RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

Cartografia de Risco a Escorregamentos em Encostas no Município de Petrópolis

Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia

thalweg@thalweg.com.br

As informações deste documento são propriedade do DRM-RJ, sendo proibida a utilização fora da sua finalidade.
Adverte-se que sua reprodução total ou parcial requer expressa autorização da instituição.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Cláudio Bomfim de Castro e Silva

Vice-Governador
Thiago Pampolha Gonçalves

Nicola Moreira Miccione
(Secretário de Estado da Casa Civil)

Adilson de Faria Maciel
(Secretário de Estado de Planejamento e Gestão)

Fernanda Pereira Curdi
(Secretária de Estado de Desenvolvimento Econômico, Indústria, Comércio e Serviços – Interina)

André Moura
(Secretário de Estado de Governo)

Tarciso Antônio Salles Junior
(Secretário de Estado de Defesa Civil e Comandante Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro)

Bernardo Chim Rossi
(Secretário de Estado do Ambiente e Sustentabilidade)

DEPARTAMENTOS DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO DRM-RJ

Presidente
Luiz Cláudio Almeida Magalhães

Diretor de Geologia
Tulio Márcio Aguiar Oliveira

Diretor de Mineração
Rodrigo Puccini Marques

Diretora de Administração e Finanças
Mariana Cristina Santiago Ouchana

Coordenadoria de Projetos Especiais e Meio Ambiente/Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamento
Analice Ramos Pereira Gomes
(Geóloga – Coordenadora)

Equipe técnica
Paulo Vicente Guimarães - Geólogo
João Batista Silva dos Santos – Geólogo
Mariana de Azevedo Siqueira – Engenheira

Coordenadoria de Geologia e Recursos Minerais
Marcelo Lyra Parente
(Geólogo - Coordenador)

Coordenadoria de Geoinformação
Nilton Assis da Costa Junior
(Geógrafo – Coordenador)

Equipe técnica
Lilian Gabriela Gomes Vianna – Geógrafa
Suelen Oliveira Alpino Rodrigues – Geógrafa
Wagner Alves de Souza – Geógrafo

Assessoria de Informática
Hélio Edson da Costa Britto Junior - Assessor

As informações deste documento são propriedade do DRM-RJ, sendo proibida a utilização fora da sua finalidade.
Adverte-se que sua reprodução total ou parcial requer expressa autorização da instituição.

EQUIPE TÉCNICA

Responsável técnico
Alex Alves Lara

Alano Burity dos Santos - Geólogo
Ariadne Senna Azaro - Geóloga
Bárbara Cardoso Leite - Geógrafa
Carla Rodrigues Serrão - Estagiária
Cassiano Lopes Quintanilha Fontes - Geógrafo
Diego Santos Dias – Operador de drone
Dimitri Tallemberg Soares - Geólogo
Eduardo Azevedo Muniz - Geólogo
Isabella Robert Rodrigues - Geóloga
Jéssica Tiné Pôssa - Geóloga
Joana de Oliveira Ramalho - Geóloga
Jurandir da Costa Filho – Engenheiro Civil
Leonardo Freire Dias - Geógrafo
Lívia dos Santos Torres - Geóloga
Marcela Strongylis – Engenheira Civil
Marcella Rodrigues de Jesus - Geógrafa
Mariana dos Santos Minhava Marques da Silva - Geógrafa
Mariana Motta Machado - Geógrafa
Patrícia Quadros Gondim Leite - Geógrafa
Pedro Henrique de Castro e Silva - Geógrafo
Rodrigo França – Geólogo geotécnico
Samara Cristina Cordeiro dos Santos - Geóloga geotécnica
Thais Belloti Loureiro - Geóloga
Thayane Dutra Schuindt - Geóloga

As informações deste documento são propriedade do DRM-RJ, sendo proibida a utilização fora da sua finalidade.
Adverte-se que sua reprodução total ou parcial requer expressa autorização da instituição.

APRESENTAÇÃO

A Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia LTDA (Thalweg), junto ao Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), por meio de seu Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamento (NADE), apresenta aqui, através deste documento, o produto Relatório Técnico Final consolidado relativo ao Mapeamento de Risco a Escorregamento dos cinco distritos do município de Petrópolis (1º Distrito - Petrópolis, 2º Distrito – Cascatinha, 3º Distrito – Itaipava, 4º Distrito - Pedro do Rio e 5º Distrito – Posse), no Estado do Rio de Janeiro, documento obrigatório, como estabelecido no Edital de Licitação (Concorrência – CO Nº 002/2022) para a execução da "Cartografia de Risco a Escorregamentos em Encostas no Município de Petrópolis".

Reafirma-se aqui, a observância rigorosa de todas as especificações presentes no edital do objeto, e seu respectivo Termo de Referência, bem como das recomendações e instruções dadas pelo DRM-RJ e pela Defesa Civil de Petrópolis, justificadas a compatibilidade e desempenho dos serviços prestados.

DRM-RJ
DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS

thalweg

Sumário

PROJETO 17
ESCOPO DOS SERVIÇOS 17
1. INTRODUÇÃO 18
1.1 Justificativa 18
1.2 Objetivo 19
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 21
2.1 Localização e inserção regional 21
2.2. Histórico de ocupação e aspectos econômicos 22
2.3 Aspectos fisiográficos 27
2.3.1 Geologia 27
2.3.2 Geomorfologia 30
2.3.3 Pedologia 31
2.3.4 Clima 34
2.3.5 Hidrografia 37
2.3.6 Vegetação 38
2.4 Histórico de deslizamentos 39
3. METODOLOGIA APLICADA 43
4. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO 45
4.1 Primeira Etapa: Pré-Campo 45
4.1.1 Levantamento bibliográfico 46
4.1.2 Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa (mapa suporte) 47
4.2 Segunda Etapa: Fase de Campo 49
4.2.1 Oficina técnica 49
4.2.2 Logística e planejamento estratégico de atuação 52
4.2.3 Obtenção de ortofotos digitais 53
4.2.4 Codificação e identificação dos arquivos gerados 53
4.2.5 Execução em campo do mapeamento de risco a escorregamentos 55
4.3 Terceira Etapa: Fase Pós-Campo 66
4.3.1 Hierarquização dos setores de riscos 67
4.3.2 Workshop final 68
4.3.3 Produtos 69
4.4 Cronograma de execução 77
5. RESULTADOS 79

5.1 Setores de risco: visão geral 79
5.2 Primeiro Distrito: Petrópolis 87
5.2.1 Setores de risco muito alto (1° Distrito) 90
5.2.2 Setores de risco alto (1° Distrito) 96
5.2.3 Setores de monitoramento (1° Distrito) 102
5.3 Segundo Distrito: Cascatinha 105
5.3.1 Setores de risco muito alto (2° Distrito) 107
5.3.2 Setores de risco alto (2° Distrito) 112
5.3.3 Setores de monitoramento (2° Distrito) 117
5.4 Terceiro Distrito: Itaipava 120
5.4.1 Setores de risco muito alto (3° Distrito) 121
5.4.2 Setores de risco alto (3° Distrito) 125
5.4.3 Setores de monitoramento (3° Distrito) 128
5.5 Quarto Distrito: Pedro do Rio 130
5.5.1 Setores de risco alto (4° Distrito) 132
5.5.2 Setores de monitoramento (4° Distrito) 135
5.6 Quinto Distrito: Posse 138
5.6.1 Setores de risco muito alto (5° Distrito) 140
5.6.2 Setores de risco alto (5° Distrito) 140
5.6.3 Setores monitoramento (5° Distrito) 143
5.7 Setores de engenharia 145
5.8 Setores de não-ocorrências 148
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO 150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 153

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização do Município de Petrópolis, no contexto do Estado do Rio de Janeiro, e sua divisão territorial nos cinco Distritos (Petrópolis, Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse). 22
Figura 02: Planta de Petrópolis, intitulada Planta Original, criada pelo Major Júlio Frederico Koeler em 1846. 24
Figura 03: Unidades litológicas da Faixa Móvel Ribeira. Fonte: Modificado de HEILBRON et al. (2004). 28
Figura 04: Mapa geológico indicando a distribuição das litologias na cidade de Petrópolis. 29
Figura 05: Mapa geomorfológico de Petrópolis demonstrando os padrões de relevo da cidade..... 31
Figura 06: Mapa de solos do município de Petrópolis. Fonte: IBGE e PRONASOLOS (2022). 33
Figura 07: Mapas de precipitação média no período compreendido entre os anos de 2018 e 2023, relativos aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, confeccionados a partir de dados da rede de pluviômetros pertencentes ao Cemaden BR, Cemaden RJ e Alerta de Cheias (INEA). Fonte: Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Petrópolis (SEMPDEC), 2023. 35
Figura 08: Gráficos que evidenciam a evolução da precipitação e dos acumulados em alguns dos eventos de chuvas intensas ocorridos no município de Petrópolis: A1 e A2) em março de 2018, em Posse/5° Distrito; B) em março de 2019, em Petrópolis/1° Distrito; C) em janeiro de 2020, em Petrópolis/1° Distrito; D e E) em 2022, em Petrópolis/1° Distrito. Fonte: CEMADEN/ CEMADEN-RJ / INEA, 2022 apud PETRÓPOLIS, 2023. 36
Figura 09: Climatograma do município de Petrópolis evidenciando as médias gerais das temperaturas máximas e mínimas e da precipitação ao longo do ano. Fonte: ClimaTempo, 2024. 37
Figura 10: Esquema representativo formação florestal da Mata Atlântica por altitude, com destaque para as classes altomontana (1), Montana (2) e Submontana (3) presentes no município de Petrópolis. Fonte: IBGE, 2012. 39
Figura 11: Registros fotográficos de desastres ocorridos entre as décadas de 1960 e 1980: A) Serra das Araras, 1967; B) Petrópolis, 1988. 41
Figura 12: Registros fotográficos de desastres ocorridos no município de Petrópolis: A) Vale do Cuiabá, 2011; B) Morro da Oficina, 2022; C) Vila Felipe, 2022 e; D) Independência, 2024. 42
Figura 13: Fluxograma das etapas de execução da Cartografia de Risco a Escorregamentos no município de Petrópolis, até a fase de elaboração do presente documento e entrega dos produtos. 45
Figura 14: Imagem representativa do formato e organização dos dados inseridos na Tabela Inventário Preliminar, em tabela única, uniforme e padronizada. 47
Figura 15: Imagem da Oficina Técnica realizada no dia 11 de março de 2024 com a presença de representantes da Defesa Civil de Petrópolis, do Departamento de Recursos Minerais (DRM) e da Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia. 50
Figura 16: Reunião com representantes do Núcleo Comunitário de Defesa Civil do Vale do Cuiabá, 3° Distrito. 51
Figura 17: Exemplo de um arquivo suporte de campo para atendimento dos pontos de interesse do projeto. Detalhe para a referência dos pontos e polígonos do Inventário Final, dos limites das microbacias definidas (unidades base utilizadas nesse mapeamento), e das curvas de nível, nas localidades Praça Pasteur e Alto da Serra. 52

Figura 18: Modelo de Ficha Geológica de Campo utilizada na execução da Cartografia de Risco a Escorregamentos nos cinco Distritos de Petrópolis. Todos os fatores aqui pontuados subsidiaram a classificação final de risco dos setores. 56
Figura 19: Modelo de Ficha de Campo de Engenharia utilizada para a proposição de intervenções geotécnicas que mitigassem os riscos atrelados aos setores. 62
Figura 20: Modelo de Ficha de Não Ocorrência utilizada no projeto. 65
Figura 21: Workshop final realizado na sede de Petrópolis do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro. 68
Figura 22: Mapa Inventário Final com a presença de pontos de ocorrência e polígonos de riscos georreferenciados associado ao histórico de escorregamentos no município. 70
Figura 23: Tabela Inventário Final com atributos associados a estes pontos e polígonos. 70
Figura 24: Ortofoto digital gerada a partir da captura de imagens em sobrevoo de drone na localidade Castelanea, 1° Distrito (IA_PT_D1_CASTELANEA_02_DSD_DSD_174). 71
Figura 25: Exemplo de ficha de campo (Ficha Geológica) preenchida, na localidade do Vale do Cuiabá, 3° Distrito. 72
Figura 26: Exemplo de ficha de campo (Ficha de Engenharia) preenchida, na localidade Alto da Serra, 1° Distrito. 73
Figura 27: Exemplo de ficha de campo (Ficha de Não Ocorrência) preenchida, na localidade Siméria, 1° Distrito. 73
Figura 28: Espelho de Risco de setor classificado como alto na localidade de Corrêas, 2° Distrito. Detalhe para: delimitação do setor em imagem oblíqua com descrição e fotografias in loco; imagem em nadir com a delimitação da área de risco; desenho esquemático em perfil do setor de risco; indicações de intervenções e informações gerais. 74
Figura 29: Carta de Risco a Escorregamentos do 5° Distrito. Detalhe para: delimitação dos setores de risco de graus muito alto e alto mapeados e, fotografias aéreas com ilustração dos setores de maior risco e suas delimitações. 75
Figura 30: Carta de Risco a Escorregamento com a representação dos setores analisados na localidade Vale do Cuiabá, próximo à Rua Jorge Henrique de Mello, no 3° Distrito (CR_PT_D3_VALEDOCUIABA_1525). Detalhe para os polígonos de risco muito alto (vermelho) e alto (laranja) em ortofoto e, na porção superior da carta, fotografias representativas dos setores ali representados. 76
Figura 31: Mapa evidencia distribuição espacial dos setores de muito alto, alto e monitoramento, delineados no projeto, ao logo de todo o município de Petrópolis. 81
Figura 32: Gráfico demonstrando a relação das morfologias de terrenos associada aos setores de risco a escorregamentos identificados no projeto. 82
Figura 33: Representação gráfica das coberturas do entorno observadas ao longo da execução de campo e definição dos setores de risco a escorregamento; mais de um tipo de cobertura pôde ser registrada por setor. 83
Figura 34: Distribuição quantitativa das feições de instabilidade observadas nos setores de risco muito alto, alto e setores de monitoramento analisados no projeto. 85
Figura 35: Relação dos processos de movimentação de solo e rocha identificados nos setores de risco delineados no projeto. 86
Figura 36: Representação gráficas em barras dos setores e suas respectivas classes de risco distribuídas pelas localidades do 1° Distrito, Petrópolis. 88

Figura 37: Imagens oblíquas representativas das quatro localidades de maior expressividade quanto a identificação de setores de risco a escorregamento neste projeto: A) cortes em encostas na Rua João Bispo do Nascimento, em São Sebastião; B) elevada concentração de edificações sobre terreno inclinado associada a localidade do Centro; C) Morro da Oficina, no Alto da Serra, onde ocorreu um deslizamento de grande magnitude em 2022; D) próximo à Rua Onofre dos Santos, na Independência, onde diversos deslizamentos planares com atingimento foram deflagrados no período chuvoso de 2024; E) deslizamento planar, solo-rocha, deflagrado em encosta natural na Rua Uruguai, Quitandinha, próximo a edificações de vulnerabilidade estrutural média a baixa; F) deslizamento planar em corte de talude associado a edificações de vulnerabilidade estrutural média a alta, na Rua C, no Quitandinha. 89
Figura 38: Cenários considerados como de classe de risco muito alto a escorregamento, associados a ocorrência de deslizamentos planares: A) Deslizamento planar com registro de desabamento de edificações e óbitos na Independência, ocorrido em 2024 (PT_ D1 _INDEPENDENCIA _59_DSS_DS_PG_CL_1); B) Deslizamento deflagrado em crista de talude na Rua João Caetano, no Centro (PT_D1_CENTRO_336_DSS_EA_IR__11); C) Deslizamento, ocorrido em 2024, associado a vertente íngreme onde casas assentam-se a distâncias nulas (PT_D1_MOINHOPRETO_549_DSS_EA_IR__1); D) Deslizamentos e feições de instabilidade na Rua Lopes de Castro, no Valparaíso (PT_D1_VALPARAISO_222_DSS_DS_LD__7). 91
Figura 39: A) Atingimento de edificação de alto padrão construtivo (casa amarela na porção centro sul da imagem, por deslizamento de grande magnitude deflagrado a montante, na Independência (PT_ D1 _INDEPENDENCIA _63_DSS_EA_SC__9). B) Detalhe para o desabamento parcial de edificação. 92
Figura 40: Visão geral de cenário na Vila Felipe onde foram delineados setores de risco muito alto e alto em decorrência de deslizamentos deflagrados. Intervenções geotécnicas (não concluídas) apresentavam-se em execução no momento de análise, não sendo possível, naquele momento, considerá-las em uma redução de classe de risco. 93
Figura 41: Queda de blocos rochosos com atingimento: A) de parede de fundos de edificação, no Centro (PT_D1_CENTRO_253_DSS_PG_TB__4); B) e desabamento parcial de edificação, na Praça Pasteur (PT_D1_PRACAPASTEUR_206_DSS_DS_JP__2). 94
Figura 42: Visão geral do setor de risco muito alto identificado no Alto da Serra, na Servidão Amara Rosa de Jesus PT_D1_ALTODASERRA_179_DSS_PG_TB__1, onde edificações dispõem-se a distâncias nulas da crista de encosta natural íngreme. 95
Figura 43: Detalhe para as feições de instabilidade observadas no setor de risco muito alto identificado no Alto da Serra, na Servidão Amara Rosa de Jesus PT_D1_ALTODASERRA_179_DSS_PG_TB__1. A) Estruturas de edificações escavadas e descalçadas; B) Fenda transpassante em muro, com continuidade para pavimento, individualizando este trecho que se encontra muito inclinado para jusante. 96
Figura 44: Configuração de cenários associados a deslizamentos planares classificados como alto risco a escorregamentos no 1° Distrito: A) Setor de alto risco delineado, em vermelho, abrangendo edificações mais distantes das cicatrizes de deslizamentos ocorridos na crista da encosta, adjunto ao polígono de muito alto (primeira linha de casas a distância nula da crista), na Independência (PT_D1_INDPENDENIA_59_DSS_CL_DS_PG__5); B) Deslizamento planar deflagrado na localidade Amazonas (PT_D1_AMAZONAS_131_DSS_BC_SC__11); C) Setor associado a deslizamentos pretéritos com desabamento de edificações e reconstrução em mesmo local (setas vermelhas), na localidade Quarteirão Brasileiro (PT_D1_QUARTEIRAOBRASILEIRO_494_DSS_LT_TB__6); D) Setor com vazamento

de tubulação e lançamento de águas servidas no terreno, próximos a cicatriz de deslizamento pretérito, na localidade de Duarte Silveira (T_D1_DUARTEDASILVEIRA_288_DSS_JP_TS__1); umidade no solo reforçada pela presença de bananeiras. 98
Figura 45: Setores de risco alto associados a processos de corrida de massa deflagradas em encostas, deflagrados próximo a edificações: A) Movimento encaixado e alimentado na drenagem (seta vermelha), com atingimento de edificação na Estrada da Saudade (PT_D1_ESTRADADASAUDADE_454_DSS_JP_TS__4); B) detalhe para trecho de alcance do processo e atingimento de edificação; C) Área com registro pretérito de corrida de massa, e cicatriz de deslizamento na crista, na localidade Chácara Flora (PT_D1_CHACARA FLORA_156_DSS_JP_SC__6); D) Marcas de fluxo de lama em edificações, próximo à Rua Nova, no Centro (PT_D1_CENTRO_268_DSS_JP_LT__1). 99
Figura 46: Contextualização de setores definidos como de alto risco associados a movimentos gravitacionais em queda livre no 1° Distrito: A) Visada de maciço rochoso com intervenção geotécnica na porção superior, na Servidão João Kind, Rua Teresa, Alto da Serra; blocos rochosos em taludes de corte, próximo a edificações, foram observados; B) Local com atingimento de edificações em decorrência de processos de queda de blocos rochosos, na Praça Pasteur; detalhe para evolução de processos erosivos nas bases das edificações, com descalçamento inicial (PT_D1_PRACAPASTEUR_205_DSS_DS_JP__1); C) Rua Primeiro de Maio, na Praça Pasteur, onde processos de queda de blocos rochosos, associados a eventos de enxurradas, causaram o desabamento de edificações (PT_D1_PRACAPASTEUR_206_DSS_DS_JP__3); D) Queda de blocos rochosos próximo a edificações na Rua João Xavier, no Moinho Preto (PT_D1_MOINHOPRETO_500_DSS_LT_MS__2); E) Detalhe para o fraturamento intenso e individualização de corpos rochosos em talude; F) Visada de costão rochoso com ocorrência de desplacamento e atingimento área próxima a casa amarela, no Retiro (PT_D1_RETIRO_648_DSS_IR_LT__1). 101
Figura 47: Setor de risco alto associado a presença de feições de instabilidade no terreno, na Servidão Amara Rosa de Jesus, Alto da Serra, a citar: A) afundamento e descalçamento de pavimento com inclinação para jusante; B) fenda e descolamento de pavimento e muro, com inclinação destes para jusante; trincas e fissuras observadas ao longo de todo o pavimento. 102
Figura 48: Exemplificação de cenários e feições encontradas nos setores definidos como "monitoramento" no 1° Distrito: A) Deslizamento planar deflagrado em 2022 com atingimento de edificação (sem desabamento de estrutura) (PT_D1_ALTODASERRA_150_DSS_PG_TB__10); B) Talude com casa na base e crista, e evidências de movimentação inicial de solo, na Esperança (PT_D1_ESPERANCA_449_DSS_BC_TS__4). 103
Figura 49: Exemplificação de cenários e feições encontradas nos setores definidos como "monitoramento" no 1° Distrito: A) Edificação assentada sobre a crista de talude com processos erosivos ativos, em Alcobaça (PT_D1_ALCOBACA_540_DSS_AS_EA__1); B) com detalhe para os sulcos. 104
Figura 50: Exemplificação de cenários e feições encontradas nos setores definidos como "monitoramento" no 1° Distrito: A) Área com presença de matacões rochosos associados a movimentos pretéritos na Fazenda Inglesa, com distâncias consideráveis entre a área fonte e edificação (PT_D1_FAZENDAINGLESA_1055_DSS_AS_PG__1); B) Cicatriz de deslizamento próximo a área de acesso a edificações, na Rua Onofre dos Santos, na Independência (PT_ D1 _INDEPENDENCIA _79_DSS_CL_SC_ _13). 104

Figura 51: Representação em barras dos setores e suas respectivas classes de risco, distribuídas pelas localidades do 2° Distrito, Petrópolis. 105
Figura 52: Exemplo de processos observados no 2° Distrito: A) Feições erosivas em trecho da encosta em que há cortes verticalizados para assentamento de edificações (a direita da imagem) e cicatriz de deslizamento (a esquerda da imagem), na localidade de Nogueira (PT_D2_NOGUEIRA_1364_DSS_BC_DS__1); B) Processos de movimentos de massa em queda livre próximo a edificações, na Servidão Antônio José Cosmo, Rua João Ésio Caldara, na localidade de Cascatinha (PT_D2_CASCATINHA_724_DSS_BC_DS__8).....107
Figura 53: Imagens oblíquas de setores classificados como de risco muito alto a escorregamentos do 2° Distrito: A) Deslizamento planar na localidade de Araras (PT_D2_ARARAS_1303_DSS_JP_TS__1); B) Descalçamento de estrutura de edificação em decorrência da deflagração de deslizamento em talude, na Estrada do Coutinho, Araras (PT_D2_ARARAS_1352_DSS_JP_TS__1); C) Deslizamento em Corrêas, com atingimento de área dos fundos de edificação comercial; D) Cenário de ocorrência de feições de instabilidade, na localidade de Vista Alegre (PT_D2_VISTAALEGRE_1172_DSS_JP_TS__1).....109
Figura 54: Feições de instabilidade observadas na localidade Roseiral (PT_D2_ROSEIRAL_658_DSS_PG_TB__2): A) Deslizamento planar ocorrido em 2022 com o descalçamento de edificação de alta vulnerabilidade estrutural; B) Fenda, trincas e inclinação em pavimento de moradia, paralela à extensão de talude, cuja estrutura apresenta-se parcialmente descalçada em decorrência de deslizamento pretérito. 110
Figura 55: Registro de queda de blocos em setor de risco muito alto a escorregamentos na localidade do Bonfim, no 2° Distrito (PT_D2_BONFIM_928_DSS_AS_EA__2).....110
Figura 56: Feições de instabilidade observadas nos setores de risco muito alto, 2° Distrito: A) Descalçamento parcial de edificação construída a distância nula da crista de talude, em Corrêas (PT_D2_CORREAS_996_DSS_EA_IR__3); B) Inclinação de espécies arbóreas e postes sobre taludes, indicando movimentação no terreno na localidade Humberto Rovigatti (PT_D2_HUMBERTOROVIGATTI_786_DSS_AS_LT__3); C) Trincas e fissuras em pavimento e estrutura de edificação construída sobre talude, na localidade Jardim Salvador (PT_D2_JARDIMSALVADOR_764_DSS_IR_LT__4); D) Material instável sobre a crista de talude, próximo a trecho de elevada inclinação, direcionado a edificação a jusante, em Frias (PT_D2_FRIAS_1089_DSS_AS_EA__5). 111
Figura 57: Panorama de setor de risco alto a escorregamento definido na Rua Dr. Bina Calembe, na localidade de Calembe (PT_D2_CALEMBE_1329_DSS_BC_DD_DS_5), onde há registro de deslizamento pretérito com desabamento de edificações. A) Visualização de parte do processo; B) Acesso descalçado, com trechos do talude erodido, e vegetação inclinada. 112
Figura 58: Exemplo de setores de risco alto, do 2° distrito, onde foram observados deslizamentos planares: A) no Roseiral (PT_D2_ROSEIRAL_658_DSS_PG_TB__1), com a evidenciação de outras feições de movimentação no terreno (B); C) em Nogueira (PT_D2_NOGUEIRA_1364_DSS_BC_DS__3), com observação de cicatriz pretérita e trecho de talude com intervenção com suposta função de contenção, restrita a parte do terreno (D). 114
Figura 59: Queda de blocos na localidade de Cascatinha, associada à setor de risco alto. 114
Figura 60: Registros de movimentos de corpos rochosos em queda livre para os setores de risco alto do 2 Distrito: A) Talude de corte em Bela vista, com observação de blocos de rocha alterada individualizados (PT_D2_BELAVISTA_394_DSS_AS_EA__1); B) Maciço rochoso fraturado aos fundos de edificação, onde há reincidência de queda de blocos e lascas rochosas (PT_D2_VISTAALEGRE_1172_DSS_JP_TS__2).....115

Figura 61: Feições de instabilidade observadas nos setores de risco alto delineados no 2° Distrito: A) Processo erosivo em Jardim Salvador (PT_D2_JARDIMSALVADOR_764_DSS_IR_LT__1); B) Cicatriz de deslizamento na Rua E, Vale do Carangola (PT_D2_VALEDOCARANGOLA_1164_DSS_AS_DS__2); C) Trincas e fissuras no terreno na Rua José Geraldo da Silva, Corrêas (PT_D2_CORREAS_996_DSS_JP_TS__1); D) Trincas contínuas em pavimento de área externa de edificação em Vista Alegre (PT_D2_VISTAALEGRE_1173_DSS_JP_TS__2); 116
Figura 62: Feições de instabilidade observadas nos setores de risco alto delineados no 2° Distrito: A) Cerca, sobre a crista de talude, com inclinação para jusante na Estrada da Mombaça, Araras (PT_D2_ARARAS_1245_DSS_AS_EA__3); B) Talude com trechos em negativo, em Nossa Senhora da Glória (PT_D2_NOSSASENHORADAGLORIA_886_DSS_BC_SC__1). 117
Figura 63: Setores de monitoramento definidos segundo a ocorrência de deslizamentos planares: A) em Nogueira (PT_D2_NOGUEIRA_1375_DSS_BC_DS__1); B) em Calembe (PT_D2_CALEMBE_1329_DSS_BC_DD_DS_4). 118
Figura 64: Exemplos de cenários associados a setores de monitoramento no 2° Distrito: A) Rua Jacob Bordgnon, em Carangola (PT_D1_CARANGOLA_794_DSS_BC_DS__6); B) Estrada Bernardo Coutinho, em Araras (PT_D2_ARARAS_1250_DSS_JP_TS__2). 118
Figura 65: Exemplos de cenários associados a setores de monitoramento no 2° Distrito: A) Rua Dr. Bina Calembe, em Calembe (PT_D2_CALEMBE_1329_DSS_BC_DD_DS_2); B) Rua Martinho José Santana, em Castelo São Manoel (PT_D2_CASTELOSAOMANOEL_1050_DSS_EA_IR__2). 119
Figura 66: Exemplos de cenários associados a setores de monitoramento no 2° Distrito: A) Estrada Nossa Senhora da Glória, Corrêas (PT_D2_CORREAS_996_DSS_EA_IR__13); B) Rua Humberto Rovigatti, Servidão José Scardine, (PT_D2_HUMBERTOROVIGATTI_755_DSS_AS_LT__2). 120
Figura 67: Representação em barras dos setores e suas respectivas classes de risco distribuídas pelas localidades do 3° Distrito, Petrópolis. 121
Figura 68: A) Setor associado a movimentos de corpos rochosos em queda livre, na localidade de Itaipava (PT_D3_ITAIPAVA_1756_DSS_BC_DD_DS_2); B) detalhe para a observação de feições erosivas e ângulos negativos em taludes de corte junto a edificações. 122
Figura 69: Fotografia aérea de feições que delimitam uma geometria associada a possível deflagração de um deslizamento do tipo rotacional A) e, em detalhe, em B) as edificações na projeção do movimento (PT_D3_MADAMEMACHADO_1547_DSS_PG_TB__1). 123
Figura 70: Deslizamentos associados a setores de risco muito alto delineados no 3° Distrito. Em (A), Rua Edio Furtado da Costa com observação de deslizamentos planares, além de feições erosivas (PT_D3_MADAMEMACHADO_1548); e em (B), a presença de edificações de elevadas vulnerabilidades estruturais em trechos com histórico de deslizamentos planares com atingimento, na Rua José de Freitas Martins (PT_D3_MADAMEMACHADO_1548_DSS_BC_DS__12). 124
Figura 71: A) Observação de vertente côncava com a presença de degraus de abatimento e feições erosivas na Rua 28 de abril, Madame Machado (PT_D3_MADAMEMACHADO_1548_DSS_BC_DS_DD_1); B) Imagem oblíqua da localidade Buraco do Sapo, na localidade do Vale do Cuiabá, de classe de risco muito alto a escorregamento (PT_D3_VALEDOCUIABA_1525_DSS_MS_SC__2). 125
Figura 72: A) Rocha alterada vista em detalhe em um dos cortes de talude observados no setor PT_D3_ITAIPAVA_1727_DSS_MS_SC__2, em Itaipava; B) Observação de bloco rochoso anguloso que se movimentou e chegou na área de fundos da edificação do setor PT_D3_VALEDOCUIABA_1785_DSS_PG_TB__1, no Vale do Cuiabá. 126

Figura 73: A) Local onde há registros de deslizamentos pretéritos e recente (2024), além de outras feições de instabilidade, na localidade de Gentio (PT_D3_GENTIO_1697_DSS_MS_SC__2); B) Localidade de Laginha onde houve deslizamento com desabamento parcial de edificação (PT_D3_LAGINHA_1696_DSS_MS_SC__3).....126
Figura 74: Área de maciço rochoso observado no setor PT_D3_VALEDOCUIABA_1785_DSS_PG_TB__1, no Vale do Cuiabá. Apesar de atualmente, a área apresentar majoritariamente processos gravitacionais oriundo de material rochoso, em 2011 o local foi acometido por deslizamento planar em solo raso sobre rocha, culminando em área de depósito de tálus e rampas de colúvio, como demonstrado na imagem.....127
Figura 75: Deslizamento com mobilização de pequeno volume de solo ocorrido na Rua José Leandro, Madame Machado PT_D3_MADAMEMACHADO_1576_DSS_PG_TB__2 (A), com detalhe para a estrutura abaulada de muro construído com suposta função de contenção e ausente de drenos (B). 128
Figura 76: A) Cicatriz de deslizamento em Laginha (PT_D3_LAGINHA_1738_DSS_MS_SC__1); B) Deslizamento na Alameda da Aclimação, Laginha (PT_D3_LAGINHA_1781_DSS_MS_SC__4); C) Deslizamento ao lado de edificação com desabamento de canaleta de drenagem, no Vale do Cuiabá (PT_D3_VALEDOCUIABA_1520_DSS_PG_TB__1); D) Atingimento de muro divisório por deslizamento, na Rua Treze (PT_D3_MADAMEMACHADO_1576_DSS_PG_TB__3). 129
Figura 77: A) Feições erosivas em talude próximo a edificação de alta vulnerabilidade estrutural em Águas Lindas (PT_D3_AGUASLINDAS_1403_DSS_BC_DD_DS_1); B) Feições erosivas em talude de corte de fundos de edificação em Correia da Veiga (PT_D3_CORREIADAVEIGA_2137_DSS_BC_DD_DS_1); C) Feições erosivas avançadas associadas a presença de mina d´água em trecho do talude, em Gentio (PT_D3_GENTIO_1697_DSS_MS_SC__10; D) Trincas na crista de talude, também em Gentio (PT_D3_GENTIO_1697_DSS_MS_SC__1).....130
Figura 78: Representação em barras dos setores de risco identificados, os graus atribuídos e a sua distribuição espacial ao longo das localidades do 4° Distrito, Petrópolis. 131
Figura 79: Cenários onde foram identificados setores de risco alto a escorregamentos no 4° Distrito: A) Trecho de talude com deslizamento deflagrado e atingimento de edificação a jusante, na Vila Leopoldina (PT_D4_PEDRODORIO_2204_DSS_DS_SC__2); B) Rua Laurinda Lópes Medeiros, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__11); C) Deslizamento ocorrido aos fundos de edificação, em depósito de tálus, na Rua Laurinda Lópes Medeiros, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__7); D) Deslizamento em talude marginal a curso hídrico na Estrada Mineira, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2272_DSS_DS_SC__3); E) Fotografia aérea evidenciando a morfologia e feições do terreno em Vila Rica (PT_D4_PEDRODORIO_2229_DSS_AS_BC__1); F) Deslizamentos e processos erosivos em encosta margeada por curso hídrico, na Estrada João de Deus Rodrigues (PT_D4_PEDRODORIO_2272_DSS_DS_SC__2). 133
Figura 80: A) Estrada João de Deus Rodrigues (PT_D4_PEDRODORIO_2272_DSS_DS_SC__2); B) Rua José Joaquim Rodrigues; seta vermelha indica feições erosivas avançadas a montante de edificações (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_AS_BC__2). 134
Figura 81: A) Vegetação inclinada para jusante na Rua José Teixeira Nunes, Vila Rica, onde há edificação interditada por risco a escorregamentos (PT_D4_VILARICA_2162_DSS_AS_BC__1); B) Presença de umidade em talude na Rua José Joaquim Rodrigues (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_AS_BC__2); C) Feições erosivas de processos ativos aproximando a estrutura de edificações a crista dos talude na Travessa A,

(PT_D4_PEDRODORIO_2229_DSS_AS_BC__3); **D)** Trincas e fissuras em pavimento da Rua Laurinda Lopes Medeiros (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__11), com acúmulo de água em superfície. 135
Figura 82: Registro de deslizamentos planares na: **A)** Rua Domingos Pereira, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2422_DSS_DS_SC__2); **B)** Rua Laurinda Lópes de Medeiros, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__8). 136
Figura 83: A) Trincas em muro construído sobre terreno inclinado na Rua Manoel Canedo, loteamento Santa Rita (PT_D4_CHAFARIZ_2647_DSS_AS_BC__1); **B)** Feições compatíveis a um processo inicial de rastejo em Secretário (PT_D4_SECRETARIO_2352_DSS_DS_SC__2); **C e D)** Trincas e fissuras no pavimento, com acúmulo de água sobre o terreno, bem como a presença de postes inclinados na Travessa A, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2229_DSS_AS_BC__4) ; **E)** Ângulo negativo, próximo a edificação, em talude escavado na Rua Aloisio Costa Leite, Secretário (PT_D4_SECRETARIO_2352_DSS_DS_SC__1); **F)** Processos erosivos em talude, próximo a edificação na Rua José Joaquim Rodrigues, PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_AS_BC__3). 137
Figura 84: Representação em barras da distribuição dos setores nas localidades do 5° Distrito e suas respectivas classes de risco atribuídas. 139
Figura 85: Setor de risco muito alto na Travessa da Pedreira, no 5° Distrito, associado a processos de desplacamento no maciço rochoso (Setor PT_D5_POSSE_2873_DSS_MS_SC__1). 140
Figura 86: Cenários classificados como risco alto no Distrito de Posse (em vermelho, a delimitação do setor: **A)** Deslizamentos em talude de corte no Córrego Grande; em vermelho, a delimitação do setor de risco alto PT_D5_POSSE_2873_DSS_MS_SC__1; **B)** Deslizamento planar na Estrada da Boa Vista, Posse, com atingimento e desabamento parcial de edificação. Em vermelho, delimitação do polígono associado ao setor PT_D5_POSSE_2944_DSS_BC_DS__1. 141
Figura 87: Cenários classificados como risco alto no Distrito de Posse: **A)** Processo de desplacamento e queda de corpos rochosos em maciço fraturado na Rua da Pedreira, Ingá, associado ao setor PT_D5_POSSE_2879_DSS_BC_DS__1; **B)** Taludes de cortes verticalizados, na Estrada do Brejal, com agrupamento de edificações assentadas sobre e próximas a feições de instabilidade de terreno; destaque para a erosão avançada e vegetações inclinadas e tombadas (PT_D5_BREJAL_2899_DSS_BC_DS__4). 142
Figura 88: Cenários classificados como risco alto no Distrito de Posse: **A)** Feições de processos erosivos ativos observados em encosta natural na Estrada do Brejal associado ao setor PT_D5_BREJAL_2899_DSS_BC_DS__1); **B)** Detalhe para a feição erosiva em estágio mais avançado, próximo a edificações. 143
Figura 89: A) Edificação localizada na Estrada do Juruá, Posse, a distância nula de talude verticalizado onde pode ser observado a presença de feições erosivas e exposição de raízes de espécie arbórea (PT_D5_POSSE_2902_DSS_MS_SC__1); **B)** Edificação construída a pequena distância de talude de corte com solo exposto e feições erosivas na Estrada da Silva Motta, Rio Bonito (PT_D5_RIOBONITO_3108_DSS_BC_DS__1). 144
Figura 90: A) Lançamento de resíduos sólidos (lixo) de forma irregular em crista de talude de corte verticalizado, a montante de edificações, observado na localidade Córrego Grande, associado ao setor PT_D5_CORREGOGRANDE_3067_DSS_MS_SC__2); **B)** Feições erosivas (seta vermelha) observadas em encosta natural próximo a edificações construídas a jusante, na Estrada do Brejal (PT_D5_POSSE_2922_DSS_BC_DD__2). 145
Figura 91: Gráfico retratando a distribuição das vistorias técnicas de engenharia nas localidades do 1º Distrito. 146

Figura 92: Representação gráfica acerca da distribuição das vistorias técnicas de engenharia nas localidades do 2º Distrito.....147
Figura 93: Gráfico de distribuição das vistorias técnicas de engenharia nas localidades dos 3º, 4° e 5° Distritos.....148

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Graus de Risco, critérios e parâmetros de instabilidade para processos de movimentos gravitacionais de massa (modificado de IPT (2007)). 44
Tabela 02: Referencial das bases e origem dos dados utilizados na elaboração do Inventário Preliminar de informações sobre escorregamentos no município de Petrópolis. 46
Tabela 03: Relação das siglas definidas para identificação de cada um dos produtos acessórios na codificação geral dos arquivos gerados no projeto. 54
Tabela 04: Explicação e exemplificação dos códigos de identificação gerados para cada um dos tipos de produtos acessórios confeccionados. 55
Tabela 05: Tópicos de caracterização dos setores de risco a escorregamento presentes na Ficha Geológica de Campo, e suas respectivas descrições. 57
Tabela 06: Tópicos de preenchimento contidos na Ficha de Campo de Engenharia e os tipos de obras geotécnicas presentes. 63
Tabela 07: Tópicos de preenchimento contidos na Ficha de Não Ocorrência. 66
Tabela 08: Cronograma de execução de atividades previstas no desenvolvimento do projeto Cartografia de Risco a Escorregamentos no Município de Petrópolis com a discriminação das atividades, porcentagem da finalização destas e distribuição temporal de execução. 78
Tabela 09: Relação de setores de risco muito alto, alto e setores de monitoramento, por Distrito, delineados no projeto, com destaque aos atributos: número total de setores delineados em cada classe, a área territorial total abrangida por cada classe e edificações contabilizadas sob estes riscos. 80
Tabela 10: Número de relatórios de engenharia produzidos por distrito. 145
Tabela 11: Número de não ocorrências por distrito e sua respectiva porcentagem. 149

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHS	A*nalytical Hillshading*
ASP	*Aspect*
CEMADEN	Centro Nacional de monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CEMADEN-RJ	Centro Estadual de monitoramento e Alertas de Desastres Naturais do Estado do Rio de Janeiro
CIN	*Convergence Index*
CNBL	*Channel Network Base Level*
CSC	*Cross-section curvature*
DRM-RJ	Departamento de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro
ELV	*Elevation*
FAC	*Flow Accumulation*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LOC	*Longitudinal Curvature*
LSF	*LS Factor*
MDE	Modelo Digital de Elevação
MIB	*Mass Balance Index*
MPRJ	Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro
NUDEC	Núcleo Comunitário de Defesa Civil
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais
RSP	*Relative Slope Position*
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SLP	S*lope*
TPI	*Topographic Position Index*
TWI	*Topographic Wetness Index*
VDCN	*Vertical Distance to Channel Network*
VDP	*Valley Depth*

PROJETO

O projeto realizado pela Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia LTDA, em cumprimento ao Edital de Licitação referente à Concorrência – CO Nº 002/2022, para prestação de serviços especializados em Geologia, voltada à realização de Cartografia de Risco a Escorregamentos em Encostas no Município de Petrópolis/RJ, utilizou como base a metodologia preconizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007) para a execução de mapeamento de risco geológico e geração de produtos técnicos inéditos, atendendo as necessidades do município e aos interesses do Estado, no tocante a redução de riscos e desastres.

ESCOPO DOS SERVIÇOS

Conforme estabelecido no Edital de Licitação, referente à Concorrência – CO Nº 002/2022, através do Processo SEI n° 070025/001015/2022, firmado por meio do Contrato n° 001/2024 em 28 de fevereiro de 2024 e, publicado no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro na referida data, a Thalweg foi encarregada de executar a Cartografia de Risco a Escorregamentos no município de Petrópolis, a partir da utilização dos recursos humanos e materiais previstos em edital, necessários para a plena execução desta, com observância as recomendações e instruções do DRM-RJ e da Defesa Civil municipal. Com duração de 6 meses, o contrato teve início em 28 de fevereiro de 2024 e término em 18 de agosto de 2024.

Para tanto, a realização do mapeamento contou com análises técnicas direcionadas à identificação e avaliação dos riscos geológicos associados a locais previamente conhecidos e catalogados pelo DRM-RJ e pela Defesa Civil municipal, além daqueles apontados por lideranças comunitárias e outros em que os técnicos identificaram a necessidade em campo. Reafirma-se aqui a execução de um mapeamento de detalhe, em que todos os pontos catalogados foram visitados e analisados pelas equipes. Ademais, além da atuação em campo, houve o gerenciamento da gama de informações e dados gerados, através da construção e manutenção de banco de dados alfanuméricos, espaciais e fotográficos.

1. INTRODUÇÃO

O Relatório Técnico Final relativo ao Mapeamento de Risco a Escorregamento dos cinco distritos do município de Petrópolis (1º Distrito - Petrópolis, 2º Distrito – Cascatinha, 3º Distrito – Itaipava, 4º Distrito - Pedro do Rio e 5º Distrito – Posse) constitui um dos documentos obrigatórios associado à Carta de Risco a Escorregamento do município, o qual contém em seu escopo todo o detalhamento das etapas e processos de execução do objeto, bem como da elaboração dos produtos e das análises básicas, e os resultados do mapeamento de risco a escorregamentos nesta localidade.

Pautado na metodologia preconizada pelo Ministério das Cidades e elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007), o mapeamento de risco a escorregamentos foi realizado a partir de análises qualitativas de diferentes temáticas que, em sobreposição, ditaram a caracterização e classificação dos riscos associados ao local analisado.

Todos os produtos gerados a partir da aplicação desta metodologia trazem consigo o direcionamento de importantes informações georreferenciadas que permitem a agilidade na tomada de decisões de gestores, entidades competentes e formuladores de políticas públicas, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Cita-se a "ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis" que prevê a redução de impactos ambientais diversos, incluindo aqueles relacionados a desastres influenciados por fatores intrínsecos às mudanças climáticas, além de serem consoantes a Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012.

1.1 Justificativa

A ocupação e o desenvolvimento do município de Petrópolis ocorreram sobre terrenos com características geológico-geomorfológicos desfavoráveis à ocupação, estando uma considerável porção de seu território associada às condições que favorecem a deflagração de deslizamentos, com predominância de terrenos suscetíveis à ocorrência destes processos.

Ademais, há um histórico de recorrência desses eventos que, por vezes, configuraram em desastres no município com danos e prejuízos que foram estimados, segundo Atlas Digital de Desastres no Brasil (de 1991 a 2022), em R$ 640.569.443,02, a destacar os expressivos danos humanos, socioeconômicos, materiais e ambientais que excedam a capacidade de absorção desta comunidade.

Torna-se evidente a importância da recorrente atualização do conhecimento dessas áreas de risco e suas magnitudes e, portanto, a elevada relevância da presente Cartografia de Risco a Escorregamentos em Encostas no Município de Petrópolis, visto se tratar de um contexto em que os processos são dinâmicos, além de serem informações essenciais para a formulação de políticas públicas voltadas ao planejamento urbano, a gestão do território e a gestão de riscos de desastres de um município.

1.2 Objetivo

O presente relatório tem como objetivo a exposição e a análise técnica dos resultados e produtos atrelados a Cartografia de Risco a Escorregamentos em encostas dos cinco distritos do Município de Petrópolis, de modo a caracterizar a região quanto aos riscos a movimentos gravitacionais de massa e, por conseguinte, atestar o atendimento aos critérios executivos e metodológicos definidos pelo Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ). Os objetivos específicos associados são:

• Execução do levantamento de informações pré-existentes associadas ao risco geológico, no contexto dos cinco distritos do município de Petrópolis;

• Realizar uma Oficina Técnica, no início do projeto, com apresentação do trabalho a ser desenvolvido no município e a promoção da integração com os munícipes;

• Mapear os setores de risco a escorregamentos no município, considerando os graus muito alto e alto, preconizados pelo Ministério das Cidades, e o agrupamento de locais de risco intermediário e baixo em Setores de monitoramento, com base nos apontamentos do Inventário Final;

• Reavaliar os setores de risco (iminente ou não) já mapeados pelo DRM-RJ no município de Petrópolis;

• Executar sobrevoos de drone para obtenção de fotografias aéreas, em escala aproximada de 1:2.000, para a identificação e delimitação dos setores de risco mapeados no município;

• Obter imagens orbitais ou ortofotos digitais georreferenciadas e de alta resolução espacial (maior ou igual a 1:2.000), no formato Tiff/Geotiff, para todos os setores de risco mapeados;

• Confeccionar as Cartas de Risco a Escorregamento para cada um dos cinco distritos e seus documentos acessórios (Relatórios Técnicos, Fichas de Campo, Espelhos de Risco e as imagens orbitais ou ortofotos digitais com os polígonos de risco georreferenciados);

• Gerar um banco de dados espacial com todas as informações produzidas neste projeto;

• Realizar um Workshop Final para os técnicos da Defesa Civil de Petrópolis.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Localização e inserção regional

O município de Petrópolis localiza-se na região metropolitana fluminense, entre as coordenadas geográficas 22°33' - 22°35' S e 43°04' - 43°14' W. Inserida às margens da Serra do Mar, a cidade apresenta altitude média de 840 m e compreende uma área de aproximadamente 791,144 km² (IBGE, 2022), tendo seu território dividido em cinco distritos, elencados a seguir:

a) 1º Distrito – Petrópolis: 143 km²;

b) 2º Distrito – Cascatinha: 274 km²;

c) 3º Distrito – Itaipava: 121 km²;

d) 4º Distrito – Pedro do Rio: 210 km²;

e) 5º Distrito – Posse: 63 km².

Limita-se a norte com São José do Vale do Rio Preto, a Leste com Teresópolis e Magé, ao Sul com Duque de Caxias e Miguel Pereira e, a Oeste com Paty de Alferes, Paraíba do Sul e Areal (Figura 01). Geograficamente, a cidade de Petrópolis compõe a região serrana do Estado, distando aproximadamente 68 km ao norte da capital, com uma população estimada de 278.881 habitantes (IBGE, 2022), predominantemente urbana, com sua economia baseada, principalmente, no turismo, na indústria têxtil e no comércio.

