais sem perigo que, normalmente, são ocupados por populações com maior poder aquisitivo.

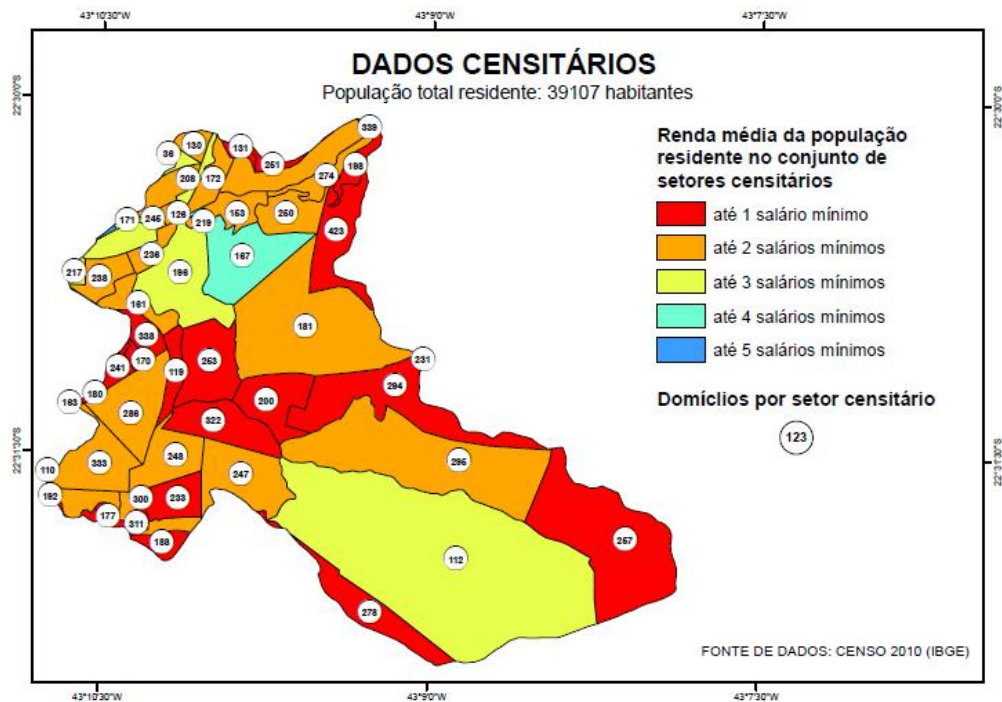


Figura 32 - Mapa de Setores Censitário da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino incluindo renda média e número de domicílios,

5.4 Carta síntese da história geológica-geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino

A história geológica da bacia foi resumida na carta apresentada no Quadro 5 com intuito de facilitar o entendimento dos eventos ocorridos e suas influências na bacia.

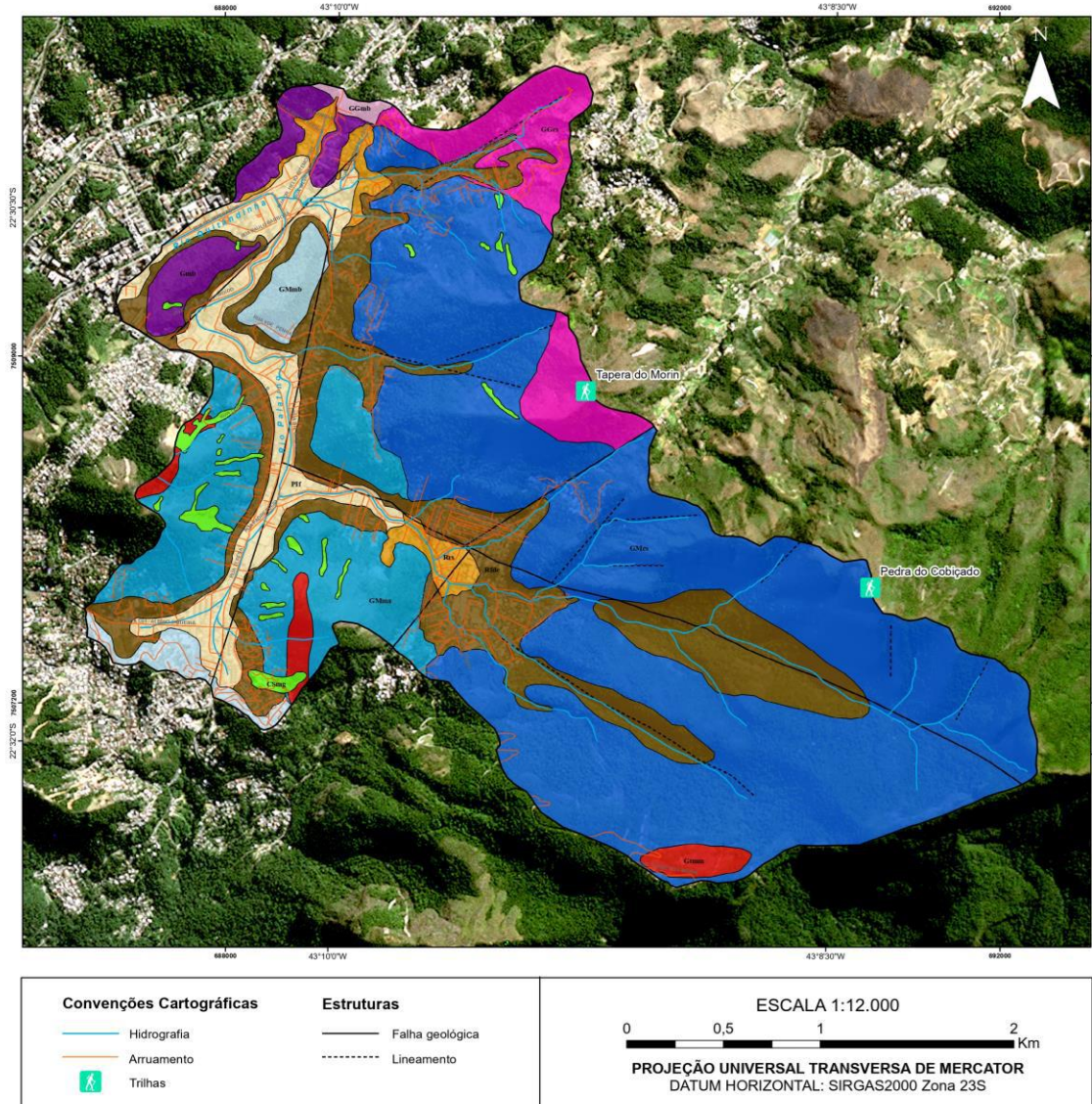
Quadro 5 – Carta síntese da história geológica-geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino.

