

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil
Construção e Infraestrutura

**Mapeamento Geotécnico Preliminar de uma área urbana de Bento Gonçalves,
RS**

Raquel Silva Wetzel

Porto Alegre
2019

RAQUEL SILVA WETZEL

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR DE UMA ÁREA URBANA
DE BENTO GONÇALVES, RS**

Dissertação de Mestrado **apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil** - Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre
2019

RAQUEL SILVA WETZEL

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR DE UMA ÁREA
URBANA DE BENTO GONÇALVES, RS**

Porto Alegre, Abril de 2019

Prof. Luiz Antonio Bressani
Ph.D. pela University of London,
Orientador

Prof. Carlos Torres Formoso
Coordenador do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. (UFPel) Adelir José Strieder
Ph.D. pela Universidade de Lisboa e pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. (UFRGS) Nelson Amoretti Lisboa
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. (UFRGS) Washington Peres Nuñez
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e
investir em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que prestou todo suporte necessário durante esta etapa importante na minha vida. Agradeço às minhas amigas, acadêmicas como eu, pela importantíssima rede de apoio e incentivo. Agradeço ao meu companheiro pela compreensão da rotina dos dias de escrita e estudo.

Agradeço ao meu orientador Luiz Antonio Bressani pelos ensinamentos compartilhados, apoio em campo, e compreensão nos períodos em que me fiz ausente. Ao professor Nelson Amoretti Lisboa pelos ensinamentos compartilhados e pela atenção dedicada num período muito importante durante o trabalho.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu agradecimento.

RESUMO

WETZEL, S. R. **Mapeamento Geotécnico Preliminar de uma área urbana de Bento Gonçalves**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

A área de estudo está inserida no Município de Bento Gonçalves e configura um terreno de alta declividade, composto por geologia e geomorfologia que podem favorecer a ocorrência de movimentos de massa. O objetivo do trabalho foi realizar o mapeamento geológico-geotécnico de uma porção urbana do município, reunindo dados necessários à caracterização geológica e geotécnica através da metodologia de mapeamento geotécnico. Geologicamente, a área de estudo está inserida no Grupo Serra Geral, Formação Palmas (fácies Caxias) onde ocorrem rochas vulcânicas em depósitos ignimbríticos e dômicos de lava. Um lineamento de médio porte F-F', provável falha, divide a área em duas unidades geomorfológicas: Gm1, morfologia dissecada, com lineamentos de densidade alta; Gm2, com morfologia aplainada e com lineamentos de densidade relativamente baixa. As inspeções ao campo permitiram a identificação de 3 litotipos: DVA (dacito com vesículas/amígdalas), rochas associadas às porções de base e topo das unidades vulcânicas ácidas; DF (dacito textura fina), rochas associadas às porções centrais dos depósitos; DM (dacito textura média sal-pimenta), rochas associadas também às porções centrais dos depósitos. Classificaram-se seguintes materiais geotécnicos: (1) solos muito plásticos, associados ao litotipo DVA; (2) solos pouco plásticos à plásticos, associados aos litotipos DF e DM. A repetição vertical de litofácies sugere sobreposição de unidades vulcânicas de arquitetura semelhantes. Mesmo que o modelo conceitual seja baseado principalmente em depósitos ignimbríticos é marcante a presença de depósitos de menor extensão com estruturas típicas de abertura de depósitos de domos de lava. O mapeamento geológico definiu 7 unidades geológicas do tipo ignimbrítico (podendo conter domos de lava). A área de estudo foi dividida em 5 setores geomorfológicos (Gm1S, Gm1C, Gm1N, Gm1 Topo, Gm2) para análise do relevo a partir da relação entre depósitos vulcânicos ácidos, tipo de vertente e movimentos de massa. Os setores descrevem possíveis movimentos de massa com base nas formas de relevo e nos tipos de materiais geotécnicos. A partir desta análise o trabalho define 3 unidades geotécnicas preliminares (Geotec1 Geotec2 e Geotec3), com base, principalmente, nos intervalos de declividade.