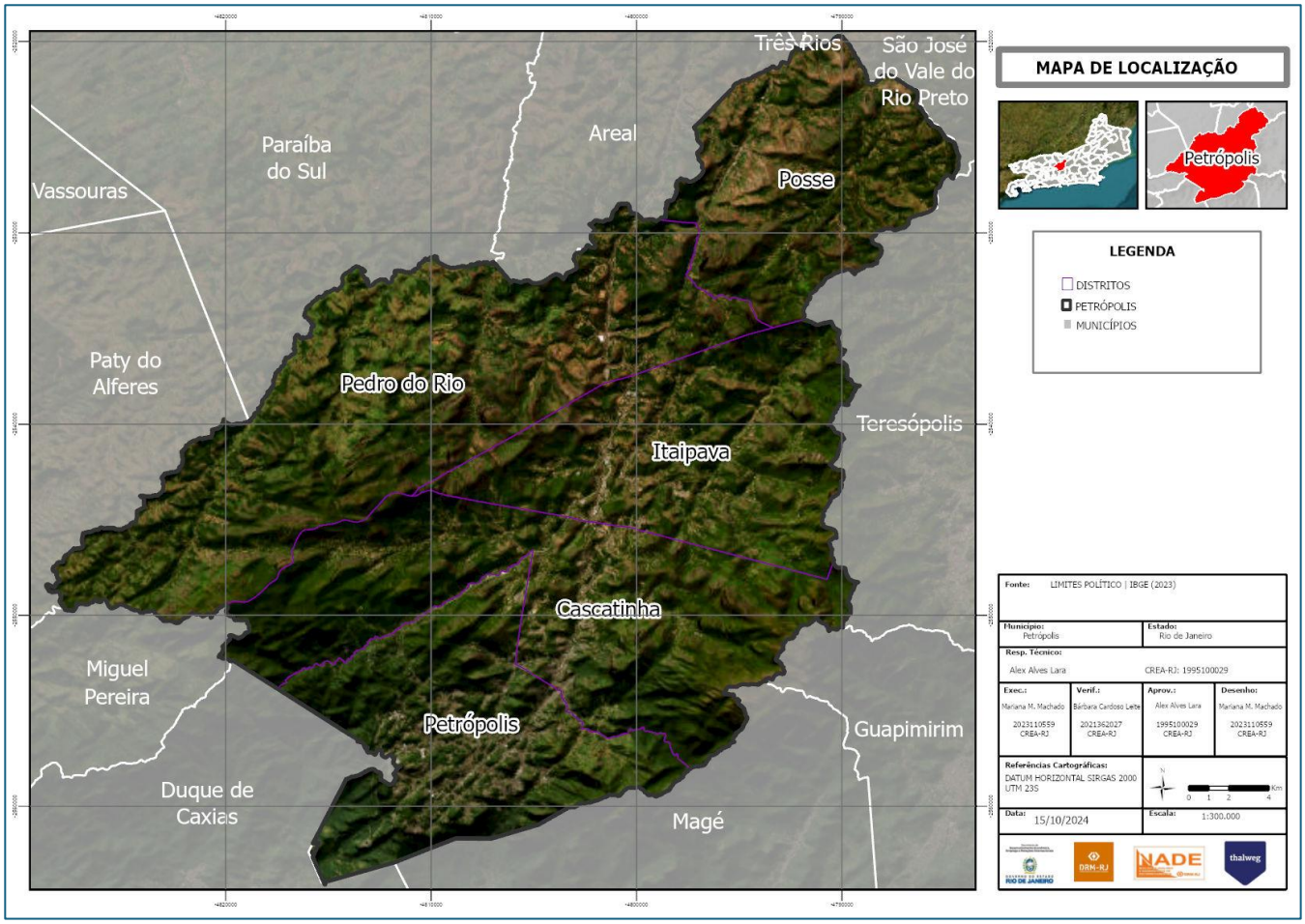


Figura 01: Localização do Município de Petrópolis, no contexto do Estado do Rio de Janeiro, e sua divisão territorial nos cinco Distritos (Petrópolis, Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse).

2.2. Histórico de ocupação e aspectos econômicos

O município de Petrópolis, apesar de possuir considerável potencial turístico, industrial, comercial e agrícola, predominantemente familiar e orgânica, apresenta características geoambientais que, potencializadas pela ação antrópica, ocasionaram o agravamento de problemas ambientais, o que influenciou diretamente no seu desenvolvimento. Parte destes problemas está associada aos seus aspectos fisiográficos juntamente ao processo de expansão urbana e, consequentemente, ao desenvolvimento econômico da região.

Petrópolis corresponde hoje ao que, antes do século XVIII, era habitado por indígenas Coroados, a Serra da Estrela. Entretanto, após a abertura da chamada "Estrada Real" (também conhecido como "Caminho Novo"), caminho para a região mineira, essa localidade começou a ser

conhecida, explorada e, consequentemente, economicamente desenvolvida. Isto se deu através da distribuição de inúmeras sesmarias ao longo da referida estrada e da concessão de glebas a sesmeiros (RIO DE JANEIRO, 2017).

A fundação da cidade está estreitamente ligada à presença da Família Real àquela região, e a aquisição de uma das maiores fazendas do local pelo então Imperador D. Pedro I, em 1830. Porém, foi apenas na regência de D. Pedro II que foram retomados os planos de construção de um Palácio de Verão na Serra da Estrela e uma estrada de acesso a ele.

Concomitante ao projeto de construção do palácio, foi elaborado um plano para fundar o que foi intitulado "Povoação-Palácio de Petrópolis", através do Decreto Imperial n° 155 de 16 de março de 1843, que autorizava a execução de ações nas terras de posse do Imperador Pedro II, resultando na instalação da colônia na serra.

De acordo com Alves (2019), o Primeiro Código de Obras de Petrópolis é reconhecido como um dos instrumentos mais significativos do processo de planejamento da colônia. O referido código disponibilizava uma série de normas para padronização das construções de maneira a manter uma equidade e fidelização ao modelo paisagístico proposto por Koeler, no que é chamado de Planta Original (Figura 02).

Figura 02: Planta de Petrópolis, intitulada Planta Original, criada pelo Major Júlio Frederico Koeler em 1846.

Segundo Guerra, Gonçalves e Lopes (2007), a Planta Original dividia a cidade em lotes denominados prazos de terra, que provindo das ligações viárias, subiam pelas encostas dos morros. Considerava os aspectos fisiográficos e os processos naturais, como por exemplo os divisores de água, sendo a definição do limite desses lotes.

O progresso municipal teve origem na área associada à Planta Original, como já citado anteriormente, com a ocupação dos locais até então não povoados e o não cumprimento das exigências feitas aos foreiros que obtinham terras por além da referida planta. Dessa maneira, o processo de urbanização do município inicia-se baseado no que Morley (2001) apresenta sobre o planejamento das cidades do século XIX, com a organização de Petrópolis fundada em um modelo europeu, que se manteve assim no decorrer do período colonial, para atender à organização do Plano Koeler.

Destaca-se que o modelo supracitado é baseado na ruptura da cidade medieval e barroca, para a criação de uma nova ordem adaptando a cidade à sociedade, considerando as transformações que ocorriam no setor econômico (MORLEY, 2001). Uma das principais características desse modelo foi o deslocamento da classe média e operária para os subúrbios e a racionalização das vias de comunicação.

Contudo, há uma reorganização do espaço urbano no final do século XIX, após o período de industrialização que teve como foco principal a indústria têxtil. Com o avanço deste processo, a cidade recebeu alterações na organização do espaço, devido ao carecimento de moradias para os operários e suas famílias, atividades que contribuíssem para o funcionamento das fábricas, deslocamento e acondicionamento de matéria-prima e produtos, bem como melhorias para acesso à água e geração de energia elétrica (ALVES, 2019).

Durante este processo, que perdurou até meados da década de 1940, a ocupação urbana limitava-se às áreas de planícies fluviais e fundos de vale, em virtude da baixa densidade urbana e da legislação até então vigente (GONÇALVES, 1998). Segundo o IPT (1991a), após este período, com o crescimento urbano e as alterações legislativas referentes ao processo de ocupação, o parcelamento do solo ocorreu de forma indiscriminada com o aumento das profundidades dos lotes, iniciando assim o processo de ocupação das áreas de encostas adjuntas aos locais já urbanizados, tanto sobre relevos suaves, quanto em encostas de elevada declividade, a citar às áreas de sopé de encostas rochosas e íngremes.

À medida que a urbanização avançava, o crescimento urbano adentrava para os setores mais críticos das encostas, que dispunham de características geológica-geomorfológicas marcadas por alta declividade e feições de instabilidade de terreno, que eram agravadas pela forma desordenada em que ocorreu o parcelamento do solo. Este processo foi intensificado a partir de meados da década de 1970, com destaque para a década seguinte, quando a expansão urbana se consolidou através de invasões das áreas até então não ocupadas.

Sabe-se que a evolução do processo de ocupação de Petrópolis seguiu o modelo de "frente de ocupação", de modo que esta se iniciou no que hoje é chamado Primeiro Distrito, se estendendo

para os demais após a promulgação do Decreto n.º 1, de 8 de maio de 1892, que o dividiu em cinco distritos. Desse modo, pode-se dizer que o uso do solo se caracteriza como misto, combinando áreas residenciais, comerciais e turísticas, com a preservação da vegetação nativa sendo fundamental para evitar a degradação ambiental. Tais diferenças são observadas nos cinco distritos do município, de modo em que:

- Petrópolis (Primeiro Distrito): detém o núcleo histórico e econômico de Petrópolis que se desenvolveu com a instalação do Palácio Imperial e o incentivo à vinda de colonos alemães para povoar a região. O Centro possui grande parte do patrimônio histórico da cidade, com edifícios como o Museu Imperial e a Catedral de São Pedro de Alcântara, além de uma urbanização mais intensa, incluindo comércio, serviços e residências verticais, resultado do crescimento populacional ao longo do século XX;
- Cascatinha (Segundo Distrito): apresenta um perfil mais rural, onde historicamente foi um local de pequenas propriedades agrícolas e residenciais, com crescimento populacional gradual. A agricultura ainda desempenha um papel significativo, e a urbanização é marcada por um crescimento residencial voltado para classes médias e baixas, com uma infraestrutura mais simples, mas em desenvolvimento;
- Itaipava (Terceiro Distrito): considerado inicialmente uma área rural, Itaipava se transformou em um importante polo turístico e residencial, especialmente a partir da segunda metade do século XX. O desenvolvimento da infraestrutura e a construção de condomínios de luxo atraíram uma população em busca de tranquilidade, sendo hoje conhecido por sua gastronomia e atrativos naturais. O processo de ocupação se intensificou com a criação de áreas comerciais e turísticas, sem perder sua característica de refúgio rural;
- Pedro do Rio (Quarto Distrito): possui grande destaque por seu apelo ecológico, com áreas verdes preservadas e uma forte vocação para o ecoturismo. Sua ocupação sempre foi controlada, visando preservar o meio ambiente e garantir que o crescimento aconteça de forma sustentável. O turismo rural e o turismo sustentável são a principal fonte de crescimento econômico na região;

- Posse (Quinto Distrito): é caracterizada por uma ocupação ainda menos intensa, voltada para pequenas propriedades rurais e turismo de lazer. A tranquilidade e a proximidade com a natureza fazem desse distrito um local muito procurado por quem deseja um estilo de vida mais ligado à terra e ao meio ambiente, com ênfase em iniciativas de preservação.

Assim, o desenvolvimento de Petrópolis e seus distritos reflete uma complexa interação entre urbanização, preservação ambiental e a busca por qualidade de vida, com cada distrito moldando a identidade da cidade e destacando a importância de equilibrar o crescimento urbano com a conservação dos recursos naturais.

Destarte, percebe-se que a diferenciação de áreas propiciada pelo projeto de fundação da cidade e as alterações advindas das mudanças no setor econômico, contribuíram significativamente para a ascensão e materialização da configuração atual do espaço urbano da cidade, que reverberaram na construção de cenários de risco a escorregamentos, evidenciadas por um desflorestamento e um remodelamento das encostas contíguos, decorrente do crescimento desordenado. Consequentemente, tais alterações culminaram em significativos impactos não só para os solos e a rede hidrográfica, mas para o desenvolvimento socioeconômico da região, que frequentemente é assolado por desastres ambientais associados à fenômenos hidrometeorológicos, fomentando assim o aumento e a criticidade das áreas de risco.

2.3 Aspectos fisiográficos

2.3.1 Geologia

A Cidade de Petrópolis está inserida na parte oriental da Plataforma Sul-Americana, na Província da Mantiqueira, com unidades litológicas situadas no segmento central da Faixa Móvel Ribeira (Figura 03). A Faixa Ribeira constitui um sistema orogênico com *trend* estrutural NE-SW, que se estende por 1400 km ao longo da costa S-SE do Brasil, resultante da interação entre o Cráton São Francisco–Congo com a parte ocidental do Cráton da Angola, envolvendo também outras microplacas (HEILBRON *et al.*, 2004).

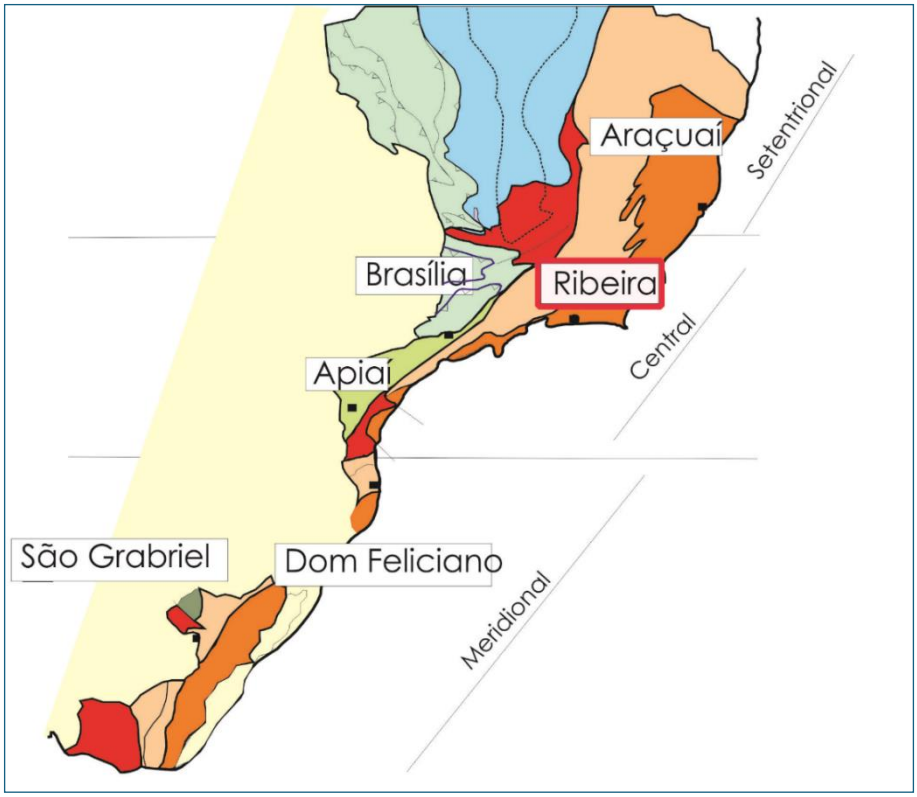


Figura 03: Unidades litológicas da Faixa Móvel Ribeira. Fonte: Modificado de HEILBRON *et al.* (2004).

Ainda de acordo com Heilbron *et al.* (2004, 2008), a Faixa Ribeira se desenvolveu através de inúmeros episódios de convergência da Orogenia Brasiliana-Panafricana, ocorrida durante o Neoproterozoico-Cambriano, com últimos estágios no Ordoviciano Inferior. No contexto da Orogenia Brasiliana, o Município de Petrópolis insere-se no Terreno Oriental, com rochas oriundas do Magmatismo Pré-Colisional (Arco Magmático Rio Negro) e do Magmatismo Sin-Colisional.

Segundo Valeriano *et al.* (2012), o Magmatismo Pré-Colisional abrange a Unidade Bingen e o Complexo Rio Negro, caracterizados por biotita-gnaisses graníticos bastante homogêneos, de coloração clara, textura média a grossa e gnaissificação ausente a moderada, com núcleos de textura tipicamente ígneo e, hornblenda-biotita gnaisse migmatítico tonalítico a granítico. Ainda conforme os autores, há também rochas do Magmatismo Sin-Colisional, com a Suíte Serra dos Órgãos composta por (granada)-hornblenda-biotita gnaisse granítico a granodiorítico, de textura grossa, cor cinza claro

a branca e estrutura equigranular a levemente porfirítica, geralmente pouco foliada. As unidades podem ser espacialmente visualizadas na Figura 04.

Associada a estas unidades, destaca-se aqui os expressivos lineamentos estruturais decorrentes de eventos tectônicos ocorridos durante o Pré-Cambriano, com sistemas de falhas e fraturas de direção preferencial NW-SE, N-NE, NNE-SSW e EW que, por vezes, se interceptam (DRM, 1981; VALERIANO *et al.*, 2012). Estas estruturas rúpteis, conferem um alto grau de fraturamento às litologias existentes e, são importantes fatores condicionantes da topografia e do desenvolvimento das redes de drenagem que também condicionam o relevo (LIMA, 2006; VALADARES *et al.*, 2012), além de promoverem uma maior suscetibilidade à individualização e a quedas de blocos e lascas, e outros tipos de movimentos gravitacionais de massa.

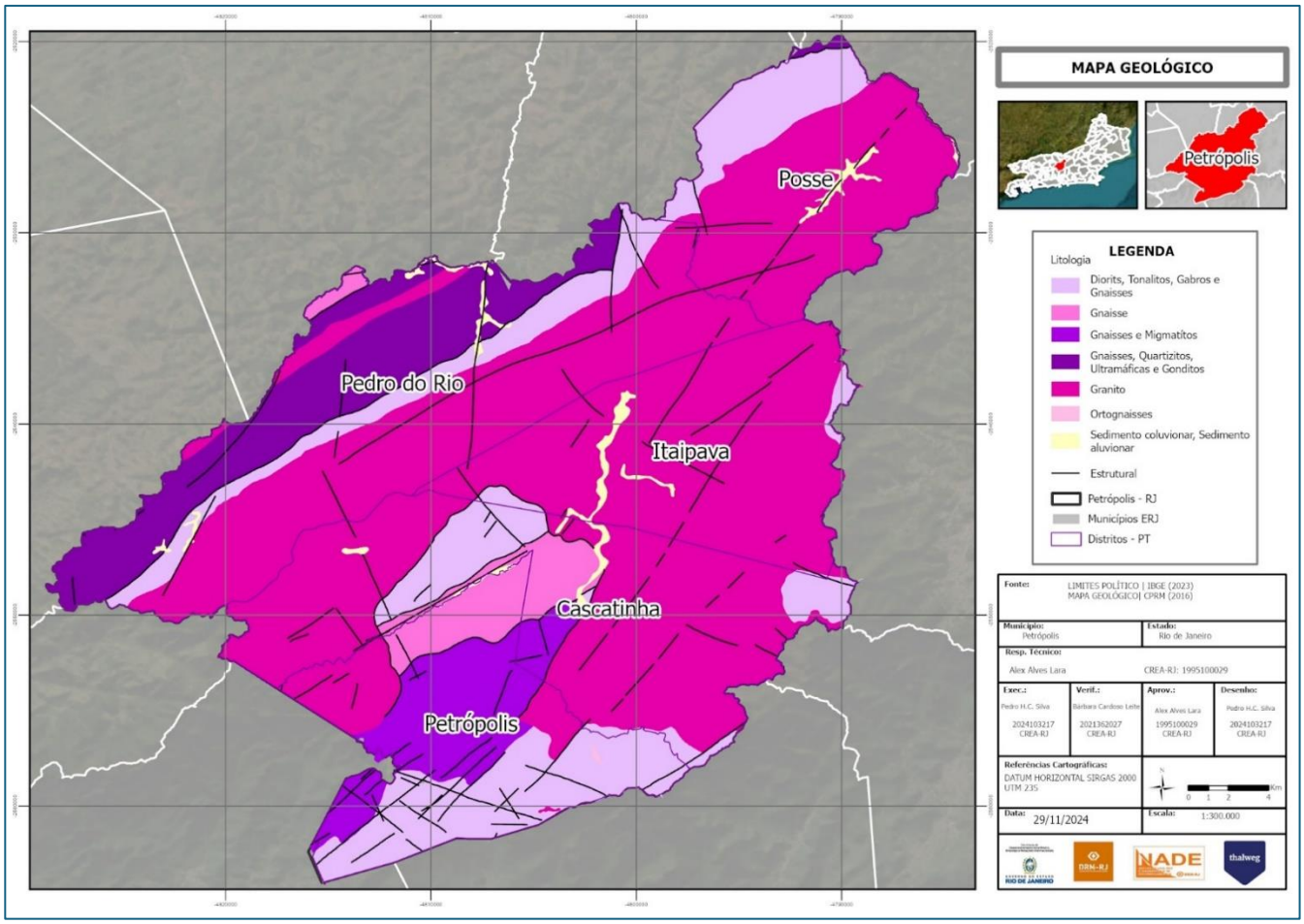


Figura 04: Mapa geológico indicando a distribuição das litologias na cidade de Petrópolis.

Nota-se, portanto, que o modelo geológico de Petrópolis e sua tipologia, aliados aos expressivos padrões de fraturamento, planos preferenciais de ruptura e comportamento, condicionam a forte presença de vertentes íngremes e de declividades elevadas que conferem à região uma expressiva incidência de eventos de movimentação gravitacional de massa, terrenos estes desfavoráveis à ocupação.

2.3.2 Geomorfologia

O município de Petrópolis está inserido na Escarpa e Reverso da Serra do Mar, cuja formação se desenvolveu sob os efeitos de um tectonismo regional e de sucessivas fases erosionais que refletem fortemente na topografia local. Nele, são observados vales alongados, segmentos de drenagem retilíneos sob a influência da geologia estrutural local, maciços graníticos, linhas de cristas e cumeadas paralelas, relevos com grandes desníveis altimétricos, escarpas íngremes e alvéolos intermontanos (GUERRA *et al.*, 2007).

Sobre os compartimentos geomorfológicos, observa-se o predomínio do Planalto Reverso da Região Serrana, presente em territórios dos cinco Distritos do município, além do desenvolvimento de Escarpas Serranas ou Escarpas da Serra do Couto e dos Órgãos na porção limítrofe a sul, no 1º Distrito (Petrópolis), e de Depressões Interplanálticas do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, em trecho limítrofe a N-NW do município, no 4º Distrito (Pedro do Rio) (SHINZATO *et al.*, 2017).

Estes compartimentos se desdobram nos diferentes padrões de relevo presentes no território (SHINZATO *et al.*, 2017) como os relevos mais íngremes e acidentados, predominantes no município (altos Platôs, Escarpas de borda de planaltos, Domínio alto Serrano e Domínio Serrano), outros menos acidentados e com gradientes mais suaves (Morros altos, Morros Baixos e Colinas), além de rampas de colúvio e depósitos de tálus, terraços fluviais e planícies de inundação (várzeas). O mapa geomorfológico pode ser observado na Figura 05.

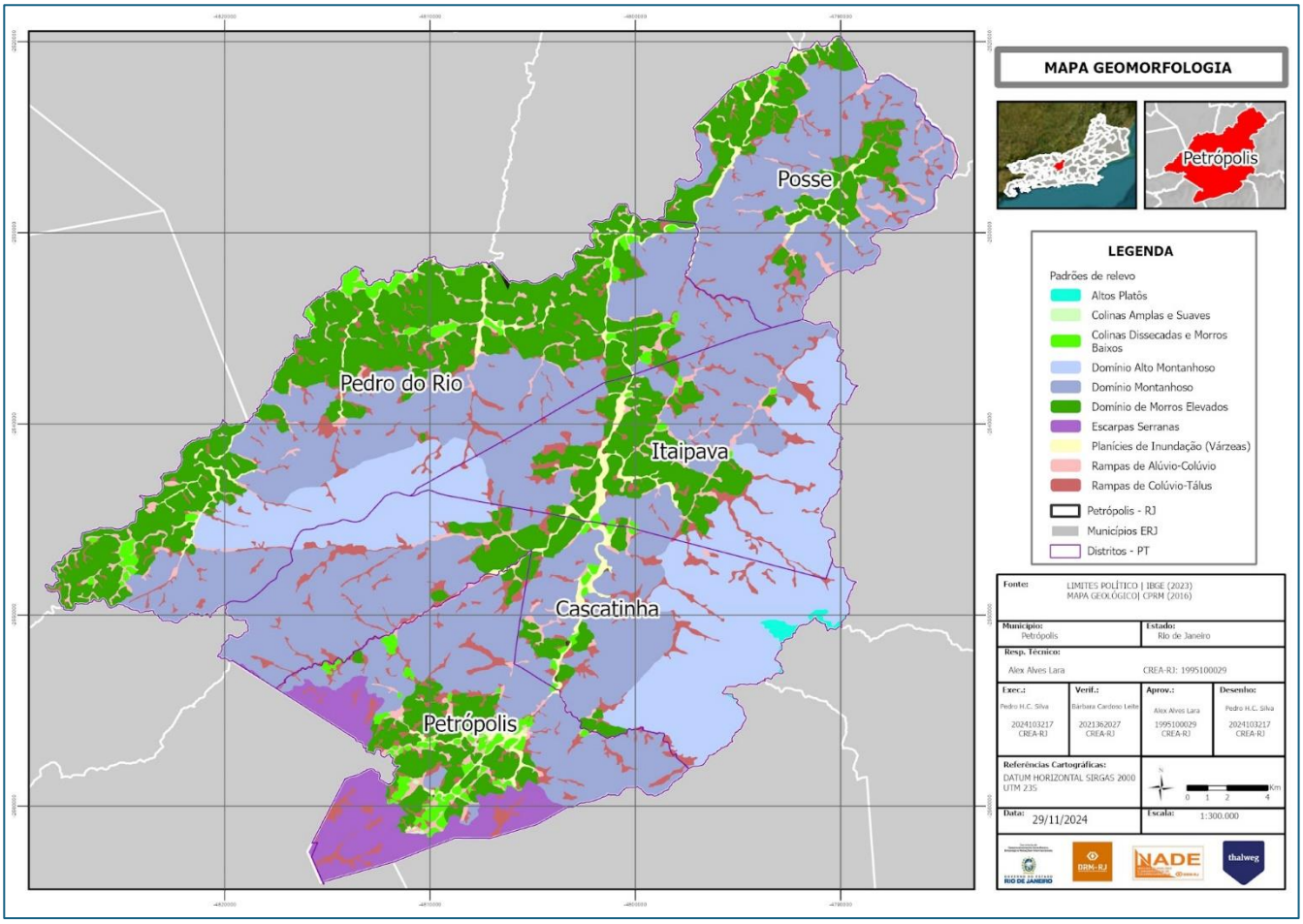


Figura 05: Mapa geomorfológico de Petrópolis demonstrando os padrões de relevo da cidade.

Assim sendo, a predominância de relevos íngremes, com elevadas declividades e feições acidentadas no município de Petrópolis, particularidades geomorfológicas e físicas, conferem ao município maiores suscetibilidades à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

2.3.3 Pedologia

Para efeito de mapeamento recente, os estudos de solo disponíveis através de dados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) apresentam como classes de solo gerais para o município de Petrópolis Cambissolos, Latossolos e Argissolos de variados níveis.

Conforme os dados de mapeamento de Mendonça-Santos *et al.* (2007), através de identificação de solos de baixa intensidade no Estado do Rio de Janeiro, usando uma escala de 1:250.000, os solos do município de Petrópolis seriam predominantemente das classes dos

Cambissolos, Latossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos (Figura 06). Contudo, é importante salientar que tal estudo não provê de fato a análise global e completa de verificação pedológica, tanto pela escala, como pelo método de trabalho que contou com a abertura de 6 perfis de solo para todo o município de Petrópolis (SILVA, 2006).

Assim sendo, destaca-se que os Latossolos são ordens de solos muito intemperizados, típicos de ambientes tropicais úmidos, bastante lixiviados e com minerais mais resistentes e pobres em sílica; horizontes B com microagregados e horizonte A pouco espesso, de onde normalmente ocorre a iluviação de argila em direção ao horizonte diagnóstico.

Ocupando boa parte do território, há ocorrência de Cambissolos, cuja maior exposição se dá em altitudes superiores a 900 m (SILVA, 2006). Por definição geral, são solos com horizonte B incipiente, em início de formação, sendo pouco profundos, típicos de relevos acidentados e com quantidade elevada de minerais primários (LEPSCH, 2002).

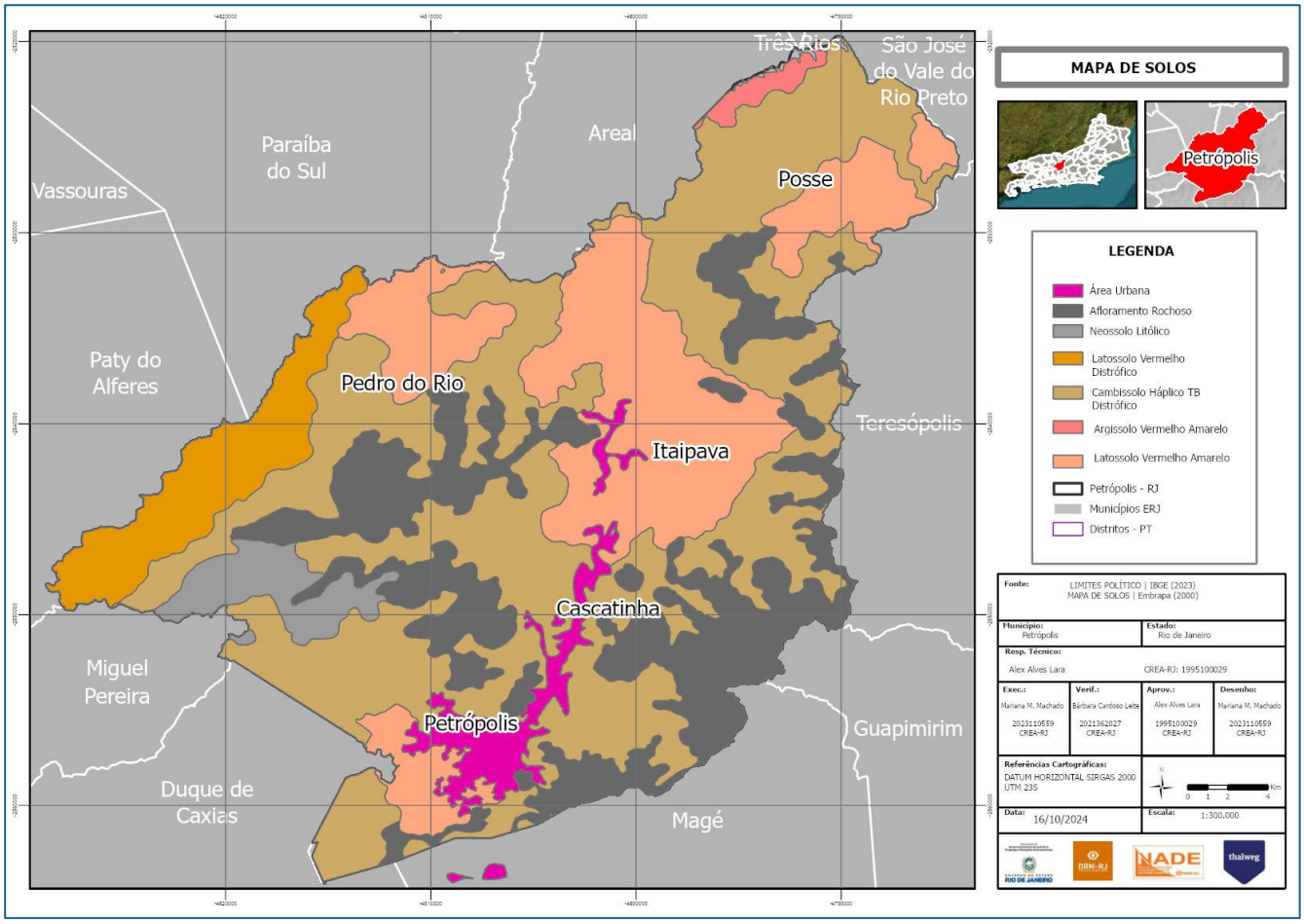


Figura 06: Mapa de solos do município de Petrópolis. Fonte: IBGE e PRONASOLOS (2022).

Os Argissolos se restringem, de forma pouco expressiva, à parte norte do município, sendo normalmente solos profundos, ocupando o terço inferior de vertentes em colinas suavizadas. Possuem o horizonte B textural que evidencia a baixa atividade da fração argila ou o caráter alítico.

Ademais, os Neossolos são uma classe de solos com ausência de um horizonte B definido. Inclusive, a insuficiência de atributos diagnósticos em seu perfil é uma de suas características. Guarda, portanto, grandes particularidades do material de origem (ANJOS *et al.*, 2019). No caso dos Neossolos Litólicos, possuem contato lítico dentro de 50 cm da superfície.

Trabalhos, como os de Furian *et al.* (1999), realizaram análises pedológicas em solos da Serra do Mar, a fim de verificar a existência de características intrínsecas a uma suscetibilidade inerente à ocorrência de movimentos de massa. O que significa que, aliado às características geológico-

geomorfológicas, climáticas e socioeconômicas, pode ter como resultado a maior ou menor ocorrência de processos disruptivos que culminem em desastres.

2.3.4 Clima

O clima tropical mesotérmico brando superúmido, predominante no território de Petrópolis, estabelece padrões bem definidos de duas estações ao longo do ano: os verões são quentes e chuvosos enquanto os invernos são secos (NIMER, 1989; NEMIROVSKY *et al.*, 2018). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, a predominância do território petropolitano dispõe-se na classificação climática Cfb que é caracterizada por climas temperados chuvosos e quentes onde todas as estações são úmidas, com verões moderadamente quentes (KÖPPEN, 1900).

Estes comportamentos climáticos são diretamente influenciados pela posição geográfica, altitudes associadas e a configuração topográfica, sendo a Serra dos Órgãos, que compõe o sistema da Serra do Mar, um dos principais elementos morfológicos influenciadores. Neste contexto, estando o município de Petrópolis na vertente meridional da Serra dos Órgãos, o relevo aparece como um fator importante já que influencia no aumento da turbulência do ar, a ascendência orográfica, em que há a perda de temperatura associada a elevação do ar e, como consequência, a ocorrência de chuvas intensas e prolongadas (GUERRA *et al.*, 2007).

Como citado anteriormente, os índices pluviométricos são influenciados por diversos fatores e, quando analisadas as condições meteorológicas associadas aos eventos extremos ocorridos em Petrópolis, observa-se a atuação de alguns sistemas atmosféricos que ao convergir maior umidade para o município agregaram um maior volume de chuvas, como por exemplo, a atuação de sistemas frontais, de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZACS), dentre outros (TAVARES; FERREIRA, 2021).

De modo geral, os eventos chuvosos mais intensos ocorrem predominantemente entre os meses de outubro a março (Figura 07), sendo dezembro o mês de maiores índices pluviométricos, que chegam a 316,6 mm. Por outro lado, o período de maio a agosto apresenta índices inferiores, sendo um período menos chuvoso, com destaque ao mês de julho que chega 66 mm (INMET, 2021

apud PETRÓPOLIS, 2023). Ao embutir o território sobre a influência destes valores, nota-se que o Distrito de Petrópolis (1° Distrito) apresenta, de forma geral, os maiores acumulados pluviométricos médios de precipitação quando comparado aos outros distritos, como pode ser observado nos mapas a seguir gerados a partir de dados da rede de pluviômetros pertencentes ao Cemaden BR, Cemaden RJ e Alerta de Cheias (INEA). Deve-se atentar que, embora os bairros localizados no sul do município apresentem maiores médias de precipitação no período compreendido de dezembro a março, a média geral do período de dezembro a janeiro para todo o município é superior a 180 mm, um valor consideravelmente elevado para todo o território.

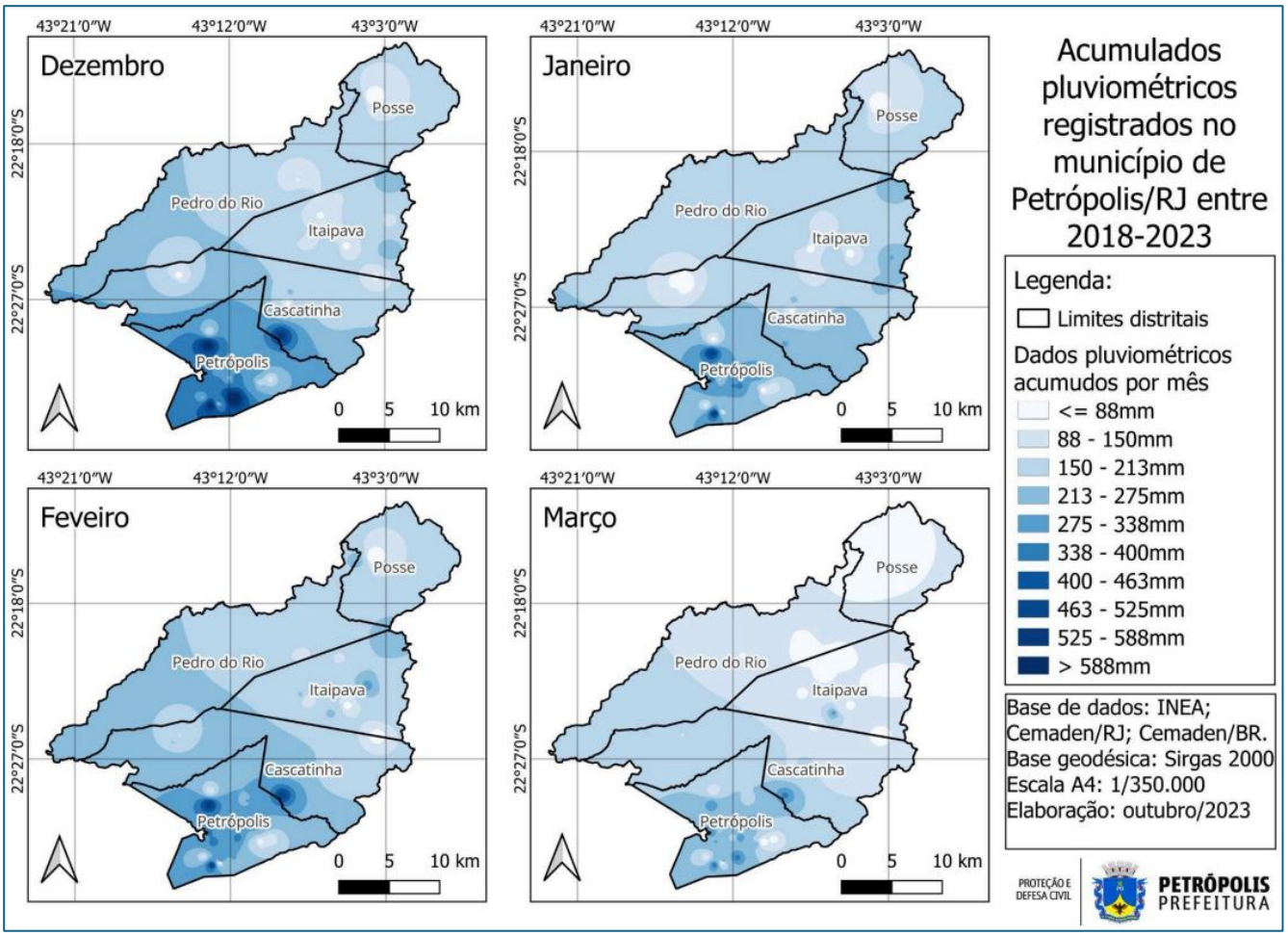


Figura 07: Mapas de precipitação média no período compreendido entre os anos de 2018 e 2023, relativos aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, confeccionados a partir de dados da rede de pluviômetros pertencentes ao Cemaden BR, Cemaden RJ e Alerta de Cheias (INEA). Fonte: Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Petrópolis (SEMPDEC), 2023.

É relevante destacar que muitos dos desastres configurados no município de Petrópolis ocorreram entre dezembro e março, no período de verão, associados aos elevados índices de pluviométricos e, por vezes, elevados acumulados em poucas horas, favorecendo a saturação do solo e a deflagração dos deslizamentos. A seguir, são observados alguns gráficos que evidenciam a evolução da precipitação e dos acumulados em alguns dos eventos de chuvas intensas ocorridas no município (Figura 08).

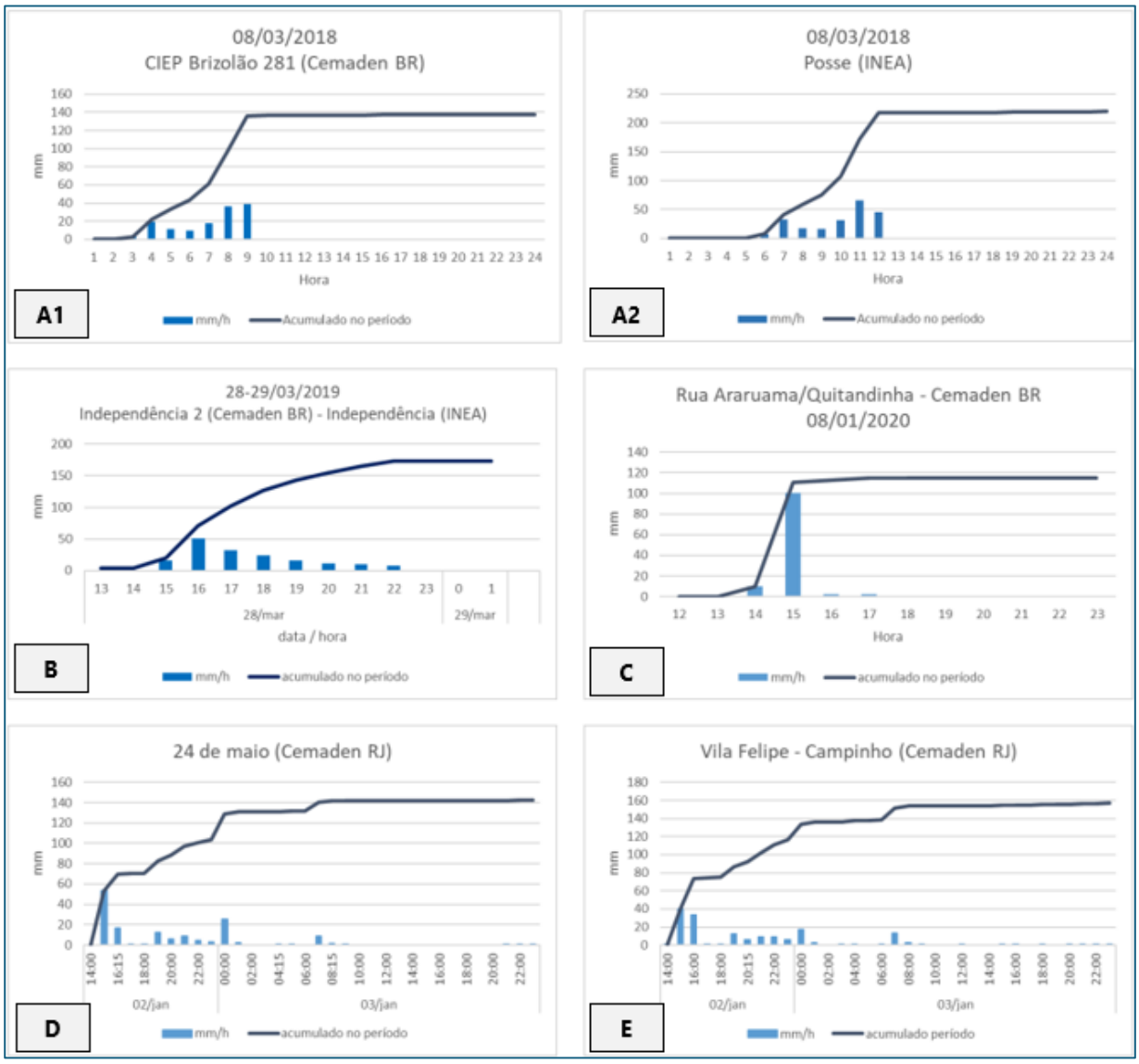


Figura 08: Gráficos que evidenciam a evolução da precipitação e dos acumulados em alguns dos eventos de chuvas intensas ocorridos no município de Petrópolis: A1 e A2) em março de 2018, em Posse/5° Distrito; B) em março de 2019, em Petrópolis/1° Distrito; C) em janeiro de 2020, em Petrópolis/1° Distrito; D e E) em 2022, em Petrópolis/1° Distrito. Fonte: CEMADEN/ CEMADEN-RJ / INEA, 2022 apud PETRÓPOLIS, 2023.

Por outro lado, nas porções mais baixas do município, em trecho de pouca expressão próximo à capital Rio de Janeiro onde há de forma mais intensa a influência da brisa marítima, a caracterização do clima segundo a classificação de Köppen-Geiger insere-se em um contexto de clima subtropical úmido (Cfa), em que os verões são mais quentes e secos (MEDEIROS *et al.*, 2019).

A temperatura média anual do município é de cerca de 18.4°C, com temperaturas mais elevados nos meses de janeiro e fevereiro, que chegam a uma máxima de 29°C e 28°C, e mínima de 21°C e 20°C, respectivamente, enquanto possui os meses de junho e julho com as temperaturas mais baixas do ano, com máximas de 23°C e mínimas de 15°C e 14°C, como observado na Figura 09.

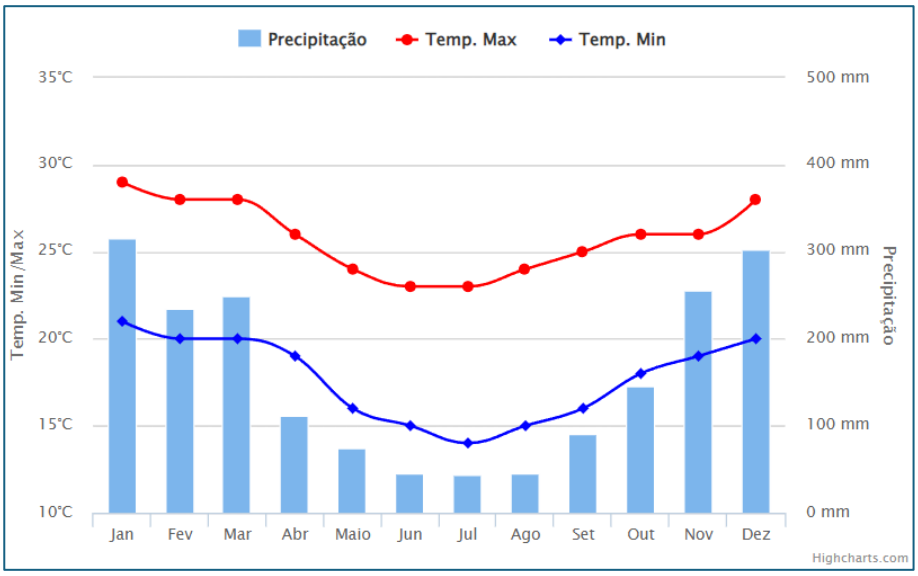


Figura 09: Climatograma do município de Petrópolis evidenciando as médias gerais das temperaturas máximas e mínimas e da precipitação ao longo do ano. Fonte: ClimaTempo, 2024.

2.3.5 Hidrografia

O estado do Rio de Janeiro exibe uma vasta rede hidrográfica, incluindo cursos d'água navegáveis (CPRM, 2016). De acordo com a deliberação nº 804 da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA), de 20 de fevereiro de 1986, a hidrografia do estado está segmentada em dez unidades, estando o município de Petrópolis inserido na Região Hidrográfica V, associada às bacias de contribuição à Baía de Guanabara, que tem origem nas encostas da Serra do Mar, maciços costeiros e colinas.

O território de Petrópolis tem como curso hídrico principal o rio Piabanha que, em contexto local de bacia hidrográfica, insere-se nas porções centrais e S-SW da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha. A bacia engloba ainda sete municípios, dentre eles Petrópolis, e possui parte de seu território contido na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-V), pequeno trecho a SW, e o restante de seu território na Região Hidrográfica do Rio Piabanha (RH-IV) (CERHI-RJ, 2013).

Em contexto hidrológico nacional, segundo a Resolução CNRH n° 32, de 15 de outubro de 2003, este território dispõe-se sobre a região hidrográfica Atlântico Sudeste. A nascente do rio Piabanha encontra-se sobre a Serra do Mar, no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, a cerca de 1.546 metros de altitude, em Petrópolis e, a partir deste ponto, seu curso se dá entre montanhas e encaixado em vales, com cerca de 80 km de extensão, passando por porções mais e menos urbanizadas e percorrendo diversos bairros da cidade. No 1º Distrito (Petrópolis), recebe contribuição do rio Quitandinha e segue seu fluxo hídrico até o deságue no rio Paraíba do Sul. Há ainda outros afluentes que cortam parcialmente ou totalmente o município, com destaque aos rios Quitandinha e Palatino, afluentes de maiores proporções locais.