IDADE APROXIMADA Ma = Milhões de anos Ga = Bilhões de anos	ERA	PERÍODO	EVENTOS NA BACIA	INFLUÊNCIA GEOLÓGICA - GEOMORFOLÓGICA NA BACIA
66 Ma - atualidade	Cenozoico	Quaternário	Processos Exógenos	Formação das serras a partir da erosão e desgaste das montanhas; formação de vales encaixados nas falhas e lineamentos; formação das planícies de inundação dos rios em áreas rebaixadas.
		Neógeno		
		Paleógeno		
250 Ma - 66 Ma	Mesozoico	Cretáceo	(130 Ma) Quebra do Supercontinente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico Sul	
		Jurássico	Supercontinente Gondwana (1 Ga até 500 Ma) Orogênese Brasileira - Colisão continental e formação do Supercontinente Gondwana; (570 Ma) Intrusão de corpo plutônico e metamorfismo; (~500 Ma) Magmatismo	
Triássico				
Permiano				
Carbonífero				
Devoniano				
Siluriano				
Ordoviciano				
541 Ma - 250 Ma	Paleozoico	Cambriano		Granito Andorinha
2,5 Ga - 541 Ma	Proterozoico	Neoproterozoico	Pré-colisão continental - formação de um Arco Magmático	Suíte Serra dos Órgãos e deformação das Rochas do Complexo Rio Negro
		Mesoproterozoico		Complexo Rio Negro (Indiviso e Unidade Bingen)
		Paleoproterozoico		

5.5 Mapa de geodiversidade

O Mapa da geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino (Figura 33) é apresentado em 11 unidades de geodiversidade, agrupados em 5 domínios de geodiversidade, onde são integrados os elementos abióticos caracterizados pela Geologia; Geomorfologia; Processos Hídricos e Geológicos; Usos e Potencialidades; Riscos e Recomendações.

**MAPA DA GEODIVERSIDADE DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PALATINO, PETRÓPOLIS, RJ.**



LEGENDA
Cicatrizes superficiais de movimentos gravitacionais (CSmg)
Planícies de inundação dos rios e drenagens controladas por falhas e lineamentos (Plf)
Rampas de remobilização de sedimentos (Rrs)
Rampas íngremes formadoras de depósitos de encosta (Rfde)
Granitos nos topos de morros e montanhas (Gtmm)
Gnaisses graníticos no compartimento serrano (GGcs)
Gnaisses graníticos em morros baixos (GGmb)
Granitóides homogêneos nos morros baixos (Gmb)
Gnaisses e Migmatitos no compartimento serrano (GMcs)
Gnaisses e Migmatitos em morros altos (GMma)
Gnaisses e Migmatitos em morros baixos (GMmb)

Figura 33 - Mapa de geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino

5.5.1 Densidade de drenagens

Para cada unidade, obteve-se a densidade aproximada de drenagens, cujos valores obtidos variam de zero a dez. As unidades com densidades baixas são as que obtiveram valores menores que 3, as densidades médias possuem valores de 3 a 7 e as densidades altas são as que variam de 7 a 10 (Quadro 4). A densidade das drenagens foi utilizada para uma descrição mais detalhada dos processos hídricos e geológicos associados às unidades.

Quadro 4 - Densidade de drenagem de cada unidade calculadas em quilômetros.

UNIDADE	DENSIDADE DE DRENAGEM (comprimento dos canais/área da unidade)
Cicatrices superficiais de movimentos gravitacionais (CSmg)	1
Planícies de inundação dos rios e drenagens controlados por falhas e lineamentos (Plf)	10
Rampas de remobilização de sedimentos (Rrs)	8
Rampas íngremes formadoras de depósitos de encosta (Rfde)	5
Granitos nos topos de morros e montanhas (Gtmm)	2
Gnaisses graníticos no compartmento serrano (GGcs)	1
Gnaisses graníticos em morros baixos (GGmb)	0
Granitóides homogêneos nos morros baixos (Gmb)	0
Gnaisses e Migmatitos no compartmento serrano (GMcs)	2
Gnaisses e Migmatitos em morros altos (GMma)	1
Gnaisses e Migmatitos em morros baixos (GMmb)	0

PARÂMETROS ADOTADOS	
baixa densidade de drenagens	até 3
média densidade de drenagens	entre 3 e 7
alta densidade de drenagens	entre 7 e 10

5.5.2 Domínios e unidades de geodiversidade

Os domínios de geodiversidade foram determinados a partir dos eventos geológicos responsáveis pela formação de cada conjunto de unidades de geodiversidade.

I. Domínio das rochas magmáticas pré-colisão continental

O domínio é formado pelos gnaisses e migmatitos pré amalgamação do Supercontinente Gondwana, formados em um arco magmático pela colisão e subducção de crosta oceânica sob crosta continental. A unidade Complexo Rio Negro indiviso está representada por quartzo-plagioclásio-biotita gnaisses, intensamente deformado e migmatizado, de aspecto geralmente bandado; ortoclásio (microclina)-quartzo gnaisses acinzentados; rochas anfibolíticas. Já o Complexo Rio Negro (Unidade Bingen) é composto por biotita-gnaisses granítico homogêneo, de cor cinza claro, de granulometria média a grossa e foliação moderada a ausente, e textura equigranular gradando para fácies glomeroporfíricas (Valladares *et al.*, 2012)

Unidades:

A. Gnaisses e Migmatitos no compartimento serrano (GMcs)

Relevo – Montanhoso, acidentado, com vertentes côncavas a retilíneas com cristas alinhadas e levemente arredondadas

Descrição geral – Os Gnaisses e Migmatitos deformados dessa unidade encontram-se no compartimento serrano de relevo e são cortados por dois padrões de falhas e lineamentos, SW-NE e NW-SE. É uma unidade com alta a média susceptibilidade à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Possui áreas vegetadas e com afloramentos rochosos.

Processos hídricos e geológicos associados – As bordas sul e sudeste da unidade são os divisores da bacia hidrográfica. As drenagens da unidade são controladas pelas falhas e lineamentos. Por estar localizada na porção mais elevada da bacia, possui mais alto declive, de forma que o escoamento superficial de água é maior enquanto a infiltração é menor, além da baixa densidade de drenagens, reduzindo o intemperismo e formando somente solos superficiais pouco espessos. O contato entre o solo raso e a rocha sã se torna um local de infiltração de água, tornando a unidade suscetível a movimentos gravitacionais de massa como escorregamentos, fluxo de detritos e quedas de blocos. As rochas da unidade são fraturadas, o que aumenta a infiltração d'água e intensifica os processos.

Usos e potencialidades – Adequada para o turismo e geoturismo. Nela localiza-se o ponto final da trilha do Cobiçado (Figura 34), local com uma visão privilegiada das bacias no entorno e seus múltiplos elementos de geodiversidade, contribuindo para a geoeducação e a percepção de risco. Possui valor paisagístico e educacional. Somente 3,9% da área é ocupada.