Palavras-chave: *mapeamento geológico-geotécnico, geomorfologia, formas de vertente.*

ABSTRACT

WETZEL, S. R. **Preliminary Geotechnical Mapping of an urban area of Bento Gonçalves.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

The area of study is located in a city called Bento Gonçalves in southern Brazil. The area forms a terrain of high slope, composed by geology and geomorphology that may favor the occurrence of mass movements. The objective of this dissertation was to perform the geological-geotechnical mapping of an urban portion of the municipality collecting data for the geological and geotechnical characterization through the geotechnical mapping methodology. Geologically, the area of study is part of the Serra Geral Group, Palmas Formation (Facies Caxias), where volcanic rocks occur in ignimbrite and lava deposits. A medium-sized line F-F', verified as a likely fault, splits the area into two geomorphological units: Gm1 with dissected morphology, with high density lineaments; and Gm2 with flattened morphology and relatively low density lineaments. The field inspections allowed the identification of three lithotypes: DVA (dacite with vesicles/amygdules), rocks associated with the base and top portions of the acidic volcanic units; DF (dacite with fine texture), rocks associated with the central portions of the deposits; DM (dacite in texture medium salt-pepper), rocks also associated with the central portions of the deposits. Geotechnical materials were classified as geotechnical materials: (1) very plastic soils, associated with the DVA lithotype; (2), low plastics to plastics soils, associated with DF and DM lithotypes. The vertical repetition of lithofacies suggests overlapping of similar volcanic units of architecture. Even though the conceptual model is based mainly on ignimbrite deposits, it is remarkable the presence of smaller deposits with typical structures of opening of deposits of lava domes. The geological mapping defined 7 geological units of the ignimbrite type (being able to contain lava domes). The study area was divided into 5 geomorphological sections (Gm1S, Gm1C, Gm1N, Gm1 Topo, Gm2) to analyze the relief from the relationship between acidic volcanic deposits, type of slope and mass movements. The sections describe possible mass movements based on relief shapes and types of geotechnical materials. From this analysis the work defines 3 preliminary geotechnical units (Geotec1 Geotec2 and Geotec3), based mainly on the slope intervals.