2.3.6 Vegetação

A cobertura vegetal associada ao município de Petrópolis caracteriza-se pelo bioma Mata Atlântica, onde são observadas espécies arbóreas de copas altas e que formam coberturas vegetais densas e fechadas, classificadas como Floresta Ombrófila Densa pelo Projeto RADAM BRASIL (1983). Podem ainda ser subdivididas em outras classificações, de acordo com as variações de sua distribuição por altitude (Figura 10), além das vegetações secundárias, estando presentes no município de Petrópolis as:

a) Florestas Submontanas: vegetação associada a encostas de mais baixas altitudes, com cotas altimétricas entre 50 e 500 metros, e espécies arbóreas que chegam a 30 metros de altura.

b) Florestas Montanas: cobertura vegetal encontrada em relevos de faixa de altitude que variam de 500 a 1500 metros, caracterizada pela presença de espécies arbóreas cujo dossel superior, ou seja, o conjunto contínuo de suas copas, encontra-se entre 25 e 30 metros, por vezes atingindo

40 metros. Trata-se da formação que apresenta uma maior estratificação vegetal e variações em sua diversidade, a depender das diferentes condições específicas das áreas.

c) Alto Montana: vegetação que se estabelece em regiões frequentemente encobertas por nuvens, em faixas de altitude superiores a 1500 metros, estando associado a formação vegetal os portes mais baixos que variam de 5 a 10 metros. Nesta subclasse, pode-se observar um número expressivo de espécies endêmicas, ou seja, que ocorrem exclusivamente em dadas regiões em decorrência das características e condições do local.

d) Vegetação Secundária: vegetação que se estabelece em áreas onde houve a supressão parcial ou total da vegetação original, por ações antrópicas ou causas naturais.

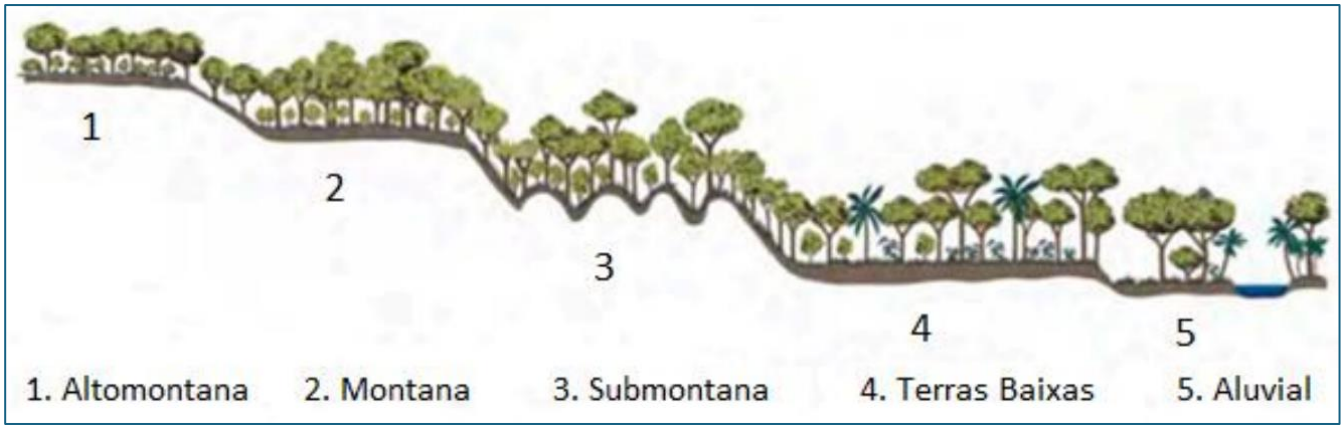


Figura 10: Esquema representativo formação florestal da Mata Atlântica por altitude, com destaque para as classes altomontana (1), Montana (2) e Submontana (3) presentes no município de Petrópolis. Fonte: IBGE, 2012.

2.4 Histórico de deslizamentos

Registros de desastres geológicos e hidrológicos, deflagrados em associação com eventos chuvosos no verão, são evidenciados desde o século XIX no município de Petrópolis, período em que o primeiro plano urbanístico de povoação do município, conhecido como "Povoação - Palácio de Verão", foi apresentado (NEMIROVSKY *et al.*, 2018). Uma linha histórica de ocorrência destes eventos é construída a partir de então. Em 1966, indícios do aumento da ocorrência de deslizamentos com vítimas começaram a ser revelados, similar ao ocorrido na Serra das Araras (Figura 11A), no ano de 1967, expondo uma importante associação do impacto destes eventos ao processo de expansão urbana.

As chuvas intensas deste período deflagraram processos de inundação e deslizamentos com 80 vítimas fatais; o cenário levou ao decreto de estado de calamidade pública pelo prefeito de Petrópolis à época. A ocorrência destes eventos também esteve presente nas décadas de 1970 e 1980 em que houve um aumento expressivo de deslizamentos associados a um período de maior concentração de chuvas; 11 e 87 vítimas fatais associadas aos eventos ocorridos em 1977 e 1979, respectivamente (NEMIROVSKY *et al.*, 2018). Em fevereiro de 1988, um novo evento hidrometeorológico intenso no 1° Distrito provocou enchentes e deslizamentos, com cerca de 171 óbitos, sendo este considerado o pior desastre ocorrido na cidade até então (Figura 11B).

Por outro lado, na década de 90, os índices pluviométricos diminuíram e, concomitantemente, o número de casos de deslizamentos também diminuiu, quando comparados às décadas anteriores. É importante destacar que nesse período também foram implementadas políticas públicas com a execução de obras de contenção e campanhas educativas de prevenção aos desastres naturais que possivelmente influenciaram na redução do número de desastres.

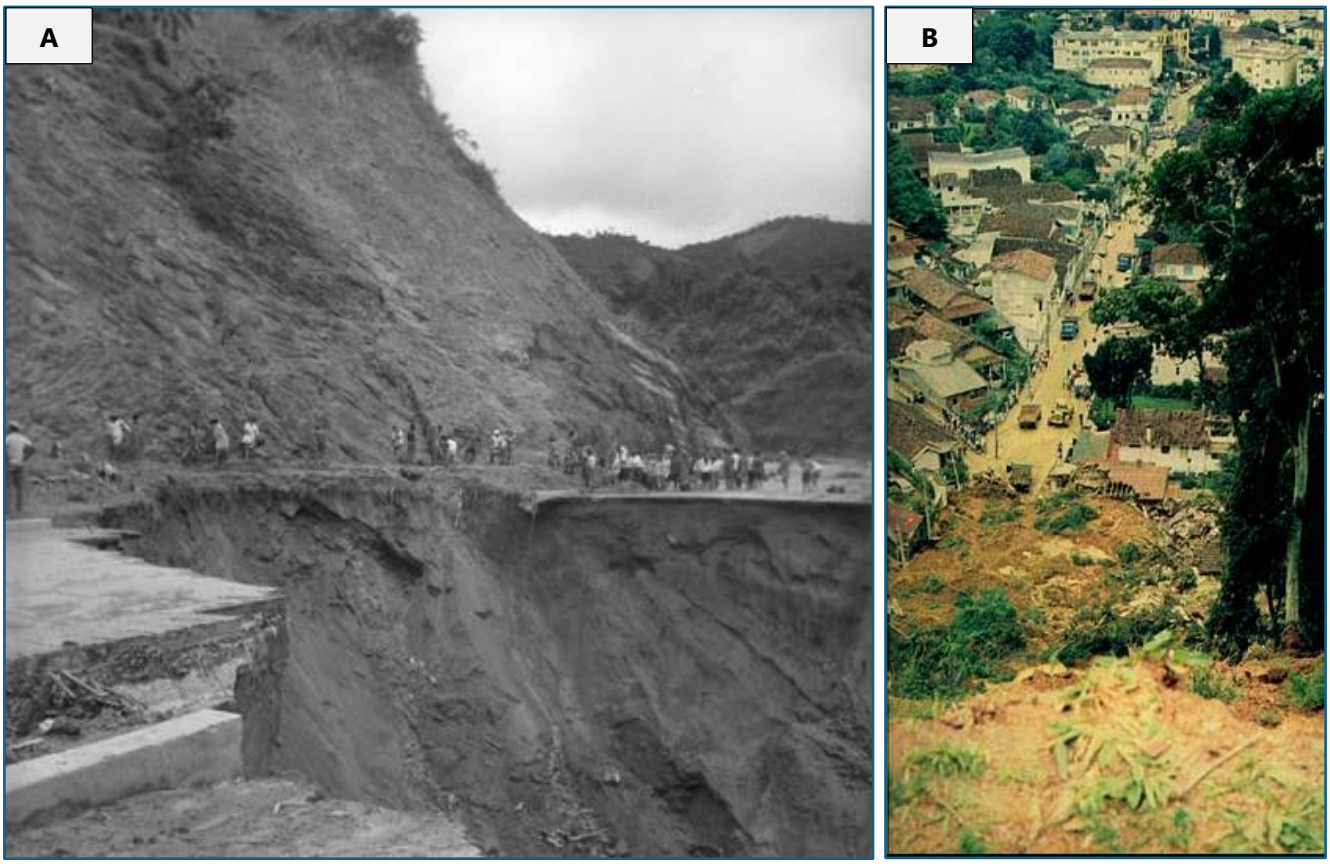


Figura 11: Registros fotográficos de desastres ocorridos entre as décadas de 1960 e 1980: A) Serra das Araras, 1967; B) Petrópolis, 1988.

Outras tragédias, em proporções diferentes, foram deflagradas ao longo das últimas duas décadas, com quantificação de danos e prejuízos segundo o Atlas Digital de Desastres, de: em 2001 (R$190.060.497,19), 2003 (R$49.528.038,39), 2004 (R$33.567.236,57), 2007 (R$ 81.116.955,55), 2009 (R$24.145.780,74) até 2011, quando a Microrregião Serrana viveu o maior desastre natural com quase mil mortes, sendo 76 destas atreladas ao município de Petrópolis (CEPED UFSC, 2013); neste ano, destaca-se a ocorrência de corridas de massa de expressivo alcance e potencial destrutivo no Vale do Cuiabá, 3° Distrito (Figura 12A).

Cita-se ainda o evento de 2013 com cerca de 33 óbitos (S2iD, 2018) e outro, recentemente ocorrido, entre fevereiro e março de 2022, em que o município foi novamente assolado por eventos hidrometeorológicos intensos derivados da passagem de frentes frias sobre a cidade. Estes eventos foram marcados por elevados volumes de precipitação em um curto período, deflagrando assim a ocorrência de deslizamentos e inundações de elevadas magnitudes no 1º Distrito e, como

consequência, cerca de 241 óbitos, além de perdas materiais e socioeconômicas, como observado, por exemplo, no Morro da Oficina (Figura 12B) e Vila Felipe (Figura 12C).

Por fim, em 2024, o município apresentou novamente elevados índices pluviométricos em março, chegando a 231 milímetros em um intervalo de menos de 24 horas, superando a média mensal prevista para o mês em apenas um dia. O evento chuvoso levou a ocorrência de deslizamentos de média a grande magnitude em diversos pontos do município de Petrópolis, a exemplo do ocorrido na localidade de Independência (Figura 12D), com vultosos danos humanos, materiais e ambientais, além de prejuízos econômicos e sociais, com sério e relevante comprometimento do funcionamento das instituições públicas, sendo decretado, portanto, Emergência Pública no município no dia 23 de março de 2024 (PETRÓPOLIS, 2024).

Figura 12: Registros fotográficos de desastres ocorridos no município de Petrópolis: A) Vale do Cuiabá, 2011; B) Morro da Oficina, 2022; C) Vila Felipe, 2022 e; D) Independência, 2024.

3. METODOLOGIA APLICADA

O método de mapeamento aqui utilizado, para a Cartografia de Risco a Escorregamentos no município de Petrópolis/RJ, foi o preconizado pelo Ministério das Cidades e elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007), amplamente aplicado nos mapeamentos executadas no país. Apresenta a roteirização de diferentes etapas para a identificação e caracterização das áreas de risco sujeitas a deslizamentos e solapamentos de margens, voltadas principalmente aos assentamentos precários. Neste método, é sugerido a execução de Produtos de Suporte que auxiliam na seleção estratégica de áreas-alvo, que foram utilizadas para a atuação e realização do presente objeto, garantindo maior assertividade na atuação em campo, a exemplo do mapa inventário de ocorrências anteriores (histórico) e do mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa (produto não obrigatório).

Há por conseguinte, uma etapa subsequente em que são definidos dois passos para a execução do zoneamento, que é o ato de identificar os processos destrutivos atuantes, além da avaliação do risco associado ao local e da espacialização e delimitação dos setores em relação ao grau de probabilidade ou mesmo ocorrência dos movimentos de massa: (1) pré-setorização, com utilização das percepções do técnico em campo e dos parâmetros básicos declividade e inclinação, tipologia do processo, posição da ocupação em relação à encosta e qualidade da ocupação; (2) setorização, a partir da interação das informações prévias com aquelas descritas na Ficha de Campo (*Checklist*), dos Croquis e itens que constam no Roteiro Metodológico para Análise de Risco e Mapeamento de Áreas de Risco em Setores de Encosta (IPT,2007).

Destaca-se que, seguindo as determinações do Edital de Licitação (Concorrência – CO Nº 002/2022), o projeto seguiu a metodologia proposta pelo IPT (2007) para a definição dos setores e suas classes de risco, incluindo seus critérios e parâmetros de instabilidade e vulnerabilidade, sendo realizadas as adaptações previstas em Edital para cumprimento deste. Dito isto, a Tabela 01 disposta abaixo, demonstra a classificação de risco aqui utilizada.

Tabela 01: Graus de Risco, critérios e parâmetros de instabilidade para processos de movimentos gravitacionais de massa (modificado de IPT (2007)).

Grau de Risco	Descrição
Monitoramento	Abrange a classificação correspondente aos riscos baixo e médio, segundo IPT (2007). Nesta classificação as condicionantes geológicas-geomorfológicas nos setores delimitados, bem como o nível de intervenções presentes, apresentam potencialidade variando de **baixa a média** para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Pode haver poucas ou nenhuma presença de feições instabilidade de encostas e de margens de drenagens. Mantendo-se as condições já existentes, espera-se **reduzida** possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
Alto	As condicionantes geológicas-geomorfológicas nos setores delimitados, bem como o nível de intervenções presentes, apresentam **alta** potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativas feições de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.). Mantendo-se as condições já existentes, torna-se **perfeitamente possível** possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
Muito alto	As condicionantes geológicas-geomorfológicas nos setores delimitados, bem como o nível de intervenções presentes, apresentam **muito alta** potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Aqui, as feições de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos etc.) são altamente expressivas, estando presentes em grande número e/ou magnitude. É o cenário considerado mais crítico, de modo em que se as condições existentes, torna-se **muito provável** a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

4. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO

Todo o procedimento adotado ao longo da execução da Cartografia de Risco a Escorregamentos será descrito neste item, desde a etapa preliminar, em que se tem o levantamento bibliográfico e reconhecimento inicial da área a ser analisada, até a elaboração deste produto, o Relatório Técnico Final associado as Cartas de Risco a Escorregamentos do município de Petrópolis.

Optou-se pela adoção de três etapas de trabalho que pudessem ser realizadas de forma cíclica até a conclusão do mapeamento de todos os distritos do município. Dessa forma, o processo de análise em cada uma destas localidades foi constituído das etapas: Pré-Campo, Campo e Pós-Campo, sendo este documento um dos produtos associados a etapa final da compilação e sintetização da Carta de Risco a Escorregamentos do município. Abaixo, o detalhamento das etapas a partir do fluxograma representativo do plano de execução (Figura 13).

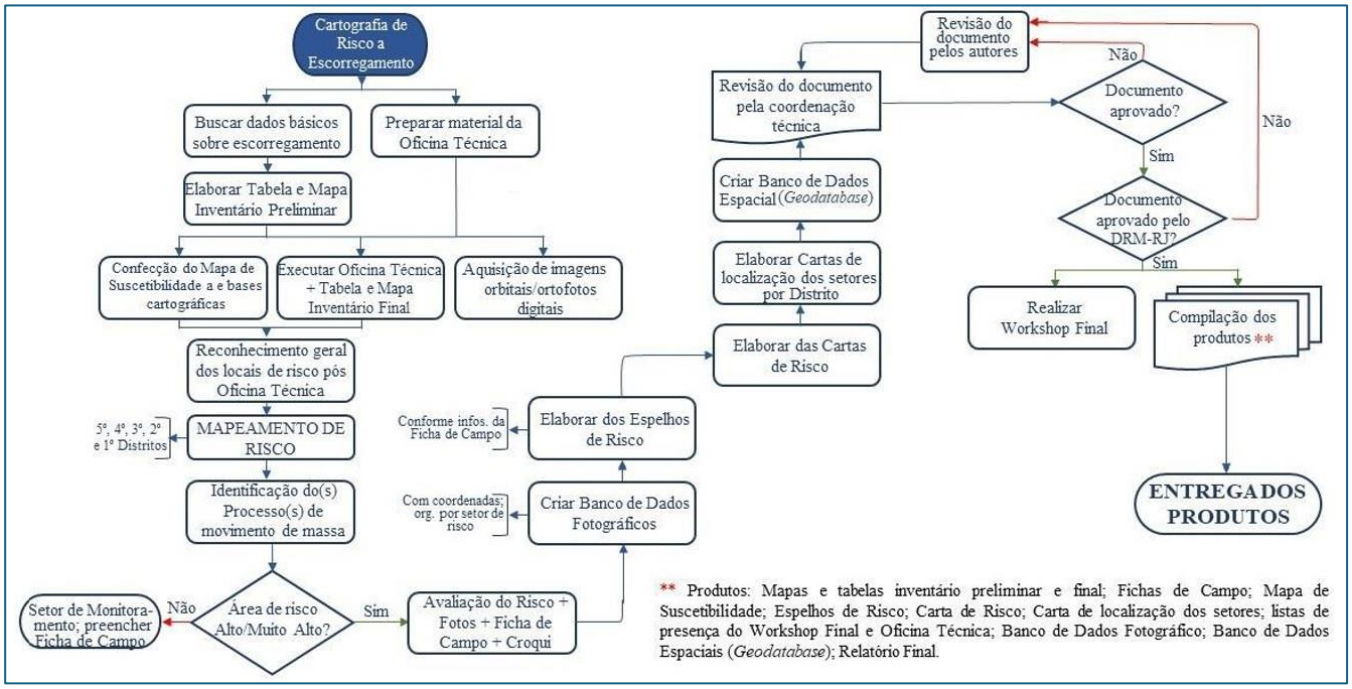


Figura 13: Fluxograma das etapas de execução da Cartografia de Risco a Escorregamentos no município de Petrópolis, até a fase de elaboração do presente documento e entrega dos produtos.

4.1 Primeira Etapa: Pré-Campo

Foram executadas, nesta etapa, atividades preliminares e de escritório, para apoio ao trabalho de campo, com a realização de um primeiro reconhecimento da área e o estabelecimento de modo

assertivo de uma organização logística e um planejamento estratégico de atuação. Os itens abaixo elencam todo o procedimento adotado nesta etapa.

4.1.1 Levantamento bibliográfico

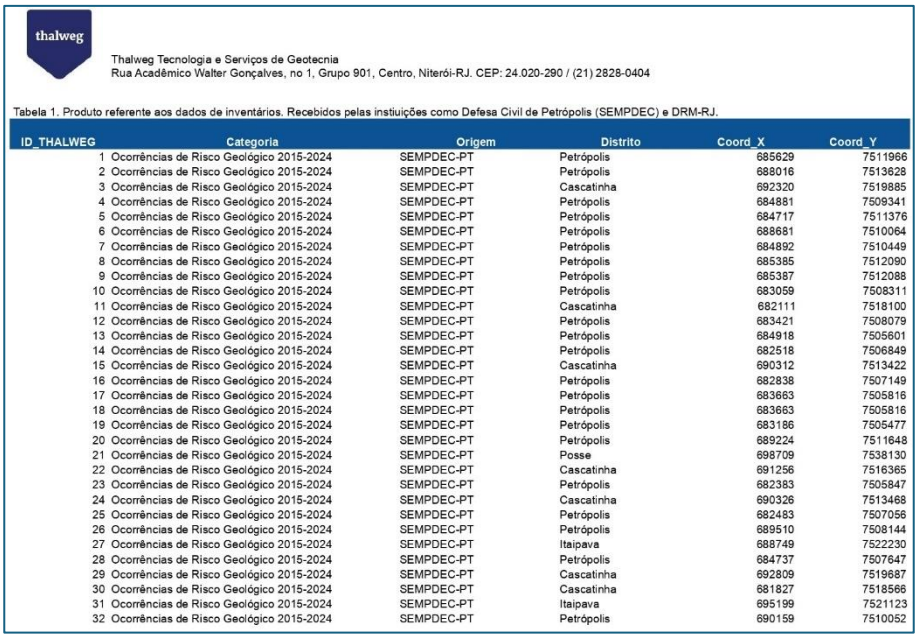
Fundamental para início e organização do projeto, houve o levantamento prévio de dados e informações das áreas anteriormente mapeadas, relativas aos riscos de deslizamento atribuídos aos locais a época, além da aquisição de informação dos pontos onde houve a ocorrência de processos gravitacionais de massa, configurando, assim, um inventário inicial de dados básicos sobre risco a escorregamentos do município de Petrópolis (Tabela Inventário Preliminar).

Foram empregados diversos recursos de cunho informacional de forma a obter um pré-levantamento que possibilitou a espacialização, hierarquização e recorrência de escorregamentos pretéritos no município, o que promoveu o alcance de informações como localização e distinção setores de risco, local e data de atendimentos de ocorrência de escorregamentos pretéritos com coordenadas geográficas, os tipos de movimentos gravitacionais de massa envolvidos e o grau de risco associado a esses movimentos (em caso de mapeamentos pretéritos). Um intercâmbio de informações a partir de buscas técnico-científicas e do fornecimento daqueles presentes nos acervos técnicos da Defesa Civil de Petrópolis e do DRM-RJ/NADE-RJ foi realizado, incluindo o seu inventário de ocorrências e pareceres técnicos (Tabela 02).

Tabela 02: Referencial das bases e origem dos dados utilizados na elaboração do Inventário Preliminar de informações sobre escorregamentos no município de Petrópolis.

Referência	Origem dos dados
DRM-RJ, 2013	Carta de Risco Iminente de 2013
DRM-RJ, 2015	Carta Geotécnica de Aptidão a Urbanização
THEOPRATIQUE, 2007	Plano Municipal de Redução de Risco (1° Distrito)
THEOPRATIQUE (2017)	Plano Municipal de Redução de Risco PMRR – 1º (revisão), 2º, 3º, 4º e 5º Distritos - Petrópolis, RJ
Defesa Civil de Petrópolis e DRM-RJ (2022)	Carta de Risco Remanescente de 2022
Defesa Civil de Petrópolis	Inventário de ocorrências (2011-2024)
DRM-RJ, 2024	Carta de Risco Remanescente de 2024

Todos estes dados foram planilhados, em tabela única, uniforme e padronizada (Figura 14), com coordenadas geográficas, de modo a possibilitar a geração de um Mapa Inventário Preliminar a partir da Tabela Inventário Preliminar.



Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia
Rua Acadêmico Walter Gonçalves, no 1, Grupo 901, Centro, Niterói-RJ. CEP: 24.020-290 / (21) 2828-0404

Tabela 1. Produto referente aos dados de inventários. Recebidos pelas instiuições como Defesa Civil de Petrópolis (SEMPDEC) e DRM-RJ.

ID_THALWEG	Categoria	Origem	Distrito	Coord_X	Coord_Y
1	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	685629	7511966
2	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	688016	7513628
3	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	692320	7519885
4	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684881	7509341
5	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684717	7511376
6	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	688681	7510064
7	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684892	7510449
8	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	685385	7512090
9	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	685387	7512088
10	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683059	7508311
11	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	682111	7518100
12	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683421	7508079
13	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684918	7505601
14	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682518	7506849
15	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	690312	7513422
16	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682838	7507149
17	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683663	7505816
18	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683663	7505816
19	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683186	7505477
20	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	689224	7511648
21	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Posse	698709	7538130
22	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	691256	7516365
23	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682383	7505847
24	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	690326	7513468
25	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682483	7507056
26	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	689510	7508144
27	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Itaipava	688749	7522230
28	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684737	7507647
29	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	692809	7519687
30	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	681827	7518566
31	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Itaipava	695199	7521123
32	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	690159	7510052

Figura 14: Imagem representativa do formato e organização dos dados inseridos na Tabela Inventário Preliminar, em tabela única, uniforme e padronizada.

4.1.2 Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa (mapa suporte)

De modo a auxiliar a seleção estratégica de áreas-alvo e a agregar informações à análise em campo, foi elaborado, como produto suporte, o Mapa de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa dos pontos de interesse deste projeto. Assim, pôde-se realizar uma primeira varredura e possibilitar a hierarquização preliminar dos locais que necessitam de atenção primária, com a identificação prévia dos pontos de maior probabilidade de ocorrência destes movimentos.

Para tanto, optou-se pela utilização de uma metodologia que consiste basicamente na combinação de um Modelo Digital de Elevação (MDE) hidrologicamente consistente, de um inventário robusto de cicatrizes de deslizamentos e de um modelo de processamento baseado no algoritmo *Random Forest*, integrados ao ambiente GIS (*Geographic Information System*). Registra-se aqui que o uso de um algoritmo distinto ao descrito na Proposta Técnica atrelada a Concorrência Nº 002/2022

- a citar, o reajuste algorítmico do processamento, sendo aqui utilizado o método de regressão *Random Forest* - ocorreu devido a sua maior aplicabilidade ao tipo de dado e análise a serem utilizados neste projeto, reafirmando o propósito desta equipe em entregar produtos mais apurados e eficientes, em conformidade com as necessidades dele.

O Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução de 10 m, hidrologicamente consistente, foi gerado inicialmente a partir da interpolação das curvas de nível (escala 1:25.000). Ademais, a partir das mencionadas curvas de nível, executou-se a extração de 16 atributos morfométricos de terreno que posteriormente foram utilizados na identificação de padrões do modelo implementado neste projeto. Os atributos morfométricos considerados foram: *Elevation* (ELV), *Slope (*SLP), *Analytical Hillshading (*AHS), *Aspect (*ASP), *Channel Network Base Level (*CNBL), *Vertical Distance to Channel Network* (VDCN), *Longitudinal Curvature* (LOC), *Cross-section curvature* (CSC), *Flow Accumulation* (FAC), *Topographic Wetness Index* (TWI), *Topographic Position Index* (TPI), *Convergence Index* (CIN), *Relative Slope Position* (RSP), *Mass Balance Index* (MIB), *Valley Depth* (VDP) e *LS Factor* (LSF).

O inventário de cicatrizes de deslizamentos aqui utilizado baseou-se na união de dados disponibilizados pelo DRM-RJ, contemplando 524 cicatrizes associadas a eventos ocorridos no período compreendido entre os anos de 2011 e 2024. Por conseguinte, foi realizado o processo de amostragem em que houve a seleção de 6202 amostras de ocorrência de deslizamentos e, em mesmo número, amostras de não ocorrência destes processos, de modo aleatório. Desta amostragem, foram destacados conjuntos de treino, objetivando o treinamento do modelo criado a partir do algoritmo *Random Forest*, e o conjunto de teste, utilizado para o estabelecimento da acurácia do modelo. Assim, com a parametrização e o posterior treinamento do modelo, pôde-se aplicá-lo nas áreas de interesse do projeto possibilitando a validação do modelo e dos resultados (acurácia e sobreposição das cicatrizes não utilizadas na amostragem do modelo) e, por fim, a geração do mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Vale ressaltar que a elaboração deste mapa não era obrigatória, sendo o produto utilizado como mapa suporte para a atuação em campo.

4.2 Segunda Etapa: Fase de Campo

Nesta segunda etapa, houve a consolidação das informações e dos pontos de interesse do presente mapeamento, junto a execução da Oficina Técnica prevista, além da criação de logísticas, o estabelecimento estratégico de fluxos e das análises de risco em campo, como a seguir.

4.2.1 Oficina técnica

Organização e execução da Oficina Técnica, etapa obrigatória, que objetivou a apresentação, descrição e fundamentação das diretrizes de todo o projeto a ser consolidado, a Cartografia de Risco a Escorregamento do Município de Petrópolis, em formato de oficina. O convite à participação da oficina ficou a cargo da Prefeitura Municipal de Petrópolis, como previsto no Edital.

Além da exposição das etapas, das entregas e cronograma previsto, houve a complementação participativa da Tabela e do Mapa Inventário Preliminar, como previsto no Termo de Referência da Concorrência associada a este serviço, possibilitando assim a geração da Tabela e Mapa Inventário Final com a disponibilização de novos dados pela Defesa Civil.

A Oficina Técnica aconteceu no dia 11 de março de 2024, com a presença de representantes da Defesa Civil de Petrópolis, do Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro (DRM-RJ) e da Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia (Figura 15).

Figura 15: Imagem da Oficina Técnica realizada no dia 11 de março de 2024 com a presença de representantes da Defesa Civil de Petrópolis, do Departamento de Recursos Minerais (DRM) e da Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia.

Ainda, almejando a maior abrangência de dados e a inclusão das percepções dos munícipes quanto aos pontos de interesse deste projeto, foi realizada uma reunião que contou com a participação de representantes do Núcleo Comunitário de Defesa Civil (NUDEC) do Vale do Cuiabá, 3° Distrito (Figura 16), em que foram apontadas novas áreas de interesse para este, como os bairros de Madame Machado, Gentio, Laginha, Benfica, além da própria localidade ao longo do Vale do Cuiabá.

Figura 16: Reunião com representantes do Núcleo Comunitário de Defesa Civil do Vale do Cuiabá, 3° Distrito.

O encaminhamento dos técnicos para tais pontos contou com o conhecimento prévio da localidade e do trabalho desenvolvido pelas representantes, que operam como intermediárias entre as autoridades competentes, a Defesa Civil e a comunidade; muitas ocorrências dos últimos anos são subnotificadas ou mesmo nem chegam ao conhecimento das autoridades competentes.

Além de direcionarem as equipes do mapeamento com maior exatidão nas localidades supracitadas, as representantes do NUDEC, junto com a Thalweg, participaram de um mapeamento participativo em que a inserção do conhecimento espacial e ambiental, segundo as vivências e percepções da população local, também foi considerado na definição de pontos de interesse do projeto. Atenta-se para o fato de que esta iniciativa se desdobrou por responsabilidade e compromisso da empresa Thalweg em proporcionar um maior engajamento da população para com o projeto e se aproximar, mesmo que sem exigência em Edital, de manuais recentemente lançados pelo Ministério das Cidades, a citar o Guia Técnico de Orientação para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR) "Periferia sem risco", lançado em 2024.

4.2.2 Logística e planejamento estratégico de atuação

Posteriormente ao reconhecimento geral e entendimento da distribuição espacial dos pontos alvo deste projeto, foram criadas estratégias de atuação de modo a garantir uma execução eficiente, em conformidade com o cronograma e o prazo final de entrega. Além disso, objetivou-se com esta etapa a certificação da assertividade e a efetividade relativa à análise em campo e a abrangência total prevista, haja visto a elevada densidade de áreas de interesse, como pode ser observado no Mapa e na Tabela Inventário Final.

Adotou-se neste projeto as microbacias hidrográficas como unidade base de mapeamento, geradas a partir de curvas de nível em escala 1:25.000 disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Optou-se por esta como unidade de planejamento pois a mesma possibilita agrupar áreas próximas que compartilham características geográficas semelhantes, viabilizando a compreensão geral dos comportamentos geológicos e hidrológicos locais. Assim, com a obtenção de 3.375 microbacias para o município de Petrópolis, foram selecionadas aquelas que contemplavam pontos e/ou polígonos de interesse para este mapeamento (um total de 548 microbacias), contidos no Mapa e Tabela Inventário Final, divididas por distrito e distribuídas pelas equipes (Figura 17).

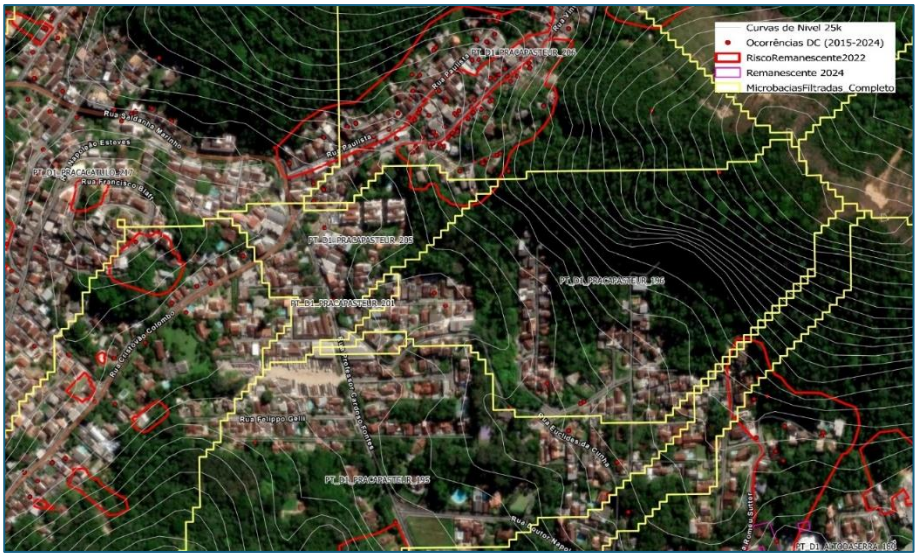


Figura 17: Exemplo de um arquivo suporte de campo para atendimento dos pontos de interesse do projeto. Detalhe para a referência dos pontos e polígonos do Inventário Final, dos limites das microbacias definidas (unidades base utilizadas nesse mapeamento), e das curvas de nível, nas localidades Praça Pasteur e Alto da Serra.

Para o atendimento em campo, o corpo técnico constituído por 16 especialistas, dentre eles geólogos, geógrafos e engenheiros, foram divididos semanalmente em equipes de atuação (trios). Para gestão de fluxo e suporte as equipes de campo, foi criada uma base de operações do projeto no município de Petrópolis onde técnicos acompanhavam, do escritório, em tempo real, as sub-bacias finalizadas e as eventuais necessidades das equipes.

4.2.3 Obtenção de ortofotos digitais

Visando uma maior precisão na delimitação dos polígonos mapeados neste projeto, realizou-se a aquisição de ortofotos digitais dos locais onde classes de risco a escorregamento foram atribuídas. As ortofotos digitais foram obtidas ao longo de todo o período de execução deste projeto, pela equipe técnica especializada da Thalweg Engenharia e Serviços de Geotecnia, a partir de sobrevoos utilizando aeronaves do modelo DJI AIR – 2S.

As imagens adquiridas apresentam precisão planimétrica compatível com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) Classe C para escala 1:2.000 e resolução espacial de 2 m, todas georreferenciadas no sistema geodésico SIRGAS 2000. Com a anuência do DRM-RJ, e em acordo firmado entre as duas partes, este produto foi executado com as especificações anteriormente descritas, diferentemente daquelas que constam no Edital, em decorrência de condições específicas que levaram a uma inviabilidade técnica, operacional e temporal de aquisição, assumindo o cronograma executivo e financeiro, os prazos e a qualidade como premissa fundamental de entrega deste projeto. Ressalta-se, contudo, que esta adequação não agregou quaisquer tipos de prejuízos na qualidade técnica das entregas.

4.2.4 Codificação e identificação dos arquivos gerados

De modo a facilitar a identificação dos diversos produtos elaborados neste projeto e assegurar a organização deles nos Bancos de Dados a serem gerados, foi estabelecido um padrão de codificação para nomeação dos arquivos, como descrito a seguir. Para os setores de risco a

escorregamentos analisados e delineados, atribuiu-se um código único para cada um, em que:

a) Os dois primeiros dígitos referem-se ao código dado ao município de Petrópolis, neste caso, "PT";

b) De forma subsequente, aponta-se o Distrito no qual se referem os dados (D1: 1° distrito; D2: 2° distrito; D3: 3° distrito; D4: 4° distrito; D5: 5° distrito);

c) Nome da localidade a qual se refere o dado. Foram atribuídas as localidades com base na proposta de abairramento para o município de Petrópolis realizado pela Prefeitura municipal;

d) Número da microbacia associada;

e) Código padrão para este projeto, o "DSS", apontando para análise de riscos de deslizamentos, associado ao tipo de processo analisado;

f) Próximas letras dos códigos associadas as iniciais dos nomes dos técnicos que fizeram as análises de campo ou, para os produtos acessórios, técnicos de processamento;

g) Último número que aponta a contagem do subsetor de análise.

Para os produtos acessórios produzidos, foram adotados critérios similares, adicionados de duas iniciais associadas ao tipo de produto acessório gerado (Tabela 03).

Tabela 03: Relação das siglas definidas para identificação de cada um dos produtos acessórios na codificação geral dos arquivos gerados no projeto.

Produtos acessórios	Sigla
Carta de risco	CR
Carta de risco geral	CRG
Espelho de risco	ES
Ficha de campo	FC
Fotografias de campo	FTC
Imagem aérea	IA
Relatório técnico	RT

Para melhor exemplificar os códigos utilizados, favorecendo um maior entendimento a utilização dos produtos e suas identificações nos bancos de dados, segue a tabela com exemplos de nomenclaturas (Tabela 04).

Tabela 04: Explicação e exemplificação dos códigos de identificação gerados para cada um dos tipos de produtos acessórios confeccionados.

Produtos acessórios	Itens do código	Exemplo de código
Carta de risco	Produto_Município_Distrito_Localidade_ N° da microbacia	CR_PT_D1_INDEPENDENCIA_59
Carta de risco geral	Produto_Município_Distrito_Localidade_ N° da microbacia_Processo_Iniciais dos técnicos_N° subsetor	CRG_PT_D1_INDEPENDENCIA_59_DSS_PG_CL_DS_1
Espelho de risco		ES_PT_D1_INDEPENDENCIA_59_DSS_PG_CL_DS_1
Ficha de campo		FC_PT_D1_INDEPENDENCIA_59_DSS_PG_CL_DS_1
Fotografias de campo		FT_PT_D1_INDEPENDENCIA_59_DSS_PG_CL_DS_1
Imagem aérea	Produto_Município_Distrito_Localidade_ N° da microbacia_Processo_Iniciais dos técnicos de campo_ Iniciais do técnico de processamento	IA_PT_D1_INDEPENDENCIA_SIMÉRIA_DSD_LFD_PHCS
Relatório técnico	Produto_Município_Distrito_Localidade_ N° da microbacia_Processo_Iniciais dos técnicos_N° subsetor	RT_PT_D1_INDEPENDENCIA_59_DSS_PG_CL_DS_1

4.2.5 Execução em campo do mapeamento de risco a escorregamentos

A fase de análise de campo para a execução da cartografia de risco a escorregamentos se desenvolveu com base nos produtos gerados nas etapas anteriormente descritas e, a partir da definição dos pontos de interesse e da logística para atendimento, deu-se início a atuação *in loco*.

A primeira etapa desta investigação, realizada para cada um dos setores aqui definidos, ocorreu a partir da análise geológica de áreas vinculadas aos pontos contidos na Tabela e Mapa Inventário Final, associados aos registros de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa pretéritos e recentes, aos atendimentos da Defesa Civil do município e do DRM-RJ, dentre outros, como citado no item 4.1.1. A cada trio de técnicos, composto por geólogos, geógrafos e engenheiros, foi atribuída a responsabilidade de investigação dos pontos contidos nas microbacias hidrográficas (unidade base de mapeamento definida no projeto).

Neste primeiro momento, o grupo técnico utilizou-se de conhecimentos geológicos, pedológicos, geográficos e geomorfológicos para a compreensão e identificação dos processos associados as encostas e/ou taludes envolvidos e, as mais variadas dinâmicas apresentadas. Para as

situações em que houve a identificação de feições de instabilidade, elementos de vulnerabilidade e a necessidade da delimitação de um polígono de risco, foi utilizada a Ficha Geológica de Campo (Figura 18), importante ferramenta de direcionamento e padronização das avaliações, e de registro de dados.

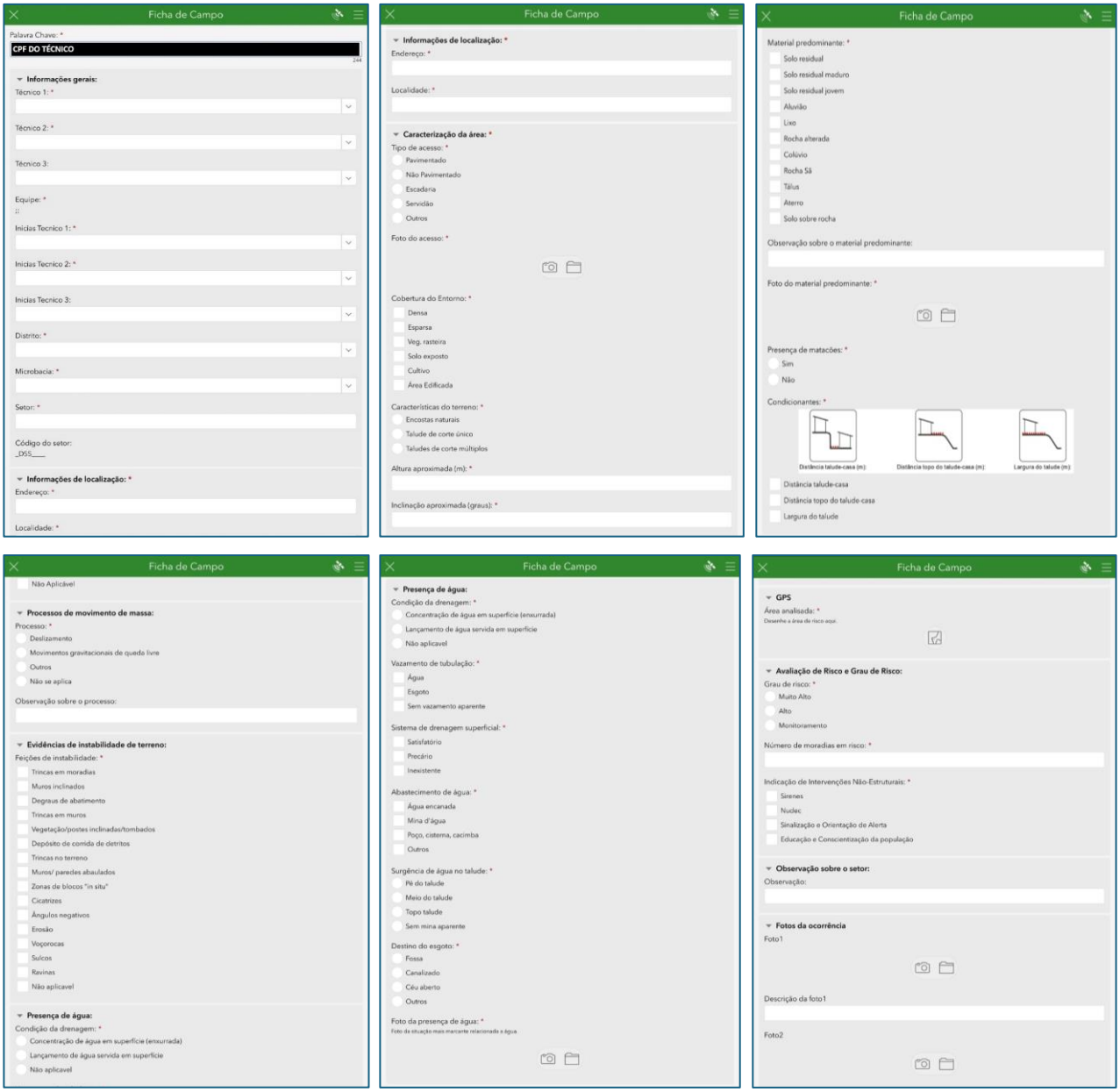


Figura 18: Modelo de Ficha Geológica de Campo utilizada na execução da Cartografia de Risco a Escorregamentos nos cinco Distritos de Petrópolis. Todos os fatores aqui pontuados subsidiaram a classificação final de risco dos setores.

A partir do preenchimento inicial dos dados gerais de identificação da ficha, tais quais os nomes dos técnicos, a microbacia associada, a definição do código do setor e endereço do local de

análise, inicia-se a descrição das informações que justificam a definição do grau de risco final atribuído ao setor a ser gerado. Os tópicos de caracterização presentes na Ficha Geológica de Campo encontram-se descritos na Tabela 05, estando condicionada, a alguns deles, a necessidade de anexação de fotografias georreferenciadas, de modo a documentar, visualmente, os dados registrados. Encontra-se disponível ainda, no final da ficha, um espaço extra para o registro fotográfico, com legenda, de outros elementos os quais o técnico julgue pertinente a inserção. Destaca-se ainda a presença de campos livres, de preenchimento textual, possibilitando a descrição de observações oportunas sobre o material predominante, o terreno e o processo, caso haja alguma informação não contemplada pelos tópicos fixos presentes na ficha.

Tabela 05: Tópicos de caracterização dos setores de risco a escorregamento presentes na Ficha Geológica de Campo, e suas respectivas descrições.

	Campo	Opções	Orientações de preenchimento
INFORMAÇÕES GERAIS	Palavra-chave	--	Deve ser inserido o CPF do técnico para que haja o preenchimento da ficha
	Dados dos técnicos	Nome	Seleção dos nomes dos técnicos previamente disponibilizados
		Código das Iniciais	Seleção dos códigos previamente definidos com as iniciais de nome/sobrenome dos técnicos.
	Microbacia	Código da microbacia	Seleção do nome da microbacia previamente disponibilizada
	Setor	N° do setor	Indicação do n° do setor referente a microbacia analisada
INFORMAÇÕES DE LOCALIZAÇÃO	Endereço	--	Indicar o logradouro ou a localidade indicada pelos moradores
	Localização	-	Indicar o bairro (localidade)
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA	Tipo de acesso	Pavimentado	Tópico com escolha de marcação única
		Não pavimentado	
		Escadaria	
		Servidão	
		Outros	
	Cobertura do entorno	Densa	Tópico com múltiplas opções de escolha, devendo ser consideradas todas as principais que caracterizem a área analisada
		Esparsa	
		Vegetação Rasteira	
		Solo Exposto	
		Cultivo	
		Área Edificada	

	Características do terreno	Talude de corte único	Tópico com escolha de marcação única. São consideradas as características principais da área analisada com base na origem do processo. Ex[1]: edificação sobre/sob talude de corte único com processo associado a este: deve-se optar pela opção Talude de corte único; Ex[2]: área de encosta edificada e presença de taludes e múltiplos cortes, com processos deflagrados em vários deles: neste caso, deve-se optar pela marcação da opção Taludes de Cortes Múltiplos; Ex[3]: a edificação está em área de corte de talude, mas o processo deflagrado se encontra à montante em encosta natural. Neste caso, deve-se optar pela marcação da opção Encosta Natural;
		Talude de cortes múltiplos	
		Encosta natural	
	Altura	--	Identificar em metros a altura aproximada da encosta ou talude
	Inclinação	--	Identificar em graus a inclinação aproximada da encosta ou talude
	Material predominante	Solo residual	Tópico com múltiplas opções de escolha, devendo ser consideradas todas as principais que caracterizem a área analisada.
		Solo residual maduro	
		Solo residual jovem	
		Aluvião	
		Lixo	
		Rocha alterada	
		Colúvio	
		Rocha sã	
		Tálus	
		Aterro	
		Solo sobre rocha	
	Presença de matacões	Sim	Em caso de resposta positiva, identificar a dimensão destes, em valores aproximados de metros cúbicos (campo numérico).
		Não	
	Condicionantes	Talude-casa	Tópico com múltiplas opções de escolha, devendo ser consideradas todas as principais que caracterizem a área analisada. Após a marcação da(s) opções, deverá ser indicado os seus respectivos valores aproximados em metros (campo numérico).
		Topo-talude	
		Largura do talude	
	Depósitos antrópicos	Aterro	Tópico com múltiplas opções de escolha, devendo ser consideradas àquelas que correspondem a área analisada. Após a marcação da(s) opções, deverá ser indicado a posição dos depósitos referente à encosta (topo, meio e base).
		Lixo	

		Entulho	Destaca-se que a opção "não aplicável" indica que não foram identificados depósitos antrópicos no local.
		Não aplicável	
		Deslizamento	Indicar se o movimento é planar, rotacional ou cunha
		Movimentos gravitacionais de queda livre	Identificar se o movimento corresponde à queda de blocos, rolamento, desplacamento ou tombamento.
		Outros	Identificar se o movimento corresponde a solapamento ou corrida de massa
		Não se aplica	Opção indicada em casos de não identificação de nenhum dos processos já listados. Caso haja algum diferente dos já citados, deve-se utilizar o campo "Observação sobre o processo" para descrevê-lo.
	Evidências de instabilidade	Trincas em moradias	Tópico com múltiplas opções de marcação, devendo ser consideradas aquelas que correspondem a área analisada. Caso apenas a opção "erosão" seja assinalada, deve-se indicar o tipo observado. Destaca-se que a opção "não aplicável" indica que não foram identificadas quaisquer feições de instabilidade no local.
		Muros inclinados	
		Trincas em muros	
		Vegetação/postes inclinados/tombados	
		Depósito de corrida de detritos	
		Trincas no terreno	
		Muros/paredes abaulados	
		Zonas de bloco "in situ"	
		Cicatrizes	
		Ângulos negativos	
		Erosão	
		Voçorocas	
		Sulcos	
		Ravinas	
		Não aplicável	
PRESENÇA DE ÁGUA	Condição da Drenagem	Concentração de água em superfície (enxurrada)	Tópico com opção única de marcação, devendo ser considerada aquela que corresponde a área analisada. Destaca-se que a opção "não aplicável" indica que não foram identificados quaisquer sinais de acúmulo de água no local.
		Lançamento de água servida em superfície	
		Não aplicável	
	Vazamento de tubulações	Água	Tópico com opção única de marcação, devendo ser considerada aquela que corresponde a área analisada. Destaca-se que a opção "não aplicável" indica
		Esgoto	
		Não se aplica	

			que não foram identificados quaisquer tipos de vazamentos no local.
	Sistema de drenagem superficial	Satisfatório	Tópico com opção única de marcação, devendo ser considerada àquela que corresponde a área analisada. Refere-se às condições do sistema de drenagem disponível (ou ausente) no local.
		Precário	
		Inexistente	
	Abastecimento de água	Água encanada	Tópico com múltiplas opções de marcação, devendo ser consideradas aquelas que correspondem a área analisada. Caso apenas a opção "outros" seja assinalada, deve-se indicar o tipo de abastecimento observado.
		Mina d'água	
		Poço, cisterna, cacimba	
		Outros	
	Surgência de água no talude	Sem mina aparente	Tópico com única opção de marcação, devendo ser considerada aquela que corresponde a área analisada.
		Topo do talude	
		Meio do talude	
		Pé do talude	
	Destino do esgoto	Canalizado	Tópico com múltiplas opções de marcação, devendo ser consideradas aquelas que correspondem a área analisada. Caso apenas a opção "outros" seja assinalada, deve-se indicar o tipo de descarte observado.
		Céu aberto	
		Fossa	
		Outros	
DELIMITAÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DE RISCO	GPS	--	Delimitação de polígono de risco através de ortofoto.
	Grau de risco	Muito alto	Tópico com única opção de marcação, devendo ser considerada a categorização do risco geológico atribuído com base nas informações coletadas durante vistoria.
		Alto	
		Monitoramento	
	Número de moradias em risco	--	Identificação do n° de edificações abrangidas dentro do polígono de risco. Destaca-se que a contagem é realizada a partir do n° de telhados observados na imagem.
	Intervenções Não-Estruturais	Sirenes	Tópico com múltiplas opções de marcação, devendo ser consideradas aquelas que correspondem a área analisada.
		Nudec	
		Sinalização e orientação	
		Educação e conscientização	

Assim, com o preenchimento inicial da Ficha Geológica de Campo, a anexação das fotografias georreferenciadas e a consolidação da análise, define-se o grau de risco e a delimitação do polígono de risco, últimos itens desta ficha. Os graus de risco dos setores delineados neste projeto foram atribuídos segundo a metodologia preconizada pelo IPT (2007), descrita no item 3.