Riscos e recomendações – Por serem unidades com susceptibilidade média a alta aos movimentos de massa, recomenda-se que não sejam urbanizadas. Como há ocupação urbana, estudos locais de estabilidade de talude devem ser realizados. É importante que não haja desmatamento, poluição e o plantio de bananeiras (aumentam a sobrecarga na encosta) para que seja mantido o equilíbrio natural de escoamento e infiltração sem a intensificação dos processos naturais devido a fatores antrópicos. Em caso de chuvas fortes nessas unidades, a população deve se dirigir para locais identificados como sem risco. Atenção deve ser dada para a presença de rachaduras nas construções, pois indicam movimentações no terreno.

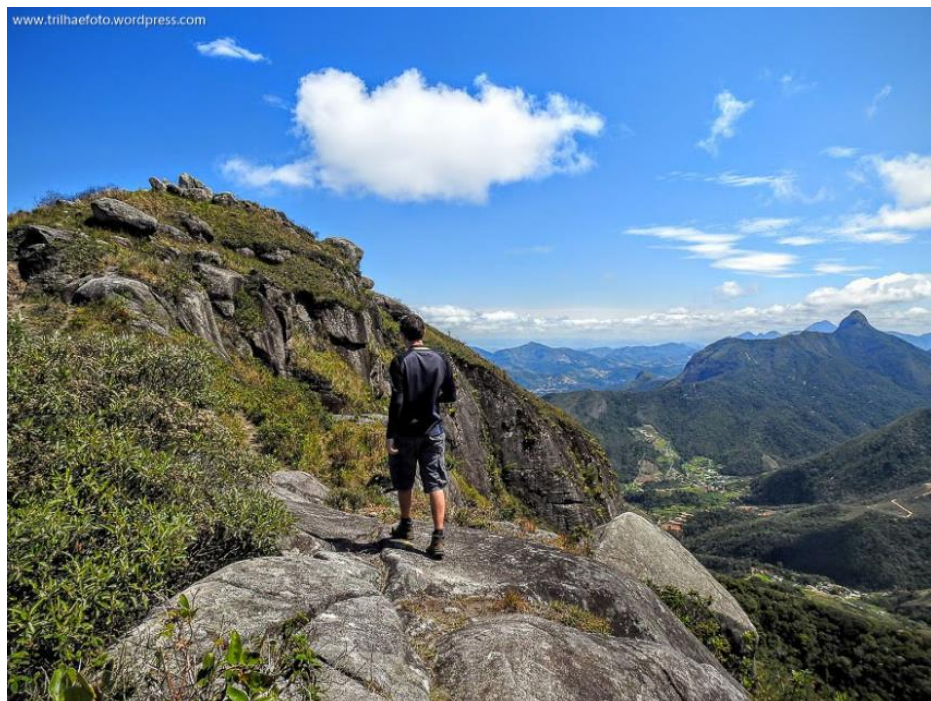


Figura 34 - Morro do Cobiçado. Foto: <https://trilhaefoto.wordpress.com/2017/05/21/cobicado/>

B. Gnaisses e Migmatitos em morros altos (GMma) (Figura 35)

Relevo – Morros altos com topos arredondados

Descrição geral – Não foram interpretadas falhas ou lineamentos expressivos que controlem a forma do relevo ou a hidrografia da unidade. Toda a unidade possui alta suscetibilidade a ocorrência de movimentos gravitacionais e por isso é cortada por vários polígonos da unidade CSmg (Figura 36).

Processos hídricos e geológicos associados – Por se tratar de um relevo de morros altos, ou seja, alta declividade e elevação, o escoamento superficial é intenso e a formação de solos é prejudicada e a densidade de drenagens é baixa, gerando camadas superficiais de solos que podem vir a deslizar caso haja o destacamento a partir da rocha sã, podendo causar desastres às populações que ocupam o sopé e encostas dessa unidade. A foliação das rochas da unidade a torna menos resistente, visto que aumenta as possibilidades de infiltração de água, formando finas camadas de solo nessas zonas de fraqueza.

Usos e potencialidades – Uso educacional para percepção de alto risco através da observância dos aspectos hidrológicos e geológicos próximos às áreas com ocupação urbana.

Riscos e recomendações – similar à unidade GMcs



Figura 35 - A) Morro alto ao fundo correspondente a unidade dos Gnaisses e Migmatitos em morros altos. Ponto de campo 2.



Figura 36 - B) Afloramento do Complexo Rio Negro exposto pelo corte da unidade CSmg na unidade GMma. Este local, no momento da visita, estava recebendo obras de contenção. Ponto de campo 8.

C. Gnaisses e Migmatitos em morros baixos (GMmb) (Figura 37)

Relevo – Morros baixos

Descrição geral - Unidade similar aos GMma, porém diferencia-se por ser menos elevada e menos íngreme, resultando em susceptibilidade média aos movimentos gravitacionais.

Processos hídricos e geológicos associados – Diferencia-se pela menor elevação e declividade, que permitem maior infiltração de água e uma melhor formação de solos. Por esses fatores, a área é a que apresenta menor susceptibilidade a movimentos gravitacionais dentre os gnaisses e migmatitos do domínio.

Usos e potencialidades – 36,2% da área urbanizada. Uso educacional para percepção de médio risco através da observância dos aspectos hidrológicos e geológicos próximos às áreas com ocupação urbana.

Riscos e recomendações – Ainda que o risco de desastres seja menor, não é descartado. Sendo assim, deve-se atentar a todas as recomendações feitas para áreas de maior risco, evitando que processos sejam induzidos.



Figura 37 - Afloramento da unidade Gnaisses e Migmatitos em morros baixos. Ponto de campo 13.

D. Granitóides homogêneos nos morros baixos (Gmb)

Não foram localizados afloramentos da unidade dentro da bacia no levantamento de campo realizado.

Relevo – Morros baixos

Descrição geral – Os Granitóides homogêneos dessa unidade ocorrem como morros baixos e moderadamente íngremes. Apresentam média susceptibilidade aos movimentos gravitacionais. Esta unidade é cortada por dois polígonos da unidade CSmg. A encosta é urbanizada.

Processos hídricos e geológicos associados – A elevação e declividade da unidade permitem a infiltração de água desenvolvendo melhor os solos. Por essa razão, somada à baixa densidade de drenagens, essa unidade apresenta menor susceptibilidade a

movimentos gravitacionais. Porém, por estar cortada pela unidade CSmg, percebe-se que mesmo sendo menos suscetível, os movimentos ocorreram na unidade.

Usos e potencialidades – Uso educacional para percepção de médio risco através da observância dos aspectos hidrológicos e geológicos próximos às áreas com ocupação urbana.

Riscos e recomendações – Similar à unidade GMmb

II. Domínio das rochas magmáticas deformadas

Domínio representado pela Unidade Suíte Serra dos Órgãos, em diferentes compartimentos de relevo, representado por granada-hornblenda-biotita ortognaisses graníticos a granodioríticos foliados a relativamente homogêneos, de granulação grossa, cor branca a cinza claro, e estrutura equigranular a levemente porfirítica, geralmente pouco foliada (Valladares *et al.*, 2012).