Key-words: *geological-geotechnical map, geomorphology, shapes of hillsides.*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – Localização da área de estudo em imagem Google Earth relacionada a uma imagem de satélite da América do Sul. Fonte: elaborado pela autora, 2018..... | 17 |
| Figura 1.2 – Localização da área de estudo em imagem Google Earth. Fonte: elaborado pela autora, 2018 | 18 |
| Figura 2.1 - Classes de vertentes definidas conforme declividade e o respectivo processo geomorfológico dominante. Fonte: Modificado de Dalrymple et al. (1980), em Noronha (2012)..... | 27 |
| Figura 2.2 – Unidades taxonômicas de classificação de relevo. Fonte: Modificado de Ross (1992) | 28 |
| Figura 2.3 – Curvatura vertical e horizontal. Fonte: elaborado pela autora (2018) | 31 |
| Figura 2.4 – Topo de morro convexo sustentados por rochas ácidas, registro de campo. Foto da autora (2018)..... | 32 |
| Figura 2.5 – Formação de depósitos vulcânicos por caldeira. A) nuvem de fluxo piroclástico, depósito ignimbrítico B) depósito de fluxo piroclástico seguido por domo de lava. Fonte: Modificado de Macdonald (1927), em McPhie (1993) | 35 |
| Figura 2.6 – Anatomia de um fluxo ignimbrítico do tipo Palmas. Fonte: Roisenberg (1989)..... | 36 |
| Figura 2.7 – Esquema da estruturação de derrame ácido sub-aéreo. A) O lado esquerdo mostra a textura interna e variações decorrentes da vesiculação, desvitrificação e fragmentação durante o fluxo. O lado direito mostra a orientação das foliações no fluxo e o depósito de brechas de talus na margem do fluxo. B) variação textural interna do derrame. Fonte: Modificado de Fink e Manley (1987); em McPhie, (1993)..... | 37 |
| Figura 3.1– A) litofácies do depósito ignimbrítico <i>versus</i> formas de vertente através do modelo conceitual para depósitos ignimbríticos de Roisenberg (1989); B) forma das vertentes <i>versus</i> movimentos de massa através do modelo de elementos da encosta de King (1962). Fonte: elaborado pela autora (2018) | 40 |
| Figura 3.2 – Lineamentos regionais da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018)..... | 43 |
| Figura 3.3 – Fluxograma da sistemática de mapeamento geomorfológico. Fonte: Modificado de IBGE (2009) | 44 |
| Figura 3.3 – Mapa geomorfológico da região da área de estudo, apresentando unidades geomorfológicas: Gm 1, Gm 2 e Gm 3, com seus respectivos modelados de dissecação e padrões de drenagem. Fonte: Elaborado pela autora (2018) | 45 |
| Figura 3.4 – Perfil topográfico NE-SW da unidade Gm1. Fonte: elaborado pela autora (2018) .. | 46 |
| Figura 3.5 – Perfil topográfico NE-SW da unidade Gm2. Fonte: Elaborado pela autora (2018) .. | 47 |
| Figura 3.6 – Perfil topográfico NE-SW da unidade Gm3. Fonte: elaborado pela autora (2018) .. | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.7 – Quadro com níveis taxonômicos definidos para região da área de estudo, com o resumo das descrições das unidades Gm1, Gm2 e Gm3. | 49 |
| Figura 3.8 – Traçado dos lineamentos na área de estudo e unidades geomorfológicas Gm1 e Gm2. Fonte: elaborado pela autora (2018) | 50 |
| Figura 3.9 – Mapa altimétrico da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018)..... | 52 |
| Figura 3.10 – Mapa de declividade da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018)..... | 54 |
| Figura 3.11 – Pontos de observação e coleta em campo. Fonte: Google Earth..... | 55 |
| Figura 3.12 – O bairro Municipal apresenta declividades fortes a muito fortes e a quantidade de construções é bastante alta, registro de campo | 56 |
| Figura 3.13 – Porção superior do escorregamento e porção inferior do escorregamento, registro de campo. | 56 |
| Figura 4.1 – Rocha DVA - dacito com vesículas/amígdalas. A) Rocha marrom-avermelhadas e B) amígdalas e vesículas, registro de campo | 59 |
| Figura 4.2 – Rocha DVA - dacito com vesículas/amígdalas. A) feição de fluxo B) orientação de pórfiros/achatamento de vesículas; C e D) contatos com brecha e material vesiculoso/amígdalar, registro de campo..... | 59 |
| Figura 4.3 – A) Vitrófiro com microamígdalas e B) blocos de vitrófiro, registro de campo | 60 |