De modo geral, aos cenários em que os condicionantes de risco a escorregamentos se manifestavam de forma mais crítica, foram delimitados os setores de risco muito alto a

escorregamento, a exemplo de locais com histórico de recorrência de deslizamentos e/ou movimentos de massa em queda livre com desabamentos e/ou óbitos, ou mesmo aquelas em que um conjunto de feições de instabilidade e de movimentação no terreno se fizeram presentes, de forma acentuada, com associação de edificações de vulnerabilidade estrutural elevada, dentre outros. Nesta classe, as condicionantes geológicas, o nível de intervenção antropogênica em encostas e taludes, e as vulnerabilidades estruturais das edificações apresentam-se como elementos condicionantes a configuração de locais de alta potencialidade à deflagração de novos deslizamentos, em estágio avançado e com potencial destrutivo.

Para as situações em que foram observadas características semelhantes ao descrito anteriormente, porém, associados a características menos prioritárias e críticas, e/ou feições menos desenvolvidas e/ou vulnerabilidades estruturais inferiores e/ou outras combinações de condicionantes relevantes que justifiquem uma atribuição de risco um grau abaixo do máximo, atribuiu-se a classe de alto risco a escorregamentos. Aqui, a combinação das condicionantes geológicas, dos níveis de intervenção antropogênica em encostas e taludes, e das vulnerabilidades estruturais das edificações também condicionam uma alta potencialidade à deflagração de deslizamentos com danos, embora seja possível, até certo ponto, o monitoramento da evolução das feições de instabilidade associadas.

Aos setores de monitoramento, associados ao grau de risco a escorregamentos mais baixo deste projeto, e correspondente ao agrupamento dos graus de risco intermediário e baixo estabelecidos pelo IPT (2017), encontram-se as situações em que os elementos condicionantes a deflagração de deslizamentos e/ou movimentos de massa em queda livre e/ou outros processos descritos na literatura, com atingimentos e possibilidade de danos, apresentam potencialidade baixa e média de desenvolvimento. Nestes setores são consideradas, por exemplo, situações em que feições de instabilidade observadas são incipientes, e/ou as edificações encontram-se a maiores distâncias dos taludes/encostas, com menores possibilidades de atingimento, e/ou trechos em que intervenções geotécnicas em taludes/encostas apresentam patologias estruturais que, em caso de evolução, podem configurar quadros de rompimento, dentre outros.

A visualização dos diferentes panoramas associados aos setores e as classificações de risco atribuídas a eles podem ser observadas, de modo geral, no item 5 deste relatório e nas Cartas de Risco a Escorregamentos e, de forma individual, por setor, nas Fichas Geológicas de Campo e nos Espelhos de Risco.

Posteriormente a definição do setor de risco e sua respectiva classe, e o envio da ficha descrita acima, Fichas de Campo de Engenharia foram preenchidas de modo a sugerir intervenções estruturais direcionadas a redução e mitigação dos riscos a escorregamentos pontuados nas Fichas Geológicas de Campo. Ressalta-se aqui que a Fichas de Campo de Engenharia (Figura 19) estão condicionadas aos setores de risco muito alto e alto, não sendo preenchidas para os setores de monitoramento.

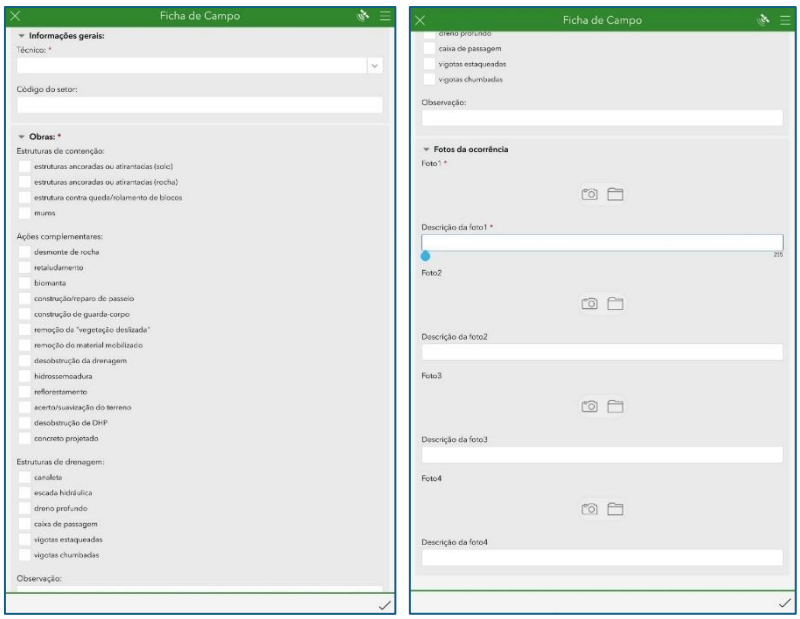


Figura 19: Modelo de Ficha de Campo de Engenharia utilizada para a proposição de intervenções geotécnicas que mitigassem os riscos atrelados aos setores.

Para a escolha assertiva dos tipos de obra mais aplicáveis ao setor e, por conseguinte, a realização das proposições de intervenções geotécnicas no local, foram evidenciados, em campo, fatores como a existência ou não de rupturas já deflagradas nas encostas/taludes, a presença de processos ainda ativos, o material associado, o contexto geológico e geomorfológico aos quais os setores se encontravam, dentre outros associados as dinâmicas e condicionantes presentes no local; somados a definição de critérios geotécnicos que garantissem a estabilidade dos taludes/encostas

em cada contexto analisado. Diferentes intervenções foram propostas, tais quais muros de contenção e estruturas ancoradas ou atirantadas, além de estruturas de drenagem como canaletas, escadas hidráulicas e vigotas estaqueadas, como observado na Tabela 06.

A remoção de moradias atrelada as condições estruturais das edificações não foram propostas como uma solução de mitigação de riscos neste projeto, a exceção de situações em que as mesmas se apresentassem como um elemento adicional de risco a outras edificações ali presentes e/ou a sua presença, de forma pontual, condicionasse a elevação do grau de risco do polígono. Vale destacar que as proposições geotécnicas contidas neste projeto são sugestivas, sendo possível a atribuição de outras técnicas e/ou obras para a mitigação dos riscos observados nos setores.

Tabela 06: Tópicos de preenchimento contidos na Ficha de Campo de Engenharia e os tipos de obras geotécnicas presentes.

	Campo	Opções	Subitens
INFORMAÇÕES GERAIS	Palavra-chave	--	Deve ser inserido o CPF do técnico
	Dados dos técnicos	Nome	Seleção dos nomes dos técnicos previamente disponibilizados
	Setor	N° do setor	Indicação do n° do setor referente a microbacia analisada
OBRAS	Estruturas de contenção	Estruturas ancoradas ou atirantadas (solo)	Cortina atirantada estaqueada
			Cortina atirantada chumbada
			Grelha atirantada
			Solo grampeado com face em concreto projetado
			Solo grampeado com face "verde"
		Estruturas ancoradas ou atirantadas (rocha)	Ancoragem de blocos chumbadores
			Contrafortes
			Tela chumbada
			Grelha atirantada
			Vigotas estaqueadas
		Estrutura contra queda/rolamento de blocos	--
		Muros	Muro de concreto armado em "L"
			Muro de concreto ciclópico
			Muro de blocos de concreto

			Muro de saco solo-cimento (rip-rap)
			Muro de pedra
			Muro de gabião
			Muro de solo reforçado
			Muro de concreto armado estaqueado
			Muro de concreto armado chumbado
			Muro de impacto
			Muro de concreto armado em "L" com base invertida
			Barreira dinâmica
	Ações complementares	Desmonte de rocha	--
		Retaludamento	
		Biomanta	
		Construção/reparo de passeio	
		Construção de guarda-corpo	
		Remoção da "vegetação deslizada	
		Remoção do material deslizado	
		Desobstrução da drenagem	
		Hidrossemeadura	
		Reflorestamento	
		Acerto/suavização do terreno	
		Desobstrução de DHP	
		Concreto projetado	
	Estruturas de drenagem	Canaletas	--
		Escada hidráulica	
		Dreno profundo	
		Caixa de passagem	
		Vigotas estaqueadas	
		Vigotas chumbadas	

Ainda, direcionados aos setores de riscos muito alto e alto, foram obtidas fotografias aéreas que abrangessem todo o polígono delineado, sob uma perspectiva oblíqua, ou seja, capturas de imagens em ângulos inclinados, possibilitando uma visualização de detalhes não perceptíveis em fotografias verticais e a representação de profundidade e tridimensionalidade; estas imagens foram inseridas, com delimitação do setor, nos Espelhos de Risco.

A atuação técnica descrita até então se dá em uma conjuntura em que os técnicos, ao

chegarem no ponto de referência para análise, se depararam com locais em que são identificadas feições de instabilidade e/ou processos, e que há a necessidade de avaliação e definição de um setor de risco a escorregamento. As situações em que os pontos estiveram associados a áreas não enquadradas nestas condições, locais ausentes de feições ou elementos que indicassem movimentações no terreno, ou áreas com a presença deles, porém sem possibilidades de atingimento e danos a indivíduos e edificações, foram catalogadas neste projeto, a partir da Ficha de Não-Ocorrência (Figura 20).

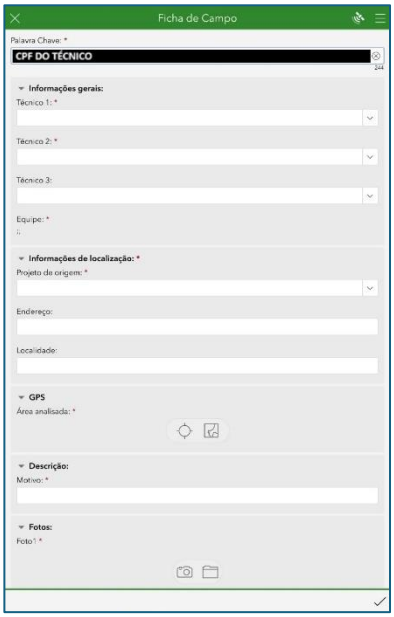


Figura 20: Modelo de Ficha de Não Ocorrência utilizada no projeto.

Nestas fichas, constam lacunas de preenchimento de identificação geral e de localidade (Tabela 07), com a indicação dos técnicos atuantes e a localidade a qual o ponto está inserido. Há ainda, um campo em que permite a coleta da coordenada geográfica do local, possibilitando a localização espacial precisa do ponto definido como de "não ocorrência". O motivo ao qual este ponto foi apontado como de "não ocorrência" também deve ser descrito, assim como o registro fotográfico, com legenda, que caracterize o local e/ou a inexistência de feições de instabilidade no terreno; todos os campos aqui descritos são obrigatórios.

Tabela 07: Tópicos de preenchimento contidos na Ficha de Não Ocorrência.

	Campo	Opções	Orientações de preenchimento
INFORMAÇÕES GERAIS	Palavra-chave	--	Deve ser inserido o CPF do técnico para que haja o preenchimento da ficha
	Dados dos técnicos	Nome	Seleção dos nomes dos técnicos previamente disponibilizados
		Código das Iniciais	Seleção dos códigos previamente definidos com as iniciais de nome/sobrenome dos técnicos.
INFORMAÇÕES DE LOCALIZAÇÃO	Endereço	--	Indicar o logradouro
	Localização	--	Indicar o bairro ou a localidade indicada pelos moradores.
GPS	Área analisada	--	Tópico com escolha de marcação única.
DESCRIÇÃO	Motivo	--	Explicação de qual o motivo para o referido ponto ser considerado uma não ocorrência.

Os dados adquiridos em campo, com preenchimento das diferentes fichas descritas neste item, foram documentados em tempo real a partir da utilização de plataforma integrada em dispositivo eletrônico compatível. A ferramenta possibilitou a automatização do registro de dados, preconizando uma maior rapidez e eficiência na gestão da aquisição em campo, e a eliminação das possibilidades de perda de informações entre o campo e o escritório.

4.3 Terceira Etapa: Fase Pós-Campo

Etapa posterior ao mapeamento em campo, destinada a compilação, análise dos dados adquiridos e revisão, além da confecção e organização dos produtos previstos, a citar as Cartas de Risco a Escorregamentos e seus documentos acessórios (Espelhos de Risco, Fichas de Campo e imagens orbitais/ortofotos digitais com polígonos de risco georreferenciados), as Cartas de Localização dos Setores de Risco a Escorregamentos, o Banco de Dados Fotográficos e o Banco de Dados Espacial (*Geodatabase*), como será detalhado no item 4.3.3. Além destes produtos, foi elaborada a tabela de hierarquização dos setores de risco, descrito no item 4.3.1, e a organização e

execução do Workshop Final de entrega do projeto. Ressalta-se que o presente documento, o Relatório Técnico Final, consiste em um dos produtos obrigatórios de entrega da Cartografia de Risco a Escorregamentos no município de Petrópolis, constando aqui uma das exigências de entrega do projeto.

4.3.1 Hierarquização dos setores de riscos

A hierarquização dos setores de risco a escorregamentos foi implementada neste projeto objetivando a classificação direcionada para o estabelecimento de uma ordem de prioridade dos setores a serem contemplados por intervenções e medidas, estruturais e/ou não estruturais, que minimizem e/ou mitiguem os riscos associados. Trata-se de um produto crucial para a gestão de risco a escorregamentos no município de Petrópolis, se tornando um importante instrumento norteador a ser utilizado para as futuras tomadas de decisão vinculadas a redução, minimização e mitigação dos riscos associados aos setores aqui classificados como risco alto e muito alto.

Para tanto, utilizou-se como critério de definição de escala de prioridade o grau de risco atribuído aos setores, somado ao número de edificações e o quantitativo de indivíduos expostos ao dado risco. Ou seja, quanto maior for o risco a escorregamentos e o número de edificações inseridas no setor, maior será o grau de prioridade. A obtenção de um valor que caracterizasse o número de indivíduos por edificação ocorreu com base na média de moradores por município do último Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022, sendo considerado uma média de 2,79 moradores por cada unidade de edificação.

O resultado da implementação desta hierarquização resultou em uma tabela geral, considerando os setores de todo o município de Petrópolis, com os seguintes atributos: hierarquia, código do setor, endereço, localidade, grau de risco, número de edificações, número de pessoas em risco e coordenadas geográficas. Vale ressaltar que, em decorrência do curto período para a execução do projeto e o vultoso número de produtos a serem gerados, adotou-se como estratégia de execução a confecção das Cartas de Risco em concomitância com a finalização das análises em campo, por área, impossibilitando a inserção da Tabela de Hierarquização neste produto.

4.3.2 Workshop final

O Workshop Final, previsto em Edital, foi realizado no dia 22 de novembro de 2024, com a presença de representantes do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro (MPRJ) e do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), do Secretário Municipal de Defesa Civil de Petrópolis, do atual prefeito eleito no município, de integrantes do Núcleo de Defesa Civil (NUDEC) do Vale do Cuiabá e de alguns dos membros da equipe técnica executora do projeto (Figuras 21 A e B).

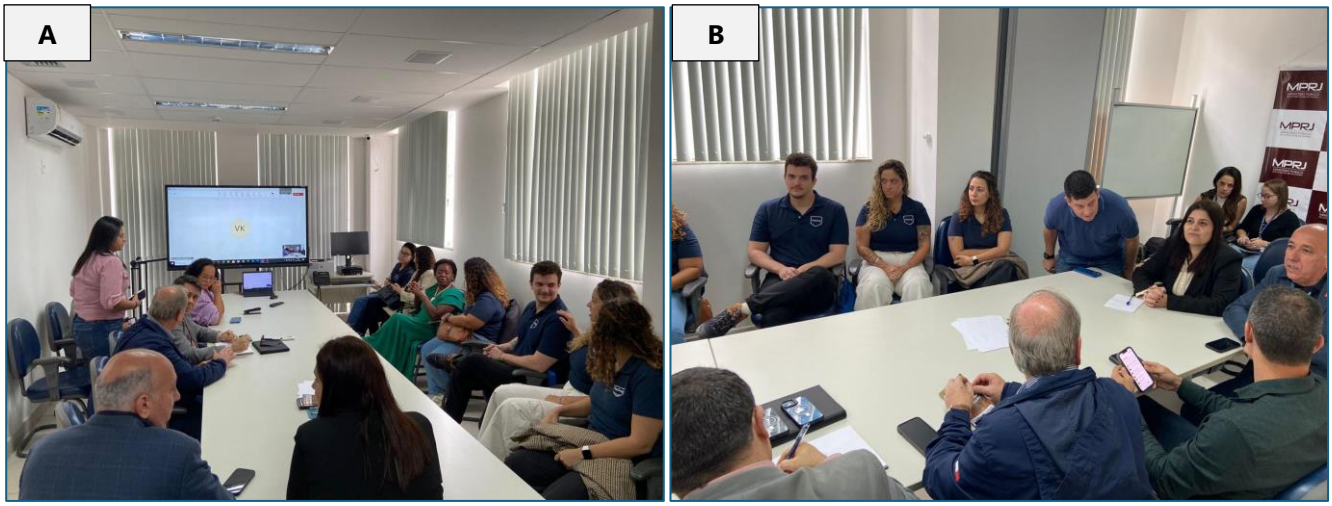


Figura 21: Workshop final realizado na sede de Petrópolis do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro.

Para tanto, o evento conduzido pela Thalweg, se deu de forma educativa e consistente, com a transmissão dos elementos informativos e técnicos utilizados no mapeamento e diagnóstico de risco, explicando, no detalhe, passo a passo de toda a execução do serviço prestado, além da metodologia, dos números indicadores adquiridos com a execução do projeto (importantes dados para a gestão do município), das possibilidades de execução de intervenções estruturais e não estruturais de locais apontados pela equipe de engenharia, com exemplos práticos de áreas mapeadas neste projeto.

E, assim necessária uma imediata atuação novas atuações em um contexto de gestão de risco a desastres, visto se tratar de um projeto que levou ao fornecimento de dados em escala de detalhe e em significativo volume ao longo de todo município, e da possibilidade de continuidade do

mapeamento por parte dos técnicos da Defesa Civil, visto que os processos geológicos são dinâmicos e que é necessário uma imediata atuação, em diferentes âmbitos, nos pontos críticos sinalizados e a constante atualização destes produtos.

4.3.3 Produtos

A execução do mapeamento de risco a escorregamentos nos cinco Distritos do município Petrópolis, junto a todas as etapas previstas no cronograma de execução deste projeto, viabilizaram a elaboração dos produtos intrínsecos à entrega da Cartografia de Risco a Escorregamentos, conforme o conjecturado no Edital CO Nº 002/2022. A seguir, os produtos em questão serão elencados e especificados de modo a exemplificar, ilustrativamente, o arranjo e a composição destes. Atenta-se para o fato de que todos os produtos citados neste item constam de forma clara, específica e em formato de melhor visualização em arquivo digital entregue ao DRM-RJ, não constando nos Anexos deste relatório, como previsto em Edital, em decorrência do elevado volume de produtos gerados no projeto e a inviabilidade de anexação destes em um único arquivo digital (elevado tamanho do arquivo digital final). A seguir, a enumeração dos produtos confeccionados:

a) Mapas e Tabelas Inventário (Preliminar e Final): Produto suporte confeccionado anteriormente ao mapeamento de campo, como descrito no item 4.1.1, em que há um compilado de dados sobre escorregamentos (histórico) ocorridos nos cinco Distritos do Município de Petrópolis (Figuras 22 e 23). Produtos individualizados constam no arquivo digital entregue ao DRM-RJ.

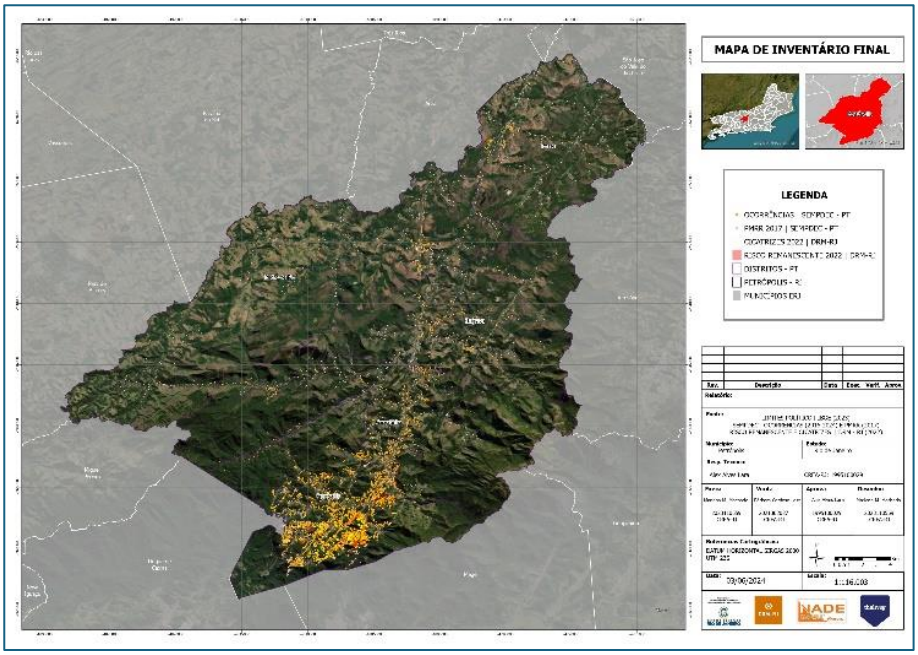


Figura 22: Mapa Inventário Final com a presença de pontos de ocorrência e polígonos de riscos georreferenciados associado ao histórico de escorregamentos no município.

thalweg

Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia
Rua Acadêmico Walter Gonçalves, no 1, Grupo 901, Centro, Niterói-RJ. CEP: 24.020-290 / (21) 2628-0404

Tabela 1. Produto referente aos dados de inventários. Recebidos pelas instituições como Defesa Civil de Petrópolis (SEMPDEC) e DRM-RJ.

ID_THALWEG	Categoria	Origem	Distrito	Coord_X	Coord_Y
1	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	685629	7511966
2	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	688016	7513628
3	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	692320	7519885
4	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684881	7509341
5	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684717	7511376
6	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	688681	7510064
7	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684892	7510449
8	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	685385	7512090
9	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	685387	7512088
10	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683059	7508311
11	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	682111	7518100
12	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683421	7508079
13	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684918	7505601
14	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682518	7506849
15	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	690312	7513422
16	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682838	7507149
17	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683883	7505816
18	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683883	7505816
19	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	683186	7505477
20	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	689224	7511648
21	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Posse	698709	7538130
22	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	691256	7516365
23	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682383	7505847
24	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	690326	7513468
25	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	682483	7507056
26	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	689510	7508144
27	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Itaipava	688749	7522230
28	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	684737	7507647
29	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	692809	7519687
30	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Cascatinha	681827	7518566
31	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Itaipava	695199	7521123
32	Ocorrências de Risco Geológico 2015-2024	SEMPDEC-PT	Petrópolis	690159	7510052

Figura 23: Tabela Inventário Final com atributos associados a estes pontos e polígonos.

b) Ortofotos digitais: Produto gerado a partir do imageamento dos setores de risco deste projeto, através de sobrevoos de drone realizados ao longo deste projeto, no ano de 2024 (Figura 24). As ortofotos foram utilizadas para a delimitação dos polígonos dos setores analisados, estando

contidas, portanto, nos espelhos e cartas, além de seu armazenamento em formato Tiff/Geotiff no Banco de Dados (*Geodatabase*) entregue.

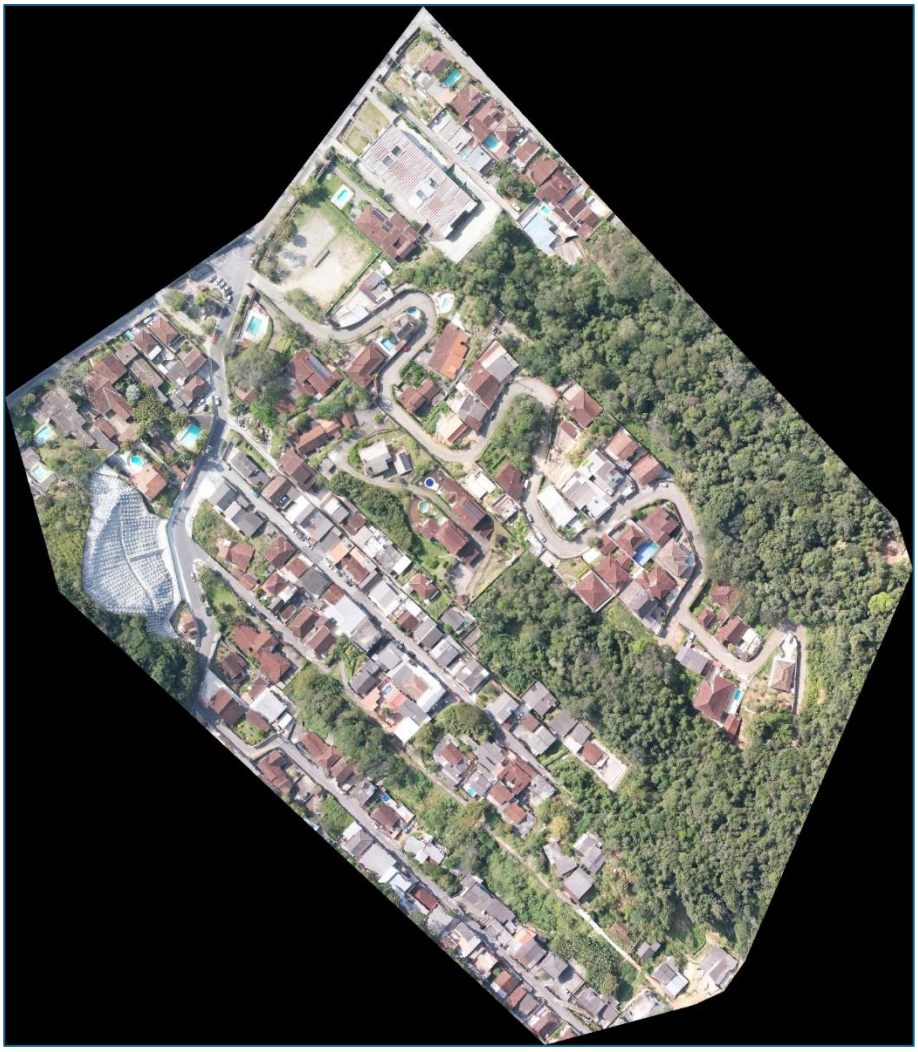


Figura 24: Ortofoto digital gerada a partir da captura de imagens em sobrevoo de drone na localidade Castelanea, 1° Distrito (IA_PT_D1_CASTELANEA_02_DSD_DSD_174).

c) Fichas de Campo: Produto preenchido ao longo da análise técnica em campo, como citado no item 4.2.5, em que há a descrição individual dos setores de risco identificados e as características que fundamentaram a análise, nas Fichas Geológicas (Figura 25), sugestão de intervenções geotécnicas nas Fichas de Engenharia (Figura 26), e descrições pertinentes a definição e justificativa de pontos de interesse identificados como de não ocorrência e ausência de delimitação de setores de risco, nas Fichas de Não Ocorrência (Figura 27). A Fichas de Campo individualizadas e

correlacionadas a cada um dos setores delimitados neste projeto constam no arquivo digital entregue ao DRM-RJ.

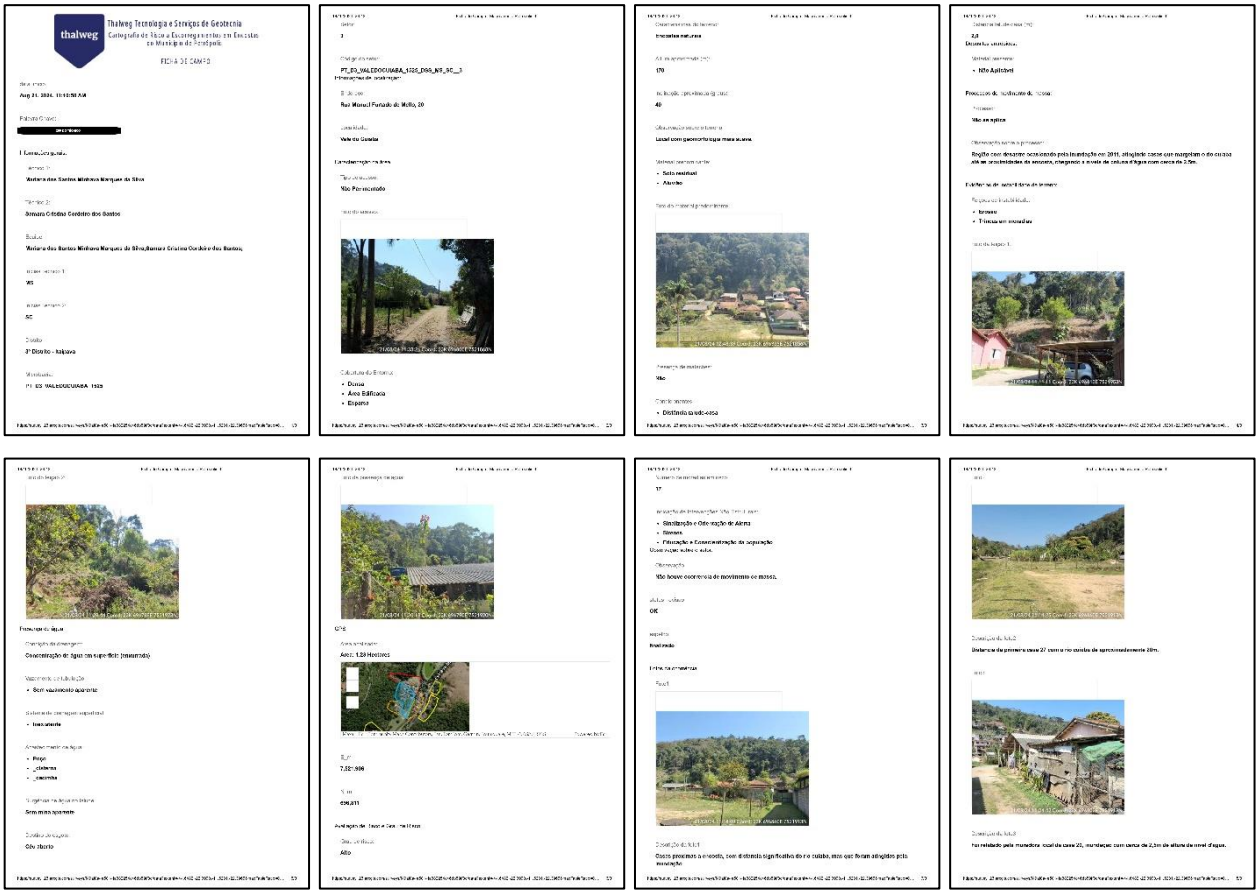


Figura 25: Exemplo de ficha de campo (Ficha Geológica) preenchida, na localidade do Vale do Cuiabá, 3° Distrito.

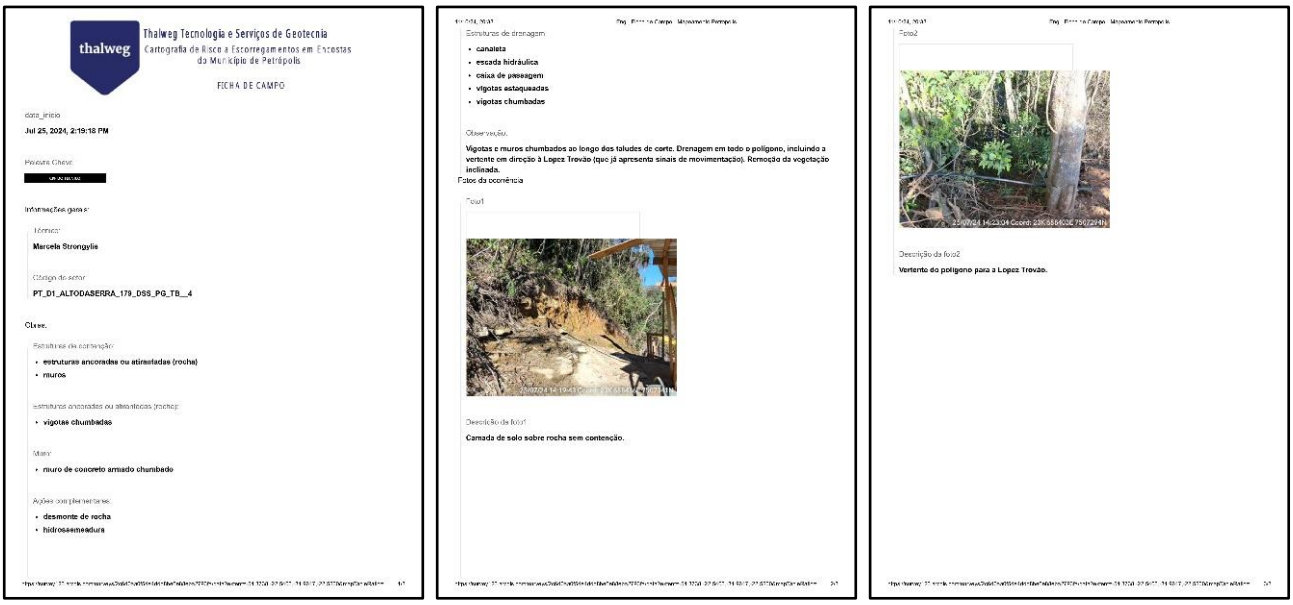


Figura 26: Exemplo de ficha de campo (Ficha de Engenharia) preenchida, na localidade Alto da Serra, 1° Distrito.

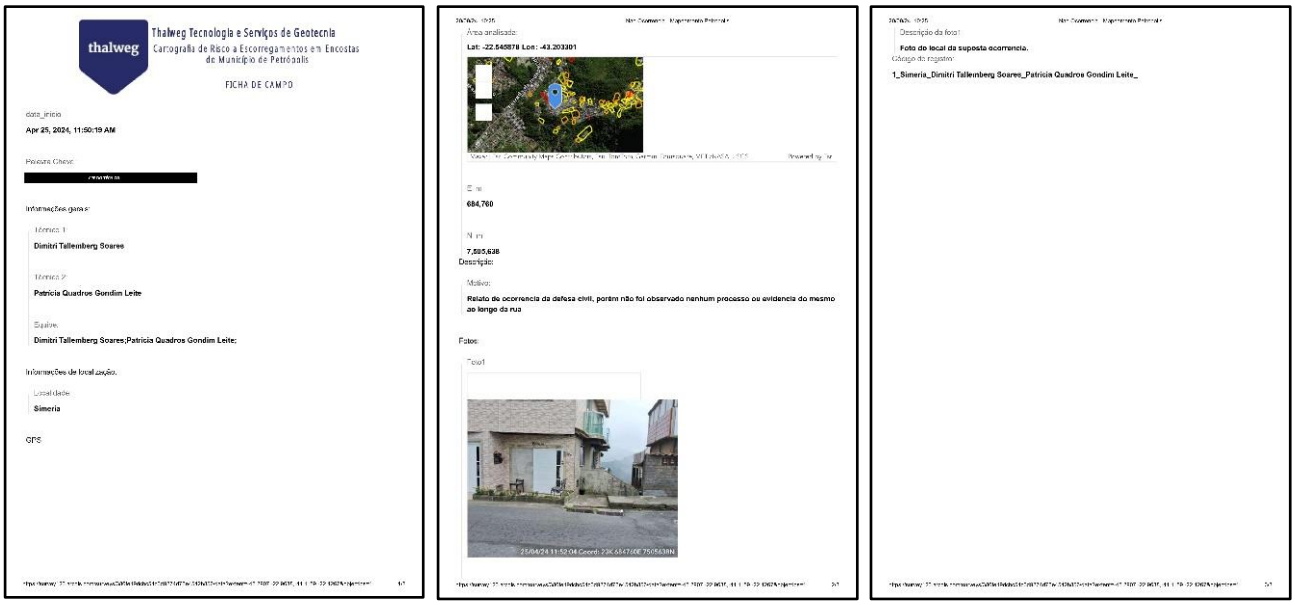


Figura 27: Exemplo de ficha de campo (Ficha de Não Ocorrência) preenchida, na localidade Siméria, 1° Distrito.

d) Espelhos de Risco: Produto gerado para cada um dos setores classificados como risco muito alto e alto a escorregamentos, em que constam (Figura 28): localização e descrição do setor analisado, incluindo o grau de risco, fotografia oblíqua com a delimitação da área de risco, fotografias *in loco*, desenho esquemático em planta e em perfil, recomendações de concepção de intervenção, todas as informações em conformidade com a Ficha de Campo associada. Os Espelhos de Risco

individualizados e correlacionados a cada um dos setores delimitados neste projeto constam no arquivo digital entregue ao DRM-RJ.

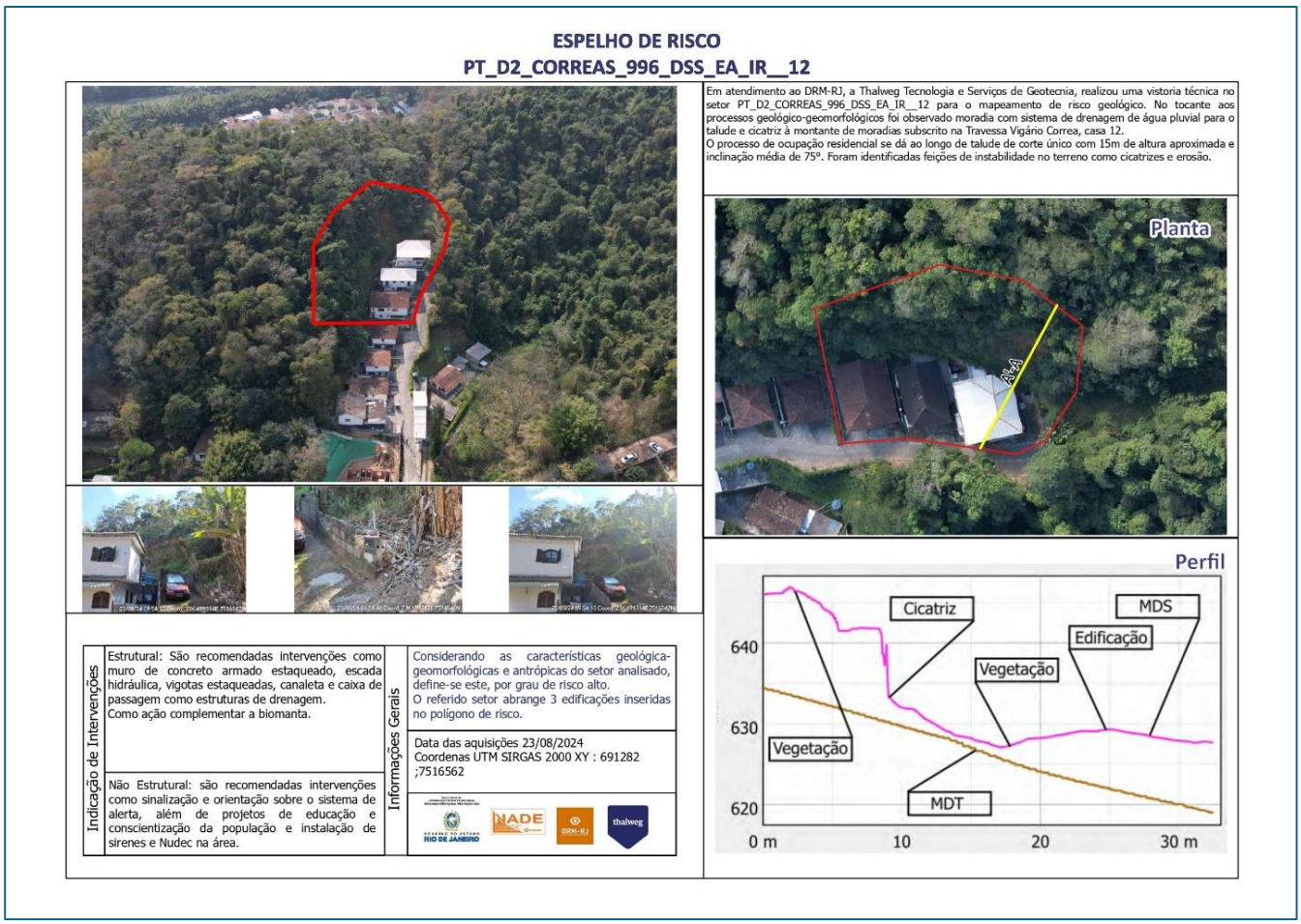


Figura 28: Espelho de Risco de setor classificado como alto na localidade de Corrêas, 2° Distrito. Detalhe para: delimitação do setor em imagem oblíqua com descrição e fotografias *in loco*; imagem em nadir com a delimitação da área de risco; desenho esquemático em perfil do setor de risco; indicações de intervenções e informações gerais.

e) Carta de Localização dos Setores de Risco a Escorregamentos: Produto objetiva a localização e distribuição dos setores em cada um dos cinco Distritos do Município de Petrópolis, possibilitando uma visão geral da cartografia de risco a escorregamentos de forma individualizada, ou seja, por Distrito (Figura 29). As Cartas de Localização dos Setores de Risco a Escorregamentos produzidas neste projeto encontram-se no arquivo digital entregue ao DRM-RJ.

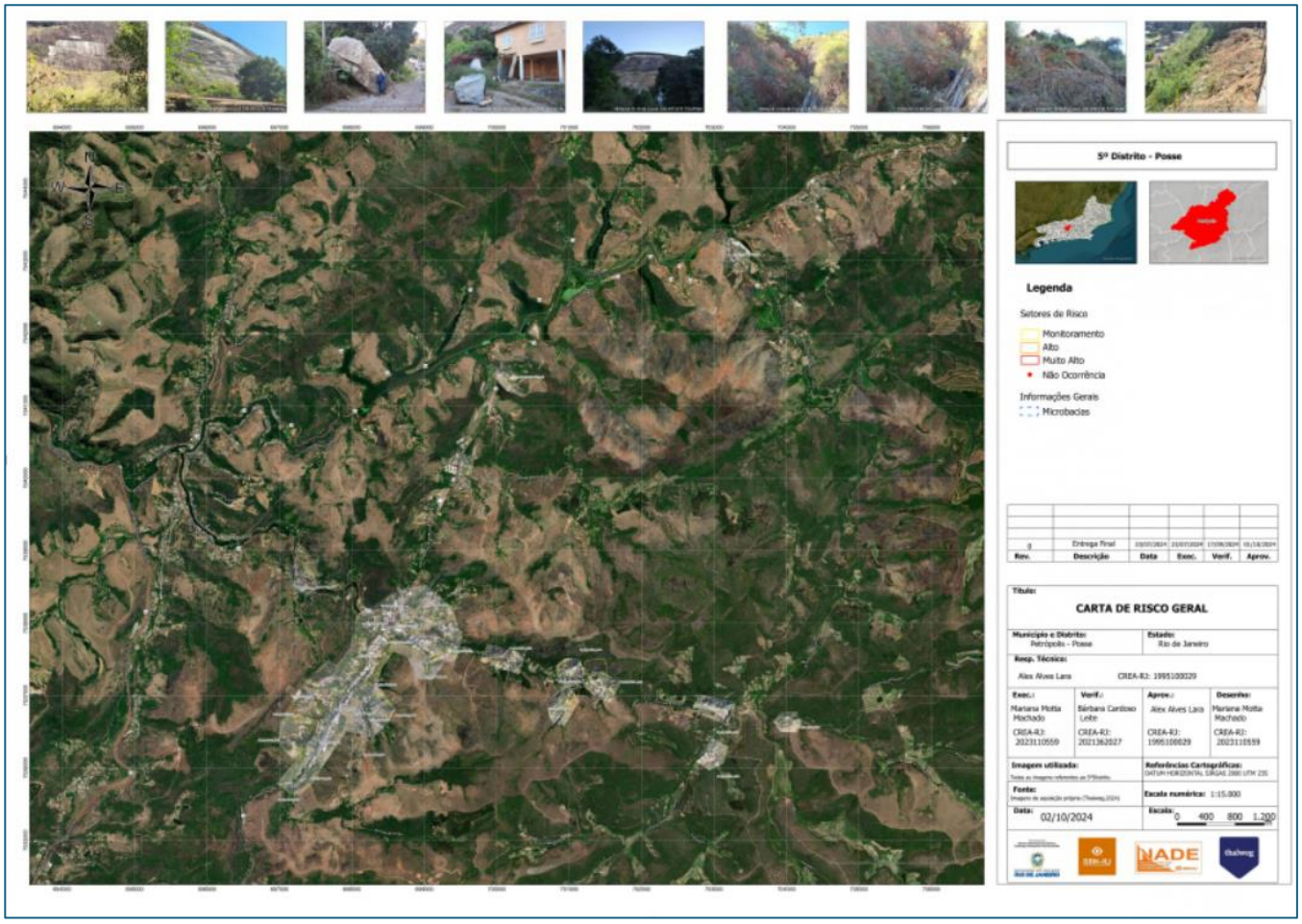


Figura 29: Carta de Risco a Escorregamentos do 5° Distrito. Detalhe para: delimitação dos setores de risco de graus muito alto e alto mapeados e, fotografias aéreas com ilustração dos setores de maior risco e suas delimitações.

f) Cartas de Risco a Escorregamentos: Produto cartográfico que expõe os setores de risco a escorregamentos, em escalas maiores a 1:2.000, a depender do melhor enquadramento em uma folha A3 ou A4, como solicitado no Edital. Observa-se, neste produto (Figura 30), a representação dos setores de forma georreferenciada em que seus graus de risco são distinguidos pelas cores pré-estabelecidas (muito alto – vermelho; alto – laranja), além de elementos cartográficos inerentes ao tipo de produto técnico. As Cartas de Risco a Escorregamentos produzidas neste projeto encontram-se no arquivo digital entregue ao DRM-RJ.