Unidades:

A. Gnaisses graníticos no compartimento serrano (GGcs) (Figura 38)

Relevo – Relevo montanhoso, com vertentes côncavas a retilíneas levemente arredondadas.

Descrição geral - Os gnaisses graníticos da unidade encontram-se no compartimento serrano e apresentam algumas falhas e lineamentos. É uma área de susceptibilidade alta aos movimentos gravitacionais devido ao declive e elevação, porém não é cortada pela unidade CSmg.

Processos hídricos e geológicos associados – A unidade encontra-se numa porção elevada e íngreme da bacia, onde o escoamento superficial é intenso havendo pouca infiltração de água, além da baixa densidade de drenagens. Sendo assim, o intemperismo só é suficiente para formar solos rasos que ao se destacarem da rocha são por conta da infiltração d'água no contato solo/rocha, geram movimentos gravitacionais de massa. Uma rocha deformada com pouca ou nenhuma foliação

metamórfica, ou seja, mais homogênea, apresenta maior resistência em relação àquelas que apresentam foliação expressiva, visto que a foliação pode se constituir em zonas de fraqueza por onde a água irá infiltrar.

Usos e potencialidades – Adequada para o uso educacional. Próximo à antiga pista de esqui de Petrópolis localiza-se um ponto estratégico de observação da bacia (Figura 39), seus processos e o reconhecimento de áreas de risco ocupadas. O ponto contém uma visão privilegiada da bacia hidrográfica e seus múltiplos elementos de geodiversidade por ser um de seus divisores, contribuindo para a geodivulgação e a percepção de risco. 13,4% da área está ocupada.

Riscos e recomendações – Apesar de ser uma unidade mais resistente por conta da menor deformação das rochas, ainda assim é suscetível aos movimentos gravitacionais devido ao declive elevado, sendo assim necessita a mesma atenção à todas as recomendações feitas para a unidade GMcs.



Figura 38 - Afloramento da unidade Gnaisses graníticos no compartimento serrano. Ponto de campo 10.



Figura 39 - Ponto estratégico de observação da bacia próximo à antiga pista de esqui de Petrópolis, sendo possível observar todas as unidades a partir dessa localização. Ponto de campo 10.

B. Gnaisses graníticos em morros baixos (GGmb) (Figura 40)

Relevo – Morros baixos

Descrição geral – A unidade se diferencia da GGcs por ser pouco elevada e com menor declive se tornando ainda menos susceptível aos movimentos gravitacionais.

Processos hídricos e geológicos associados – Nessa unidade, como a elevação e declividade são menores que na GGcs, o intemperismo será mais intenso e formará solos mais espessos, menos susceptíveis ao destacamento no contato solo/rocha.

Usos e potencialidades – Uma pequena parcela da área está ocupada, enquanto grande parte dela encontra-se vegetada.

Riscos e recomendações – Ainda que a o risco de desastres seja menor, não é descartado. Sendo assim, deve-se atentar a todas as recomendações feitas para áreas de maior risco, evitando que processos sejam induzidos.



Figura 40 - Afloramento da unidade Gnaisses graníticos em morros baixos. Ponto de campo 11.

III. Domínio das rochas magmáticas pouco a não deformadas

Representado pelo Granito Andorinha, somente uma unidade no domínio. Granito Andorinha é um biotita leucogranito homogêneo de cor cinza, equigranular a eventualmente porfirítico, com enclaves máficos (Figura 41). Mineralogia: microclina, plagioclásio, quartzo e biotita (Valladares *et al.*, 2012).

Unidade:

A. Granitos nos topos de morros e montanhas (Gtmm)

Relevo – Topos de morros e montanhas com presença de *Tors*

Descrição geral - Caracteriza-se por granitos que afloram nos topos das montanhas, muitas vezes em forma de *Tors*, sendo esses afloramentos rochosos que se erguem abruptamente das encostas suaves no alto de um morro. Normalmente associados a corpos graníticos em áreas elevadas.

Processos hídricos e geológicos associados – A formação de *Tors* se dá pela infiltração de águas nas fraturas de alívio de pressão, que ao longo do tempo vai erodindo o terreno e expondo as rochas em subsuperfície, que virão a formar essa feição geomorfológica. Uma vez que um *Tor*, por processos erosivos, se torna um bloco solto, ele pode ser transportado ocasionando quedas de blocos.

Usos e potencialidades – Uso educacional no âmbito da percepção de risco e a formação de feições erosivas que geram susceptibilidade a quedas de blocos. Próximo à bacia é possível encontrar *Tors* com importância turística no Morro do Castelinho (Figura 42).

Riscos e recomendações – Risco de quedas de blocos (Figura 43), sendo assim recomenda-se obras de contenção, evitando danos nas construções existentes nos sopés dos morros e montanhas



Figura 41 - Enclave máfico no Granito Andorinha. Ponto de campo 2.



Figura 42 - Morro do Castelinho apresentando *Tors* em seu topo. Foto: Fernanda Hudson.



Figura 43 - Bloco rolado da unidade Granitos nos topos de morros e montanhas. Ponto de campo 2.

IV. Domínio dos Sedimentos Inconsolidados

Representado por coberturas sedimentares quaternárias de granulometria variada.

Usos e potencialidades do domínio - Todo o domínio é urbanizado, principalmente a unidade Pif que contém 97,6% de sua área ocupada, contendo ruas, comércio, estabelecimentos de saúde, escolas, bancos, estacionamentos, áreas de lazer, dentre outros locais importantes para o desenvolvimento cotidiano a população residente na Bacia Hidrográfica do Rio Palatino e suas redondezas. Por isso, é de extrema importância que toda área do domínio seja utilizada para uso educacional no campo da percepção de risco relacionado às enchentes e à deposição dos sedimentos oriundos dos movimentos gravitacionais e da remobilização dos sedimentos das rampas de colúvio que podem atingir as ocupações. Na porção da unidade Rrs localizada na parte central da bacia, há uma pedreira desativada.

Unidades:

A. Planícies de inundação dos rios e drenagens controlados por falhas e lineamentos (Pif)

Relevo – Planícies de inundação (Várzeas)

Descrição geral – Os rios principais da Bacia Hidrográfica do Rio Palatino estão encaixados em grandes falhas geológicas e lineamentos. Essas falhas estão relacionadas aos esforços tectônicos ocorridos durante a formação da Serra do Mar, que resultam em vales profundos por onde percorre o curso d'água. Nesta unidade, encontram-se sedimentos, como matacões e blocos rochosos, cascalho, areia e lama depositados nas planícies de inundação, sendo essas as áreas de baixo declive nas proximidades do rio. São superfícies sub-horizontais e, portanto, o baixo declive permite a infiltração de água no subsolo e a formação de solos.