| Figura 4.4 – Rochas DM - dacito de granulometria média com textura sal pimenta. A) bandamento tabular, B e C) disjunção horizontal, registro de campo | 61 |
| Figura 4.5 – Rochas DM - dacito de granulometria média com textura sal pimenta. A) rocha de matriz fina e cinza escura; B) disjunção sub- vertical, C) transição dúctil de disjunção sub- vertical para vertical, registro de campo | 62 |
| Figura 4.6 – Lâminas fotografadas sob luz polarizada. A) e B) matriz de vidro vulcânico com diferentes níveis de desvitrificação; C) desvitrificação radial em matriz avermelhada; D) pórfiros de sanidina e piroxênio; E) ágata envolta por seladonita, F) vesículas semipreenchidas com cristais de zeolita e com argilização no centro. Dsv = desvitrificação, Pl = plagioclásio, Py = piroxênio, Sa = sanidina, Se = seladonita e Ve = vesícula. | 64 |
| Figura 4.7 – Lâminas fotografadas sob luz polarizada. A) matriz semi-vítrea com alteração para quartzo e plagioclásio e cristal de piroxênio; B) glomeropórfiros; C) substituição de esmactita em piroxênio, D) veio de quartzo. Es = esmactita, Qtz = quartzo e Py = piroxênio, | 65 |
| Figura 4.8 – Lâminas fotografadas sob luz polarizada. A) matriz vítrea com desvitrificação; B) cristais esqueléticos de plagioclásio e esferulitos; C) plagioclásio com textura andorinha na matriz de vidro, D) argilização de feldspato potássico. Esf = esferulito, Pl = plagioclásio e Sa = sanidina. | 66 |
| Figura 5.1 – Carta de plasticidade de Casagrande, amostras da área de estudo..... | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.2 – A) Talude ponto PT8; B) Solo do ponto PTA3; C) Perfil de solo PT2; registro de campo..... | 70 |
| Figura 5.3 – Solo PTJ, registro de campo | 71 |
| Figura 5.4 – A) Solo PTA2 verde, B) Solo rico em argilomineral verde, registro de campo | 71 |
| Figura 6.1 – Carta geológica contendo unidades geológicas (de 1 à 7), lineamentos (F-F’ como provável falha e demais lineamentos de pequeno porte), drenagem e cotas altimétricas (20 metros) da área de estudo..... | 75 |
| Figura 6.2 – Margens lobadas entre os contatos de unidades geológicas, registro de campo..... | 77 |
| Figura 7.1 – Localização dos setores geomorfológicos sobre fotomosaico da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018) | 78 |
| Figura 7.2 – Fluxograma idealizado para demonstrar a origem da nomenclatura das unidades geotécnicas. Fonte: Elaborado pela autora (2018)..... | 78 |
| Figura 7.3 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Centro “a” (Gm 1Ca). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área..... | 79 |
| Figura 7.4 – Contato entre unidades, material geotécnico 1 – muito plástico sobre material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico; registro de campo..... | 81 |
| Figura 7.5 – Condicionamentos do Setor geomorfológico Gm 1 Centro “b” (Gm 1Cb). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área..... | 82 |
| Figura 7.6 – Vertente côncavo - convergente, registro de campo..... | 83 |
| Figura 7.7 – Condicionamentos do Setor geomorfológico Gm 1 Centro “c” (Gm 1Cc). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área..... | 84 |
| Figura 7.8 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Norte (Gm 1N). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área..... | 86 |
| Figura 7.9 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Sul (Gm 1S). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área | 88 |
| Figura 7.10 – A) perfil do material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, encontrado em declividade moderada; B) material geotécnico 1- muito plástico em declividade forte, C) material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico em declividade muito forte; registros de campo..... | 89 |
| Figura 7.11 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Topo (Gm1 Topo). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área..... | 90 |
| Figura 7.12 – Material geotécnico 1 – muito plástico, perfil encontrado no topo do bairro Jardim Glória com declividade moderada, registro de campo | 91 |
| Figura 7.13 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 2 (Gm 2). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área | 92 |