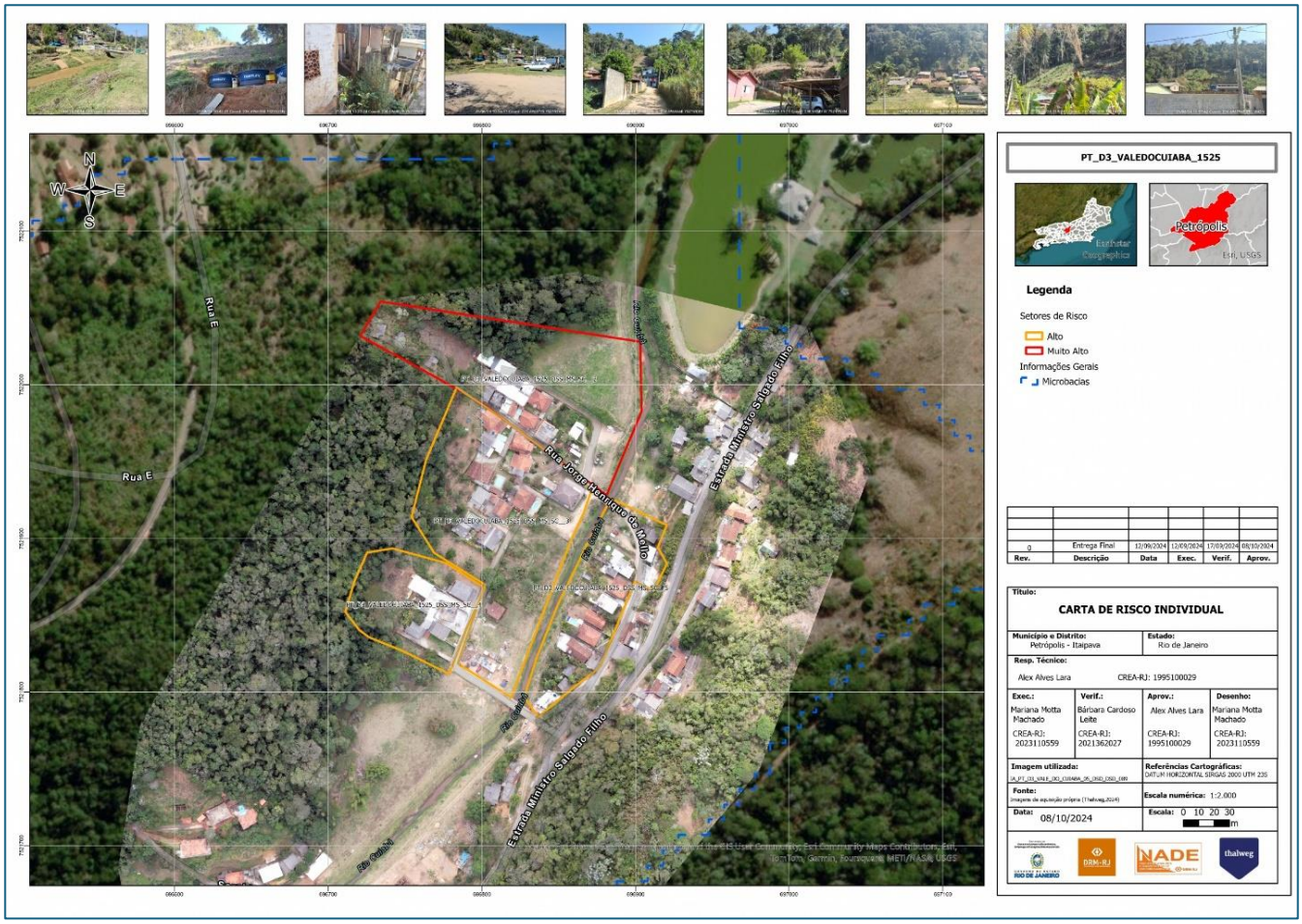


Figura 30: Carta de Risco a Escorregamento com a representação dos setores analisados na localidade Vale do Cuiabá, próximo à Rua Jorge Henrique de Mello, no 3° Distrito (CR_PT_D3_VALEDOCUIABA_1525). Detalhe para os polígonos de risco muito alto (vermelho) e alto (laranja) em ortofoto e, na porção superior da carta, fotografias representativas dos setores ali representados.

g) Banco de Dados Fotográficos: Acervo fotográfico correspondente as análises realizadas no presente projeto; as fotografias dão ênfase aos importantes elementos que levaram a conclusão do grau de risco de cada setor. As fotografias deste banco de dados apresentam as coordenadas geográficas associadas ao local as quais foram tiradas.

h) Banco de Dados Espacial (*Geodatabase*): Banco de dados relacional com a finalidade de armazenar dados espaciais e seus atributos, relativos a todos os dados gerados ao longo da execução da Cartografia de Risco a Escorregamento do município de Petrópolis. Foi utilizado o modelo *Geodatabase*, oriundo do *software* ArcGIS, que possibilitou o armazenamento do grande volume de dados gerado no mapeamento.

i) Tabela de Hierarquia: Tabela de hierarquização dos setores delineados no presente projeto em que foram considerados: os setores de todo o município de Petrópolis, os graus de risco atribuídos a estes, e o número de edificações e de pessoas sob tais riscos.

4.4 Cronograma de execução

O Cronograma de Execução do projeto foi ajustado e remodelado ao longo da implementação do mesmo em decorrência das variações climáticas observadas no período de execução que, por muitas vezes, impossibilitaram a atuação em campo. Ademais, conforme o andamento do projeto, criou-se estratégias de atuação para que fossem minimizados os impactos de eventuais transtornos ocorridos na execução, o que é normal em um contexto de projeto que envolva gerenciamento de pessoas, de deslocamento, de equipamentos, de atuação em campo e de fatores dinâmicos, não previsíveis, como o clima.

Destaca-se, no entanto, que a possibilidade de ocorrência destas variações já havia sido mapeada pela equipe executora como um fator de risco na cronologia de execução e, por isso, não afetaram a perfeita entrega dos produtos dentro do prazo final previsto. A seguir, na Tabela 08, o Cronograma de Execução real do projeto com o *status* das entregas após a finalização do projeto.

Tabela 08: Cronograma de execução de atividades previstas no desenvolvimento do projeto Cartografia de Risco a Escorregamentos no Município de Petrópolis com a discriminação das atividades, porcentagem da finalização destas e distribuição temporal de execução.

N°	Atividade	Exec (%)	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
1	Levantamento de dados básicos	100	■					
2	Preparo de material da Oficina Técnica	100	■					
3	Entrega: Tabela e Mapa Inventário Preliminar	100	■					
4	Realização de Oficina Técnica	100	■					
5	Entrega: Tabela e Mapa Inventário Final	100	■					
6	Entrega: Lista de Presença (Oficina Técnica)	100	■					
7	Reconhecimento geral do município	100		■	■	■	■	■
8	Mapeamento de campo - 5° Distrito	100		■	■	■	■	■
9	Mapeamento de campo - 4° Distrito	100		■	■	■	■	■
10	Mapeamento de campo - 3° Distrito	100		■	■	■	■	■
11	Mapeamento de campo - 2° Distrito	100		■	■	■	■	■
12	Mapeamento de campo - 1° Distrito	100		■	■	■	■	■
13	Obtenção de imagens orbitais/ortofotos digitais	100	■	■	■	■	■	■
14	Elaboração de Espelho - 5° Distrito	100		■	■	■	■	■
15	Elaboração de Espelho - 4° Distrito	100		■	■	■	■	■
16	Elaboração de Espelho - 3° Distrito	100		■	■	■	■	■
17	Elaboração de Espelho - 2° Distrito	100		■	■	■	■	■
18	Elaboração de Espelho - 1° Distrito	100		■	■	■	■	■
19	Elaboração das Cartas de Risco - 1° e 2° Distritos	100				■	■	■
20	Elaboração das Cartas de Risco - 3° e 4° Distritos	100				■	■	■
21	Elaboração das Cartas de Risco - 5° Distritos	100				■	■	■
22	Elaboração Cartas de Localização dos Setores (por Distritos)	100				■	■	■
23	Criação do Banco de Dados Espacial	100		■	■	■	■	■
24	Organização do Banco de Dados Fotográficos	100				■	■	■
25	Entrega de Cartas de Risco e documentos para aprovação	100					■	■
26	Preparação de Workshop Final	100					■	■
27	Entrega: Lista de Presença (Workshop Final)	100					■	■
28	Elaboração de Relatório Técnico Final	100					■	■
29	Entrega final dos produtos do projeto	100						■

5. RESULTADOS

O presente tópico será dedicado a apresentação dos resultados obtidos a partir da execução, em sua totalidade, da Cartografia de Risco a Escorregamento nos cinco Distritos do município de Petrópolis. Para tanto, este será subdividido em itens nos quais, inicialmente, serão descritos os resultados em uma visão mais abrangente, sob a perspectiva do município como um todo e uma comparação espacial geral entre os seus Distritos e, por conseguinte, uma análise mais específica por Distrito haja visto as peculiaridades e características geológicas, geomorfológicas e de ocupação atreladas a cada um, o que condiciona os diferentes cenários, tipos de movimentos gravitacionais de massa e riscos associados e observados durante a execução do projeto.

5.1 Setores de risco: visão geral

Com a aplicação da metodologia descrita no item 3 e o desenvolvimento do projeto descrito no item 4, a partir da caracterização, avaliação e apontamento das áreas de risco a escorregamentos no município de Petrópolis, obteve-se um total de 1755 setores de risco ao final deste projeto, dos quais 218 foram classificados como de risco muito alto, 543 como risco alto e 994 como setores de monitoramento. Associadas aos mesmos, foram contabilizadas 1938, 4433 e 8813 edificações sob a influência destes riscos, respectivamente, expressando-se em um número elevado de edificações (Tabela 09) e, consequentemente, de habitantes sob riscos a escorregamentos.

Ao observar estes números, reafirma-se que a ocupação no município de Petrópolis se desenvolveu sobre terrenos de aspectos geológicos, geotécnicos e geomorfológicos desfavoráveis à ocupação, estando uma considerável porção de seu território associada a condições que favorecem a deflagração de deslizamentos, com a predominância de terrenos suscetíveis à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

Tabela 09: Relação de setores de risco muito alto, alto e setores de monitoramento, por Distrito, delineados no projeto, com destaque aos atributos: número total de setores delineados em cada classe, a área territorial total abrangida por cada classe e edificações contabilizadas sob estes riscos.

Distrito	Classe de risco	N° de setores (unid)	Área total (ha)	N° de edificações (unid)	N° de pessoas em risco
1° - Petrópolis	muito alto	185	89,96	1.470	4.101
	alto	433	141,05	3.124	8.715
	monitoramento	744	276,14	6.483	18.087
	TOTAL	1.362	507,15	11.077	30.904
2° - Cascatinha	muito alto	26	20,11	291	812
	alto	68	45,05	761	2.123
	monitoramento	135	84,48	1.336	3.727
	TOTAL	229	149,64	2.388	6.662
3° - Itaipava	muito alto	6	20,06	170	474
	alto	20	85,89	286	798
	monitoramento	45	51,35	419	1.169
	TOTAL	71	157,30	875	2.441
4° - Pedro do Rio	muito alto	0	0	0	0
	alto	14	5,28	119	332
	monitoramento	41	20,47	295	823
	TOTAL	55	25,75	414	1.155
5° - Posse	muito alto	1	0,91	7	20
	alto	8	14,77	143	399
	monitoramento	29	16,25	280	781
	TOTAL	38	31,93	430	1.200

A relação dos setores e dos atributos descritos acima (Tabela 09) apresenta-se de forma mais detalhada na tabela de Hierarquização dos Setores (arquivo digital entregue ao DRM-RJ), evidenciando a predominância, no 1° Distrito, de polígonos com classes elevadas de risco e, por conseguinte, uma considerável exposição de edificações sob estes riscos, configurando um cenário de maior prioridade e hierarquias superiores. O setor com abrangência de maior número de casas e, consequentemente, de habitantes em risco, por exemplo, foi delimitado em Retiro (1° Distrito), como pode ser observado na Tabela de Hierarquização de Risco. Por outro lado, seguindo a lógica de hierarquização destes setores, em ordem decrescente, cita-se polígonos destacados em Posse (5° Distrito), Madame Machado (3° Distrito) com a abrangência de mais de 100 edificações sob os riscos

de grau alto e muito alto, evidenciando que os cenários mais críticos e de elevada relevância não estão restritos e condicionados ao território do Distrito de Petrópolis.

O mapa a seguir (Figura 31) evidencia a distribuição espacial dos setores de risco analisados em todo o município, a partir de uma representação gráfica geral em que os polígonos vermelhos, laranjas e amarelos representam, respectivamente, os setores de risco muito alto, alto e de monitoramento. Nota-se a maior concentração de setores de risco a escorregamentos no 1° Distrito (Petrópolis), com polígonos expressivos de risco muito alto e alto, onde encontra-se parte vultosa da população do município e, por conseguinte, no 2° Distrito (Cascatinha), em menor expressão.

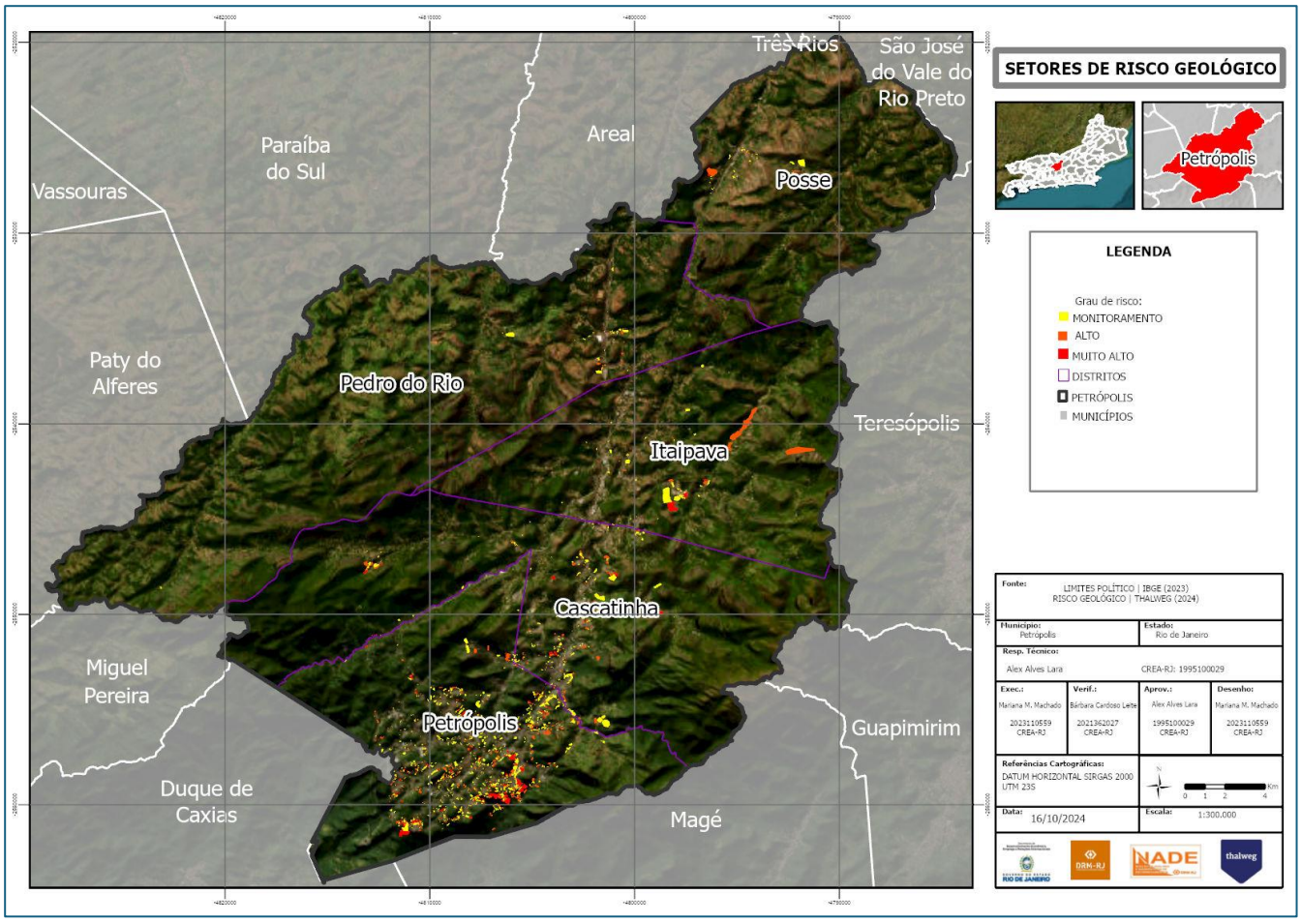


Figura 31: Mapa evidencia distribuição espacial dos setores de muito alto, alto e monitoramento, delineados no projeto, ao logo de todo o município de Petrópolis.

Ainda, é válido citar a porção leste do 3° Distrito (Itaipava), onde são observados os maiores polígonos, em área, de risco muito alto e alto associados a grandes processos como os fluxos de

detritos abrangendo diversos trechos do Vale do Cuiabá, ocorridos em 2011, e processos de movimentos gravitacionais em queda livre de corpos rochosos ao longo de um maciço rochoso na Estrada do Cantagalo, também no Vale do Cuiabá. Ao sobrepor este mesmo mapa ao de precipitação média no período compreendido entre os anos de 2018 e 2023, exposto no item 2.3.4 deste relatório (Figura 07), pode ser observado que nestes mesmos distritos há, de forma recorrente, uma maior concentração pluviométrica no período em questão, condicionante importante na movimentação de terrenos e deflagração de escorregamentos.

As características e condicionantes geológicas e geomorfológicas, feições de instabilidade e outras perspectivas do entorno observadas nos setores também devem ser evidenciados, de modo a exemplificar e se obter uma perspectiva geral do que foi visto no município. Quanto a morfologia do terreno associada aos setores de risco definidos neste projeto (na ficha de campo identificada como "cracterística do terreno"), foram observadas encostas naturais, taludes de corte único e de cortes múltiplos, sendo este último predominante e associado a mecanismos de modificação no terreno sob uma perspectiva de ocupação residencial (Figura 32).

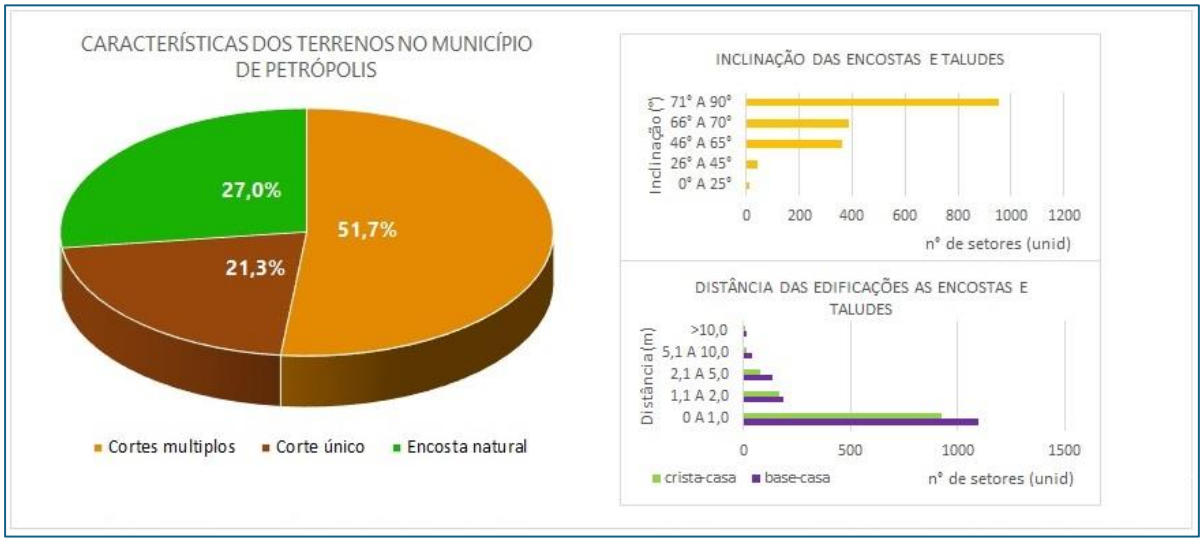


Figura 32: Gráfico demonstrando a relação das morfologias de terrenos associada aos setores de risco a escorregamentos identificados no projeto.

Todos os taludes de corte (único e múltiplos) analisados apresentaram alturas iguais ou superiores a 2 metros, com inclinações de 20° a 90° (98% dos cortes com inclinações superiores a 45°), e proximidade de edificações as suas bases (distância talude-casa) e as suas cristas (distância

topo do talude-casa) variando de nula a oito metros (Figura 32). Para as encostas naturais, foram observadas alturas de até 340 metros, inclinações superiores a 30° e proximidade as edificações, relativas as bases e cristas, variando de 0 a 60 metros e de 0 a 20 metros, respectivamente.

De modo geral, a cobertura vegetal do entorno associada a estas morfologias, sobre as quais áreas edificadas foram configuradas, aparecem conforme as seguintes recorrências: vegetação esparsa observada em mais de 990 setores analisados (56,52% dos setores), seguidos das espécies rasteiras em 695 setores (39,6% dos setores), havendo ainda aqueles caracterizados por taludes com predomínio de solo exposto associados a 527 setores (30,03% dos setores) e até cobertura vegetal densa em 617 setores (35,16% dos setores); áreas de cultivo foram pouco expressivas, aparecendo em apenas 10 dos setores (0,57%) (Figura 33). Atenta-se ao fato de que as coberturas vegetais foram inseridas segundo observação da área em análise, podendo ser adicionadas mais de um tipo de cobertura a um mesmo setor, o que justifica o somatório das porcentagens ser superior a 100%.

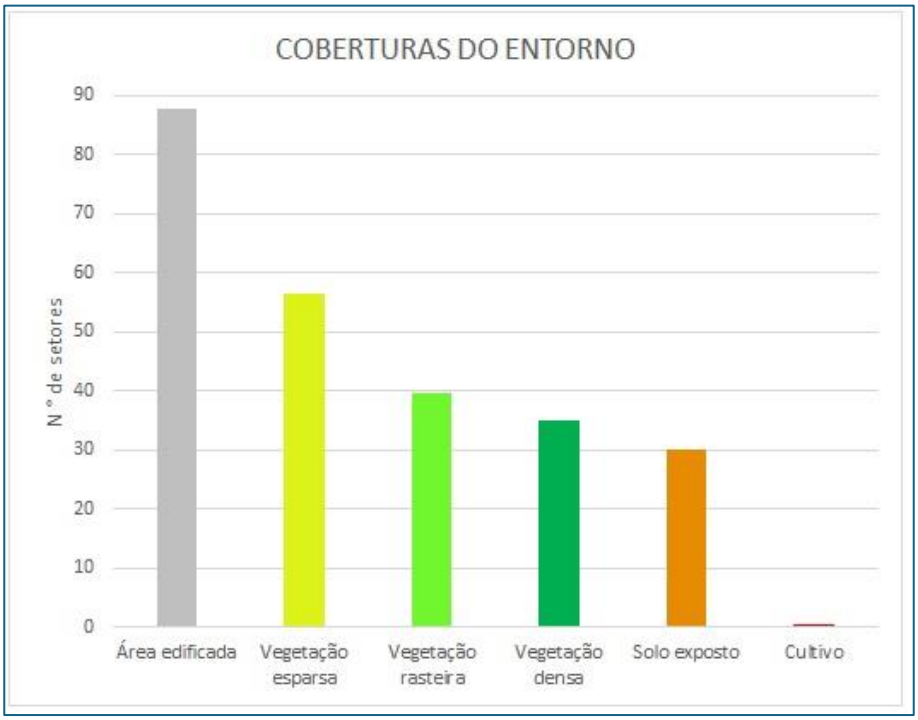


Figura 33: Representação gráfica das coberturas do entorno observadas ao longo da execução de campo e definição dos setores de risco a escorregamento; mais de um tipo de cobertura pôde ser registrada por setor.

Quanto ao material predominante observado nos taludes e encostas associados aos setores de risco definidos, destaca-se o solo residual raso como sendo a principal litologia associada as feições

de instabilidade observadas no município; por vezes apresentando-se mais desenvolvidos, por vezes menos e em contato mais evidente entre solo e rocha e, em outras situações, sobrepostos por contribuições de aterro. Cita-se ainda, em menor ocorrência, os setores onde feições de instabilidade e/ou processos foram delineados em rocha alterada, em maciços rochosos fraturados associados a movimentos gravitacionais em queda livre, além dos depósitos de tálus e colúvios. Processos de rolamentos de corpos rochosos estiveram associados a algumas áreas, com blocos e matacões variando de 0,5 a 43 m^3, angulosos a semi-arredondados e de esfericidades variadas, encaixados nas drenagens, dispersos nos taludes e encostas e, por vezes, concentrados em determinados locais.

Condicionados as litologias citadas anteriormente, descreve-se aqui a ocorrência dos processos e feições observados. Dos setores delineados no projeto, cerca de 50% não apresentavam necessariamente a ocorrência de processos de escorregamento ou outros movimentos gravitacionais de massa descritos na literatura, recentes ou pretéritos, mas sim uma combinação de feições indicativas de instabilidade que, quando ocorridas em elevada expressão e em recorrência no setor, estabeleceram classes de risco mais elevadas, a citar: feições erosivas, voçorocas, sulcos e ravinas, ângulos negativos em taludes e encostas, a presença de blocos "in situ", trincas nos terrenos, nas edificações e nos muros, inclinação de muros, cercas, postes e espécies arbóreas, dentre outros (Figura 34).

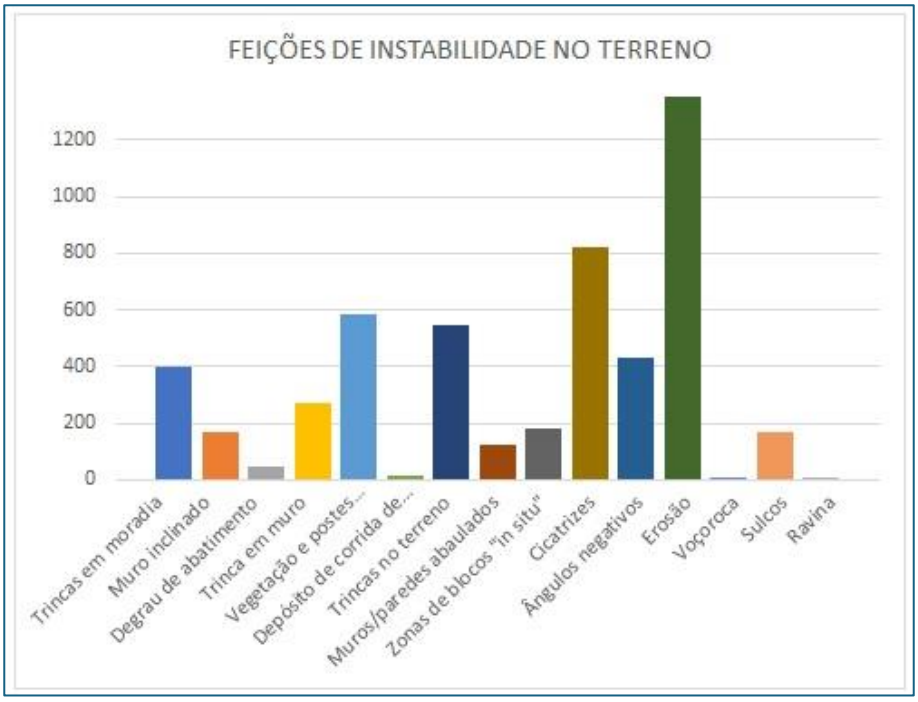


Figura 34: Distribuição quantitativa das feições de instabilidade observadas nos setores de risco muito alto, alto e setores de monitoramento analisados no projeto.

Por outro lado, a outra metade dos setores avaliados apresentou um histórico de deslizamentos com a identificação de cicatrizes associadas predominantemente ao tipo planar, solo-solo e solo-rocha, além de registros dos tipos rotacional e cunha que representaram menos de 1% dos deslizamentos observados (Figura 35). Movimentos gravitacionais em queda livre também se fizeram presentes nos setores, dentre eles os desplacamentos, rolamento e queda de blocos, estes últimos dois mais recorrentes. Corridas de massa e solapamentos foram registrados em regiões específicas, como será detalhado em cada um dos Distritos nos itens subsequentes.

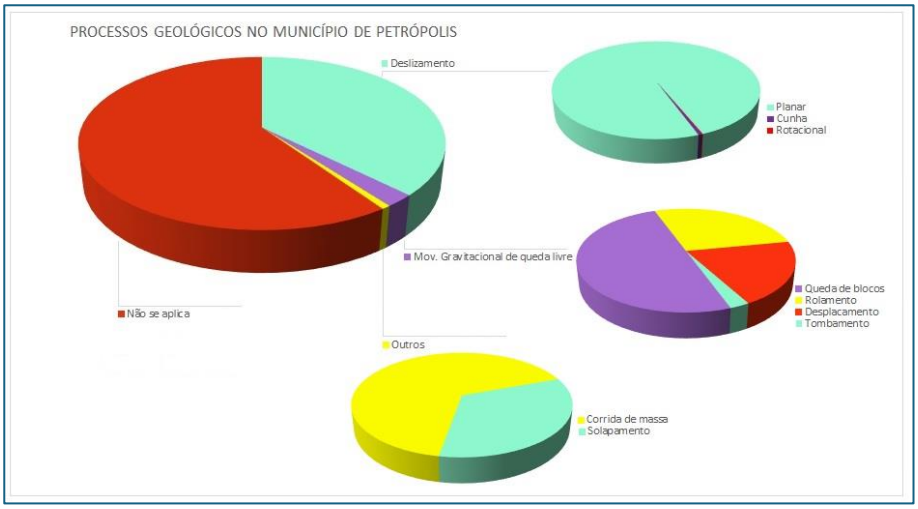


Figura 35: Relação dos processos de movimentação de solo e rocha identificados nos setores de risco delineados no projeto.

A presença do fator água nos cenários de análise para definição dos setores de risco corroboraram para maior robustez de indicadores e condicionantes que reafirmassem uma classe de risco em cada setor. Considerando as condições de drenagem, que interferem no escoamento ou acúmulo de águas sobre o terreno, foram observados pontos onde havia a concentração de água em superfície e lançamento de água servida diretamente no terreno, embora pouco mais de 74% dos setores não apresentassem estas características. Os vazamentos de tubulações também foram pouco expressivos, em apenas 10,6% dos setores, com escape de água e esgoto. Por outro lado, foi identificada uma precariedade nos sistemas de drenagem superficial associada aos setores analisados, onde apenas 2,91% das áreas foram enquadradas com um sistema satisfatório, estando 50,48% em um quadro de sistema de drenagem superficial precário, em que apresentavam falta de manutenção e continuidade do sistema, rompimentos, dentre outros, e os outros 47,35% inexistentes.

A cobertura do abastecimento de água encanada também foi expressiva nas áreas analisadas, totalizando cerca de 78,3% de todo o abastecimento observado, porém o uso de minas d´água são recorrentes nos setores (21,78%). A utilização de águas de mina no abastecimento reforça a presença dela nos cenários de risco a escorregamento, levando a consideração destas, nas possibilidades do aumento da saturação local do solo, da redução de atrito entre as partículas e favorecimento a deflagração de deslizamentos. A cobertura de coleta de esgoto também se mostra abrangente dentre

os setores, com a canalização em 87% destes; no entanto, o lançamento dos resíduos no terreno é observado, em cerca de 12,5%, com registros de descargas a céu aberto, fossas, diretamente em cursos hídricos, dentre outros.

Faz-se necessário destacar que aqui constam, em escala municipal, os indicadores gerais relativos aos setores de risco analisados neste projeto, sendo importante o entendimento e diferenciação das peculiaridades em cada um dos Distritos, como distinguido a seguir.

5.2 Primeiro Distrito: Petrópolis

O 1° Distrito do município de Petrópolis, local onde há a maior concentração de edificações relativas à ocupação residencial e comercial, destacou-se nesta cartografia como sendo a região de maior identificação de setores de risco, representando cerca de 77% dos setores deste projeto; um total de 1362 setores distribuídos em 50 localidades distintas, sendo 185, 433 e 744 polígonos de classes de risco muito alto, alto e monitoramento, respectivamente. Atrelada a considerável concentração de edificações em terrenos inclinados, taludes de cortes e encostas naturais, observa-se um histórico maior de recorrência de deslizamentos neste distrito, com e sem atingimentos, que perpassam áreas com construções das mais variadas vulnerabilidades estruturais.

Ademais, como citado anteriormente, a região sul do município, ou seja, no 1° Distrito, apresenta uma das taxas mais elevadas de precipitação média nos períodos chuvosos, traduzindo-se em uma combinação de: a) elevados índices pluviométricos nos períodos chuvosos; b) maior concentração de edificações por área; c) maior exposição de habitantes, por área, a estes riscos. Sob as perspectivas das localidades abrangidas por este projeto, apresenta-se a seguir a relação quantitativa de setores de risco analisados no 1° Distrito (Figura 36).

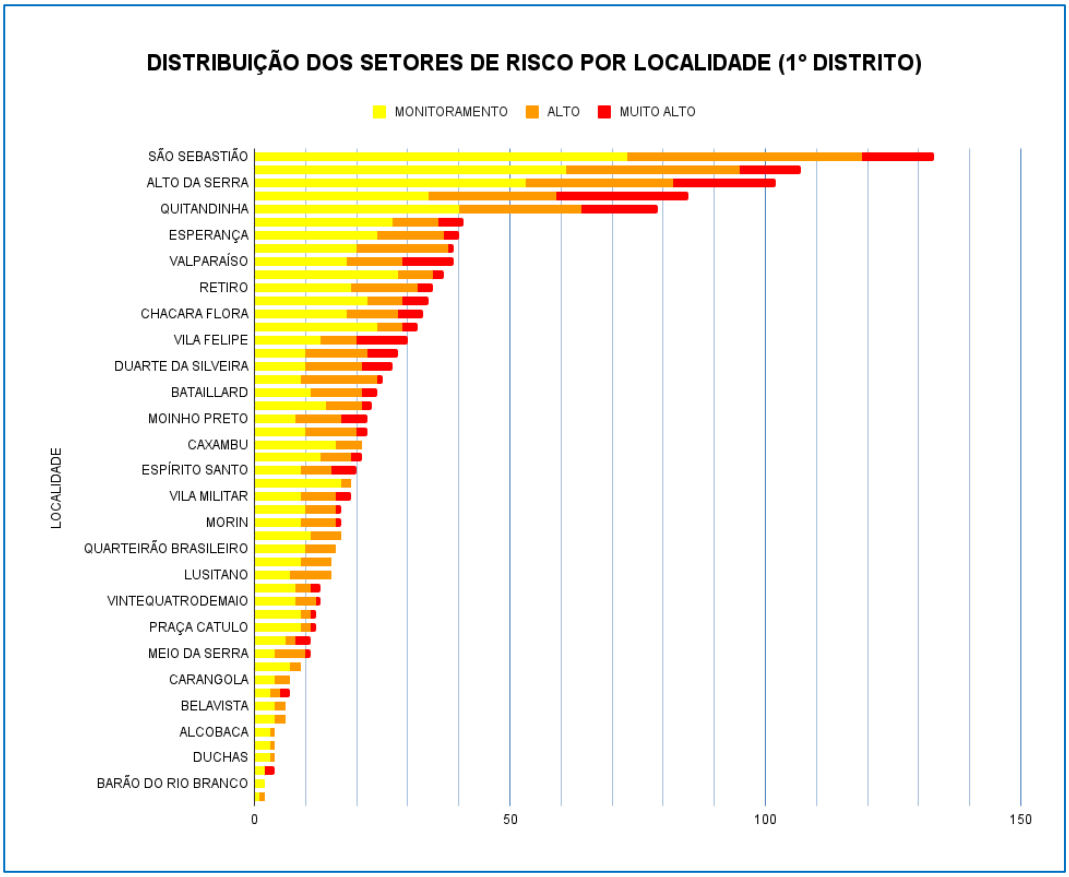


Figura 36: Representação gráficas em barras dos setores e suas respectivas classes de risco distribuídas pelas localidades do 1° Distrito, Petrópolis.

Observa-se a expressividade de setores nas localidades de São Sebastião (Figura 37A), onde deslizamentos planares, com e sem atingimento, são recorrentemente observados e associados a taludes de corte próximos a edificações de média a alta vulnerabilidade estrutural; no Centro (Figura 37B), onde há uma elevada concentração de edificações assentadas sobre terrenos íngremes que exibem os mais diversos tipos de processo tais quais deslizamentos e quedas de corpos rochosos; no Alto da Serra (Figura 37C), onde há histórico de ocorrência de deslizamentos de grande magnitude com inúmeras perdas materiais e humanas, a exemplo o desastre do Morro da Oficina, em 2022; na Independência (Figura 37D), onde, em 2024, diversos deslizamentos foram deflagrados com registro de óbitos e desabamento total de edificações; e no Quitandinha, onde os deslizamentos são observados em encostas naturais e taludes de cortes, próximo a edificações de diferentes vulnerabilidades estruturais (Figura 37E e 37F).

Nas outras localidades destacadas no gráfico acima, embora tenha sido registrado um menor número de setores quando comparados aos destacados anteriormente, há uma contagem expressiva de polígonos que expõem classes de risco alto e muito alto a escorregamentos e que, por vezes, apresentam históricos de desastres e deslizamentos de magnitudes consideráveis.

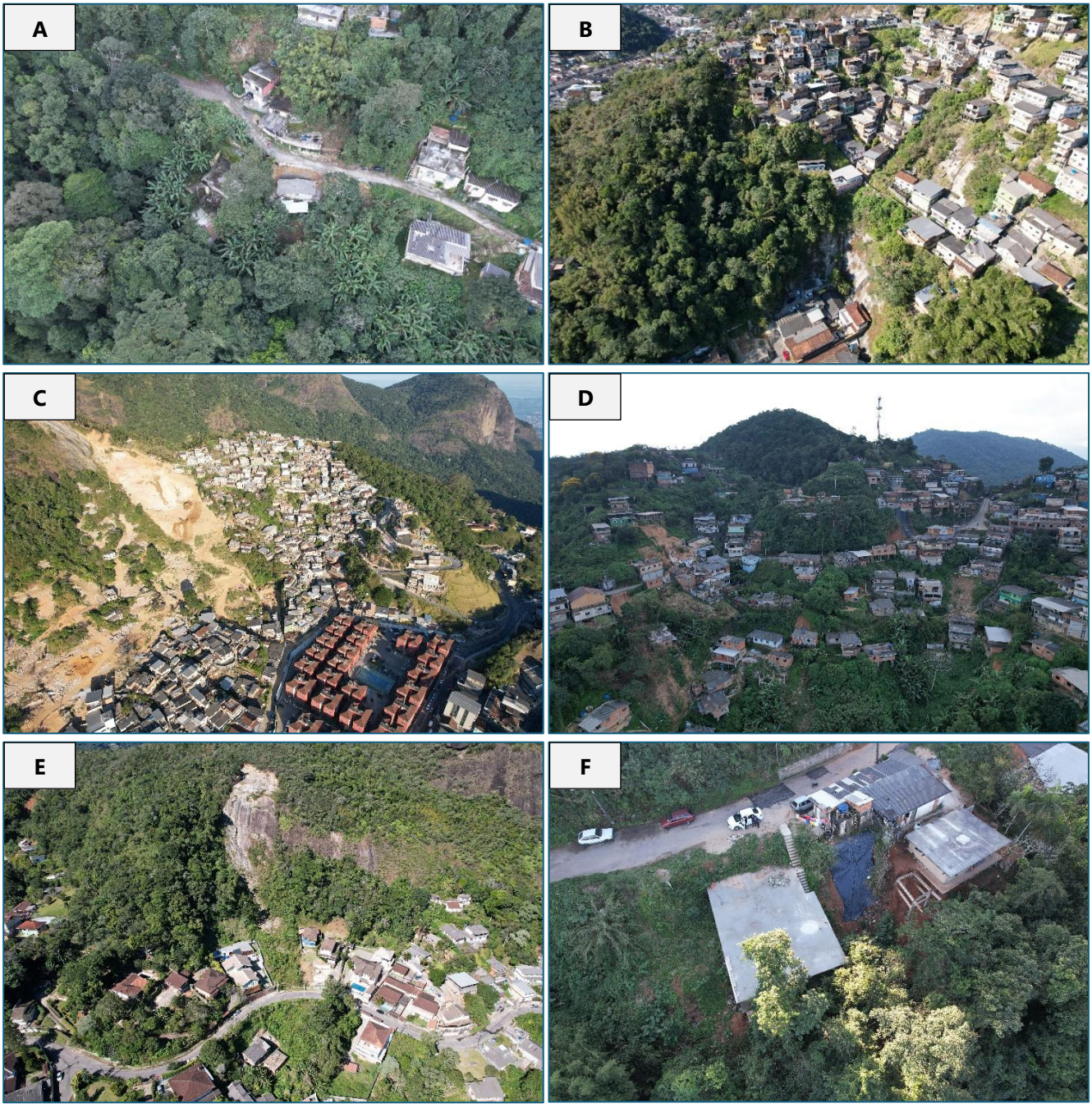


Figura 37: Imagens oblíquas representativas das quatro localidades de maior expressividade quanto a identificação de setores de risco a escorregamento neste projeto: A) cortes em encostas na Rua João Bispo do Nascimento, em São Sebastião; B) elevada concentração de edificações sobre terreno inclinado associada a localidade do Centro; C) Morro da

Oficina, no Alto da Serra, onde ocorreu um deslizamento de grande magnitude em 2022; **D)** próximo à Rua Onofre dos Santos, na Independência, onde diversos deslizamentos planares com atingimento foram deflagrados no período chuvoso de 2024; **E)** deslizamento planar, solo-rocha, deflagrado em encosta natural na Rua Uruguai, Quitandinha, próximo a edificações de vulnerabilidade estrutural média a baixa; **F)** deslizamento planar em corte de talude associado a edificações de vulnerabilidade estrutural média a alta, na Rua C, no Quitandinha.

De modo a caracterizar os cenários de riscos a escorregamentos no Distrito, levando-se em consideração suas peculiaridades, tipos de processos predominantes e características afins, seguem os subitens de apontamento geral dos setores de risco muito alto e alto, e dos setores de monitoramento, das localidades do 1° Distrito.

5.2.1 Setores de risco muito alto (1° Distrito)

A classe de risco muito alto no 1° Distrito foi atribuída a 185 setores, em áreas que predominaram deslizamentos do tipo planar associados a solos rasos sobre rocha, em geral de grandes magnitudes (Figura 38A), e por vezes ocorridos em associação com outros deslizamentos similares ou menores (Figuras 38 B e C), além de registros de óbitos, desabamento de edificações e histórico de recorrência de deflagração dos processos. Esta reincidência foi constantemente evidenciada em campo, e reforçada por moradores, em que pôde ser constatado de forma marcante os eventos ocorridos nos anos de 2013, 2022 e 2024. Configurações em que edificações se encontravam muito próximas a taludes ou encostas íngremes, com um conjunto de feições de instabilidade em estágio avançado, também foram consideradas nesta classe (Figura 38D).

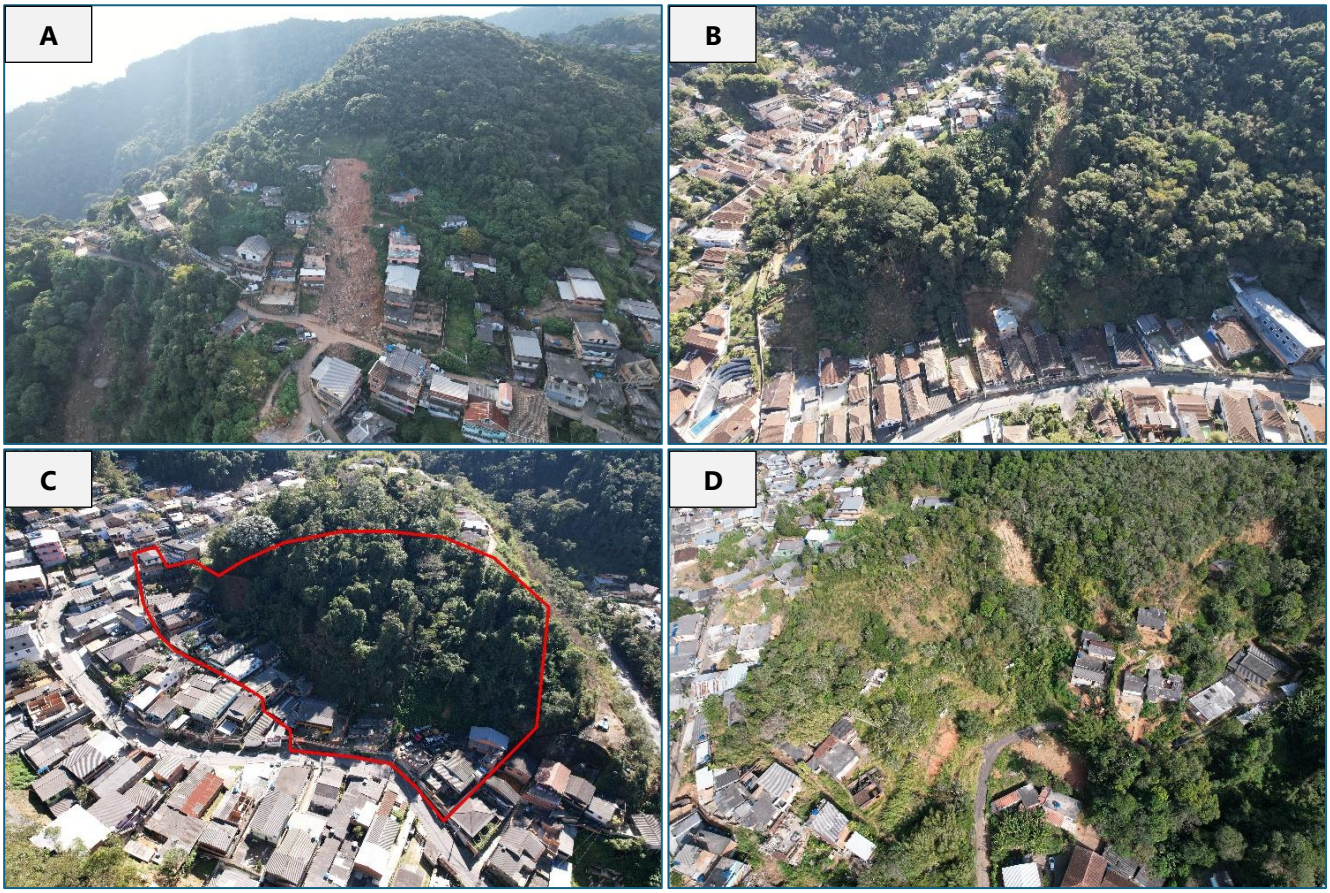


Figura 38: Cenários considerados como de classe de risco muito alto a escorregamento, associados a ocorrência de deslizamentos planares: A) Deslizamento planar com registro de desabamento de edificações e óbitos na Independência, ocorrido em 2024 (PT_ D1 _INDEPENDENCIA _59_DSS_DS_PG_CL_1); B) Deslizamento deflagrado em crista de talude na Rua João Caetano, no Centro (PT_D1_CENTRO_336_DSS_EA_IR__11); C) Deslizamento, ocorrido em 2024, associado a vertente íngreme onde casas assentam-se a distâncias nulas (PT_D1_MOINHOPRETO_549_DSS_EA_IR__1); D) Deslizamentos e feições de instabilidade na Rua Lopes de Castro, no Valparaíso (PT_D1_VALPARAISO_222_DSS_DS_LD__7).

De modo geral, esses deslizamentos estiveram associados predominantemente a terrenos sobre os quais foram executados cortes múltiplos, por vezes escalonados, com inclinações variando de 20° a 90°, onde foi desenvolvida a ocupação residencial e comercial, e o assentamento destas edificações. As distâncias das casas as cristas e/ou bases dos taludes de cortes nestes cenários, e até das encostas naturais, são pequenas, variando 0 a 15 metros.

Embora seja predominante o enquadramento de edificações de elevada vulnerabilidade estrutural nas classes de risco muito alto neste projeto, condicionante que eleva o risco visto se tratar de construções com menores resistências a impactos, a atingimentos e movimentações de terreno,

cita-se a presença de edificações de alto padrão inseridas nos setores desta classe haja visto as elevadas proporções dos deslizamentos deflagrados com impacto as mesmas, ou mesmo a configuração de cenários em que as magnitudes transcendem a boa capacidade estrutural da edificação, como foi observado na Independência (Figuras 39 A e B).

Figura 39: A) Atingimento de edificação de alto padrão construtivo (casa amarela na porção centro sul da imagem, por deslizamento de grande magnitude deflagrado a montante, na Independência (PT_ D1 _INDEPENDENCIA _63_DSS_EA_SC__9). B) Detalhe para o desabamento parcial de edificação.

Ainda associado a ocorrência de deslizamentos planares nos setores identificados como muito alto neste distrito, cita-se aquelas áreas em que, no momento de análise deste projeto, apresentavam-se sob execução de intervenções geotécnicas (não finalizadas), não sendo possível considerá-las, portanto, como um fator de redução de risco (Figura 40). Ressalta-se a importância de intervenções na mitigação dos riscos e a necessidade de que elas estejam concluídas para que seja possível a visualização e análise de sua abrangência espacial e associação com os processos das encostas e/ou taludes, sendo recomendado, portanto, uma nova avaliação após conclusão e entrega das obras, para os setores que se enquadrem nesta situação.

Figura 40: Visão geral de cenário na Vila Felipe onde foram delineados setores de risco muito alto e alto em decorrência de deslizamentos deflagrados. Intervenções geotécnicas (não concluídas) apresentavam-se em execução no momento de análise, não sendo possível, naquele momento, considerá-las em uma redução de classe de risco.

Outros tipos de processos, em menor quantidade quando comparados aos deslizamentos planares, configuraram cenários considerados como de risco muito alto neste distrito. Os setores com o registro principal de movimentos gravitacionais em queda livre de corpos rochosos, por exemplo, foram identificados nas localidades Alto da Serra, Centro (Figura 41A) Mosela, Praça Pasteur (Figura 41B) e São Sebastião. Nestas áreas, há o predomínio de maciços rochosos fraturados, por vezes sotopostos a solo residual pouco desenvolvido, onde puderam ser observados desplacamentos, quedas e rolamentos de corpos rochosos tais quais lascas, seixos, blocos e matacões que, em sua maioria, apresentavam-se dispersos, embora estivessem concentrados em alguns locais; com registro de atingimento e desabamento de edificações (Figuras 41 A e B).

Figura 41: Queda de blocos rochosos com atingimento: A) de parede de fundos de edificação, no Centro (PT_D1_CENTRO_253_DSS_PG_TB__4); B) e desabamento parcial de edificação, na Praça Pasteur (PT_D1_PRACAPASTEUR_206_DSS_DS_JP__2).