Processos hídricos e geológicos associados – A densidade de drenagens é alta nessa unidade. O tamanho do sedimento transportado por um rio dependerá da sua energia. Em ambientes de alta energia, quando um grande volume de água, em fluxo denso, percorre um trecho em alta velocidade, tem-se o transporte de sedimentos grossos como os blocos e matacões, além de sedimentos finos. Já naqueles ambientes de menor energia, são transportados somente os

sedimentos mais finos. Portanto, quanto maior a energia e a densidade do fluido transportador, maior a capacidade de transporte de sedimentos. Em épocas de cheias, o rio extravasa inundando a planície e depositando sedimentos finos ao retornar ao seu leito. Quando ocorre um menor índice pluviométrico, a energia do rio é menor e os sedimentos carregados para fora do rio, pelo extravasamento, são depositados na planície (Figura 44).

Riscos e recomendações – Em Petrópolis, é muito comum a presença de construções sobre as planícies de inundação e por isso as enchentes tornam-se um risco para população. A urbanização dessas áreas pode levar ao estreitamento dos canais e a impermeabilização dos solos, aumentando o risco das inundações. A contaminação dos solos, que contribui para a poluição dos rios também é um problema da urbanização na unidade. A ocupação dessas áreas deve ser precedida e sucedida de estudos de impacto ambiental e viabilidade da atividade a ser instalada na unidade. É necessário que haja atenção para que as obras de contenção nas laterais de rios não geram um desequilíbrio na sedimentação e erosão, pois esse desbalanço pode provocar desastres (Figura 45).



Figura 44 - Sedimentos de tamanhos variados ao longo do curso do Rio Palatino. Os sedimentos grossos são provenientes de antigos movimentos de massa. Ponto de campo 6.



Figura 45 - Obra de contenção na curva do rio desequilibrando o balanço sedimentar. Ponto de campo 12.

B. Rampas de remobilização de sedimentos (Rrs) (Figura 46)

Relevo – Rampas de Alúvio-Colúvio

Descrição Geral – Composta por superfícies inclinadas com depósitos argilo-arenosos e areno-argilosos de encostas. O limite entre essa unidade e a Plf pode ser difuso pois a unidade se estende até as áreas menos inclinadas. A susceptibilidade aos movimentos gravitacionais é baixa.

Processos hídricos e geológicos associados – São áreas de baixo declive e alta densidade de drenagens e por isso o escoamento superficial é grande, assim como a infiltração de água é alta. Devido à declividade das encostas laterais, podem ocorrer movimentações em direção ao leito dos rios, gerando barragens no escoamento das águas fluviais.

Riscos e recomendações – Ainda que a o risco de desastres seja menor, não é descartado. Sendo assim, deve-se atentar a todas as recomendações feitas para áreas de maior risco, evitando que processos sejam induzidos.



Figura 46 – A) Unidade Rampas de remobilização de sedimentos totalmente ocupada na Avenida Sampaio, Centro. Ao fundo, observa-se a Unidade dos Granitoides homogêneos nos morros baixos. B) Unidade Rampas de remobilização de sedimentos totalmente ocupada na Rua Marechal Floriano Peixoto, Centro. Ao fundo, observa-se a Unidade dos Gnaisses graníticos em morros baixos. Ponto de campo 11 (ambas).

C. Rampas íngremes formadoras de depósitos de encosta (Rfde)

Relevo – Rampas de Colúvio/Depósitos de Tálus

Descrição geral – Representada por superfícies deposicionais com o maior declive do domínio. Composta por depósitos de sedimentos grossos, ricos em blocos e matacões, em meio a matriz de areia e lama. Possui média a alta susceptibilidade à movimentos gravitacionais (Figura 47).

Processos hídricos e geológicos associados – É uma unidade com média densidade de drenagens. Para que os sedimentos sejam transportados até a unidade, os processos devem ser de alta energia, visto que blocos podem pesar muitas toneladas. Os movimentos gravitacionais

que ocorrem nos morros e montanhas possuem tamanha energia devido a combinação dos fatores: alta declividade e alto volume de material fino incorporado, que aumenta a densidade do fluido, carregando esses sedimentos variados. São áreas de médio declive e assim como na Rrs, há a possibilidade de formação de solos. Escorregamentos de barreiras podem ocorrer por conta da infiltração de água no solo que gera sobrecarga e poropressão, resultando no seu rompimento.

Riscos e recomendações – A construção nessas áreas insere pessoas num compartimento de relevo que naturalmente recebe e deposita os sedimentos oriundos de escorregamentos, deslizamentos, fluxos de detritos e quedas de blocos. Dessa forma, recomenda-se não ocupar. Como essas áreas estão ocupadas, obras de contenção precisam ser realizadas em seu entorno, a fim de impedir que os sedimentos cheguem até a unidade causando desastres como o ocorrido em 15 de fevereiro de 2022 no Morro da Oficina.