| | |
|---|----|
| Figura 7.14 – Vista do setor geomorfológico Gm2, mostrando vales menos desenvolvidos que os da Gm1, registro de campo..... | 93 |
| Figura 7.15 – Resquícios de material (que ficou nos galhos da vegetação) trazido por provável enxurrada no Arrio Leopoldina, registro de campo..... | 93 |
| Figura 8.1 – Mapa de unidades geotécnicas preliminares. Geotec 1, Geotec 2 e Geotec 3. Detalhe do mapa de declividade da área de estudo..... | 95 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1 - Classes de altitude da área de estudo..... | 51 |
| Tabela 3.2 - Classes de declividade da área de estudo | 53 |
| Tabela 4.1 – Relação entre as litologias da área de estudo e as litofácies dos depósitos (ignimbrito e domo de lava)..... | 67 |
| Tabela 5.1 – Granulometria e índices de plasticidade dos solos amostrados | 68 |

LISTA DE SIGLAS

DF: Dacito de textura fina

DM: Dacito equigranular de textura sal-pimenta

DVA: Dacito com vesículas e amígdalas

DRX: Difração de Raios X

FP: Formação Palmas

FRX: Fluorescência de Raios X

Geotec 1: Unidade geotécnica Preliminar 1

Geotec 2: Unidade geotécnica Preliminar 2

Geotec 3: Unidade geotécnica Preliminar 3

Gm 1: Unidade Geomorfológica 1

Gm1 Ca: Setor geomorfológico 1 Centro “a”

Gm1 Cb: Setor geomorfológico 1 Centro “b”

Gm1 Cc: Setor geomorfológico 1 Centro “c”

Gm1 N: Setor geomorfológico 1 Norte

Gm1 S: Setor geomorfológico 1 Sul

Gm1 Topo: Setor geomorfológico 1 Topo

Gm 2: Unidade Geomorfológica 2

Gm2: Setor geomorfológico 2

GSG: Grupo Serra Geral

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IP: Índice que Plasticidade

IPT: Instituto de Pesquisa e Tecnologia

LL: Limite de Liquidez

LP: Limite de Plasticidade

MDE: Modelo Digital de Elevação

MNT: Modelo Numérico de Terreno

PIPE: Província Ígnea Paraná Entendeka

SIG: Sistema de Informações Geográficas

SRTM: *Shuttle Radar Topographic Mission*

TIN: Modelo Triangular Irregular

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA..... | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 15 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 15 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 15 |
| 1.3 ÁREA DE ESTUDO..... | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 19 |
| 2.1 CONCEITOS BÁSICOS | 19 |
| 2.1.1 Cartografia geotécnica..... | 19 |
| 2.1.2 Movimentos de massa | 19 |
| 2.1.2.1 Rastejos..... | 20 |
| 2.1.2.2 Escorregamentos..... | 21 |
| 2.1.2.3 Quedas | 21 |
| 2.1.2.4 Corridas | 22 |
| 2.1.2.4 Escoamentos | 22 |
| 2.1.3 Solos | 22 |
| 2.1.4 Mapeamento geotécnico..... | 23 |
| 2.2 TRABALHOS ANTERIORES | 24 |
| 2.2.1 Mapeamento Geotécnico de Caxias do Sul..... | 24 |
| 2.2.2 Mapeamento Geotécnico de Santa Cruz do Sul..... | 25 |
| 2.3 COMPARTIMENTAÇÃO DE RELEVO | 26 |
| 2.3.1 Níveis taxonômicos | 27 |
| 2.3.2 Formas de vertente | 29 |
| 2.3.2.1 Curvatura vertical | 29 |
| 2.3.2.2 Curvatura horizontal | 30 |
| 2.4 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL | 31 |
| 2.5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL | 33 |
| 2.5.1 Geologia Regional..... | 33 |
| 2.5.2 Depósitos de lavas ácidas e Arquitetura das fácies..... | 34 |
| 2.5.3 Geologia Estrutural | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 3 METODOLOGIA E PRODUTOS CARTOGRÁFICOS | 39 |
| 3.1 MODELO CONCEITUAL | 39 |
| 3.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS REGIONAIS..... | 41 |
| 3.2.1 Lineamentos Regionais | 41 |
| 3.2.2 Unidades Geomorfológicas Regionais | 43 |
| 3.2.2.1 Unidade geomorfológica 1 (Gm1)..... | 46 |
| 3.2.2.2 Unidade geomorfológica 2 (Gm2)..... | 47 |
| 3.2.2.3 Unidade geomorfológica 3 (Gm3)..... | 47 |
| 3.3 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO | 49 |
| 3.3.1 Lineamentos da área de estudo | 50 |
| 3.3.2 Altimetria da área de estudo..... | 51 |
| 3.3.3 Declividade da área de estudo..... | 52 |
| 3.4 PONTOS INSPECIONADOS | 54 |
| 3.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO..... | 57 |
| 4 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS LITOFÁCIES..... | 58 |
| 4.1 LITOFÁCIES DA ÁREA DE ESTUDO | 58 |
| 4.1.1 Dacito com vesículas e amígdalas (DVA) | 58 |
| 4.1.2 Dacito equigranular textura média sal e pimenta (DM)..... | 60 |
| 4.1.3 Dacito de textura fina (DF) | 61 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS LITOFÁCIES | 62 |
| 4.2.1 Dacito com vesículas/amígdalas (DVA)..... | 62 |
| 4.2.2 Dacito equigranular textura média sal e pimenta (DM)..... | 63 |
| 4.2.3 Dacito de textura fina (DF) | 65 |
| 4.3 LITOLOGIAS DA ÁREA DE ESTUDO ASSOCIADA AOS DEPÓSITOS VULCÂNICOS | 66 |
| 5 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS GEOTÉCNICOS | 68 |
| 5.1 MATERIAL GEOTÉCNICO 1- SOLOS MUITO PLÁSTICOS..... | 72 |
| 5.2 MATERIAL GEOTÉCNICO 2 – SOLOS POUCO PLÁSTICOS À PLÁSTICOS..... | 72 |
| 6 CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO | 74 |
| 7 SETORES GEOMORFOLÓGICOS | 77 |
| 7.1 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Centro “a” (Gm1 Ca)..... | 79 |