Estes processos também estiveram relacionados a casos em que edificações se assentavam próximas ou sobre depósito de tálus e colúvios e que a combinação de movimentação no terreno e processos erosivos expunha e desestabilizava corpos rochosos, desencadeando uma nova movimentação deles. Nestes cenários, as edificações inseridas nos setores de risco muito alto assentavam-se a distâncias que variaram de 0 a 3 metros das encostas e taludes, que apresentavam alturas superiores a 3 metros, chegando a 100 metros, e inclinações superiores a 70°.

Atenta-se para a complexidade dos movimentos de rocha em queda livre, visto que a capacidade de arranque dos corpos e suas projeções de transporte estão associadas a diversas variáveis e condicionantes que podem ser alteradas ao longo de seu trajeto de queda, a citar as possibilidades de fragmentação e divisão de um corpo em mais de um elemento, podendo acarretar modificações nas direções dos percursos previstos.

Por fim, também neste grau de risco, se enquadraram as situações em que não necessariamente houve a deflagração de deslizamentos no local e a identificação de cicatrizes, recentes ou pretéritas, mas sim uma combinação de diferentes feições de instabilidade no terreno que configuraram uma situação crítica aos indivíduos, a citar: edificações de elevada vulnerabilidade estrutural encaixadas em linhas de drenagem natural, trincas e fissuras no terreno e em edificações indicando movimentação, elevada inclinação dos terrenos com edificações próximas, inclinação de

postes e espécies arbóreas, feições erosivas ativas e descalçamento de edificações, disposição de esgoto e águas servidas sobre o terreno, etc. A exemplo, cita-se o cenário constatado na Servidão Amara Rosa de Jesus, no Alto da Serra, onde edificações de alta a média vulnerabilidade estrutural foram implementadas junto a crista de encosta íngreme (Figura 42).

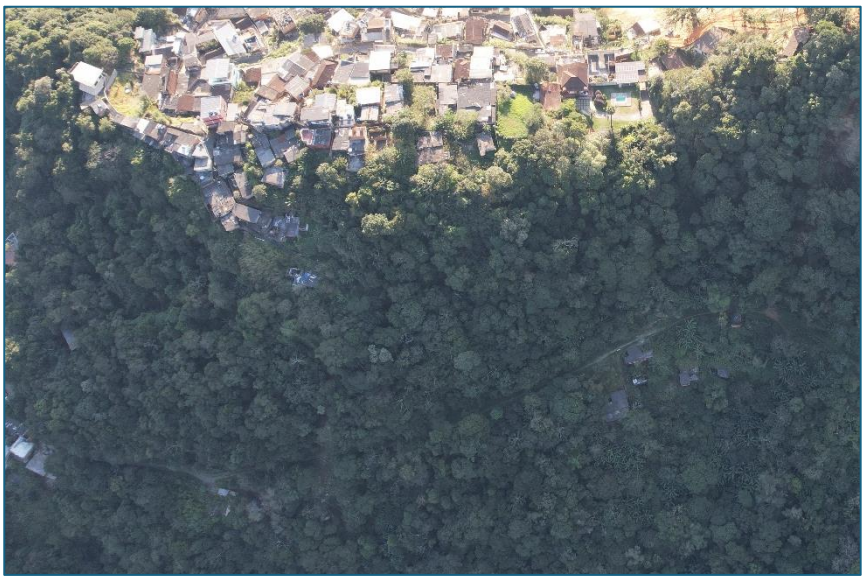


Figura 42: Visão geral do setor de risco muito alto identificado no Alto da Serra, na Servidão Amara Rosa de Jesus PT_D1_ALTODASERRA_179_DSS_PG_TB__1, onde edificações dispõem-se a distâncias nulas da crista de encosta natural íngreme.

Na área supracitada foram identificadas feições avançadas de movimentação no terreno, a citar trincas e fendas individualizando parte da servidão e de edificações que se encontravam amplamente descalçadas e com inclinação considerável para jusante (Figuras 43 A e B).

Figura 43: Detalhe para as feições de instabilidade observadas no setor de risco muito alto identificado no Alto da Serra, na Servidão Amara Rosa de Jesus PT_D1_ALTODASERRA_179_DSS_PG_TB__1. A) Estruturas de edificações escavadas e descalçadas; B) Fenda transpassante em muro, com continuidade para pavimento, individualizando este trecho que se encontra muito inclinado para jusante.

É importante mencionar que aqui foram descritos cenários e processos individualizados a título de exemplificação geral que, na maioria das vezes, ocorreram associados a mais de um processo e/ou combinados a distintas feições de instabilidade, configurando a necessidade de uma classificação mais elevada; o panorama específico de cada setor com todas as variáveis consideradas pode ser observado nas fichas de campo individualizadas.

5.2.2 Setores de risco alto (1° Distrito)

Os 433 setores de risco alto a escorregamento do 1° Distrito estão distribuídos em 48 localidades distintas do município. Similar ao que foi observado na classe anteriormente descrita, destacam-se aqui as áreas que também apresentavam históricos de deslizamentos, incluindo os eventos ocorridos nos anos de 1988, 2006, 2011 e 2019, e os outros já citados no item anterior, a destacar os de 2022; reativações de processos pretéritos no período chuvoso de 2024 também foram observados. Muitos dos setores de risco alto estão associados a processos e feições observados em polígonos próximos definidos como risco muito alto e que, por apresentarem edificações um pouco mais distantes das feições, e/ou uma vulnerabilidade estrutural menor e/ou outras características menos prioritárias aos cenários de risco muito alto, tiveram sua classe reduzida em uma posição, a

exemplo do observado na Independência (Figura 44A). Há ainda as situações em que os setores de risco alto foram delineados a partir de contextos independentes, sem necessariamente um cenário de classe superior associado (Figura 44B).

Há associado aos setores desta classe, um predomínio dos deslizamentos do tipo planar, com as mais variadas magnitudes e proporções, em que edificações se encontram muito próximas as bases e cristas de taludes de cortes e encostas. Estes processos estiveram relacionados a terrenos constituídos predominantemente por cortes em taludes de inclinações superiores a 40°, apresentando-se também associado a encostas naturais de cobertura vegetal densa. Um número expressivo das cicatrizes de deslizamentos planares identificadas para estes setores esteve associado aos eventos deflagrados em 2022, com registros de desabamento de estruturas; além daqueles associados a eventos mais antigos em que edificações foram reconstruídas em mesmo local após atingimento pelos processos, como observado na localidade Quarteirão Brasileiro (Figura 44C); setas vermelhas indicam as casas atingidas que foram reconstruídas em mesmo local. De forma pontual foi observado o vazamento de resíduos líquidos e/ou águas servidas sobre os taludes (Figura 44D), próximo a cicatrizes, embora não tenha sido observado vazamentos em quase 90% dos setores. Um único registro de deslizamento do tipo cunha foi observado no Bingen, em um talude de corte único com assentamento de edificações junto a base, a distâncias de 1 m.

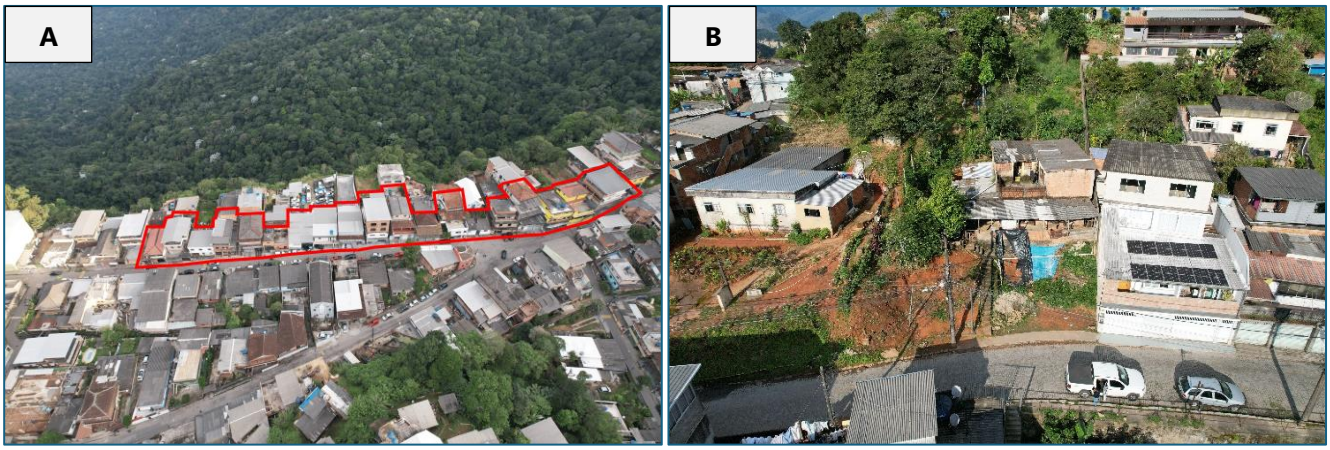


Figura 44: Configuração de cenários associados a deslizamentos planares classificados como alto risco a escorregamentos no 1° Distrito: A) Setor de alto risco delineado, em vermelho, abrangendo edificações mais distantes das cicatrizes de deslizamentos ocorridos na crista da encosta, adjunto ao polígono de muito alto (primeira linha de casas a distância nula da crista), na Independência (PT_D1_INDPENDENIA_59_DSS_CL_DS_PG__5); B) Deslizamento planar deflagrado na localidade Amazonas (PT_D1_AMAZONAS_131_DSS_BC_SC__11); C) Setor associado a deslizamentos pretéritos com desabamento de edificações e reconstrução em mesmo local (setas vermelhas), na localidade Quarteirão Brasileiro (PT_D1_QUARTEIRAOBRASILEIRO_494_DSS_LT_TB__6); D) Setor com vazamento de tubulação e lançamento de águas servidas no terreno, próximos a cicatriz de deslizamento pretérito, na localidade de Duarte Silveira (T_D1_DUARTEDASILVEIRA_288_DSS_JP_TS__1); umidade no solo reforçada pela presença de bananeiras.

Setores com histórico de corridas de massa associados a deslizamentos deflagrados nas porções superiores da encosta foram identificados, estando associados as localidades Chácara Flora, Estrada da Saudade, Independência e Praça Pasteur, onde um agrupamento de edificações apresentava-se assentado junto a linhas de drenagens desenhadas sobre encostas naturais de cobertura vegetal densa e, em geral, inclinações variando de 40° a 65°. Os processos observados nestes locais apresentaram uma amplitude considerável, com mobilização de mistura de solo e corpos rochosos, e movimento alimentado nas linhas de drenagem; cita-se registros de destruição de edificações, ponte e servidão, como o ocorrido na Rua Augusto da Silva, na Estrada da Saudade (Figuras 45 A e B), e de destruição total de edificações, com óbitos, como observado na Rua Manoel Vieira Brayão, Chácara Flora (Figura 45C). Vale destacar ainda um fluxo de lama ocorrido no Centro (Figura 45D), próximo à Rua Nova, onde pôde ser observado evidências do processo nas edificações; há também a associação de queda de blocos nessa área, como será mencionado adiante.

Figura 45: Setores de risco alto associados a processos de corrida de massa deflagradas em encostas, deflagrados próximo a edificações: A) Movimento encaixado e alimentado na drenagem (seta vermelha), com atingimento de edificação na Estrada da Saudade (PT_D1_ESTRADADASAUDADE_454_DSS_JP_TS__4); B) detalhe para trecho de alcance do processo e atingimento de edificação; C) Área com registro pretérito de corrida de massa, e cicatriz de deslizamento na crista, na localidade Chácara Flora (PT_D1_CHACARA FLORA_156_DSS_JP_SC__6); D) Marcas de fluxo de lama em edificações, próximo à Rua Nova, no Centro (PT_D1_CENTRO_268_DSS_JP_LT__1).

Movimentos gravitacionais em queda livre, em setores delineados com o grau alto, também foram registrados no distrito, com a ocorrência de desplacamentos, rolamentos e quedas de corpos rochosos; os referidos processos foram identificados nas localidades de Alto da Serra, Itamarati, Retiro, Centro, Moinho Preto, Quitandinha e Praça Pasteur. No Alto da Serra, especificamente nas ruas Teresa e Jerônimo Marques Soares, destaca-se o expressivo alcance dos corpos rochosos movimentados, com atingimento de edificações, além da associação com deslizamentos planares; há intervenções geotécnicas de contenção de blocos na parte superior da encosta, porém, foram observados corpos rochosos na porção inferior, em taludes junto a edificações construídas a jusante (Figura 46A).

Na localidade Praça Pasteur, os processos de rolamento de blocos estiveram associados a desabamento de edificações e a outras movimentações no terreno; feições erosivas ativas nos taludes de corte, sobre os quais edificações de alta a média vulnerabilidade estrutural foram assentadas, atuam no recorrente descalçamento de suas estruturas (Figura 46B). Destaca-se, ainda nesta localidade, na Rua Primeiro de Maio, edificações construídas junto ao maciço rochoso fraturado, aderidas a uma de suas faces onde há corpos rochosos individualizados a montante (Figura 46C); processos de queda de blocos rochosos, associados a enxurradas, levaram ao desabamento de edificações no local.

No Moinho Preto, as quedas de blocos rochosos angulosos, desprendidos dos taludes constituídos por rocha muito fratura (rocha sã e alterada), configuram possibilidades de atingimento a estruturas construídas nas proximidades (Figura 46D). Blocos em processo de individualização e desenvolvimento de raízes entre as fraturas do maciço ativando o referido processo também foram constatados (Figura 46E).

Ademais, ocorrências de queda de lascas rochosas com atingimento de edificações na localidade Retiro (Figura 46F), na Rua I e proximidades, foram identificadas; há, de forma pontual e restrita a certo trecho da encosta, uma intervenção geotécnica com função de interceptação e contenção de corpos rochosos que possam se desprender da encosta. Por fim, próximo à Rua Nova, no Centro, os eventos de queda e rolamento de corpos rochosos estiveram associados a um cenário com ocorrência de fluxo de lama e de deslizamento de maior magnitude.

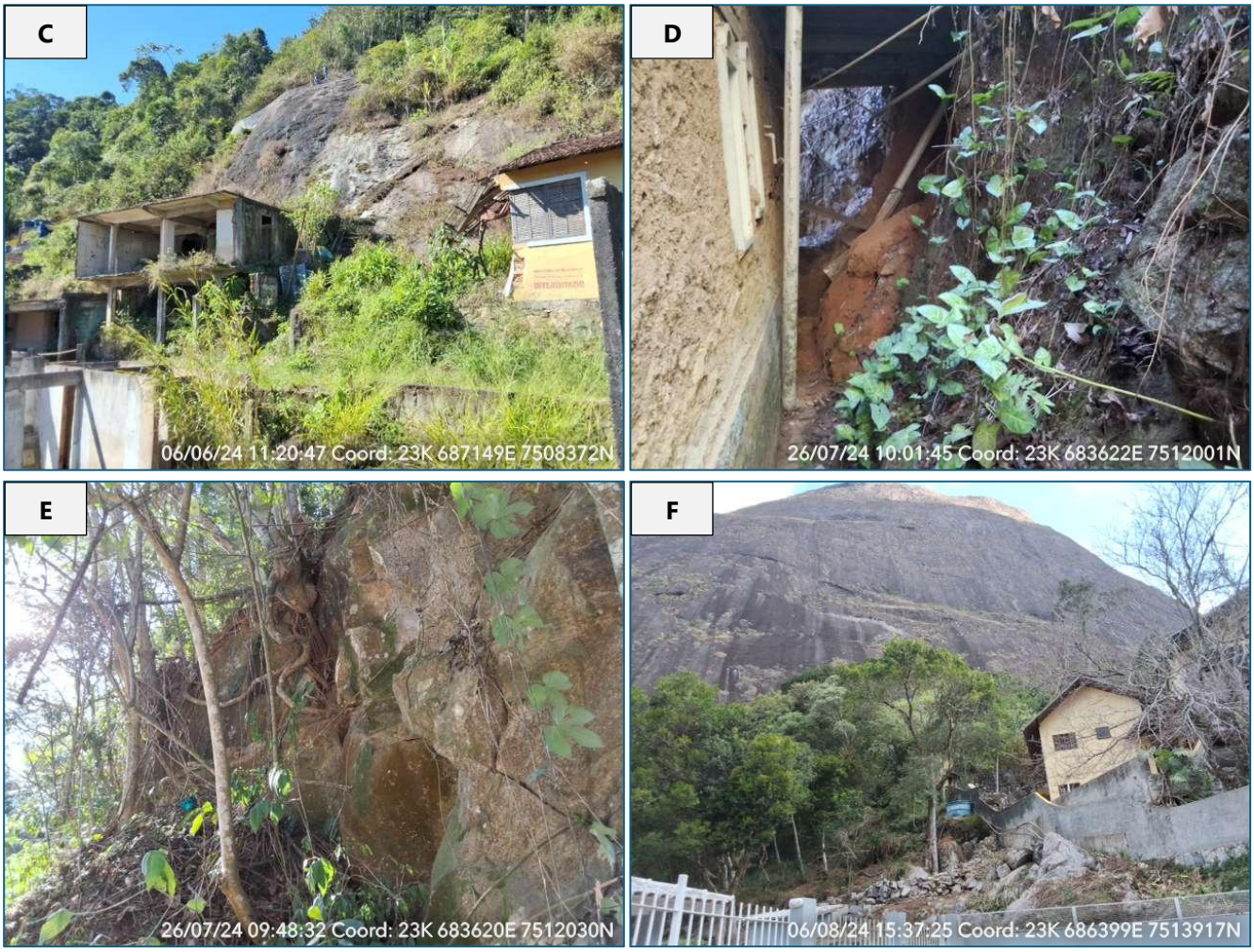


Figura 46: Contextualização de setores definidos como de alto risco associados a movimentos gravitacionais em queda livre no 1° Distrito: A) Visada de maciço rochoso com intervenção geotécnica na porção superior, na Servidão João Kind, Rua Teresa, Alto da Serra; blocos rochosos em taludes de corte, próximo a edificações, foram observados; B) Local com atingimento de edificações em decorrência de processos de queda de blocos rochosos, na Praça Pasteur; detalhe para evolução de processos erosivos nas bases das edificações, com descalçamento inicial (PT_D1_PRACAPASTEUR_205_DSS_DS_JP__1); C) Rua Primeiro de Maio, na Praça Pasteur, onde processos de queda de blocos rochosos, associados a eventos de enxurradas, causaram o desabamento de edificações (PT_D1_PRACAPASTEUR_206_DSS_DS_JP__3); D) Queda de blocos rochosos próximo a edificações na Rua João Xavier, no Moinho Preto (PT_D1_MOINHOPRETO_500_DSS_LT_MS__2); E) Detalhe para o fraturamento intenso e individualização de corpos rochosos em talude; F) Visada de costão rochoso com ocorrência de desplacamento e atingimento área próxima a casa amarela, no Retiro (PT_D1_RETIRO_648_DSS_IR_LT__1).

Aos setores de risco alto, não associados necessariamente a presença de um movimento gravitacional de massa deflagrado, estiveram presentes características como o descalçamento de base de edificações assentadas sobre taludes com processos erosivos avançados e/ou feições que evidenciavam um início de movimentação do terreno, como trincas, fissuras e inclinações associadas

a pavimentos e muros construídos em terrenos inclinados, construções sobre ou próximo a linhas de drenagem onde associam-se elevadas declividades e fluxo de água, dentre outros. A exemplo, cita-se o setor delineado na Servidão Amara Rosa de Jesus, no Alto da Serra, em que processos de movimentação no terreno foram externalizados nos pavimentos da servidão e de edificações construídas sobre terreno inclinado, com o aparecimento de trincas e fissuras, pontos de afundamento e descalçamento de suas estruturas e, nos muros, a inclinação deles para jusante e descolamento do pavimento, além de trincas, fissuras e descalçamento de edificações (Figura 47).

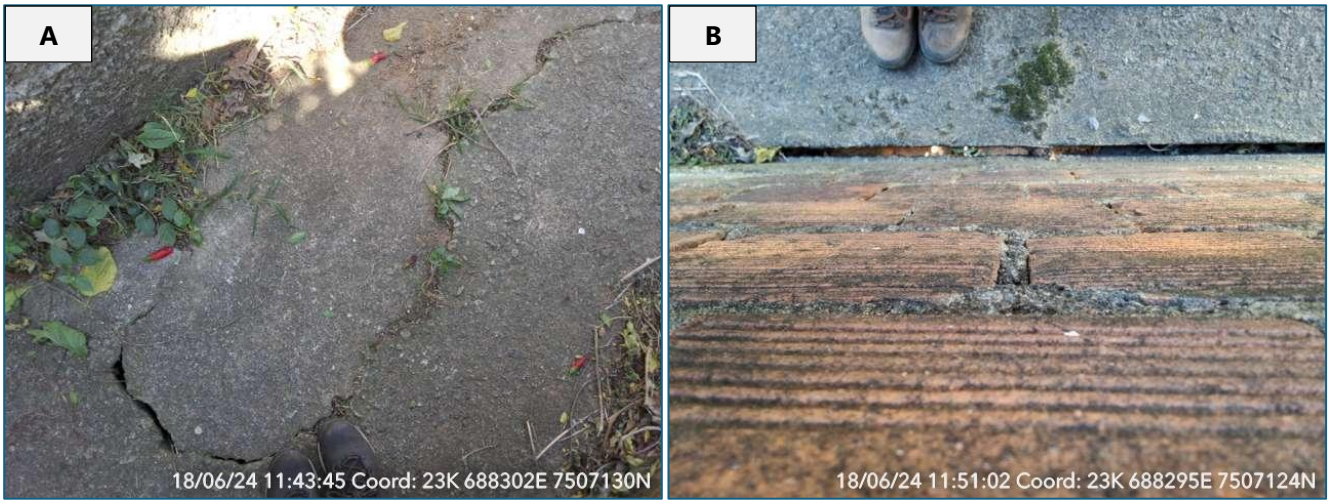


Figura 47: Setor de risco alto associado a presença de feições de instabilidade no terreno, na Servidão Amara Rosa de Jesus, Alto da Serra, a citar: A) afundamento e descalçamento de pavimento com inclinação para jusante; B) fenda e descolamento de pavimento e muro, com inclinação destes para jusante; trincas e fissuras observadas ao longo de todo o pavimento.

5.2.3 Setores de monitoramento (1° Distrito)

Os 744 setores de monitoramento distinguidos no 1° Distrito relacionaram-se a todos os processos citados nos itens antecedentes, porém, para estes setores, o panorama das relações de possibilidade de atingimento de edificações e suas vulnerabilidades assumiram menores probabilidades de danos. Setores de monitoramento foram delineados em 50 localidades do distrito, as quais devem ser constantemente monitoradas, possibilitando o diagnóstico antecipado das situações mais sensíveis quanto aos riscos a escorregamentos, e ampliando a capacidade de resiliência local. A título de exemplificação, cita-se algumas das situações as quais houve a observação de:

a) Deslizamentos de pequenas proporções sem atingimento de edificações e, quando com atingimento, sem comprometimento de suas estruturas, como o observado na Rua Lopes Trovão, no Alto da Serra (Figura 48A);

b) Áreas com ocorrência pretérita de movimentação de solo ou rocha, com e sem atingimento e danos, em que a cicatriz já foi recoberta por vegetação e não foram observadas outras feições que indicassem uma instabilidade no terreno, a exemplo do observado na Rua Dr. Barcellos, na Esperança (Figura 48B);

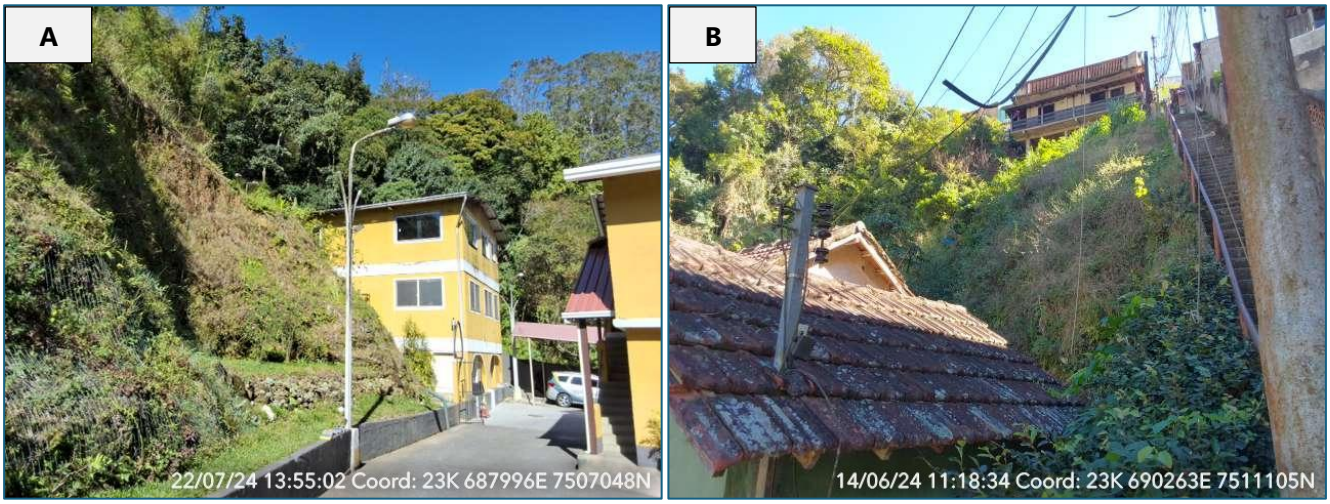


Figura 48: Exemplificação de cenários e feições encontradas nos setores definidos como "monitoramento" no 1° Distrito: A) Deslizamento planar deflagrado em 2022 com atingimento de edificação (sem desabamento de estrutura) (PT_D1_ALTODASERRA_150_DSS_PG_TB__10); B) Talude com casa na base e crista, e evidências de movimentação inicial de solo, na Esperança (PT_D1_ESPERANCA_449_DSS_BC_TS__4).

c) Edificações sobre a crista e/ou sopé de taludes escavados, verticalizados, com processos erosivos atuantes, como na Rua Spártaco Banal, Alcobaça (Figuras 49A e B), com frequente mobilização de pequenos volumes de solo;

Figura 49: Exemplificação de cenários e feições encontradas nos setores definidos como "monitoramento" no 1° Distrito: A) Edificação assentada sobre a crista de talude com processos erosivos ativos, em Alcobaça (PT_D1_ALCOBACA_540_DSS_AS_EA__1); B) com detalhe para os sulcos.

d) Ocorrência de movimentações gravitacionais em queda livre com edificações mais distantes da área fonte, fora do alcance do movimento de queda preferencial previsto, com vegetação densa entre área fonte e edificação, como observado na Rodovia Washington Luiz, na Fazenda Inglesa (Figura 50A);

e) Locais em que há indício de movimentação de terreno próximo a áreas de acesso a edificações, como observado na Rua Onofre dos Santos, na Independência (Figura 50B), dentre outros.

Figura 50: Exemplificação de cenários e feições encontradas nos setores definidos como "monitoramento" no 1° Distrito: A) Área com presença de matacões rochosos associados a movimentos pretéritos na Fazenda Inglesa, com distâncias consideráveis entre a área fonte e edificação (PT_D1_FAZENDAINGLESA_1055_DSS_AS_PG__1); B) Cicatriz de deslizamento

próximo a área de acesso a edificações, na Rua Onofre dos Santos, na Independência (PT_ D1 _INDEPENDENCIA _79_DSS_CL_SC_ _13).

5.3 Segundo Distrito: Cascatinha

O 2° Distrito do município de Petrópolis, primeiro maior em extensão e segundo em população, apresentou um total de 229 setores (cerca de 13% do total de setores delineados no projeto), sendo: 135 definidos como de setores de monitoramento, 68 como de risco alto e 26 como de risco muito alto. Neste distrito, há dois núcleos de setores bem demarcados espacialmente: um a leste do território, onde há maior adensamento de edificações, em que a ocupação residencial e comercial acompanha boa parte do curso do rio Piabanha; e o segundo, a oeste, onde as edificações encontram-se encaixadas em trechos de um vale, a exemplo das localidades de Araras, Vista Alegre e Mata Cavalos. Sob as perspectivas das localidades abrangidas por este projeto, apresenta-se a relação quantitativa de setores de risco analisados no 2° Distrito (Figura 50).

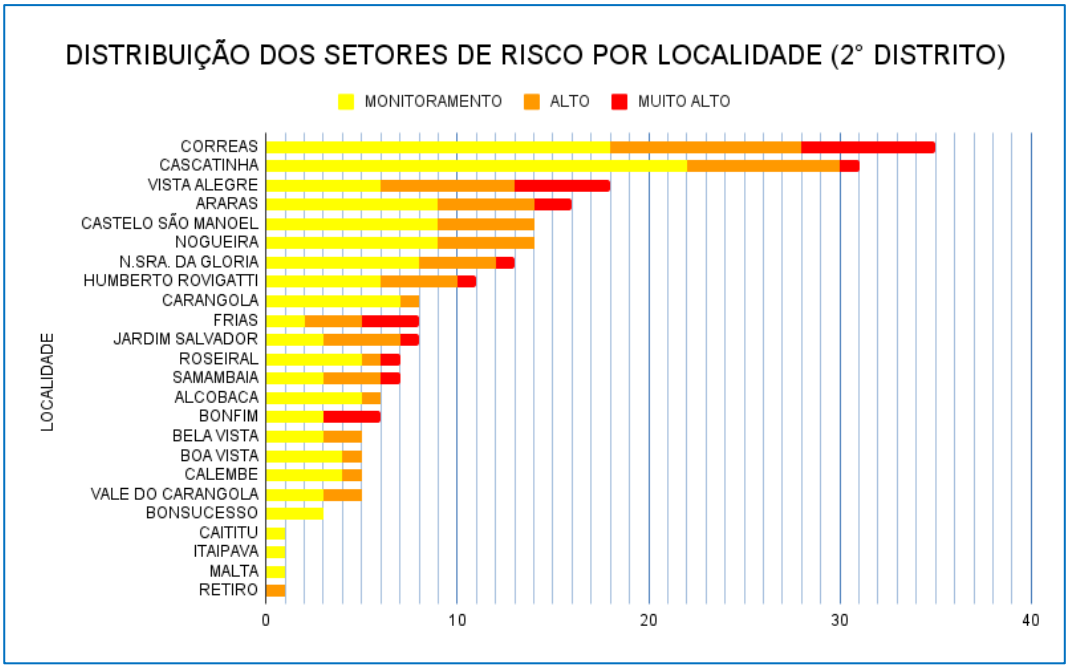


Figura 51: Representação em barras dos setores e suas respectivas classes de risco, distribuídas pelas localidades do 2° Distrito, Petrópolis.

Evidencia-se Corrêas e Cascatinha com os maiores números globais de polígonos de risco delineados neste distrito, totalizando 35 e 31 setores de risco, respectivamente. Corrêas ganha

destaque quanto ao número daqueles classificados como risco muito alto e alto, um total de 17 setores, juntamente com a localidade de Vista Alegre, onde foram delimitados 12 setores nestas classes.

Em algumas localidades, não foram observadas situações em que os cenários fossem críticos e que configurassem a necessidade da delimitação de setores de risco muito alto a escorregamentos, a exemplo de Alcobaça, Bela Vista e Boa Vista, assim como tiveram localidades onde foram delineados apenas setores de monitoramento, a exemplo de Malta e Itaipava.

Neste distrito, as condicionantes atreladas a definição de polígonos de risco estiveram relacionadas, predominantemente, a presença de um conjunto de feições de instabilidade no terreno, junto a encostas naturais e taludes de corte, aliada a um histórico de deslizamentos deflagrados no período entre 2011 e 2024, por vezes com cicatrizes aparentes, e corroborada por relatos de moradores locais (Figura 52A). Movimentos gravitacionais em queda livre também estiveram presentes nas áreas analisadas neste distrito (Figura 52B), definidos como de risco muito alto, nas localidades de Bonfim e Vista Alegre, e como de risco alto, nas localidades de Bela Vista, Cascatinha, Retiro e Vista Alegre.

Para a caracterização dos panoramas de riscos a escorregamentos no 2° Distrito, levando-se em consideração suas peculiaridades, tipos de processos predominantes e características afins, seguem os subitens de apontamento geral dos setores de risco muito alto e alto, e dos setores de monitoramento.

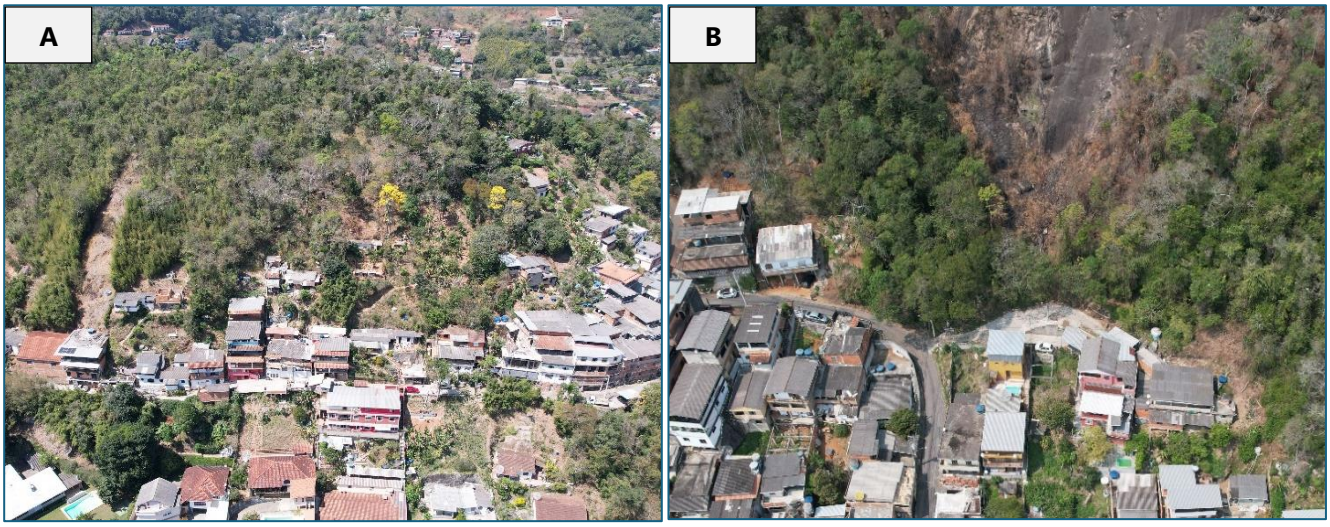


Figura 52: Exemplo de processos observados no 2° Distrito: A) Feições erosivas em trecho da encosta em que há cortes verticalizados para assentamento de edificações (a direita da imagem) e cicatriz de deslizamento (a esquerda da imagem), na localidade de Nogueira (PT_D2_NOGUEIRA_1364_DSS_BC_DS__1); B) Processos de movimentos de massa em queda livre próximo a edificações, na Servidão Antônio José Cosmo, Rua João Ésio Caldara, na localidade de Cascatinha (PT_D2_CASCATINHA_724_DSS_BC_DS__8).

5.3.1 Setores de risco muito alto (2° Distrito)

Os setores classificados como de risco muito alto, no 2° Distrito, totalizaram 26 polígonos, delimitados em 11 localidades distintas, a citar: Araras, Bonfim, Cascatinha, Corrêas, Frias, Humberto Rovigatti, Jardim Salvador, Nossa Senhora da Glória, Roseiral, Samambaia e Vista Alegre. Os locais associados a estes setores apresentaram, de maneira recorrente, históricos de reincidência de deslizamentos de grandes proporções, por vezes com atingimento de edificações e destruição (parcial e/ou total) de suas estruturas, além do registro de óbitos associados. Em Vista Alegre, por exemplo, junto a observação de pontos de deflagração desses processos, pôde-se constatar a presença de edificações de elevadas vulnerabilidades e um processo de avanço da ocupação com características similares, além da precariedade dos acessos e dos sistemas de abastecimento e esgotamento local.

Dentre os processos de movimento de terreno registrados junto a cada um dos setores, estiveram presentes os deslizamentos planares, os movimentos de massa em queda livre associados a queda de blocos e lascas e, por fim, aqueles cujo a combinação de feições de instabilidade no terreno configuraram uma situação crítica.

Dos setores associados a deflagração de deslizamentos planares, alguns estiveram associados a movimentos deflagrados ou reativados no período chuvoso do ano de 2024. Dois destes, ocorridos em Araras, na Estrada Bernardo Coutinho, estiveram associação de movimentação de corpos rochosos e desabamento parcial de edificação; em um dos casos, há considerável volume de material retido em meia encosta, direcionado a edificação a jusante, além da presença de feições de instabilidade ao redor da cicatriz (Figura 53A), enquanto no outro, a edificação construída sobre o talude apresenta boa parte de sua estrutura descalçada em decorrência do deslizamento ocorrido (Figura 53B). Em Corrêas, na Estrada União Indústria, o processo chegou a atingir os fundos de uma edificação comercial (Figura 53C), enquanto o ocorrido em Frias esteve associado a reativação de processos menores.

Os outros setores com registro de deslizamentos planares estiveram associados a processos menos recentes, como os ocorridos em 2022, com a presença de outras feições de instabilidade associadas tais quais trincas nos terrenos e nas edificações que, por vezes, apresentaram vulnerabilidade estrutural elevada, feições erosivas avançadas, muros inclinados, dentre outras; como pôde ser observado na localidade de Vista Alegre (Figura 53D).

Nas imagens abaixo, Figuras 53 (A, B, C e D), há a ilustração de alguns dos exemplos dos cenários observados em campo e supracitados anteriormente, em que setores foram delineados como de risco muito alto.

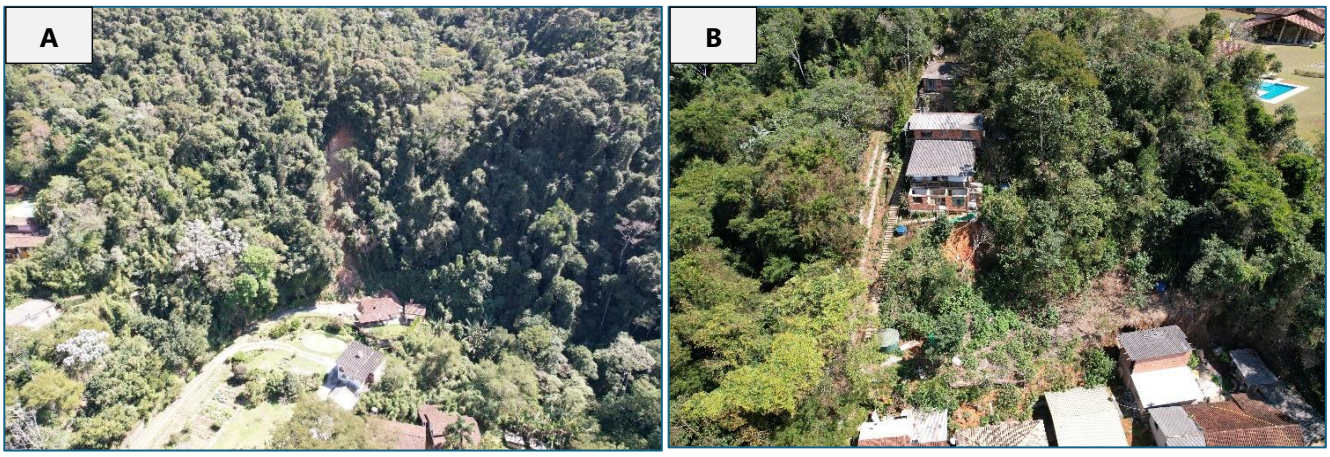


Figura 53: Imagens oblíquas de setores classificados como de risco muito alto a escorregamentos do 2° Distrito: A) Deslizamento planar na localidade de Araras (PT_D2_ARARAS_1303_DSS_JP_TS__1); B) Descalçamento de estrutura de edificação em decorrência da deflagração de deslizamento em talude, na Estrada do Coutinho, Araras (PT_D2_ARARAS_1352_DSS_JP_TS__1); C) Deslizamento em Corrêas, com atingimento de área dos fundos de edificação comercial; D) Cenário de ocorrência de feições de instabilidade, na localidade de Vista Alegre (PT_D2_VISTAALEGRE_1172_DSS_JP_TS__1).

Destaca-se ainda o setor delineado na Rua Manoel Luis Ferreira, na localidade Roseiral, em que edificações de elevada vulnerabilidade estrutural assentam-se a distâncias nulas das cristas e bases de taludes de cortes verticalizados. Neste local, embora os taludes sejam relativamente baixos, cerca de 6 metros de altura, a conjunção de todas as feições ali presentes configura um cenário crítico que justifica a classificação de risco muito alto, a citar, além da elevada vulnerabilidade estrutural das edificações, a elevada umidade do solo somada ao lançamento de resíduos líquidos sobre o terreno, a presença de cicatrizes de deslizamentos causando o descalçamento das edificações (Figura 54A) e instabilidade de suas estruturas, a presença de trincas e inclinações das mesmas (Figura 54B), dentre outras de evolução considerável.

Figura 54: Feições de instabilidade observadas na localidade Roseiral (PT_D2_ROSEIRAL_658_DSS_PG_TB__2): **A)** Deslizamento planar ocorrido em 2022 com o descalçamento de edificação de alta vulnerabilidade estrutural; **B)** Fenda, trincas e inclinação em pavimento de moradia, paralela à extensão de talude, cuja estrutura apresenta-se parcialmente descalçada em decorrência de deslizamento pretérito.

Por outro lado, setores vinculados a movimentos gravitacionais de massa em queda livre (queda de blocos) foram identificados em depósitos de tálus com vertentes de inclinações superiores a 70°, sendo: um no Bonfim (Figura 55), o mais recente, e o segundo em Vista Alegre, ocorrido em 2011, com atingimento de edificação e destruição parcial de estruturas.

Figura 55: Registro de queda de blocos em setor de risco muito alto a escorregamentos na localidade do Bonfim, no 2° Distrito (PT_D2_BONFIM_928_DSS_AS_EA__2).

Nos setores restantes de grau muito alto, predominam os taludes de corte e encostas com composição dada por materiais como solo residual, rocha sã e solo sobre rocha, principais configurações associadas a deflagração de deslizamentos nos períodos chuvosos no distrito, onde o contato solo rocha tende a perder resistência. Aqui, as moradias dispõem-se, majoritariamente, a distância nula de bases e cristas de taludes e encostas, onde foram evidenciadas feições de movimentação no terreno, como o descalçamento de estruturas (Figura 56A), a inclinação de espécies arbóreas e postes (Figura 56B), trincas nas moradias e nos terrenos (Figura 56C), assim como cicatrizes pretéritas, erosão em estado avançado e a presença de material instável sobre a crista de taludes/encostas, direcionados a edificações a jusante (Figura 56D).

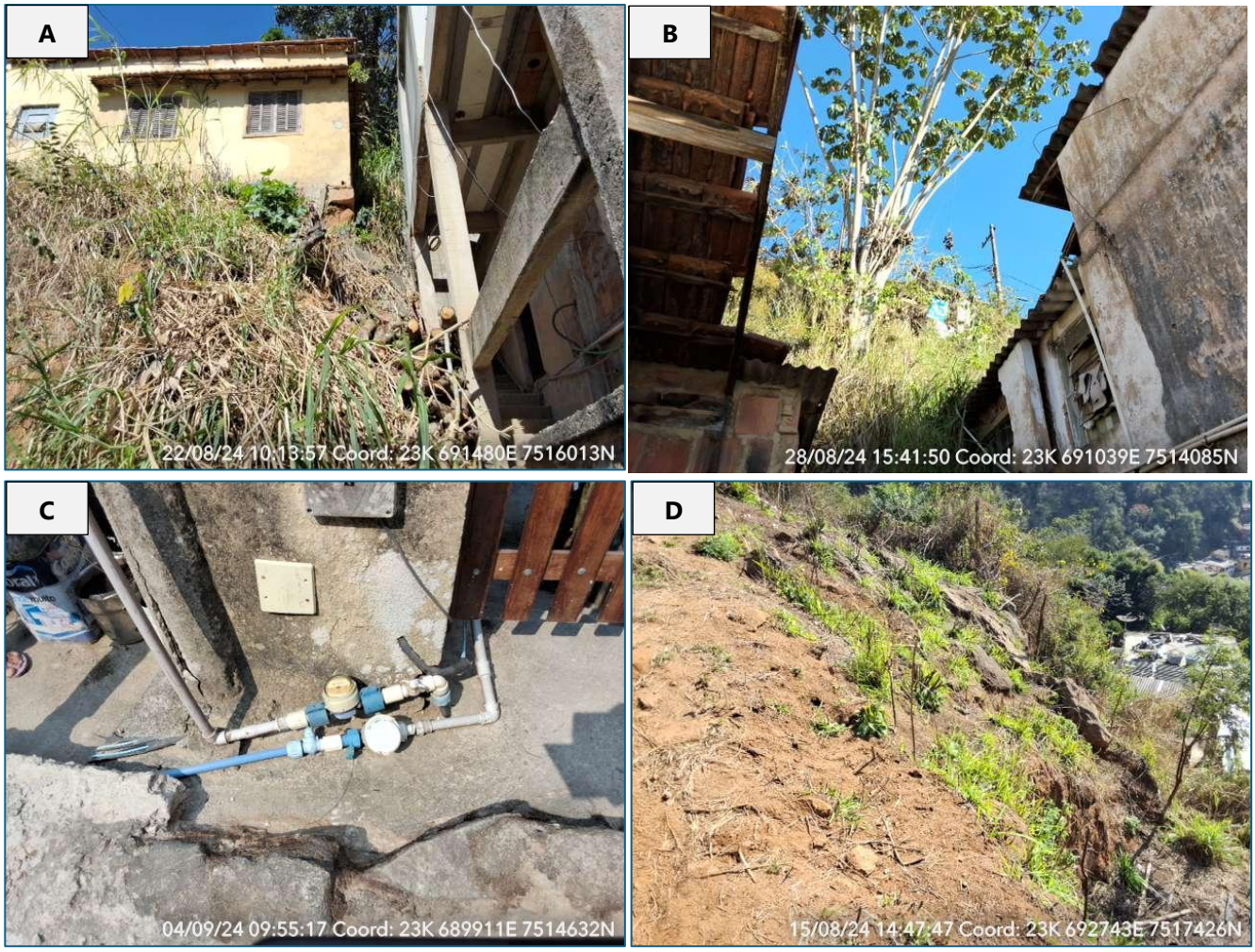


Figura 56: Feições de instabilidade observadas nos setores de risco muito alto, 2° Distrito: A) Descalçamento parcial de edificação construída a distância nula da crista de talude, em Corrêas (PT_D2_CORREAS_996_DSS_EA_IR__3); B) Inclinação de espécies arbóreas e postes sobre taludes, indicando movimentação no terreno na localidade Humberto Rovigatti

(PT_D2_HUMBERTOROVIGATTI_786_DSS_AS_LT__3); C) Trincas e fissuras em pavimento e estrutura de edificação construída sobre talude, na localidade Jardim Salvador (PT_D2_JARDIMSALVADOR_764_DSS_IR_LT__4); D) Material instável sobre a crista de talude, próximo a trecho de elevada inclinação, direcionado a edificação a jusante, em Frias (PT_D2_FRIAS_1089_DSS_AS_EA__5).

5.3.2 Setores de risco alto (2° Distrito)

Aos 68 setores identificados como de alto risco a escorregamento neste projeto, para o 2° Distrito, estiveram associados os processos: de deslizamentos planares deflagrados em encostas e taludes, a processos de movimentação gravitacional de queda livre e, aos restantes, não se aplicavam aos processos indicados, mas sim a conjunção de diferentes feições indicativas de instabilidade no terreno.

Vista Alegre foi a localidade com o maior número de setores cujo processo principal esteve ligado a deslizamentos planares recentes, assim como Araras, Corrêas, Frias, Nogueira e Vale do Carangola. Nas localidades citadas, a reincidência de processos disruptivos é bastante comum, estando associadas, normalmente, a processos ativos com registros de destruição parcial e/ou total de edificações ao longo dos anos; a exemplo do ocorrido em Calembe em que a deflagração de um deslizamento pretérito levou ao desabamento de edificações; feições de movimentação ativa no terreno ainda são observadas no local (Figuras 57 A e B).

Figura 57: Panorama de setor de risco alto a escorregamento definido na Rua Dr. Bina Calembe, na localidade de Calembe (PT_D2_CALEMBE_1329_DSS_BC_DD_DS_5), onde há registro de deslizamento pretérito com desabamento de edificações. A) Visualização de parte do processo; B) Acesso descalçado, com trechos do talude erodido, e vegetação inclinada.

A exemplo de outros setores associados a deslizamentos, observa-se, na Figura 58A, a localidade de Roseiral, onde há a identificação de deslizamentos planares recentes, com feições erosivas avançadas associadas a taludes de corte de inclinações elevadas e, em alguns trechos, ângulos negativos (Figura 58B); as porções central e inferior da encosta fotografada, delimitada em vermelho, correspondem ao setor de alto risco a escorregamento definido neste projeto (PT_D2_ROSEIRAL_658_DSS_PG_TB__1) (Figura 58A), enquanto, na parte superior, feições de instabilidade manifestam-se de forma crítica, delineando um setor de risco muito alto a escorregamento (PT_D2_ROSEIRAL_658_DSS_PG_TB__2), citado no subitem antecedente.