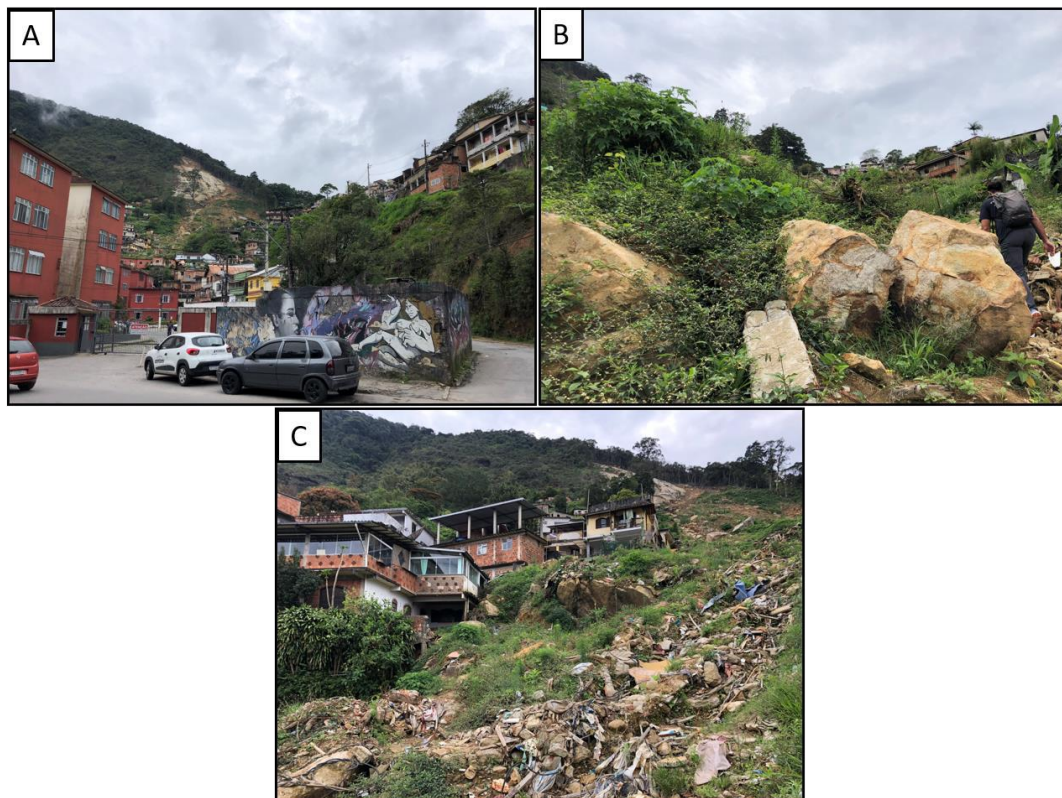


Figura 47 – A) Fotografia posicionado na unidade Pif. Observa-se a Unidade Rfde coberta por área urbana. No topo do morro, nota-se a unida CSmg cortando da unidade Gmma até a unidade Rfde. B) Blocos rolados provenientes das unidades Gtmm e Gmma, depositados na unidade Rfde. C) Visão dos sedimentos misturados com pertences de vítimas do desastre de 15 de fevereiro de 2022, depositados na unidade Rfde, Todas no ponto de campo 2.

V. Domínio das feições superficiais geradas por movimentos gravitacionais recentes

Representado por uma unidade composta por afloramentos rochosos ou solos expostos em encostas íngremes.

Unidade:

A. Cicatrizes superficiais de movimentos gravitacionais (CSmg)

Descrição geral – Afloramentos expostos após escorregamentos translacionais (planares) de horizontes superficiais de solos pouco espessos ou solos expostos após escorregamentos rotacionais (circulares) de massas que se movem para partes mais baixas ou para fora do talude (Figura 48).

Processos hídricos e geológicos associados – Nos afloramentos, ocorre o escoamento superficial intenso devido ao alto declive e à ausência de solo. Infiltração em solos rasos forma fluxo d'água entre solo e rocha.

Usos e potencialidades – Uso educacional no âmbito da percepção de risco a partir do reconhecimento dos processos hídricos e geológicos ocorridos, que poderão acontecer em outros locais, além da observância dos aspectos litológicos das rochas frescas. Na área do Morro da Oficina, há o potencial do uso educacional no campo da preservação da memória das vítimas do desastre do dia 15 de fevereiro de 2022.

Riscos e recomendações – Risco da repetição dos processos gravitacionais em áreas no entorno das cicatrizes. Recomenda-se obras de contenção em caso do risco de desastre mapeado. Ocupações não são recomendadas.

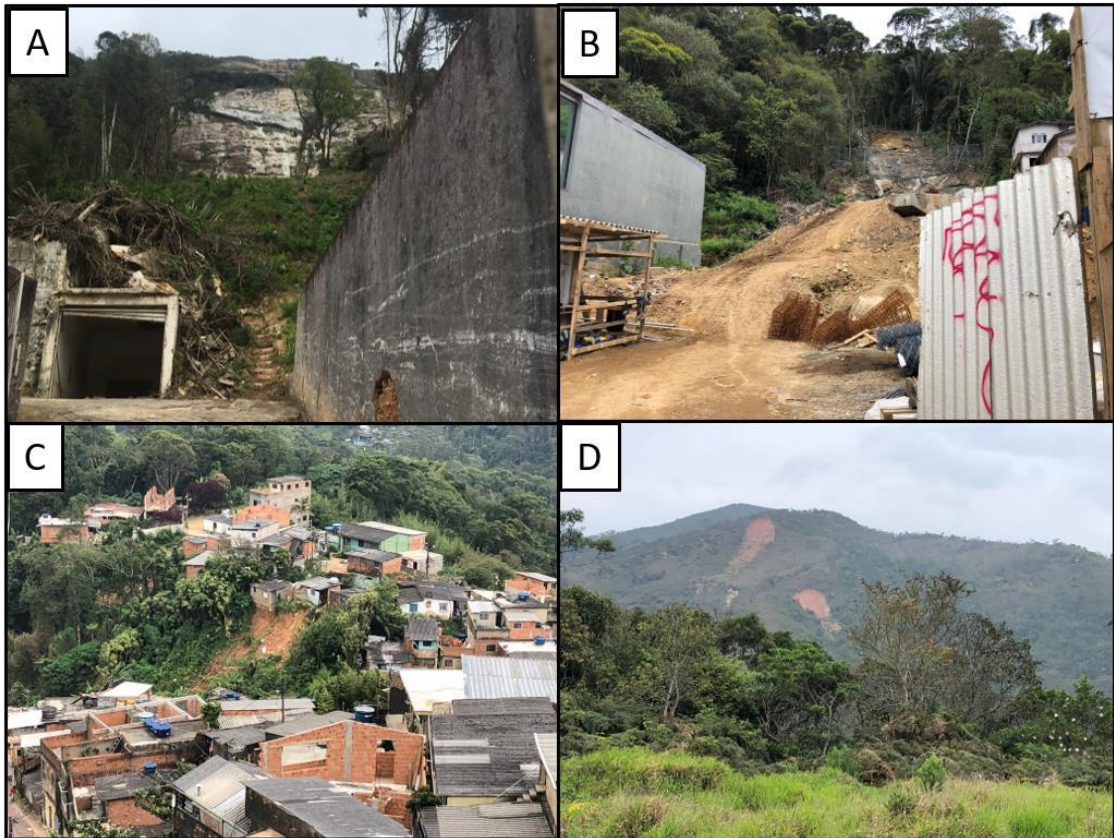


Figura 48 - A) Cicatriz de deslizamento planar, expondo afloramento de rocha, próximo à Caixa Econômica no Alto da Serra. Ponto de campo 7. B) Cicatriz de deslizamento planar, local em obra na Rua Teresa. Ponto de campo 8. C) Cicatriz de deslizamento rotacional visto do ponto estratégico da bacia na unidade GGcs no bairro Floresta. Ponto de campo 10. D) Cicatrizes de deslizamentos rotacionais vistas do mesmo ponto estratégico, porém observando a bacia hidrográfica vizinha. Ponto de campo 9.

5.5.3 Áreas e proporções das unidades e suas porções ocupadas

Foram obtidas as áreas em quilômetros quadrados de cada uma das unidades e suas proporções em relação a área total da bacia. As áreas ocupadas dentro de cada unidade também foram calculadas, bem como a proporção de área ocupada no interior de cada unidade (Quadro 6).

De acordo com as proporções de áreas ocupadas obtidas, percebe-se que a unidade Pif apresenta 97,6% de sua área ocupada e toda a unidade está suscetível a inundações de acordo com o mapa de susceptibilidade. Em relação às outras unidades do domínio — Rrs e Rfde, o risco apresentado no mapa de susceptibilidade é baixo e médio para movimentos gravitacionais, e depois da Pif, são as duas unidades com maior proporção ocupada, respectivamente 70,1% e 47,3%. A unidade Gtmm está altamente suscetível a movimentos gravitacionais, porém possui somente 2,4% de sua área ocupada — não por residências.