| | |
|---|------------|
| 7.2 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Centro “b” (Gm1 Cb)..... | 81 |
| 7.3 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Centro “c” (Gm1 Cc)..... | 83 |
| 7.4 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Norte (Gm1 N)..... | 85 |
| 7.5 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Sul (Gm1 S)..... | 87 |
| 7.6 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Topo (Gm1 Topo)..... | 89 |
| 7.7 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm2 (Gm2)..... | 91 |
| 8 UNIDADES GEOTÉCNICAS PRELIMINARES | 94 |
| 9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 96 |
| 10 APÊNDICES | 99 |
| REFERÊNCIAS | 104 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O processo de urbanização brasileira ocorreu de forma muito intensa e desigual. Parte da população de baixa renda ocupa áreas impróprias para a moradia, que oferecem, por sua vez, riscos à vida, especialmente nas encostas e margens de rios. Como consequência, uma grande parte da população está sujeita/vulnerável à ocorrência de acidentes que envolvam perdas materiais e vítimas fatais. Os principais processos associados a desastres naturais no Brasil são os movimentos de massas e as inundações. Se as inundações causam elevadas perdas materiais e impactos na saúde pública, são os movimentos de massas que têm causado o maior número de vítimas fatais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

A Geotecnia é a área do conhecimento que conecta conhecimentos da geologia de engenharia e da engenharia civil e aplica métodos de investigação, com intuito de determinar e caracterizar materiais terrestres e de definir solução para problemas de engenharia. O conhecimento sobre os horizontes mais superficiais do solo, os materiais do substrato e os atributos do meio físico facilitam a implementação de obras civis, orientam as atividades extrativas e auxiliam na preservação ambiental. Esses conhecimentos também contribuem para a elaboração de diretrizes de planejamento urbano (VALENTE, 1999).