De modo similar, na Servidão Bernardo Chazam, na localidade de Nogueira (Figura 58C), pôde-se observar a presença de uma cicatriz aparente de deslizamento pretérito em talude de corte verticalizado, próximo a edificações, além de trincas no terreno e feições avançadas de processos erosivos. Neste local, há intervenção com suposta função de contenção, realizada de forma particular, restrita a um dos trechos do talude (Figura 58D).

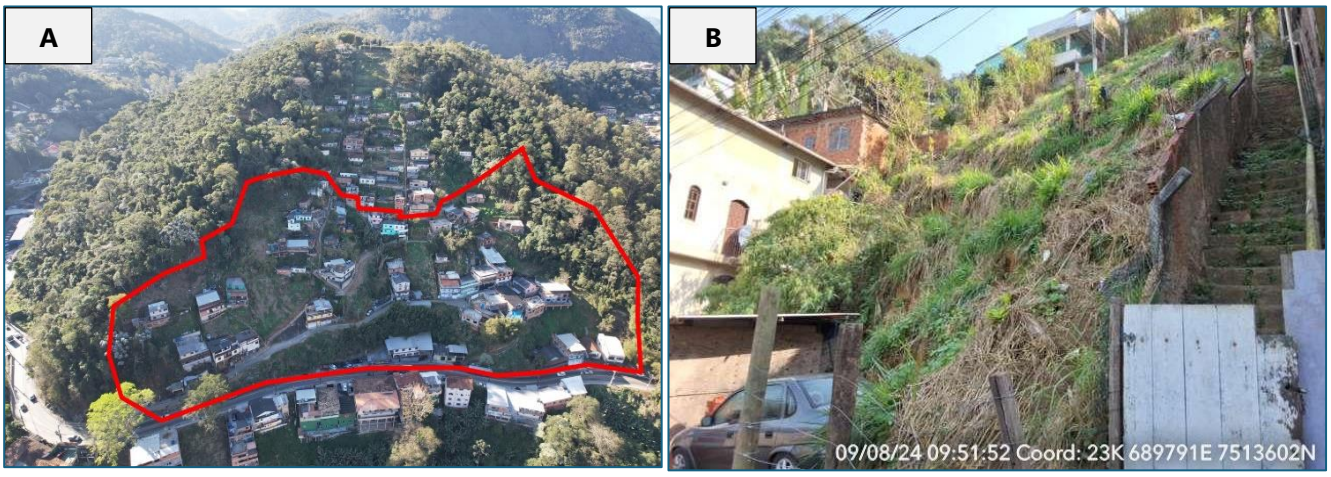


Figura 58: Exemplo de setores de risco alto, do 2° distrito, onde foram observados deslizamentos planares: A) no Roseiral (PT_D2_ROSEIRAL_658_DSS_PG_TB__1), com a evidenciação de outras feições de movimentação no terreno (B); C) em Nogueira (PT_D2_NOGUEIRA_1364_DSS_BC_DS__3), com observação de cicatriz pretérita e trecho de talude com intervenção com suposta função de contenção, restrita a parte do terreno (D).

Por outro lado, cita-se os cinco setores inseridos na classe de risco alto neste distrito em que os processos predominantemente observados foram os movimentos de queda de corpos rochosos (queda de blocos), nas localidades de: Cascatinha (Figura 59), Bela Vista, Retiro e Vista Alegre.

Figura 59: Queda de blocos na localidade de Cascatinha, associada à setor de risco alto.

Em Bela Vista, por exemplo, as quedas de bloco estiveram associadas a taludes de corte cuja litologia predominante tratava-se de rocha alterada sobreposta por solo residual; nesta área, há

registro de associação de deslizamentos planares com queda e rolamento de blocos rochosos e atingimento de edificações (Figura 60A). As localidades de Retiro e Vista Alegre (Figura 60B), apresentaram registros de reincidências desses processos, incluindo os desplacamentos rochosos, de forma isolada e/ou conjugada a deslizamentos planares, com observação de vegetação e postes inclinados e ângulos negativos em encosta.

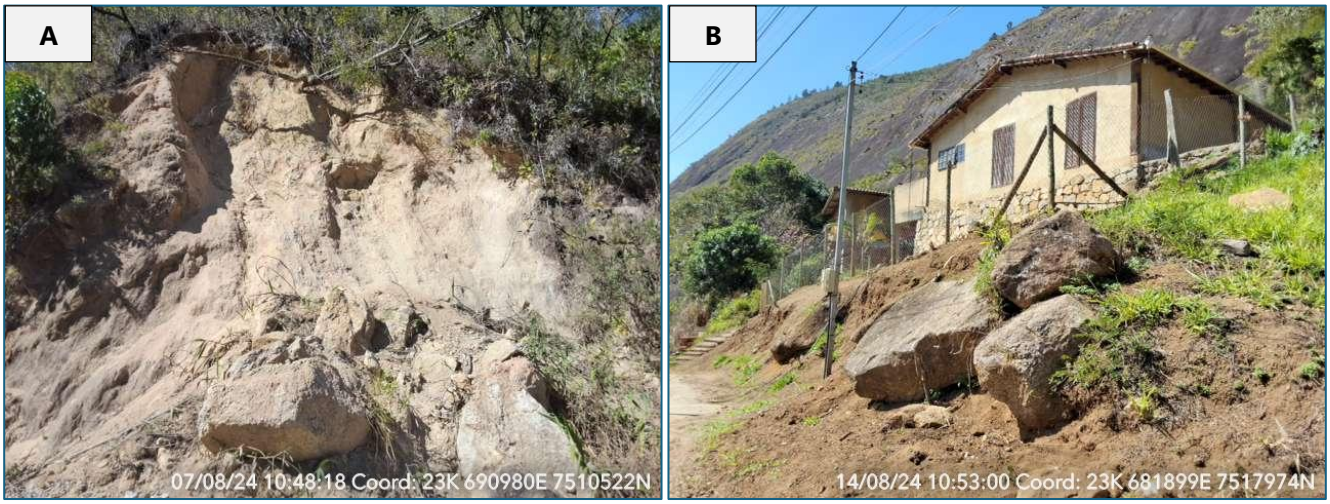


Figura 60: Registros de movimentos de corpos rochosos em queda livre para os setores de risco alto do 2 Distrito: A) Talude de corte em Bela vista, com observação de blocos de rocha alterada individualizados (PT_D2_BELAVISTA_394_DSS_AS_EA__1); B) Maciço rochoso fraturado aos fundos de edificação, onde há reincidência de queda de blocos e lascas rochosas (PT_D2_VISTAALEGRE_1172_DSS_JP_TS__2).

Aos setores de risco alto em que não foram registrados processos de movimentos gravitacionais de massa, foram relacionados outros indícios de instabilidade e movimentação do terreno observados em campo, bem como a vulnerabilidade estrutural inerente a certas edificações, que em conjunto configuraram um cenário de alto risco a escorregamento. A citar as evidências de movimentação do terreno observadas ao longo do processo de identificação dos setores que, em conjunto, configuraram o grau de risco alto:

a) As feições erosivas (Figura 61A), como o observado na Servidão Antônio Alexandre Cordeiro, na localidade de Jardim Salvador, junto a crista de talude sobre a qual edificações foram construídas;

b) Cicatrizes de deslizamentos (Figura 61B), a citar o ocorrido na Rua E, no Vale do Carangola, aproximando a edificação da crista do talude de corte;

c) As trincas no terreno (Figura 61C e 61D), paralelas a extensão da crista do talude e, por vezes contínuas, evidenciando uma movimentação no terreno;

Figura 61: Feições de instabilidade observadas nos setores de risco alto delineados no 2° Distrito: A) Processo erosivo em Jardim Salvador (PT_D2_JARDIMSALVADOR_764_DSS_IR_LT__1); B) Cicatriz de deslizamento na Rua E, Vale do Carangola (PT_D2_VALEDOCARANGOLA_1164_DSS_AS_DS__2); C) Trincas e fissuras no terreno na Rua José Geraldo da Silva, Corrêas (PT_D2_CORREAS_996_DSS_JP_TS__1); D) Trincas contínuas em pavimento de área externa de edificação em Vista Alegre (PT_D2_VISTAALEGRE_1173_DSS_JP_TS__2);

d) A presença de vegetação, postes e cercas inclinadas (Figura 62A), elementos dispostos em taludes com cicatrizes de deslizamento e processos erosivos ativos;

e) Trincas em moradias, evidenciando a movimentação do terreno e a vulnerabilidade estrutural das edificações;

f) Ângulos negativos nas vertentes (Figura 62B), como o registrado em Nossa Senhora da Glória, em que outras feições de movimentação no terreno já se apresentavam em estágio avançado.

Figura 62: Feições de instabilidade observadas nos setores de risco alto delineados no 2° Distrito: A) Cerca, sobre a crista de talude, com inclinação para jusante na Estrada da Mombaça, Araras (PT_D2_ARARAS_1245_DSS_AS_EA__3); B) Talude com trechos em negativo, em Nossa Senhora da Glória (PT_D2_NOSSASENHORADAGLORIA_886_DSS_BC_SC__1).

5.3.3 Setores de monitoramento (2° Distrito)

Os setores de monitoramento identificados no 2° Distrito totalizaram 135 polígonos, com a abrangência de 23 localidades distintas. Nas localidades do Vale das Videiras, Nogueira, Malta, Corrêas, Calembe e Estrada da Saudade, foram identificados cenários nos quais os processos de deslizamento do tipo planar configuravam situações em que se faziam necessário o monitoramento da evolução das feições presentes. A exemplo do observado na Rua Juiz de Fora, em Nogueira, em que um deslizamento planar ocorrido em encosta mobilizou material até via de acesso, em trecho em que edificações de baixa vulnerabilidade estrutural se dispõem a 15 metros de distância da encosta (Figura 63A). Assim como o observado na Estrada Novo Horizonte, em Calembe, onde edificações encontram-se assentadas em taludes de corte, a distâncias nulas de suas cristas e bases, próximas a trecho onde houve deslizamento pretérito (Figura 63B).

Figura 63: Setores de monitoramento definidos segundo a ocorrência de deslizamentos planares: A) em Nogueira (PT_D2_NOGUEIRA_1375_DSS_BC_DS__1); B) em Calembe (PT_D2_CALEMBE_1329_DSS_BC_DD_DS_4).

Outros setores não apresentavam evidências de processos já deflagrados, estando associada, à sua delimitação, a presença de feições de instabilidade e de movimentação no terreno que representassem um risco inferior de deflagração de deslizamentos ou outros movimentos descritos na literatura. A exemplo dos panoramas enquadrados nestas circunstâncias, cita-se:

a) A presença de feições erosivas em taludes de corte e encostas, onde edificações encontram-se assentadas a distâncias nulas de suas cristas e bases (Figuras 64 A e B);

Figura 64: Exemplos de cenários associados a setores de monitoramento no 2° Distrito: A) Rua Jacob Bordgnon, em Carangola (PT_D1_CARANGOLA_794_DSS_BC_DS__6); B) Estrada Bernardo Coutinho, em Araras (PT_D2_ARARAS_1250_DSS_JP_TS__2).

b) Observação de corpos rochosos individualizados em porção superior de maciço rochoso, próximos a edificações (Figura 65A);

c) Área com registro de deslizamento pretérito, em que sua cicatriz se apresenta recoberta por vegetação rasteira e não foram evidenciadas outras feições de instabilidade no terreno (Figura 65B);

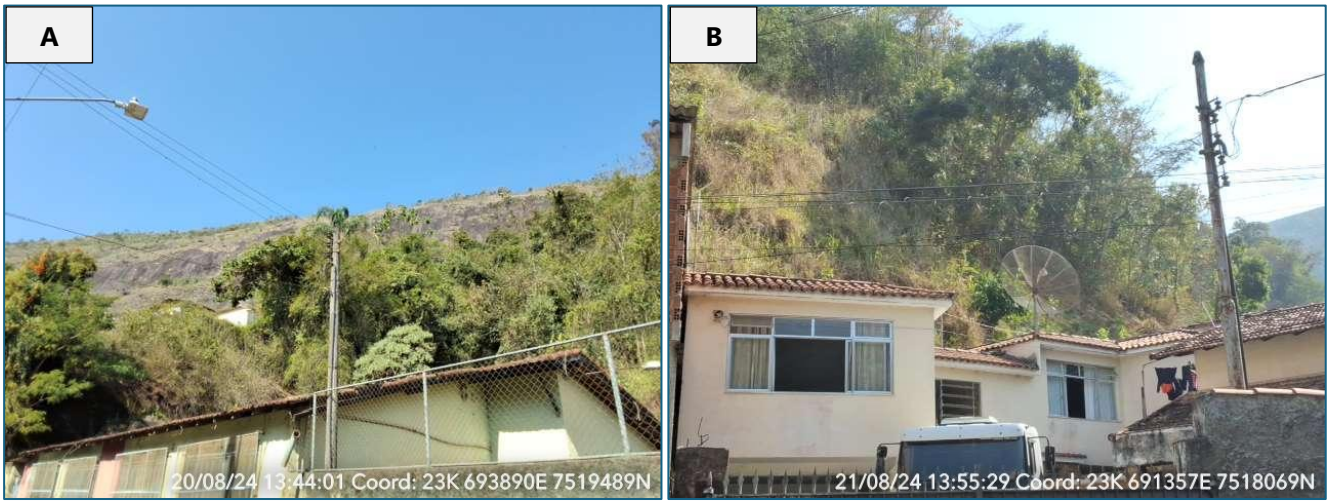


Figura 65: Exemplos de cenários associados a setores de monitoramento no 2° Distrito: A) Rua Dr. Bina Calembe, em Calembe (PT_D2_CALEMBE_1329_DSS_BC_DD_DS_2); B) Rua Martinho José Santana, em Castelo São Manoel (PT_D2_CASTELOSAOMANOEL_1050_DSS_EA_IR__2).

d) Feições erosivas e pequenas mobilizações de solo em taludes próximos a estruturas de acesso a edificações (Figura 66A);

e) Presença de vazamentos de água sobre talude verticalizado, com processos erosivos ativos, sobre o qual dispõem-se edificações de elevada vulnerabilidade estrutural (Figura 66B); dentre outras.

Figura 66: Exemplos de cenários associados a setores de monitoramento no 2° Distrito: **A)** Estrada Nossa Senhora da Glória, Corrêas (PT_D2_CORREAS_996_DSS_EA_IR__13); **B)** Rua Humberto Rovigatti, Servidão José Scardine, (PT_D2_HUMBERTOROVIGATTI_755_DSS_AS_LT__2).

5.4 Terceiro Distrito: Itaipava

O 3° distrito do município de Petrópolis possui a 3ª maior população da cidade. Na contramão do distrito sede, apresentou crescimento de sua população chegando a pouco mais de 20 mil habitantes, mesmo após o Mega desastre de 2011. Itaipava, como se sabe, foi o principal local afetado em Petrópolis, neste ano, especialmente na região do Vale do Cuiabá, acumulando intensos danos e prejuízos à época, além de um total de 71 vítimas fatais. Este distrito foi alvo de um dos maiores desastres documentado na história do país. É importante lembrar que a corrida de massa, o processo principal na região, percorreu cerca de 10km ao longo do eixo principal do rio, atingindo larguras de até 40 m em decorrência do recebimento de aporte de materiais do Vale do Santo Antônio em menos de 12h (MELLO *et al*., 2011).

Nesse evento, foram gerados processos de corridas de massa que remobilizaram materiais de fluxos de corrida pretéritos com o aporte de materiais advindos da bacia a montante junto a fluxos de mobilização de detritos e fluxos gravitacionais de blocos nas vertentes dos canais tributários. No terço superior do Rio Cuiabá foi gerado um ponto de represamento natural que ao romper, gerou um grande fluxo a jusante (LIMA, 2013). Ao observar a espacialização das cicatrizes deflagradas pelas chuvas de janeiro de 2011, percebe-se uma dinâmica complexa e de dimensão expressiva.

Dito isso, evidencia-se aqui a delimitação de um total de 71 setores de risco a escorregamentos no Distrito de Itaipava, neste projeto, com a abrangência de 10 localidades distintas. Destes, 45 definidos como setores de monitoramento, 20 de risco alto e 6 de risco muito alto. Sob as perspectivas das localidades abrangidas por este projeto, apresenta-se a seguir a relação quantitativa de setores de risco analisados neste distrito (Figura 67).

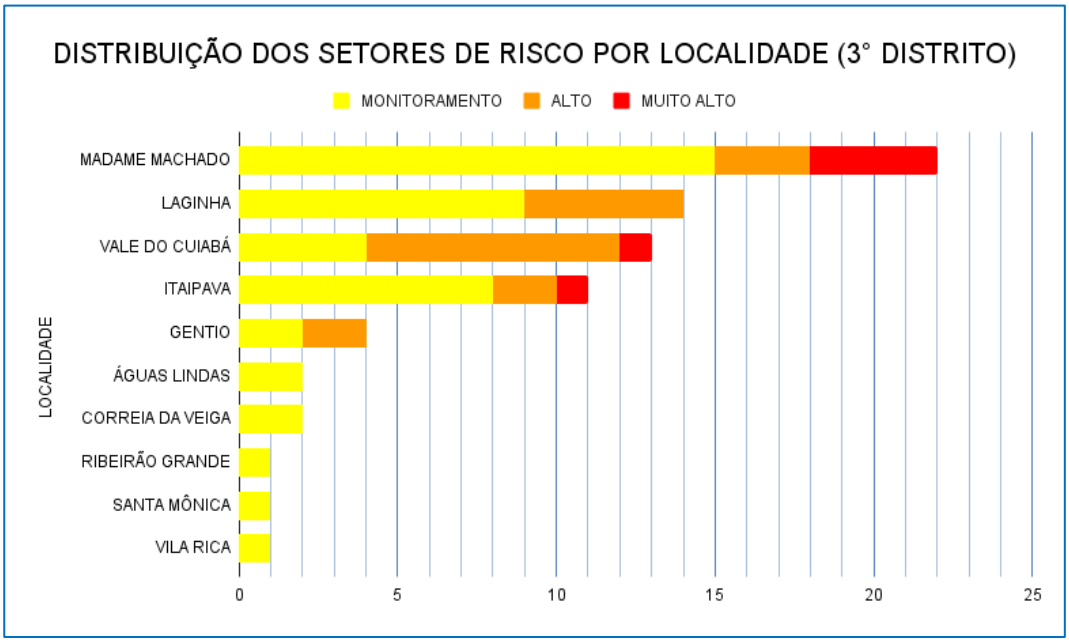


Figura 67: Representação em barras dos setores e suas respectivas classes de risco distribuídas pelas localidades do 3° Distrito, Petrópolis.

Evidencia-se quatro localidades em que foram delineados os maiores volumes de polígonos de risco, a citar: Itaipava, Laginha, Madame Machado e Vale do Cuiabá; estes dois últimos, com maior número de setores classificados como risco alto e muito alto. Por outro lado, há localidades ausentes de classificações de risco mais elevadas, sendo definido apenas setores de monitoramento, como o observado em Águas Lindas, Correia da Veiga, Ribeirão Grande, Santa Monica e Vila Rica.

5.4.1 Setores de risco muito alto (3° Distrito)

Nos 6 setores classificados como de risco geológico muito alto no 3° Distrito, foram observadas áreas com histórico de reincidência de processos geológicos, como os deslizamentos de grandes proporções, com atingimento de edificações, destruição parcial e/ou total de edificações e,

comumente, a ocorrência de óbitos. Para estas classes de risco, foram identificados setores dispostos nas localidades de Madame Machado, Vale do Cuiabá e Itaipava.

Movimentos gravitacionais de massa em queda livre estiveram associados a um polígono de risco muito alto na localidade de Itaipava, na BR040, em que foram observadas quedas de corpos rochosos alterados oriundos de encosta natural de cerca de 50 metros de altura (Figura 68A); há registro de atingimento de edificação, sem desabamento e danos a sua estrutura. Edificações encontram-se a distâncias nulas dos cortes realizados na base da encosta, onde pode-se evidenciar, de forma pontual, a recorrência de queda de corpos rochosos, a atuação de processos erosivos e a configuração de ângulos negativos no terreno (Figura 68B).

Figura 68: A) Setor associado a movimentos de corpos rochosos em queda livre, na localidade de Itaipava (PT_D3_ITAIPAVA_1756_DSS_BC_DD_DS_2); B) detalhe para a observação de feições erosivas e ângulos negativos em taludes de corte junto a edificações.

A presença de feições que configuram um possível deslizamento rotacional de magnitude considerável em encosta natural (Figura 69A), de cobertura vegetal dada por espécies rasteiras, pôde ser observada na Estrada Philúvio Cerqueira, na localidade Madame Machado, local conhecido como "Curva da Granja". Atenta-se, neste caso, para a observação de degraus de abatimento, em diferentes níveis, com superfícies curvilíneas em estágio de ruptura inicial, que evidenciam uma geometria característica de processos do tipo rotacional. Edificações construídas a jusante encontram-se na área de projeção do movimento, caso seja deflagrado (Figura 69B). Há registro de outros processos em

taludes mais próximos a estas edificações, como deslizamento planares, com histórico de desabamento de edificações e óbito.

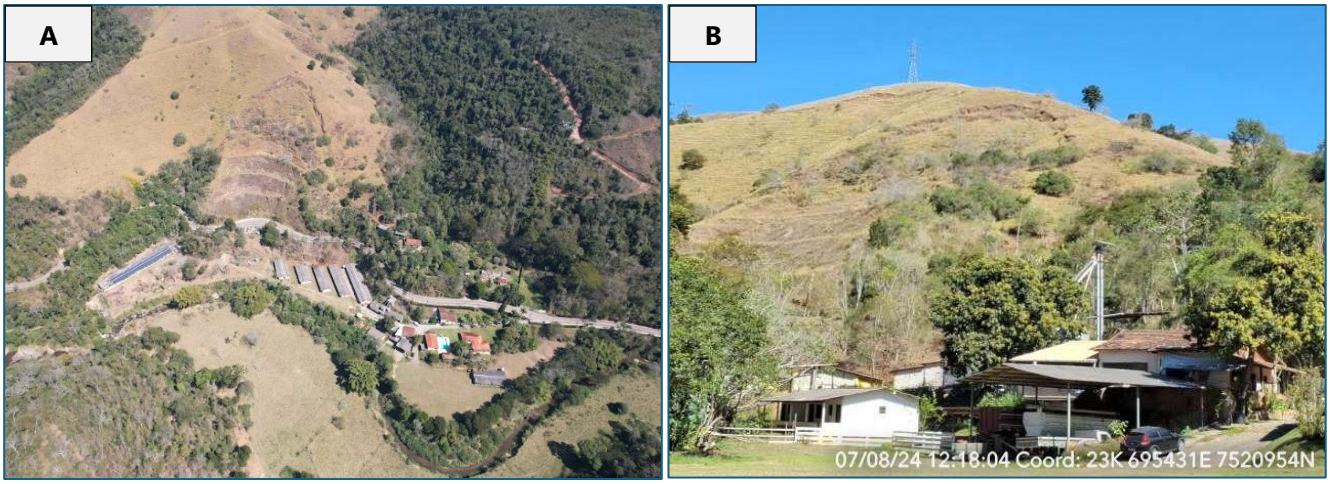


Figura 69: Fotografia aérea de feições que delimitam uma geometria associada a possível deflagração de um deslizamento do tipo rotacional A) e, em detalhe, em B) as edificações na projeção do movimento (PT_D3_MADAMEMACHADO_1547_DSS_PG_TB__1).

Ainda na Madame Machado, na Rua Edio Furtado da Costa, pôde ser identificado um trecho com histórico de recorrência de deslizamentos planares, em que edificações se dispõem de forma escalonada em taludes de cortes múltiplos, a pequenas distâncias de suas cristas e bases (Figura 70A); outras feições de movimentação puderam ser observadas nos taludes tais quais feições erosivas, vegetações inclinadas e trechos de taludes em ângulos negativos. Panorama similar foi identificado na Rua José de Freitas Martins (Figura 70B), também na Madame Machado, onde há verticalização recorrente de taludes para construção de casas, além da presença de um histórico de deslizamentos planares com atingimento de edificações e de edificações de elevadas vulnerabilidades estruturais, próximas as margens de corpos hídricos.

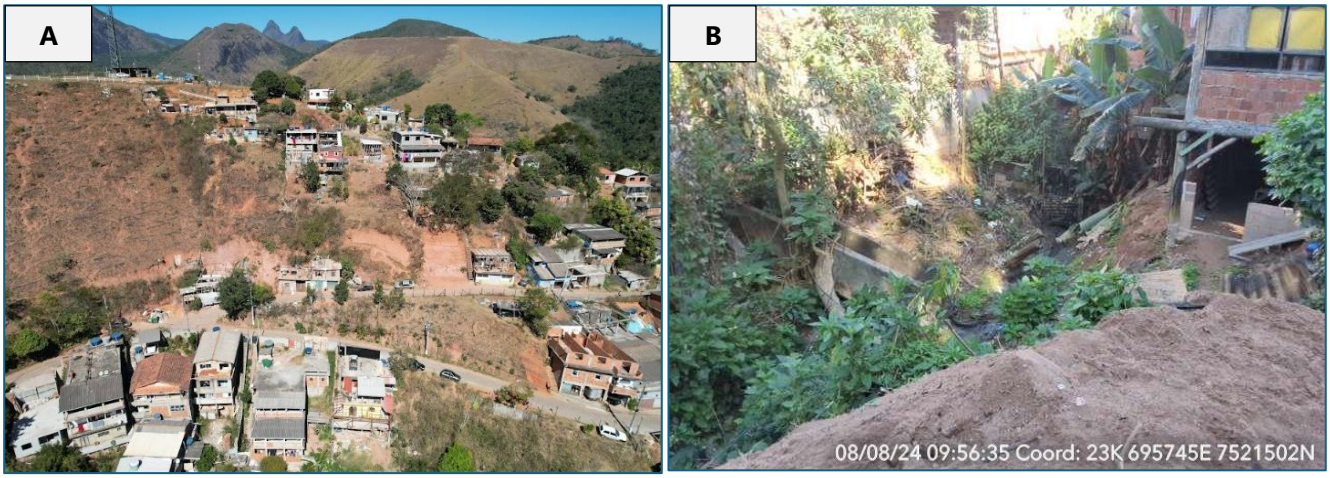


Figura 70: Deslizamentos associados a setores de risco muito alto delineados no 3° Distrito. Em (A), Rua Edio Furtado da Costa com observação de deslizamentos planares, além de feições erosivas (PT_D3_MADAMEMACHADO_1548); e em (B), a presença de edificações de elevadas vulnerabilidades estruturais em trechos com histórico de deslizamentos planares com atingimento, na Rua José de Freitas Martins (PT_D3_MADAMEMACHADO_1548_DSS_BC_DS__12).

Cita-se ainda a Rua 28 de abril, onde há registro de eventos ocorridos em 2008 e 2011, em que foram observadas cicatrizes de deslizamento, feições erosivas e degraus de abatimento contínuos por toda a geometria côncava do trecho da encosta analisada; há um concentrado de edificações na base desta encosta (Figura 71A). Por fim, no Vale do Cuiabá, na Rua Jorge Francisco de Melo, destaca-se a localidade também atingida pelos desastres de 2011, acometida por deslizamento planar com cicatriz ainda visível, além da inundação e do fluxo de detritos que avançou pelo vale (Figura 71B). Além disso, a localidade foi atingida pela inundação do fluxo de detritos em que algumas casas até hoje possuem marcas dos níveis de água, superiores a 2m de altura. Cita-se que, nestes casos, foram considerados, além dos processos pretéritos de elevada magnitude ocorridos nestas áreas, outras feições e configurações geológicas e geomorfológicas observadas em campo.

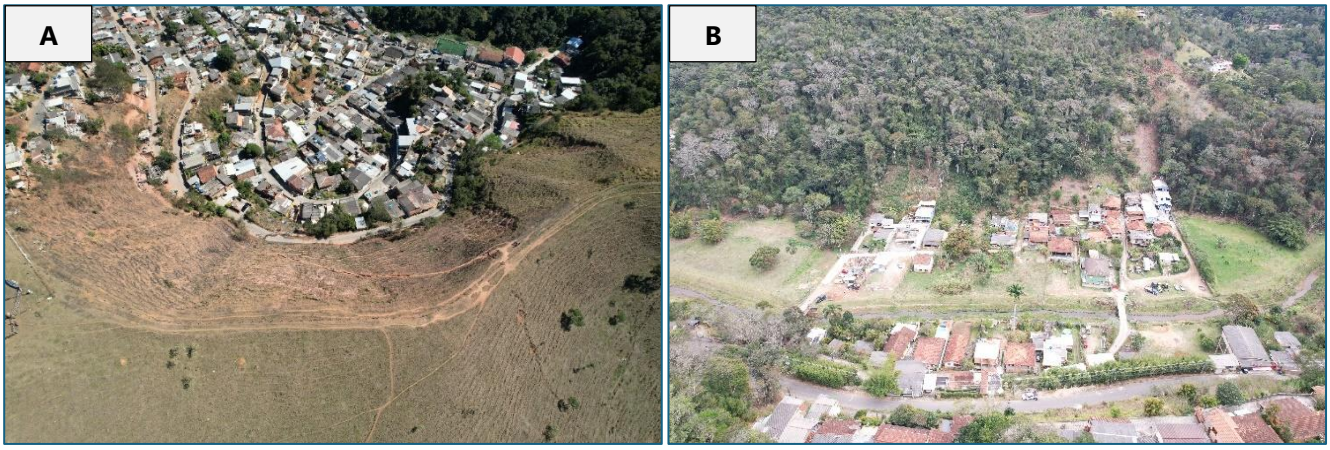


Figura 71: A) Observação de vertente côncava com a presença de degraus de abatimento e feições erosivas na Rua 28 de abril, Madame Machado (PT_D3_MADAMEMACHADO_1548_DSS_BC_DS_DD_1); B) Imagem oblíqua da localidade Buraco do Sapo, na localidade do Vale do Cuiabá, de classe de risco muito alto a escorregamento (PT_D3_VALEDOCUIABA_1525_DSS_MS_SC__2).

As condições de drenagem associadas as áreas dos setores aqui delimitados se mostraram precárias, haja visto os registros de campo que evidenciam que todas as localidades possuem sistema de drenagem considerado inexistente e apenas as localidades de Itaipava e da Curva da Granja, em Madame Machado, não possuem a indicação de concentração de água em superfície.

5.4.2 Setores de risco alto (3° Distrito)

Nos 20 setores identificados como de risco alto a escorregamento no 3° Distrito neste projeto, foram observadas áreas com reincidência de processos geológicos, como deslizamentos planares e movimentações gravitacionais em queda livre do tipo rolamento de blocos, com atingimento de edificações, destruição parcial e/ou total de destas. Para esta classificação de risco, foram identificados setores dispostos nas localidades de Gentio, Itaipava, Laginha, Madame Machado e Vale do Cuiabá.

Os movimentos gravitacionais de massa em queda livre estiveram associados a polígonos de risco dispostos na localidade de Itaipava, Madame Machado e Vale do Cuiabá, onde foram observadas quedas de corpos rochosos de talude de cortes múltiplos (Figura 72A) com aproximadamente 7m de altura e encostas naturais (Figura 72B) variando de 60 a 250 m, respectivamente.

Figura 72: A) Rocha alterada vista em detalhe em um dos cortes de talude observados no setor PT_D3_ITAIPAVA_1727_DSS_MS_SC__2, em Itaipava; B) Observação de bloco rochoso anguloso que se movimentou e chegou na área de fundos da edificação do setor PT_D3_VALEDOCUIABA_1785_DSS_PG_TB__1, no Vale do Cuiabá.

Já os deslizamentos planares estiveram associados a polígonos de risco distribuídos nas localidades de Gentio, Itaipava e Laginha. Nestas áreas foram verificadas evidências de instabilidade como cicatrizes, ângulos negativos e marcos indicando movimentação do terreno (Figuras 73 A e B).

Figura 73: A) Local onde há registros de deslizamentos pretéritos e recente (2024), além de outras feições de instabilidade, na localidade de Gentio (PT_D3_GENTIO_1697_DSS_MS_SC__2); B) Localidade de Laginha onde houve deslizamento com desabamento parcial de edificação (PT_D3_LAGINHA_1696_DSS_MS_SC__3).

Os demais pontos associados aos polígonos de risco geológico alto apresentavam feições significativas de movimentações de terreno, mas sem haver um processo próximo associado. Estas feições são caracterizadas por:

- Trincas e degraus de abatimento, sugerindo processo de deslizamento rotacional ainda em evolução em dois polígonos distintos;
- Atingimento de edificações por inundação e fluxos de detritos, em seis áreas diferentes, associadas ao Megadesastre da Serra em 2011 e;
- Dois polígonos evidenciando processos erosivos ativos e presença de elementos arbóreos e postes inclinados/tombados, sugerindo movimentação de terreno.

Cabe ressaltar, que na localidade do Vale do Cuiabá, apesar de haver majoritariamente processos ativos envolvendo material rochoso, houve deslizamento planar ocorrido em 2011 junto a depósito de tálus (Figura 74).

Figura 74: Área de maciço rochoso observado no setor PT_D3_VALEDOCUIABA_1785_DSS_PG_TB__1, no Vale do Cuiabá. Apesar de atualmente, a área apresentar majoritariamente processos gravitacionais oriundo de material rochoso, em 2011 o local foi acometido por deslizamento planar em solo raso sobre rocha, culminando em área de depósito de tálus e rampas de colúvio, como demonstrado na imagem.

Com relação às condições de drenagem observadas nos setores aqui delimitados, apenas três setores distribuídos em Gentio, Laginha e Vale do Cuiabá, apresentam sistemas de drenagem em condições precárias, os demais se mostravam inexistentes.

5.4.3 Setores de monitoramento (3° Distrito)

Os 45 setores de monitoramento definidos para o 3° Distrito apresentam-se distribuídos em 10 localidades distintas, a citar: Itaipava, Águas Lindas, Correia da Veiga, Gentio, Laginha, Madame Machado, Ribeirão Grande, Santa Monica, Vale do Cuiabá e Vila Rica.

Dentre os cenários associados a esse grau de risco, cita-se aqueles em que foram observados deslizamentos planares em taludes de cortes (múltiplos ou único) e em encostas naturais e que, por diferentes constatações em campo, não seria aplicável a atribuição de uma classificação de risco superior. Na Rua José Leandro, em Madame Machado, por exemplo, o caso de deslizamentos em talude esteve vinculado a mobilização de pequeno volume de material (Figura 75A) próximo a edificação. Feições de instabilidade no talude apresentavam-se pouco evoluídas, embora sinalizassem a presença de uma movimentação inicial do terreno, como o observado em um muro de suposta função de contenção, sem drenos, construída de forma particular, que apresentava um abaulamento de sua estrutura (Figura 75B).

Figura 75: Deslizamento com mobilização de pequeno volume de solo ocorrido na Rua José Leandro, Madame Machado PT_D3_MADAMEMACHADO_1576_DSS_PG_TB__2 (A), com detalhe para a estrutura abaulada de muro construído com suposta função de contenção e ausente de drenos (B).

A ocorrência de deslizamentos foi marcante neste setor, sendo também observado: na Rua Manoel Leal Nunes, em Laginha, onde observa-se a cicatriz junto a processos erosivos (Figura 76A); na Alameda Aclimação, onde o deslizamento apresentou maior extensão lateral embora haja uma certa distância entre a base do talude e as edificações (Figura 76B); na Estrada Philúvio Cerqueira

Rodrigues, no Vale do Cuiabá, em que o deslizamento ocorreu ao lado de uma edificação de bom padrão construtivo, sem atingimento desta, porém ocasionando o desabamento de parte de canaleta de sistema de drenagem presente no talude (Figura 76C); e na Rua Treze, Madame Machado, em que foi identificado o atingimento de um muro limítrofe (desabamento parcial), mesmo se tratando de um deslizamento de pequena magnitude (Figura 76D); edificação dispõem-se a montante da cicatriz.

Figura 76: A) Cicatriz de deslizamento em Laginha (PT_D3_LAGINHA_1738_DSS_MS_SC__1); B) Deslizamento na Alameda da Aclimação, Laginha (PT_D3_LAGINHA_1781_DSS_MS_SC__4); C) Deslizamento ao lado de edificação com desabamento de canaleta de drenagem, no Vale do Cuiabá (PT_D3_VALEDOCUIABA_1520_DSS_PG_TB__1); D) Atingimento de muro divisório por deslizamento, na Rua Treze (PT_D3_MADAMEMACHADO_1576_DSS_PG_TB__3).

A observação de um conjunto de outras feições associadas a características estruturais e processos erosivos também foram identificadas nos setores de monitoramento, a citar: a) edificações

de elevada vulnerabilidade estrutural próximo a talude verticalizado com feições erosivas (Figura 77A); b) evolução de processos erosivos em talude de corte com histórico de pequenos deslizamentos, aos fundos de edificação (Figura 77B); c) Feições erosivas mais avançadas em decorrência da presença de mina d´água e a presença de trincas no terreno; distâncias consideráveis entre as referidas feições e as edificações, sendo necessário o monitoramento das mesmas (Figuras 77 C e D); dentre outras.

Figura 77: A) Feições erosivas em talude próximo a edificação de alta vulnerabilidade estrutural em Águas Lindas (PT_D3_AGUASLINDAS_1403_DSS_BC_DD_DS_1); B) Feições erosivas em talude de corte de fundos de edificação em Correia da Veiga (PT_D3_CORREIADAVEIGA_2137_DSS_BC_DD_DS_1); C) Feições erosivas avançadas associadas a presença de mina d´água em trecho do talude, em Gentio (PT_D3_GENTIO_1697_DSS_MS_SC__10; D) Trincas na crista de talude, também em Gentio (PT_D3_GENTIO_1697_DSS_MS_SC__1).

5.5 Quarto Distrito: Pedro do Rio

Para o 4° Distrito, foram definidos 55 setores de risco a escorregamentos, sendo: 14 setores identificados como de risco alto e 41 como setores de monitoramento, distribuídos ao longo de sete localidades distintas (Barra Mansa, Chafariz, Pedro do Rio, Retiro das Pedras, Secretário, Taquaril e Vila Rica). O distrito possui a 2ª maior extensão dentre os cinco distritos, com boa parte da ocupação acontecendo ao longo do eixo da BR-040 e suas estradas secundárias; dessa forma, os setores destacados no mapeamento acompanharam essa mancha de urbanização.

Sob as perspectivas das localidades abrangidas por este projeto, apresenta-se a seguir a relação quantitativa de setores de risco analisados neste distrito (Figura 78).

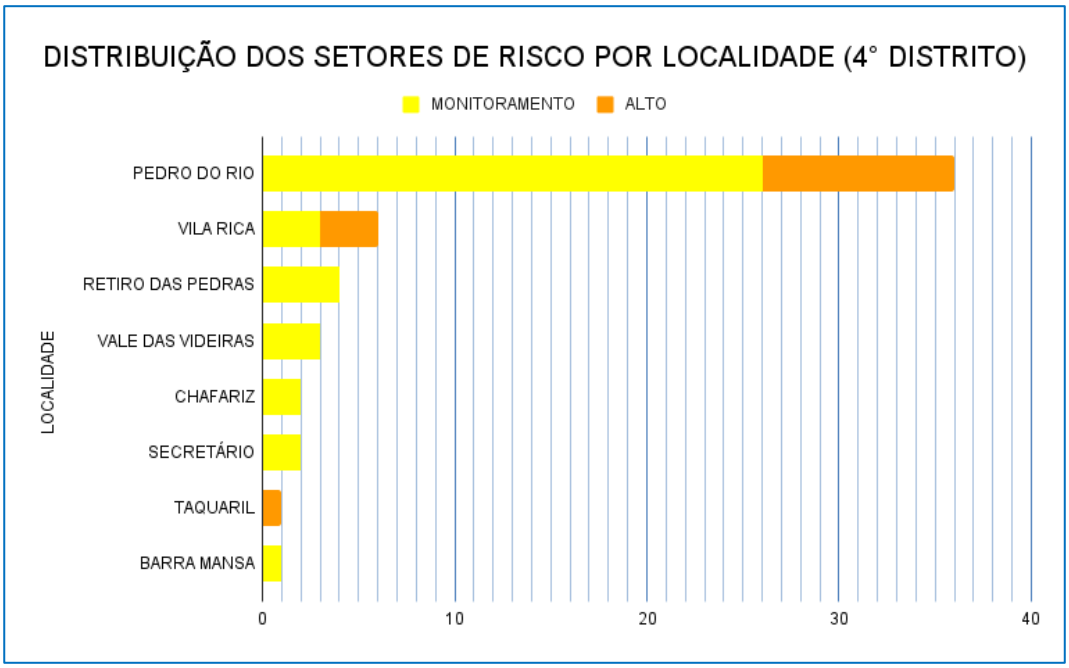


Figura 78: Representação em barras dos setores de risco identificados, os graus atribuídos e a sua distribuição espacial ao longo das localidades do 4° Distrito, Petrópolis.

Concentrando cerca de 69% do total dos setores do 4° Distrito, a localidade de Pedro do Rio, cujo a ocupação se dá ao longo da BR-040, possui mais pontos de risco alto do que as outras localidades somadas. Vila Rica, também próxima à BR-040, é a segunda localidade com maior número de setores somados, embora seja de forma muito menos expressiva. A seguir, a descrição dos cenários observados na classe de risco alto e nos setores de monitoramento do 4° Distrito.

5.5.1 Setores de risco alto (4° Distrito)

Um total de 14 setores foram identificados e classificados como de risco alto a escorregamento neste distrito, estando sob esses riscos, cerca de 119 edificações. Associados a deslizamentos planares, destaca-se a localidade de Pedro do Rio: em Vila Leopoldina (Figura 79A), na Rua Laurinda Lopes Medeiros (Figuras 79 B e C), na Estrada Mineira (Figura 79D), na Vila Rica (Figura 79E) e na Estrada João de Deus Rodrigues (Figura 79F). Nestes casos, as feições de movimentação no terreno estiveram associadas a taludes de cortes, próximo a edificações, onde também foram evidenciadas, além das cicatrizes de deslizamentos, degraus de abatimentos, feições de processos erosivos ativos, trincas em terrenos e muros, dentre outras. Movimentos gravitacionais de corpos rochosos em queda livre, com registros de queda e rolamento de blocos, foram identificados em um dos setores de risco alto do distrito, na Rua Eugenio Zanatta, também em Pedro do Rio.

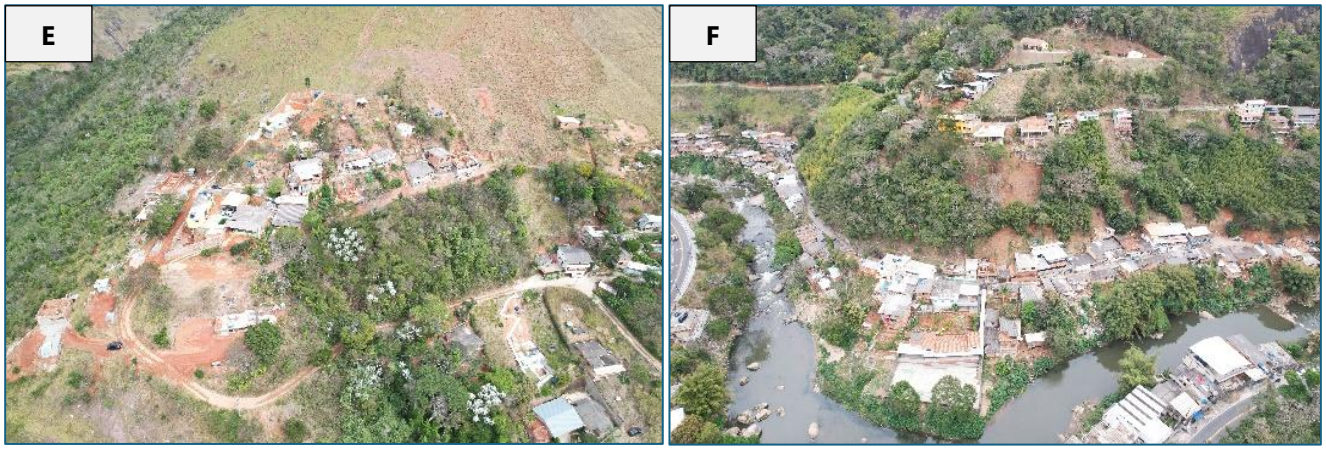


Figura 79: Cenários onde foram identificados setores de risco alto a escorregamentos no 4° Distrito: A) Trecho de talude com deslizamento deflagrado e atingimento de edificação a jusante, na Vila Leopoldina (PT_D4_PEDRODORIO_2204_DSS_DS_SC__2); B) Rua Laurinda Lópes Medeiros, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__11); C) Deslizamento ocorrido aos fundos de edificação, em depósito de tálus, na Rua Laurinda Lópes Medeiros, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__7); D) Deslizamento em talude marginal a curso hídrico na Estrada Mineira, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2272_DSS_DS_SC__3); E) Fotografia aérea evidenciando a morfologia e feições do terreno em Vila Rica (PT_D4_PEDRODORIO_2229_DSS_AS_BC__1); F) Deslizamentos e processos erosivos em encosta margeada por curso hídrico, na Estrada João de Deus Rodrigues (PT_D4_PEDRODORIO_2272_DSS_DS_SC__2).

Por outro lado, na Estrada João de Deus Rodrigues, foi verificado uma vertente com inclinação de cerca de 80°, onde edificações apresentam-se na crista e base de taludes de corte executados, por vezes com estruturas descalçadas, onde há registro de mobilização pretérita de solo (Figura 80A). Neste panorama, cita-se um elemento agravante dado pela inexistência de obras de drenagem e direcionamento dos fluxos d´água no terreno, elevando o risco deste setor. Na rua José Joaquim Rodrigues, foram identificadas evidências de movimentação do terreno, a exemplo dos muros, postes e espécies arbóreas inclinadas, além de material mobilizado e a presença de feições erosivas evoluídas a montante das edificações destacadas (indicado pela seta vermelha) (Figura 80B).

Figura 80: **A)** Estrada João de Deus Rodrigues (PT_D4_PEDRODORIO_2272_DSS_DS_SC__2); **B)** Rua José Joaquim Rodrigues; seta vermelha indica feições erosivas avançadas a montante de edificações (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_AS_BC__2).

Os outros setores de risco alto também tiveram suas evidências de instabilidade descritas, sem, contudo, apresentarem processos deflagrados recentemente, estando associados a um conjunto de feições que indicavam movimentação no terreno e justificavam uma classificação de risco alto a escorregamentos, como: a observação de vegetação inclinada para jusante onde há edificações interditadas por risco de escorregamentos (Figura 81A), a presença de umidade nos taludes (Figura 81B), feições erosivas de processos ativos aproximando a estrutura de edificações a crista dos taludes (Figura 81C), trincas e fissuras nos terrenos (Figura 81D), dentre outros.

Figura 81: A) Vegetação inclinada para jusante na Rua José Teixeira Nunes, Vila Rica, onde há edificação interditada por risco a escorregamentos (PT_D4_VILARICA_2162_DSS_AS_BC__1); B) Presença de umidade em talude na Rua José Joaquim Rodrigues (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_AS_BC__2); C) Feições erosivas de processos ativos aproximando a estrutura de edificações a crista dos talude na Travessa A, (PT_D4_PEDRODORIO_2229_DSS_AS_BC__3); D) Trincas e fissuras em pavimento da Rua Laurinda Lopes Medeiros (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__11), com acúmulo de água em superfície.

5.5.2 Setores de monitoramento (4° Distrito)

Os 41 setores de monitoramento resultantes do mapeamento de risco a escorregamentos neste distrito, se concentraram em 6 localidades distintas, a citar: Barra Mansa, Chafariz, Pedro do Rio, Retiro das Pedras, Secretário e Vila Rica; totalizaram 295 edificações sob estes riscos.

Deslizamentos planares foram identificados como processo principal em alguns dos setores, todos eles em Pedro do Rio, como observado: na Rua Domingos Pereira, em que houve a mobilização de pequeno volume de material (solo e rocha alterada), com deposição próxima a edificação, sem o comprometimento de sua estrutura (Figura 82A); e na Rua Laurinda Lópes de Medeiros, onde o deslizamento ocorreu ao lado de uma edificação, causando o desabamento parcial do concreto projetado em parte do talude (Figura 82B).

Figura 82: Registro de deslizamentos planares na: A) Rua Domingos Pereira, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2422_DSS_DS_SC__2); B) Rua Laurinda Lópes de Medeiros, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_DS_SC__8).

Os outros setores de monitoramento estiveram associados a presença de feições e características no terreno que, em conjunto, ditaram a necessidade de uma delimitação de polígono de risco desta classe. Em Chafariz, mais precisamente na Rua Manoel Canedo, loteamento Santa Rita, foram identificados sinais de movimentação do terreno, como trincas e fissuras em muros (Figura 83A), em edificações e no terreno, abaulamentos em muros e paredes, cicatrizes de deslizamentos e ângulos negativos. Outras características como: feições compatíveis a um processo inicial de rastejamento, com distância de cerca de 220 metros da encosta as edificações construídas a jusante (Figura 83B), trincas e fissuras no pavimento, com acúmulo de água sobre o terreno (Figura 83C), inclinação de postes (Figura 83D), ângulos negativos associados a evolução de processos erosivos sobre taludes verticalizados de forma antropogênica (Figura 83E), observação de processos erosivos ao longo de talude, próximo a edificações; também foram observadas nos cenários dos setores de monitoramento deste distrito (Figura 83F).