Sendo assim, as movimentações de massa causarão problemas nas unidades localizadas em porções menos elevadas, onde serão depositados os sedimentos oriundos dessa unidade. As unidades GGcs e GGmb possuem menor proporção ocupada, respectivamente 13,4% e 23%, sendo assim, não concentra a maior população exposta ao risco de movimentos gravitacionais, que é alto na GGcs e médio na GGmb. Quanto às unidades GMcs, GMma e GMmb, nota-se que nas mais elevadas e de maior declividade, como a GMcs e GMma, a suscetibilidade aos movimentos gravitacionais é alta, porém a que apresenta maior risco dentre as duas é a GMma, visto que possui 15,7% de sua área ocupada, mais que o dobro da GMcs, além de ser a unidade com maior número de cortes pelos polígonos da unidade CSmg, indicando que muitos movimentos de massa já aconteceram e causaram desastres como o ocorrido no Morro da Oficina em fevereiro de 2022. A unidade GMmb possui a maior ocupação dentro do domínio — 36,2%. Entretanto, corre risco médio à ocorrência de movimentos gravitacionais. A unidade CSmg está 18,7% urbanizada, indicando que essas ocupações foram atingidas pelos processos gravitacionais ocorridos anteriormente ao mapeamento, principalmente nos episódios de fevereiro de 2022.

UNIDADE DE GEODIVERSIDADE	ÁREA DA UNIDADE (Km ²)	% DE ÁREA DA UNIDADE EM RELAÇÃO A ÁREA DA BACIA	ÁREA OCUPADA DENTRO DA UNIDADE (Km ²)	% DE ÁREA OCUPADA EM RELAÇÃO A ÁREA DA UNIDADE	RISCO DE DESATRE POR MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS E INUNDAÇÕES EM CASO DE OCUPAÇÃO
CSmg	0,12	1,2	0,02	18,7	ALTO
Pif	0,72	7,2	0,71	97,6	ALTO
Rrs	0,19	1,9	0,13	70,1	BAIXO
Rfde	1,89	18,8	0,89	47,3	ALTO
Gtrm	0,16	1,6	0,004	2,4	ALTO
GGcs	0,55	5,4	0,07	13,4	ALTO
GGmb	0,03	0,3	0,01	23,0	MÉDIO
Gmb	0,28	2,7	0,05	18,8	MÉDIO
GMcs	4,79	47,6	0,19	3,9	ALTO
GMma	1,08	10,7	0,17	15,7	ALTO
GMmb	0,25	2,5	0,09	36,2	MÉDIO
TOTAL	10,06		2,34		

Quadro 6 - Áreas das unidades, áreas ocupadas por unidade e suas proporções e classificação de risco.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A geodiversidade integra os elementos abióticos. Essa integração de elementos controla o que se encontra na bacia. As unidades litoestratigráficas, falhas geológicas e lineamentos controlam o relevo, que por sua vez controla a hidrografia e vice-versa, que controlarão a formação dos solos e os processos hídricos e geológicos associados. Conseqüentemente, esses fatores controlam as tendências de ocupações, que se dão em regiões de menor declive até certo ponto das encostas inclinadas. É possível perceber facilmente no Mapa da geodiversidade a influência de cada um dos aspectos utilizados para qualificar as unidades. A partir dessa percepção, é possível entender como o arranjo das particularidades da geodiversidade da bacia combinado à urbanização, podem causar desastres relacionados a perdas materiais e até mesmo humanas.

Dessa forma, conclui-se que o mapeamento da geodiversidade demonstra possuir papel importante não só no planejamento urbano, mas concedendo informações importantes para a percepção de risco da população residente. O entendimento do indivíduo como sendo parte do ambiente natural, colabora com a percepção de que a urbanização impacta no meio ambiente e esses impactos podem trazer conseqüências negativas àqueles que estão ocupando-o.

Os dados censitários mostram que pessoas em situações de baixa renda residem na bacia, local de alto risco geológico. Portanto, é de responsabilidade dos órgãos públicos a proteção dessa população que não possui condições de se mudar para outros locais. Muitas obras estão sendo realizadas no local, porém, durante o mapeamento foi possível identificar muitos riscos iminentes onde não foram aplicadas medidas resolutivas. O próprio Morro da Oficina, local onde houve o maior número de óbitos em fevereiro de 2022, não recebeu qualquer intervenção até a data da visita para a elaboração desta pesquisa no dia 19 de outubro de 2022.

Recomenda-se que o produto final dessa monografia, seja compartilhado com professores e profissionais das áreas das geociências, para que seja utilizado como ferramenta de ensino-aprendizagem para a população geral do município. Apesar do cuidado tido na produção do mapa com uso de termos muito específicos, as geociências possuem muitas particularidades que não são de senso comum. Sendo assim, é preciso ter cuidado para aplicar métodos de geoeducação de forma assertiva e interessante ao público leigo. É recomendado que esse trabalho futuramente seja reproduzido em versões acessíveis, adaptadas para pessoas com deficiência.

Como o produto desse trabalho objetiva a caracterização do meio físico de forma

aplicada à suscetibilidade a movimentos gravitacionais e inundações visando a percepção de risco através da geoeducação, recomenda-se que a metodologia seja replicada em outras áreas suscetíveis a esses processos que podem estar associados ao risco geológico.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M.; Carneiro, C. D. R. **Origem e Evolução da Serra do Mar**. Revista Brasileira de Geociências, 1998. 28(2): 135-150.
- ALVARES, C. A. *et al.* **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 2014. 22, 711–728.
- ARAÚJO, L.M.N. *et al.* **Variabilidade da precipitação na bacia do rio Piabanha**. In: Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora, MG, ago. 2018.
- BARBOSA, A. L. M; GROSSI SAD, J.H. **Petrografia dos charnockitos e rochas afins ao longo da divisa Minas Gerais – Rio de Janeiro**. Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de Minas Gerais, Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 1983. Boletim no.3, pp. 63-74.
- BERBERT, C. O. **Geologia social: a nova visão dos serviços geológicos**. Terra em Revista, Rio de Janeiro, ano I, n. 0, p. 9-10, ago. 1995. [Opinião].
- CARCAVILLA, L., DURÁN, J.J., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. **Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico**. Geo-Temas, 10: 1299–1303. 2008.
- CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil: Estudos de riscos e medicina de desastres**. 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento/Departamento de Defesa Civil, 1998, 173p.
- CASTRO, A. L. C. **Manual de planejamento em Defesa Civil**. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Departamento de Defesa Civil, 133 p., 1999.
- CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres**. Vol. I:Desastres Naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. In: http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4&groupId=10157
- COPPETEC. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. Ocorrências de Desastres Naturais entre 2000 e 2012 por Região Hidrográfica. v.2. INEA, 120p. 2014.
- CORDANI, U. G. **Evolução geológica pré-cambriana da faixa costeira do Brasil entre Salvador e Vitória**. São Paulo, 1973. 98 p. (Dissertação de Livre Docência, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geodiversidade do Brasil, escala 1:2.500.000.** Legenda expandida. Brasília: CPRM, 2006. 68 p.