A área de estudo está inserida no Município de Bento Gonçalves. Configura um terreno íngreme, de alta declividade, composto por geologia e geomorfologia que favorecem a ocorrência de movimentos de massa. A Defesa Civil de Bento Gonçalves mapeou pontos com ocorrência de movimentos de massa, porém até o momento não existe nenhum trabalho que caracterize geotecnicaamente os materiais (rocha e solo) presentes no município. Portanto, através da metodologia de mapeamento geotécnico o presente trabalho pretende identificar e localizar os materiais da área de estudo, podendo assim ser base para demais trabalhos futuros que venham a ocorrer na cidade de Bento Gonçalves e região.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho foi realizar o mapeamento geotécnico de uma porção urbana de Bento Gonçalves. Este mapeamento geotécnico teve por base a identificação e classificação dos materiais (solos e rochas) que compõem o terreno e as unidades geomorfológicas associadas. A cartografia geotécnica é relevante para avaliar os riscos inerentes à ocupação humana atual, bem como para planejar futuras ocupações na área estudada. O trabalho também visou desenvolver uma metodologia de abordagem geotécnica apta a ser aplicada em outras áreas de expansão urbana da cidade de Bento Gonçalves.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- utilizar as técnicas e recursos de geoprocessamento para modelar, integrar, visualizar e interpretar os dados adquiridos ao longo do trabalho;
- aproveitar imagens e técnicas de sensoriamento remoto para reconhecer unidades morfolíticas, morfo-estruturais e geomorfológicas na região e na área de estudo;
- confeccionar mapa de unidades geomorfológicas;
- descrever unidades geomorfológicas;
- identificar e descrever litotipos da área de estudo;
- confeccionar mapa de unidades geológicas;
- identificar e descrever do ponto de vista geotécnico, os materiais da área de estudo;
- delimitar unidades geotécnicas preliminares.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1.1) está inserida no Município de Bento Gonçalves, no estado do Rio Grande do Sul, e faz parte de uma porção do Vale dos Vinhedos (Figura 1.1) que situa-se na zona

de produção vitivinícola da Serra Gaúcha, nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na região fisiográfica denominada Encosta Superior do Nordeste, que faz parte do Planalto dos Campos Gerais (RADAMBRASIL, 1986) A área em questão possui 7,24 km², encontra-se entre os limites de latitude 29°11'13,11'' 29°09'58,2'' e longitude 51°32'53,48'' 51°30'28,46'', aproximadamente à 130 km de Porto Alegre. Abrange a porção oeste do município incluindo os seguintes bairros da cidade: Conceição, Cidade Alta, Jardim Glória, Municipal, Merlot, Vinosul, Pomorosa, Botafogo e Santa Rita.

A área é cortada pelo Arroio Leopoldina (Figura 1.2) e as altitudes variam de 382 até 687 metros. O MDE (Modelo Digital de Elevação) indica maior porcentagem da área entre as altitudes 598 e 641 metros e fortes declividades (20 a 45% de declividade), classificadas conforme IBGE (2009).



Figura 1.1 – Localização da área de estudo em imagem Google Earth relacionada a uma imagem de satélite da América do Sul. Fonte: elaborado pela autora, 2018