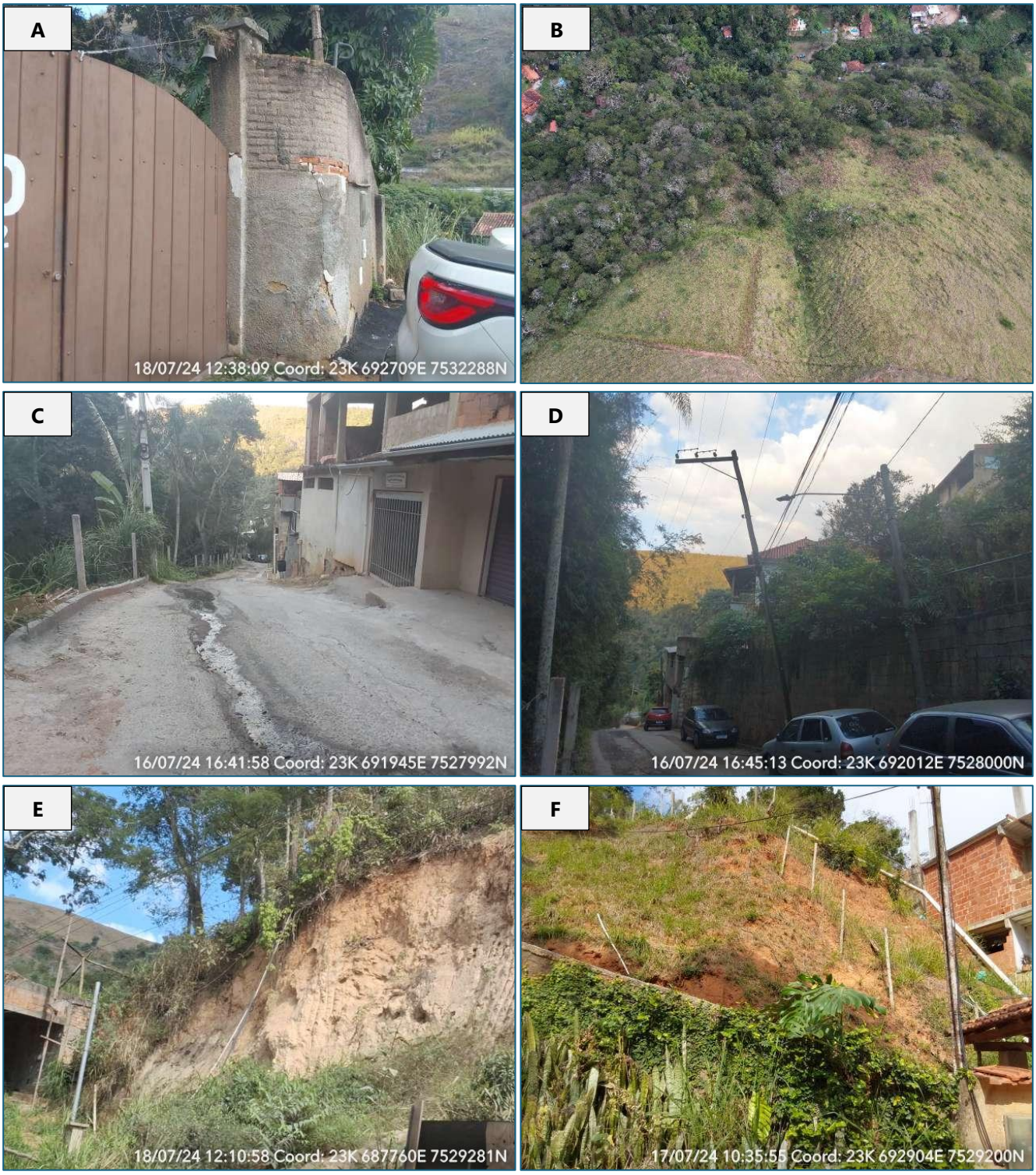


Figura 83: **A)** Trincas em muro construído sobre terreno inclinado na Rua Manoel Canedo, loteamento Santa Rita (PT_D4_CHAFARIZ_2647_DSS_AS_BC__1); **B)** Feições compatíveis a um processo inicial de rastejo em Secretário (PT_D4_SECRETARIO_2352_DSS_DS_SC__2); **C e D)** Trincas e fissuras no pavimento, com acúmulo de água sobre o terreno, bem como a presença de postes inclinados na Travessa A, Pedro do Rio (PT_D4_PEDRODORIO_2229_DSS_AS_BC__4) ; **E)** Ângulo negativo, próximo a edificação, em talude escavado na Rua

Aloisio Costa Leite, Secretário (PT_D4_SECRETARIO_2352_DSS_DS_SC__1); F) Processos erosivos em talude, próximo a edificação na Rua José Joaquim Rodrigues, PT_D4_PEDRODORIO_2383_DSS_AS_BC__3).

5.6 Quinto Distrito: Posse

Os setores de risco identificados no 5° Distrito do município de Petrópolis (Posse) estiveram associados a duas regiões distintas, caracterizadas por diferentes padrões de ocupação do solo: setores associados as localidades Córrego Grande, Posse e Rio Bonito, em que a ocupação se desenvolveu sobre a arquitetura de um vale banhado pelo rio Piabanha, e aqueles atrelados a localidade Brejal, região de maior altitude em que atividades como agricultura e o ecoturismo se destacam. Foram identificados 38 polígonos de risco a escorregamento no distrito (Figura 84), sendo 1, 8 e 29 deles, classificados como muito alto, alto e setor de monitoramento, respectivamente.

Deste total, 32 estiveram associados a áreas encaixadas em vale, na localidade Posse, expressando-se em 1 setor de risco muito alto, 6 de alto e 25 de monitoramento; em geral associados a presença de deslizamentos e processos de queda livre de corpos rochosos. Por outro lado, os 6 polígonos restantes, associados as porções de maiores altitudes situadas no Brejal, apresentaram cenários que configuraram a necessidade de delimitação de 2 setores de risco alto e 4 setores de monitoramento, onde o avanço de processos geológicos e geomorfológicos evidenciavam panoramas de desenvolvimento de movimentação no terreno.

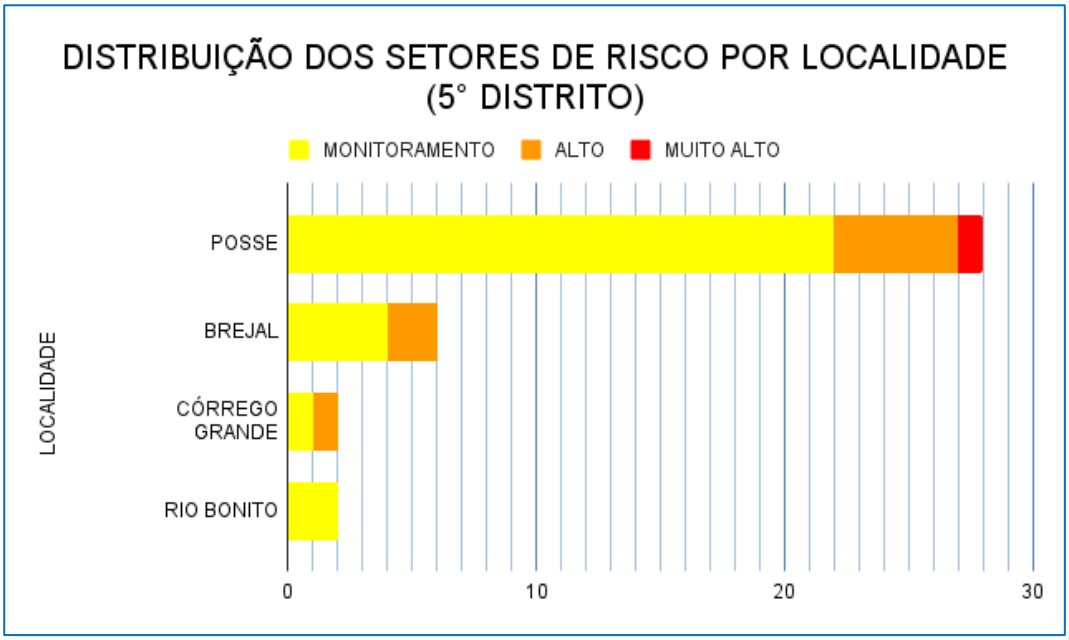


Figura 84: Representação em barras da distribuição dos setores nas localidades do 5° Distrito e suas respectivas classes de risco atribuídas.

Observa-se que o maior volume de polígonos está adensado na parte de vale, onde há maior concentração das edificações, relacionando-se prioritariamente a registros de feições de instabilidade pouco desenvolvidas, e evidenciando movimentos no terreno de forma incipiente (corresponde a 24 polígonos). Há ainda, nesta região, o registro de deslizamentos planares com histórico de recorrência e reativação de processos, desde o ano de 2011, por vezes com registros de atingimento e desabamento parcial de estruturas. Desplacamentos em maciços rochosos também foram identificados na região. Na Estrada do Brejal, em maior altitude, os processos geológicos e as feições de instabilidade dos setores encontram-se associados a depósitos de tálus e colúvio, a taludes de cortes múltiplos e a encostas naturais (trechos de maciço fraturado exposto e a trechos onde há sobreposição de solo pouco desenvolvido).

A distinção das classificações dos polígonos de riscos a escorregamentos no Distrito, levando-se em consideração suas peculiaridades, tipos de processos predominantes e características afins, estão descritas a seguir.

5.6.1 Setores de risco muito alto (5° Distrito)

Apenas um setor de risco a escorregamento foi classificado como muito alto no Distrito de Posse, localizado na Travessa da Pedreira, onde foi observado a ocorrência de um desplacamento em maciço rochoso de altura aproximada de 340 metros (Figura 85). Duas inclinações distintas foram identificadas neste trecho do afloramento onde, em sua porção superior, associado ao trecho de ocorrência do desplacamento rochoso, predominam inclinações mais elevadas, chegando a 80° e, nas porções central e basal, uma inclinação aproximada de 45°, associada a depósitos de colúvio e tálus. Há edificações assentadas próximo a base desta encosta, sendo enquadradas nesse polígono um total de 7 edificações sob o referido risco.

Figura 85: Setor de risco muito alto na Travessa da Pedreira, no 5° Distrito, associado a processos de desplacamento no maciço rochoso (Setor PT_D5_POSSE_2873_DSS_MS_SC__1).

5.6.2 Setores de risco alto (5° Distrito)

Para o alto risco a escorregamentos no distrito de Posse, foram identificados 8 setores nas localidades de Posse (5), Brejal (2) e Córrego Grande (1), com associação a processos de deslizamentos, movimentos gravitacionais de corpos rochosos e locais onde o agrupamento de feições de instabilidade externalizadas em talude configuraram um cenário de risco a escorregamentos.

Deslizamentos planares estiveram presentes nas localidades de Posse e Córrego Grande, onde a ocupação residencial em terreno inclinado se dá em associação com taludes de corte (único e múltiplos) de inclinações superiores a 60° (Figura 86A). Os taludes que exibiram a presença de cicatrizes de deslizamentos planares (Figuras 86 A e B) apresentam alturas superiores a 5 metros, com perfil litológico dado por rocha alterada sob solo residual e camada de aterro, cobertura vegetal constituída por espécies rasteiras e distâncias das edificações as suas bases e cristas, variando de 0 a 1 metro e 1 a 6 metros, respectivamente.

Outras feições de instabilidade estiveram vinculadas aos panoramas descritos, a exemplo das feições de processos erosivos ativos, de ângulos negativos nos taludes, dos degraus de abatimento no terreno, vegetação e postes inclinados, além de trincas e fissuras nos terrenos, nas edificações e nos muros. Ainda, pôde-se observar nestes cenários a presença de lançamento de água e concentração dessas em superfície, evidenciando um aporte antropogênico de umidade sobre o terreno. Mina d´água no topo do talude foi registrada em um dos setores, na Estrada do Brejal.

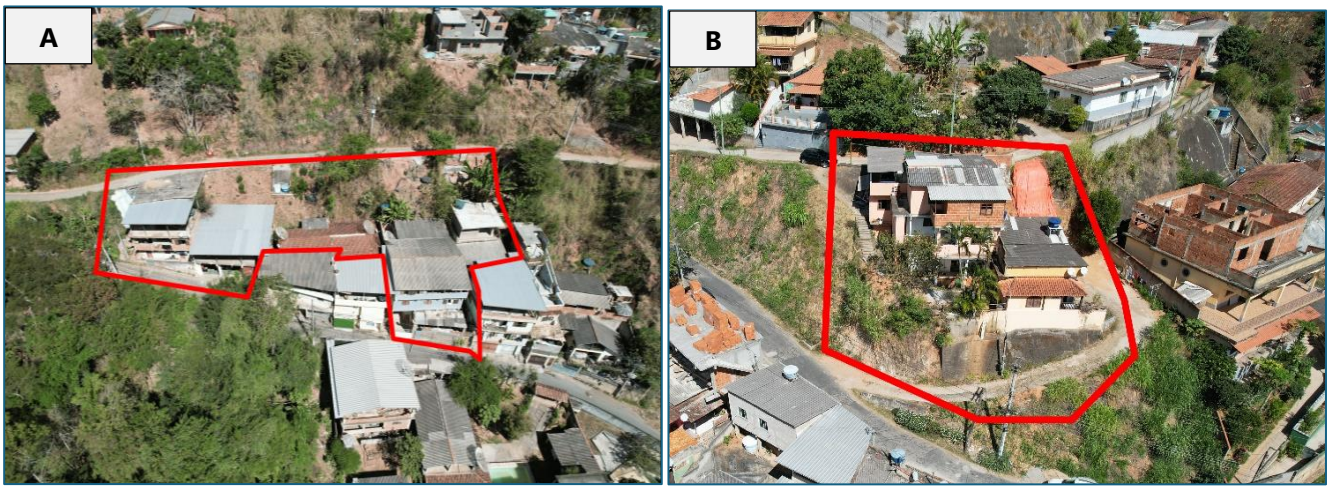


Figura 86: Cenários classificados como risco alto no Distrito de Posse (em vermelho, a delimitação do setor: A) Deslizamentos em talude de corte no Córrego Grande; em vermelho, a delimitação do setor de risco alto PT_D5_POSSE_2873_DSS_MS_SC__1; B) Deslizamento planar na Estrada da Boa Vista, Posse, com atingimento e desabamento parcial de edificação. Em vermelho, delimitação do polígono associado ao setor PT_D5_POSSE_2944_DSS_BC_DS__1.

No Ingá, na Rua Pedreira, foi identificado um setor associado a movimentação gravitacional em queda livre de corpos rochosos em encosta de 300 metros de altura e inclinação de 80°.

Desplacamentos e queda de matacões rochosos angulosos com alcance próximo a edificações foram observados, sendo considerada a zona de dispersão destes na delimitação do setor de risco alto (Figura 87A). O registro de um conjunto de feições de movimentação no terreno em áreas específicas na Estrada do Brejal também configurou domínios de alto risco a escorregamento, estabelecendo-se a necessidade de definição de três setores: dois associados a feições em taludes de corte (Figura 87B), e um à encosta natural de cerca de 170 metros de altura, ambos com composição dada por solo residual sobre rocha e distâncias nulas de suas cristas e/ou base das edificações ali assentadas.

Figura 87: Cenários classificados como risco alto no Distrito de Posse: A) Processo de desplacamento e queda de corpos rochosos em maciço fraturado na Rua da Pedreira, Ingá, associado ao setor PT_D5_POSSE_2879_DSS_BC_DS__1; B) Taludes de cortes verticalizados, na Estrada do Brejal, com agrupamento de edificações assentadas sobre e próximas a feições de instabilidade de terreno; destaque para a erosão avançada e vegetações inclinadas e tombadas (PT_D5_BREJAL_2899_DSS_BC_DS__4).

As feições associadas a estes cenários foram: feições erosivas de processos ativos e, por vezes, avançados, se externalizando em voçorocas (Figuras 88 A e B), trincas e fissuras no terreno e em moradias em decorrência da movimentação do solo, além de postes e espécies arbóreas apresentando inclinação para jusante. Aliado a essas evidências de movimentação no terreno, foi constatada a concentração de água em superfície e o lançamento de águas servidas sobre o terreno, a presença de minas d´água no topo das encostas, além da inexistência de um sistema drenagem no local, configurando um maior aporte de água no sistema, importante elemento a ser considerado na deflagração de escorregamentos.

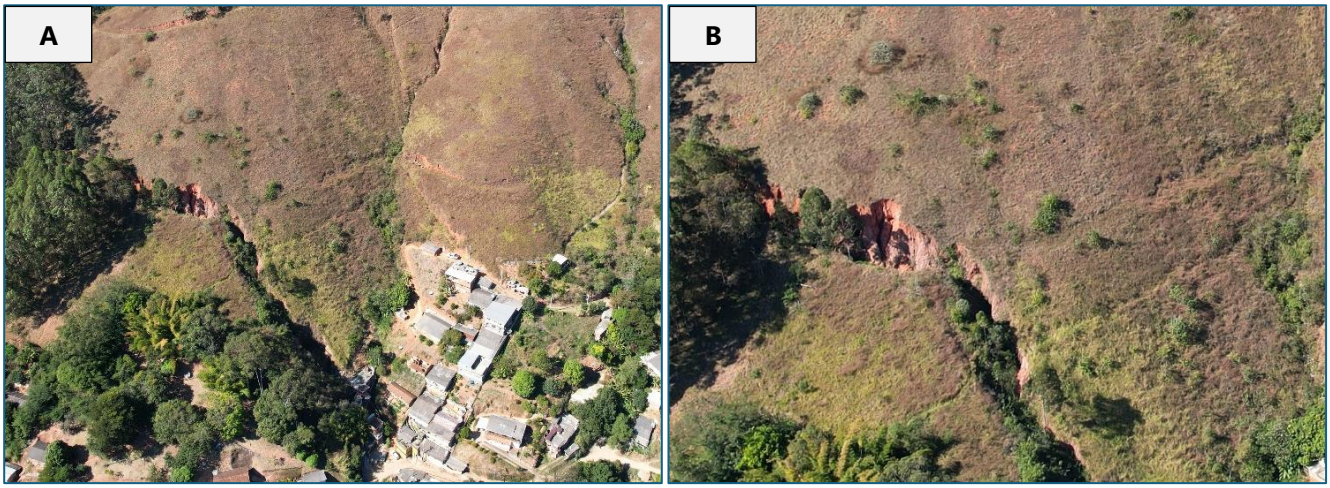


Figura 88: Cenários classificados como risco alto no Distrito de Posse: A) Feições de processos erosivos ativos observados em encosta natural na Estrada do Brejal associado ao setor PT_D5_BREJAL_2899_DSS_BC_DS__1); B) Detalhe para a feição erosiva em estágio mais avançado, próximo a edificações.

5.6.3 Setores monitoramento (5° Distrito)

Os setores de monitoramento do 5° Distrito totalizaram 29 polígonos de risco, com uma abrangência de 280 edificações, nas localidades de Posse, Rio Bonito, Brejal e Córrego Grande. Destes, dois setores estiveram relacionados necessariamente a deflagração de deslizamentos planares com evidência clara de cicatrizes em taludes de corte compostos por solo residual e que, somados a observação de feições erosivas com exposição de raízes de espécies arbóreas, trechos do talude em ângulo negativo, trincas no terreno e proximidade a edificações, configuraram a necessidade de uma delimitação espacial de risco neste projeto (Figura 89A). Destaca-se o setor delineado na Avenida Noêmia Alves Rattes, onde foi identificada a presença destas feições em depósitos coluvionares, somadas a presença de matacões rochosos na base da encosta.

Associado a localidade de Rio Bonito, na Rua José Joaquim de Melo e na Estrada da Silva Motta, os setores de monitoramento foram estabelecidos segundo a observação de taludes de corte verticalizados (80°), de 4 a 8 metros de altura, com cobertura vegetal esparsa e rasteira, com trechos de solo exposto, em que edificações se encontravam a cerca de 1 metro de distância se suas bases (Figura 89B). Nessa região, foi identificada a recorrência de processos erosivos ativos nos taludes,

além da presença de inclinações em muros construídos sobre eles, e por vezes construídos com suposta função de contenção (ausente de drenos); trincas no terreno e em muros foram observadas.

Figura 89: A) Edificação localizada na Estrada do Juruá, Posse, a distância nula de talude verticalizado onde pode ser observado a presença de feições erosivas e exposição de raízes de espécie arbórea (PT_D5_POSSE_2902_DSS_MS_SC__1); B) Edificação construída a pequena distância de talude de corte com solo exposto e feições erosivas na Estrada da Silva Motta, Rio Bonito (PT_D5_RIOBONITO_3108_DSS_BC_DS__1).

O único polígono de monitoramento atrelado a localidade Córrego Grande esteve associado a um talude de corte em que, em sua crista, constavam depósitos antrópicos (lixo), com o avanço de processos erosivos próximos a estes depósitos (Figura 90A). No Brejal e em Posse, a exceção daqueles descritos anteriormente onde foram evidenciados deslizamentos pretéritos, os setores de monitoramento apresentaram feições de instabilidade distribuídas por taludes de corte e encostas naturais (Figura 90B) que, por vezes, estiveram associadas a depósitos de tálus e colúvio, e a situações em que edificações foram construídas junto a paredões rochosos que, a princípio, não apresentam fraturas e estruturas geológicas de individualização de corpos rochosos aparentes; além de outras em que edificações se encontram próximas a maciços rochosos fraturados (maior distância quando comparada a situação anteriormente mencionada), com a observação de individualização de blocos; a cenários em que edificações foram construídas próximo a linhas de drenagem em encosta onde observa-se feições de processos erosivos iniciais; etc.

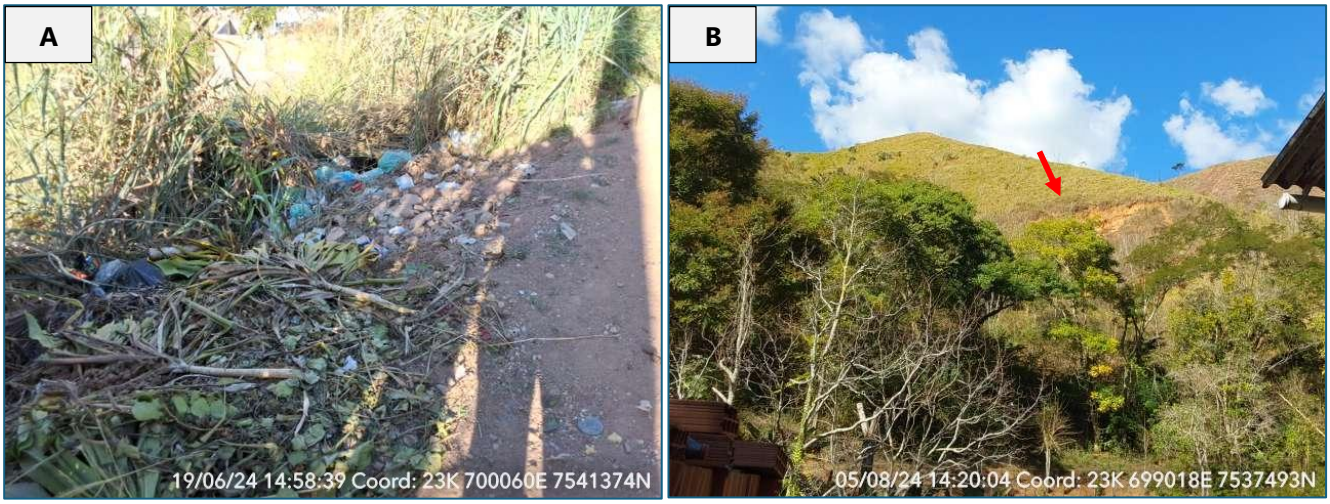


Figura 90: A) Lançamento de resíduos sólidos (lixo) de forma irregular em crista de talude de corte verticalizado, a montante de edificações, observado na localidade Córrego Grande, associado ao setor PT_D5_CORREGOGRANDE_3067_DSS_MS_SC__2); **B)** Feições erosivas (seta vermelha) observadas em encosta natural próximo a edificações construídas a jusante, na Estrada do Brejal (PT_D5_POSSE_2922_DSS_BC_DD__2).

5.7 Setores de engenharia

Os setores identificados como de risco muito alto e alto, foram encaminhados para análise da equipe técnica de engenharia, como descrito no item 4.2.5, que de posse das fichas de campo de risco geológico, revisitavam esses pontos com o objetivo de sugerir soluções geotécnicas que mitigassem o risco ao desenvolvimento de novos processos. Um total de 761 fichas de engenharia foram elaboradas, estando 618 delas associados a localidades do 1° Distrito, 94 ao 2º Distrito, 26 ao 3º Distrito, 14 ao 4° Distrito e 9 ao 5º Distrito (Tabela 10).

Tabela 10: Número de relatórios de engenharia produzidos por distrito.

Distrito	N° de setores (unid)	Total em %
1° - Petrópolis	618	81,1
2° - Cascatinha	94	12,4
3° - Itaipava	26	3,5
4° - Pedro do Rio	14	1,8
5° - Posse	9	1,2
TOTAL	758	100

Dentre as áreas contempladas pelo projeto, destaca-se as 49 localidades e seu total de vistorias de engenharia realizadas no ínterim de vigência do mapeamento (Figura 91). Com 60 relatórios, São

Sebastião foi a localidade com maior número de vistorias e, consequentemente de setores de risco muito alto e alto, seguida por Independência e o Alto da Serra. Vale lembrar que os últimos dois desastres marcantes da cidade (2022 e 2024), além de se concentrarem no 1° Distrito, tiveram como alvo estas três localidades.

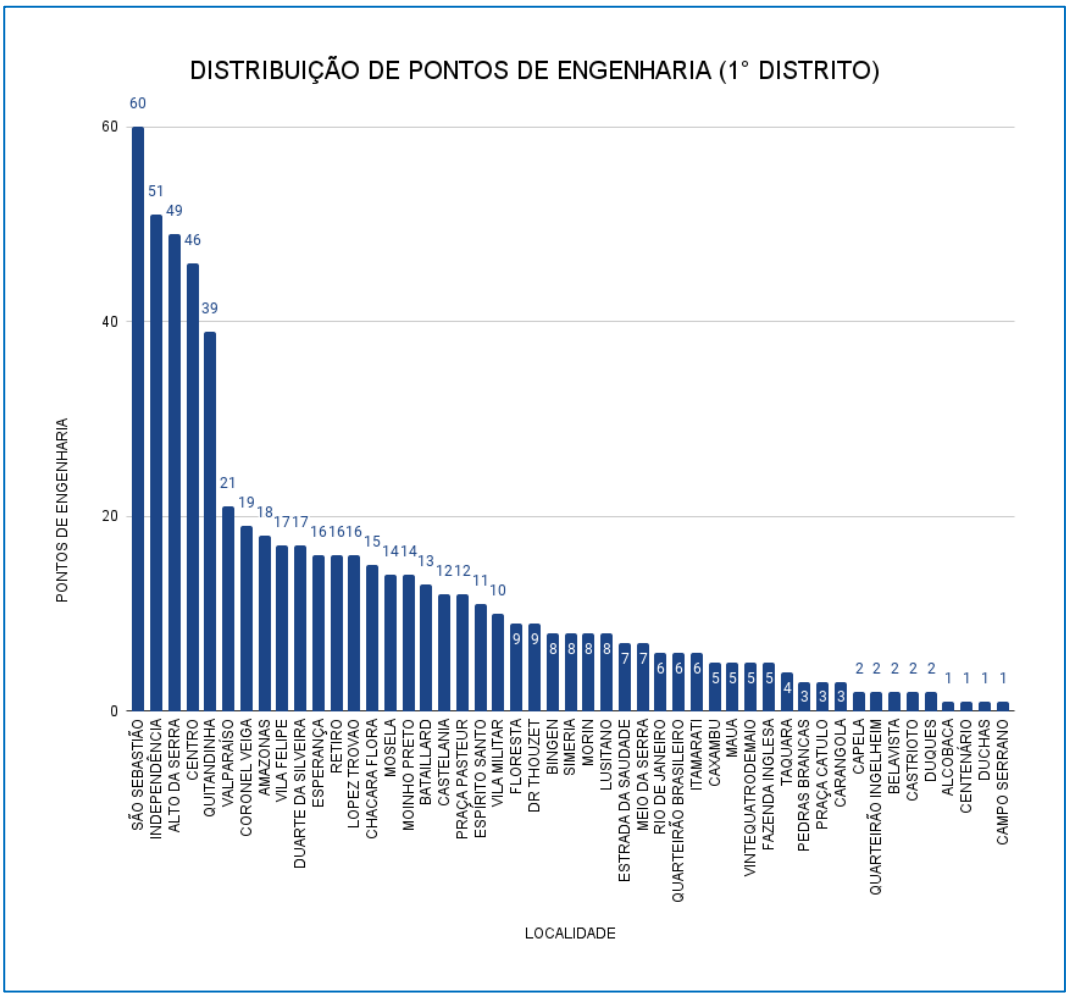


Figura 91: Gráfico retratando a distribuição das vistorias técnicas de engenharia nas localidades do 1º Distrito.

É importante destacar que, em virtude da inexistência de uma divisão de bairros oficial em Petrópolis, algumas localidades se estendem entre o 1° e 2° Distritos e, por isso, Alcobaça, Bela Vista, Carangola e Retiro aparecem como localidade de atuação em ambos os distritos.

Abaixo, na Figura 92, evidencia-se a distribuição dos locais de atuação da equipe de engenharia no 2º Distrito, em 20 localidades distintas, onde Corrêas, Vista Alegre e Cascatinha se

destacam como as três áreas de maiores números e, consequentemente, maiores números de polígonos delineados com graus de risco muito alto e alto a escorregamento. Junto a esses índices vinculados ao presente projeto, destaca-se o caso de Corrêas, local que apresentou um dos maiores índices pluviométricos das chuvas de 2024 com 88,2mm em 24 horas, em 5 de março do ano corrente (O Globo, 2024).

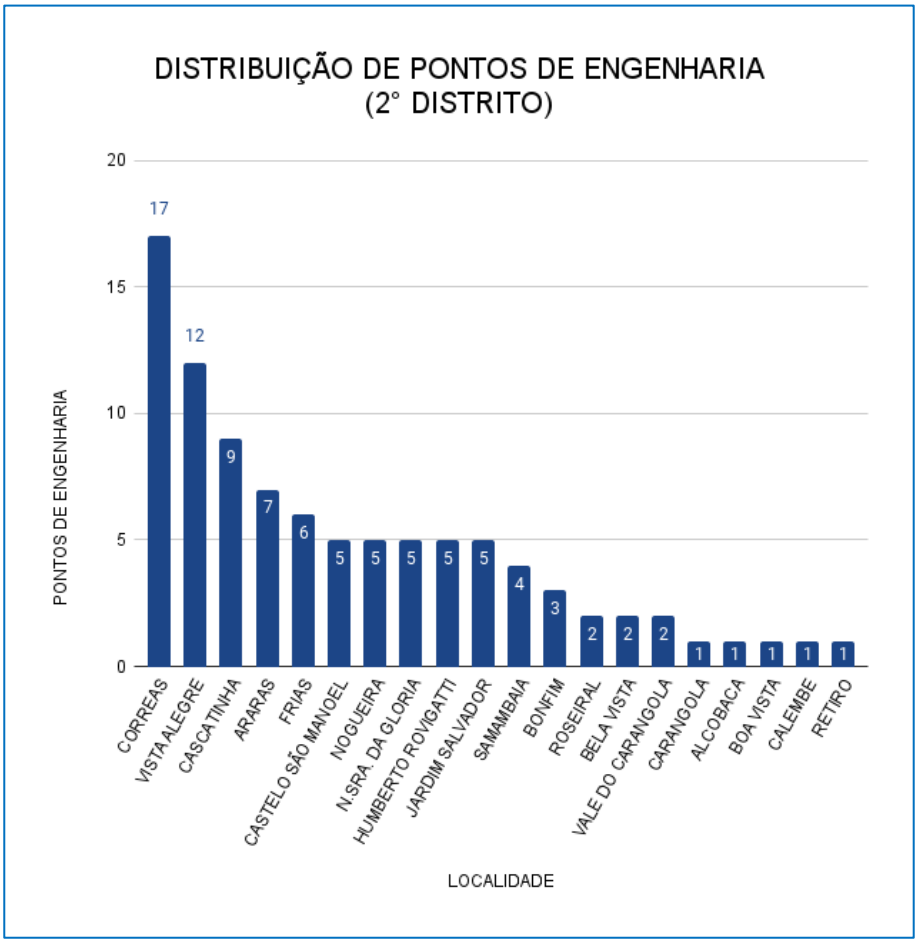


Figura 92: Representação gráfica acerca da distribuição das vistorias técnicas de engenharia nas localidades do 2º Distrito.

Por fim, na Figura 93, os últimos três distritos foram agrupados por terem um menor volume de análises nas localidades selecionadas. Ressalta-se que as ocorrências consideradas no distrito de Itaipava tiveram colaboração dos membros da NUDEC (Núcleo Comunitário de Defesa Civil), segundo o mapeamento participativo executado junto a esse projeto, promovendo a indicação de pontos de interesse sob a perspectiva da população local. As localidades de Gentio e Madame Machado

apontadas pela NUDEC apresentaram juntas, 9 vistorias técnicas da equipe da engenharia, mesmo número do Vale do Cuiabá, afetado pelo Megadesastre da Serra. No 4° Distrito, Pedro do Rio teve o maior número de vistorias entre os três distritos, somando 11 pontos. Por fim, o Distrito da Posse, teve a localidade de mesmo nome com 6 relatórios da engenharia.

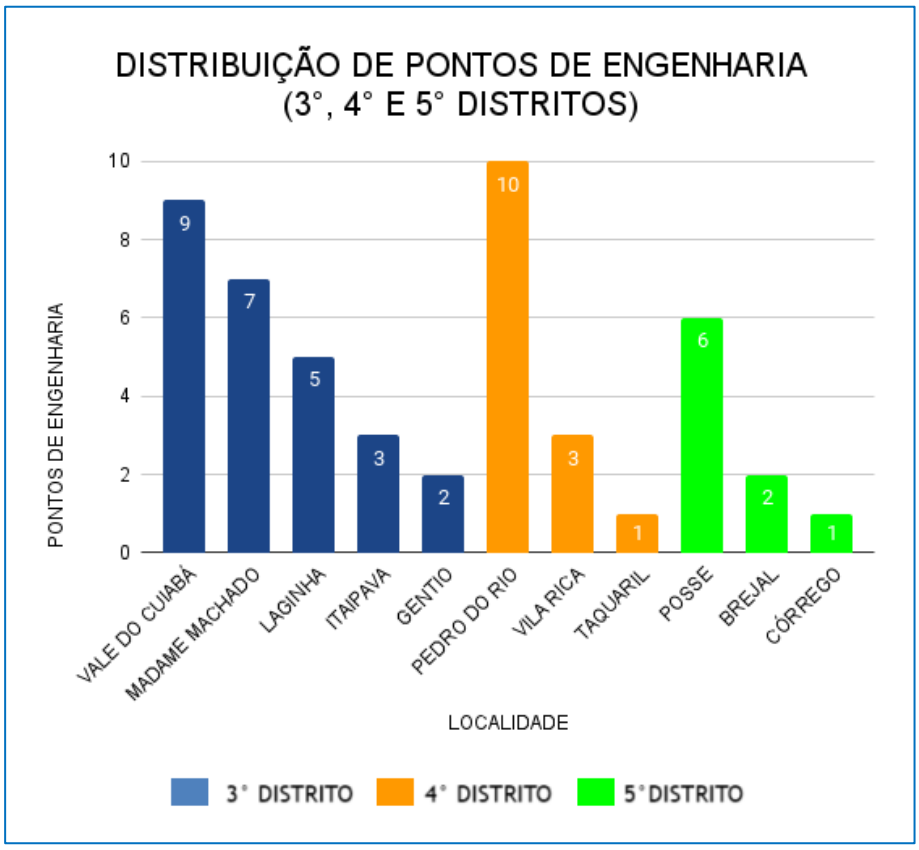


Figura 93: Gráfico de distribuição das vistorias técnicas de engenharia nas localidades dos 3º, 4° e 5° Distritos.

5.8 Setores de não-ocorrências

Para os pontos do Mapa e Tabela Inventário Final que não se enquadravam nos requisitos necessários para a delimitação de um setor de risco, houve o preenchimento de Fichas de Não-Ocorrência, como descrito no item 4.2.5, de modo a justificar e comprovar o porquê da ausência de polígonos em determinadas áreas. De acordo com a Tabela 11, das 1618 não ocorrências registradas neste mapeamento de risco, 1111 (cerca de 69%) estiveram associadas ao 1º Distrito, que também concentrou a maior porcentagem de setores de risco delineados no projeto; pouco mais de 18% das

não-ocorrências estiveram associadas a Cascatinha, 7,2% a Itaipava, 4,1% em Pedro do Rio e menos de 2% ao distrito de Posse.

Tabela 11: Número de não ocorrências por distrito e sua respectiva porcentagem.

Distrito	N° de não ocorrências (unid)
1° (Petrópolis)	1111
2° (Cascatinha)	295
3° (Itaipava)	117
4° (Pedro do Rio)	66
5° (Posse)	29
TOTAL	1618

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O relatório técnico final referente a Cartografia de Risco a Escorregamentos em Encostas no Município de Petrópolis revela como as especificidades de cada região influenciam nas diferentes dinâmicas de alteração do relevo e de ocupação e, por conseguinte, nas delimitações e classificações de setores de risco, evidenciando a importância de um acervo de dados robustos e atualizados em um contexto de gestão de risco, para um melhor direcionamento aos tomadores de decisão, em conformidade com as peculiaridades de cada local. Destaca-se, portanto, a relevância do presente projeto visto se tratar de um mapeamento de detalhe, em que todos os pontos catalogados pelos órgãos competentes (DRM-RJ e Defesa Civil de Petrópolis), e indicados pela comunidade local, foram contemplados e analisados por esta equipe técnica.

O 1° Distrito possui uma alta densidade populacional e concentra boa parte do patrimônio histórico e das edificações, muitas delas já desgastadas pelo tempo. As áreas de encosta no distrito apresentam, em geral, solo pouco desenvolvido, por vezes ausente, sobre maciços rochosos íngremes de alto nível de fraturamento; cenários de suscetibilidade a escorregamentos. Entre os setores mapeados no distrito, muitos foram classificados com os graus muito alto e alto, a citar a localidade de Retiro, onde foi delineado o setor de risco alto de maior abrangência de edificações deste projeto, com um total de 150 moradias inseridas no polígono e cerca de 419 pessoas sob esse risco. Destaca-se ainda as localidades afetadas por desastres recentes de 2022 e 2024, a exemplo do Alto da Serra, Centro e Independência, e que ainda necessitam de uma atenção especial. Essas regiões, devido à sua ocupação histórica, concentram moradias de menor poder aquisitivo, em geral com infraestrutura precária, o que configura uma elevada vulnerabilidade estrutural associada as edificações.

No 2° Distrito, Cascatinha, é possível observar um perfil mais rural, com ocupações majoritariamente residenciais e agricultura de pequena escala. O distrito, ainda que menos urbanizado, tem registrado um crescimento populacional considerável, especialmente com a expansão de bairros periféricos. Setores de risco muito alto e alto foram identificados, principalmente em áreas de encosta, onde o solo é bastante suscetível a erosão devido à ausência e/ou pouca expressividade de cobertura vegetal densa. A região de Araras é um exemplo notável, onde a vulnerabilidade estrutural das habitações associada à declividade do terreno e à frequência de chuvas intensas no verão aumenta o risco de deslizamento.

Itaipava, o 3° Distrito, apresenta uma dinâmica urbana diferenciada, marcada pela alta valorização imobiliária e a presença de condomínios de luxo. No entanto, áreas de ocupação mais recente e irregular, como a localidade de Buraco do Sapo, apresentam edificações de mais baixo padrão construtivo e elevadas

vulnerabilidades estruturais. Apesar de Itaipava possuir uma infraestrutura geral de maior qualidade, o aumento da ocupação em encostas para construção de moradias e o desenvolvimento comercial nas áreas de planície têm pressionado o ecossistema local e contribuído para o surgimento de áreas de risco. Foram mapeados setores de risco alto e muito alto, principalmente em regiões de relevo mais acentuado onde há ocupação irregular. Destaca-se aqui a presença dos maiores polígonos de risco alto e muito alto, em área, que correspondem as regiões de ocorrência de fluxo de detritos na localidade do Vale do Cuiabá, ocorridos durante o Megadesastre da Serra, em 2011, e quedas de corpos rochosos ao longo de todo um maciço. A localidade Madame Machado também aparece em destaque neste mapeamento, região em que foi delineado um setor de risco muito alto, com a abrangência de 102 moradias e cerca de 285 pessoas sob estes riscos. O distrito, por suas características, tem alto potencial de se beneficiar de estratégias de contenção e drenagem de águas pluviais, além de ser um ponto focal para iniciativas de conscientização ambiental que promovam a preservação de áreas.

O 4° Distrito, Pedro do Rio, tem perfil rural e é uma região em que a ocupação, embora mais restrita e esparsa, já compromete trechos de encosta e áreas suscetíveis a deslizamentos, especialmente em períodos de elevados índices de precipitação. A região, devido à sua menor densidade populacional e à presença de vegetação, ainda preserva certa estabilidade geológica. No entanto, o mapeamento apontou áreas de risco alto em locais onde a ocupação recente resultou em desmatamento, alterações no solo e verticalização de taludes. As intervenções sugeridas para Pedro do Rio incluem, dentre outras intervenções, o monitoramento contínuo e o reforço da cobertura vegetal em encostas para evitar o aumento da instabilidade e, consequentemente, o surgimento de novos pontos críticos de risco.

No 5° Distrito, Posse, a ocupação é ainda menos intensa, predominando áreas de propriedades rurais e pequenas comunidades que convivem com as características naturais do relevo local. No entanto, setores classificados como de risco alto e muito alto foram identificados, sobretudo nas áreas de vale onde a ocupação de encostas e o desmatamento para atividades agrícolas são expressivos. As medidas de engenharia, como intervenções em drenagem e estabilização, e a orientação quanto ao uso sustentável do solo são fundamentais para preservar a segurança das comunidades. Evidencia-se a localidade de Posse, onde setor de risco alto associado a movimentos gravitacionais em queda livre foi definido, com uma abrangência expressiva de 103 moradias e 287 pessoas sob este risco.

Há de ressaltar, que apesar do expressivo número de eventos hidrometeorológicos ocorridos na cidade, que culminaram em diversos desastres, há um esforço do poder público na tentativa de mitigá-los através da realização das intervenções geotécnicas aliadas a medidas não estruturais. Entretanto, em decorrência da presença das diversas intervenções geotécnicas ainda em execução, considerando o período de análise deste projeto, algumas áreas permaneceram classificadas com graus de risco elevados, reforçando aqui a necessidade de nova análise após a finalização e entrega destas obras.

Destarte, o mapeamento de cada um desses distritos não só evidencia as necessidades de infraestrutura e de adequação urbana de cada região, mas também reforça a importância da integração dessas informações aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente a ODS 11, que almeja a construção de cidades seguras e resilientes. O cumprimento das diretrizes propostas pelos ODS depende de uma abordagem abrangente, que contemple tanto a adaptação de áreas ocupadas com baixa infraestrutura quanto a orientação e regulamentação de novas ocupações, de modo a prevenir a expansão desordenada em áreas de risco.

Por fim, evidencia-se que a cartografia de risco a escorregamento nos cinco distritos de Petrópolis representa um passo essencial para a formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento seguro e sustentável do município. O conhecimento detalhado sobre os setores de risco em cada distrito, junto à aplicação de medidas não estruturais cabíveis, de soluções de engenharia adequadas e do planejamento preventivo, permite direcionar ações específicas que não só garantem a proteção da população, mas também promovem um uso mais racional e sustentável do território. A continuidade desse processo e a implementação das medidas propostas reforçam o compromisso de Petrópolis com a redução de riscos de desastres e a construção de uma cidade mais segura e resiliente para seus habitantes.

Alex Alves Lara
Geólogo
Crea - RJ: 199510029
Thalweg Tecnologia e Serviços de Geotecnia

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, L.H.C. *et al,* Sistema Brasileiro de classificação dos solos. In: KER, J.C., *et al.*, **Pedologia.** 1ª Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2015. p. 304-343.

BRASIL - Ministério das Minas e Energia. 1983. **Projeto Radambrasil: Levantamento de recursos naturais.** v. 32. Rio de Janeiro: Projeto Radambrasil.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Petrópolis, BR**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/317/petropolis-rj>. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. 2016. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais.** organizado por Luiz Carlos da Silva {e} Hélio Canejo da Silva Cunha. – Brasília: CPRM. 2ª edição revista em 2001, 614 p.

GONÇALVES, L.F.H. (1998) **Avaliação e diagnóstico da distribuição espacial e temporal dos movimentos de massa com a expansão da área urbana em Petrópolis - RJ.** 170 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro.

GUERRA, A. J. T., GONÇALVES, L. F. H., & LOPES, P. B. M.. 2007. **Evolução Histórico-Geográfica Da Ocupação Desordenada E Movimentos De Massa No Município De Petrópolis, Nas Últimas Décadas.** Revista Brasileira De Geomorfologia, 8(1). https://doi.org/10.20502/rbg.v8i1.84

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2012. **Manual técnico da vegetação brasileira.** 2° Edição. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2012. (IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, 1). Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 02 de setembro de 2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT (1991a). ***Carta Geotécnica de Petrópolis - RJ.*** Volumes 1 e 2.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT (1991b) ***Banco de Dados sobre movimentos catastróficos de Petrópolis, entre 1940 e 1990.*** São Paulo: IPT.

KÖPPEN, W.. 1900. **Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt.** – Geogr. Zeitschr. 6, 593–611, 657–679.

LEPSCH, I.G. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

LIMA, I. F. **O fluxo de massa do Vieira, Teresópolis-RJ, Megadesastre da serra em 2011: análise das feições sedimentológicas e de sua fenomenologia.** 2013. 97 f. Dissertação de Mestrado- Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MEDEIROS, R.M.; CAVALCANTI, E.P.; DUARTE,J.F.M.. **Classificação climática de Köppen para o Estado do Piauí - Brasil.** Revista Equador (UFPI), Vol. 9, Nº 3, p.82-99, 2020. Disponível em: <https://comunicata.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9845/6335>. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

MELLO, R.C. *et al.*, **Megadesastre da Serra Fluminense: a corrida de massa do Vale do Cuiabá, em Itaipava/Petrópolis – análise preliminar dos condicionantes geológicos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 13, São Paulo. **Anais.** 2011.

MENDONÇA-SANTOS, M. de L. *et al.*, Mapeamento digital de classes de solos no Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 119,** Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MESQUITA, P. P. A. A Formação Industrial de Petrépolis: Trabalho, Sociedade e Cultura Operaria. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

MORLEY, E. **A Forma da Utopia: o Plano Koeler e a criação da Vila Imperial, Petropolis, RJ.** [s.l.] UFRJ, 2001.

NEMIROVSKY, A. K. S.; NEVES, L. V.; FERNANDES, M. C. **Análise da distribuição espacial de deslizamentos no município de Petrópolis (RJ) entre 1945 a 2015**. Revista Continentes, v. 1, p. 85-96, 2018.

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

O Globo. https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2024/03/06/chuva-causa-transtornos-em-petropolis-parte-de-rua-cede-e-onibus-seguem-com-operacao-afetada.ghtml

PETRÓPOLIS. 2021. **Plano de contingências do Município de Petrópolis para chuvas intensas – verão 2021/2022.** Prefeitura Municipal de Petrópolis, Defesa Civil de Petrópolis. Disponível em: <https://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/defesa-civil/planos-contigencia/anos-anteriores/plano_verao_2021_2022.pdf>. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

PETRÓPOLIS. 2023. **Plano de Contingências do Município de Petrópolis para Chuvas Intensas – Verão 2023/ 2024.** Prefeitura Municipal de Petrópolis, Defesa Civil de Petrópolis. Disponível em:

<https://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/defesa-civil/planos-contigencia/PLANO_VERAO_2023_2024.pdf>. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

PETRÓPOLIS. 2024. Decreto nº 845, de 23 de março de 2024. Declara Situação de Emergência nas áreas do Município afetadas por FRENTES FRIAS/ ZONAS DE CONVERGÊNCIA (COBRADE – 1.3.1.2.0), classificada como desastre de Nível II, conforme a Portaria MDR 260/2022, e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Petrópolis, Petrópolis, 23 de março de 2024.

SHINZATO, E; DANTAS, M.E; RENK, J.F.C; GARCIA, M.L.T; COSTA, L. Carta geomorfológica: município de Petrópolis, RJ. Rio de Janeiro: CPRM, 2017. Escala 1:80.000. Disponível em:<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18182>

SILVA, A.S. Influência da erosão na remoção de nutrientes e metais pesados em uma toposseqüência em Petrópolis (RJ). 2006. Tese de Doutorado. Programa de Pós- Graduação em Geologia, Instituto de Geociências /UFRJ/ IGEO, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, L. H. A. Análise da Dinâmica de Ocupação do Município de Petrópolis (RJ) e suas Implicações na Formação de Espacos de Risco. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2019. 82f.:il.

VALERIANO, C.M. 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. 156p.; Mapa Geológico, escala 1:100.000 (série Geologia do Brasil), versão digital em CD-ROM, textos e mapas.