DANTAS, *et al.* **Contexto Geológico e Geomorfológico dos Eventos em Petrópolis 2022.** Brazilian Geomorphological Union, 2022.

GOES, H. **Curso Básico de Percepção e Mapeamento do Risco Geológico.** CPRM, 2018. Serviço Geológico do Brasil.

GONÇALVES, Jéssica. **Mapeamento da Geodiversidade do município de Miguel Pereira - RJ: abordagens metodológicas e sua contribuição para a gestão territorial.** Rio de Janeiro, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia - Instituto de eociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GONZALEZ, F. C. G. **Projeto de Drenagem Sustentável para Mitigação de Cheias na Bacia do Rio Quitandinha, em Petrópolis, RJ.** Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014. 79 p.: il.; 29,7 cm.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature.** 2^a ed. England: Wiley-Blackwell, 2013.

GRAY, M. **Geodiversity: The backbone of geoheritage and geoconservation.** In: Reynard & Brilha (Eds.). *Geoheritage: Assessment, protection and management.* Elsevier, Amsterdam, 2018. p. 13–25.

GUERRA, A. J. T. et al. **Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas.** Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 8, nº 1. 2007.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. **Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil).** 2003. *Precambrian Research*, 125: 87-112.

HEILBRON, M. *et al.* **Brasiliano orogens in Southeast and South Brazil.** In: WEINBERG, R.; TROUW, R.; FUCK, R.; HACKSPACHER, P. (Ed.). *The 750-550 Ma Brasiliano event of South America.* *Journal of the Virtual Explorer*, v. 17, 2004.

HIGHLAND, L. O. **Manual de Deslizamento – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos.** Serviço Geológico dos Estados Unidos e Peter Bobrowsky, Serviço Geológico do Canadá. 2008.

JOHANSSON, C. E.; ANDERSEN, S.; ALAPASSI, M. **Geodiversity in the Nordic countries.** *ProGeo News*, 1999. Study & Protection of the Geological Heritage, p. 1-9.

KOZLOWSKI, S. **Geodiversity: The concept and scope of geodiversity**. *Przeład Geologiczny*, v.58, n.8/2, p. 833-837. 2004.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. **River Channel Patterns, Braided, Meandering and Straight**. U.S. Geol. Surv. Paper, 1957. 282-B.

LIMA, U. B. S. *et al.* **Cartografia Histórica e SIG na análise das modificações da paisagem: cursos d'água na área gênese da cidade de Petrópolis/RJ**. , [S.l.], n. 17, dez. 2020. ISSN 2317-8825.

LORDEIRO, M. S. **Petrópolis, Rios e Montanhas**. Rio de Janeiro: Samaúma Editora Gráfica Ltda, 2006.

MACHADO, R; DEMANGE, M. **O batólito cordilherano Serra dos Órgãos: um exemplo de arco magmático brasileiro com assinatura toleítica no sistema de cisalhamento Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994a. Boletim de Resumos Expandidos-Simpósios. Camboriú, SBGIDNPM/CPRM, v.1, p.114-115.

MONTGOMERY, C.W. **Environmental geology**. 3ª ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1992. 465p.

NASCIMENTO, A. C. M., *et al.* **Chuvas de alta intensidade e volume no município de Petrópolis - RJ**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 24., 2021, Belo Horizonte. Anais.

NEVES, L.V. **Estudo Geoecológico de deslizamentos e inundações em Petrópolis (RJ): Reflexões sobre o paradoxo do primeiro distrito**. Dissertação (Mestrado PPGG-UFRJ) Rio de Janeiro, 2017. 159p.

NIETO, L.M. **Patrimônio geológico, cultura y turismo**. Boletín del Instituto de Estudios Ginnenses, 2001. v.182, p.109-122.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 421p.

NOGUEIRA, F.R. **Gestão dos riscos nos Municípios**. in: MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministérios das Cidades/Cities Alliance, 2006.

PENHA, Helio Monteiro *et al.* **Folha Petrópolis: Relatório Final**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1979. 194 p. (Texto, Parte I).

PEREIRA, N. R. et al. **Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do Córrego do Bonfim, município de Petrópolis, Região Serrana do estado do Rio de Janeiro.** In: Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 273. Acompanha 1 mapa, color. Escala 1:10.000. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, E-book: il. color. 2021.

PIMENTEL, J. et al. **Comunidade mais segura: mudando hábitos e reduzindo os riscos de movimentos de massa e inundações.** 2ª edição. CPRM, 2007. Serviço Geológico do Brasil.

PINTO, E. J. A. et al. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Petrópolis – RJ.** Rio de Janeiro: CPRM, 2016. Escala 1: 80.000

RAMOS, M. A. B. et al. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial.** Brasília: CPRM, 2021. 1 recurso eletrônico; PDF.

ROSIER, G. F. **A geologia da Serra do Mar, entre os picos Maria Comprida e Desengano: estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: DNPM; DGM, 1957. 58 p. (Boletim do DNPM/DGM, 166)

SANTOS, D. S.; et al. **Geodiversity Mapping and Relationship with Vegetation: A Regional-Scale Application in SE Brazil.** Geoheritage, artigo online, p. 1-17. 2018.

SERRANO, E.C.; RUIZ-FLAÑO, P. **Geodiversity: A theoretical and applied concept.** Geographica Helvetica, v.62, n.3, p. 140-147. 2007a.

SHINZATO, E. et al. **Carta geomorfológica: município de Petrópolis, estado do Rio de Janeiro.** CPRM, 2017. Escala 1:100.000.

SILVA, Cassio Roberto. **Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro.** Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

SHARPLES, C. **Geoconservation in forest management – principles and procedures.** Tasforests, v.7, p. 37-50. 1995.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TUPINAMBÁ, M. et al. **Complexo Rio Negro - uma unidade estratigráfica relevante no entendimento da evolução da Faixa Ribeira.** In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia 39, 1996. Anais, vol. 6, p. 104-106.

TUPINAMBÁ, M. **Evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.** 221 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1999.

TUPINAMBÁ, M. *et al.* **Geologia e recursos minerais da folha Baía Nova Friburgo SF.23-Z-B-II, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000.** Belo Horizonte: CPRM, 2012.

VALERIANO, C *et al.* **Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000,** Belo Horizonte: CPRM, 2012.

VALLADARES, C. *et al.* **Geologia e recursos minerais da folha Três Rios SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000.** Belo Horizonte: CPRM, 2012.

WINTER, V. **Petrópolis, as marcas da sociedade na natureza: história ambiental e leitura das paisagens /** Valério Winter. – 2019. 277 f.: il.

ZALAN, P. V.; OLIVEIRA, J. A. B. **Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil.** Boletim de Geociências da Petrobras, 2005. v. 13, n.2, p. 269 – 300.