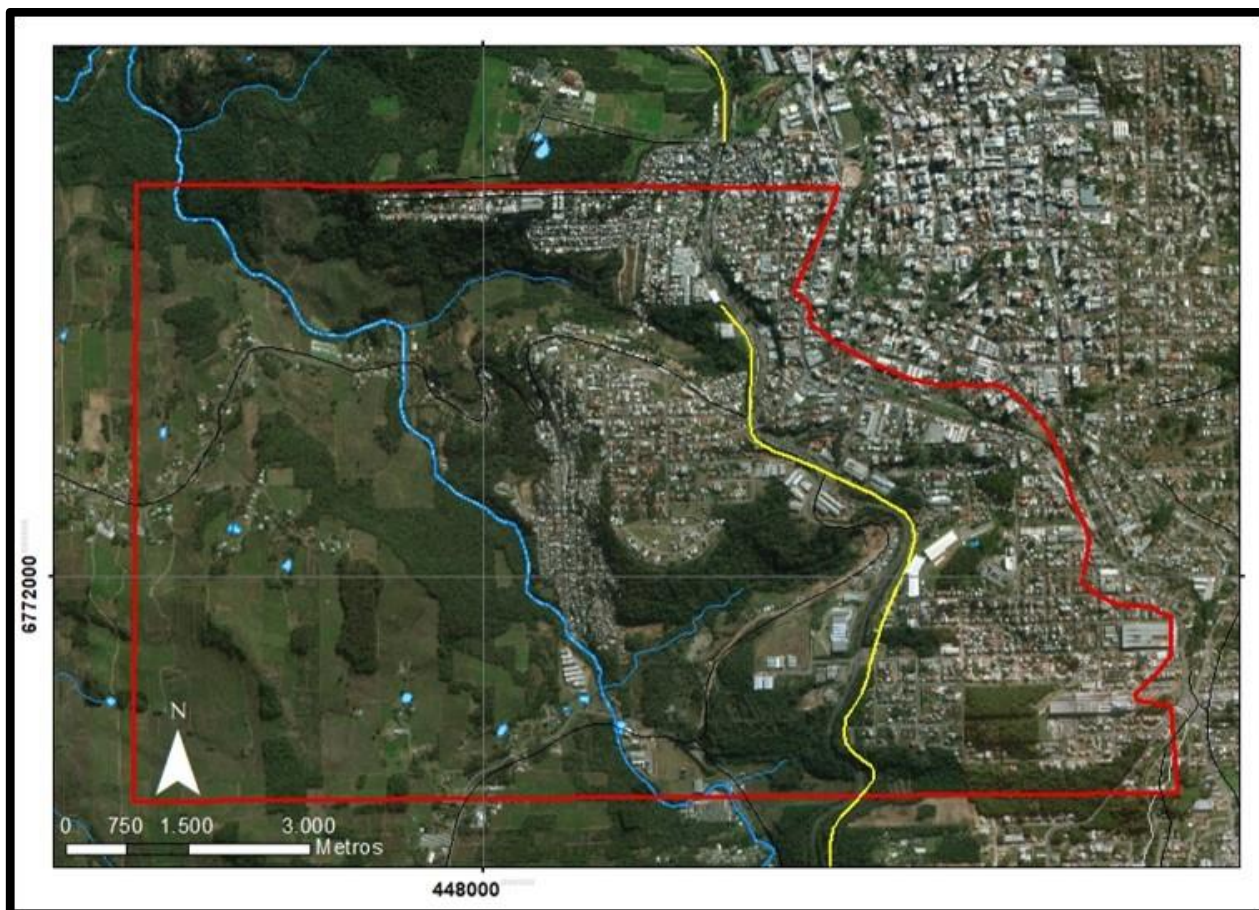


Figura 1.2 – Localização da área de estudo em imagem Google Earth.
Fonte: elaborado pela autora, 2018

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre termos importantes relacionados ao mapeamento geotécnico e movimentos de massa, sobre alguns trabalhos anteriores que desenvolveram a técnica de mapeamento geotécnico, sobre a sistemática da compartimentação de relevo e sobre o contexto geomorfológico e geológico regional da área de estudo.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS

2.1.1 Cartografia geotécnica

A cartografia geotécnica pode ser considerada, genericamente, como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para o planejamento e a gestão ambiental urbana e territorial (DINIZ, 2012).

A carta geotécnica pode ser entendida como um documento cartográfico que representa as informações e dados, estudados e interpretados, de um local de interesse geotécnico. Essas informações e dados abrangem todas as características geológicas e geomorfológicas necessárias ao entendimento do comportamento do relevo, das rochas e dos solos frente a um tipo determinado de ocupação.

A carta geotécnica é essencialmente um instrumento de planejamento do uso do solo, de gestão geológica do uso do solo; define as zonas que não podem ser ocupadas de forma alguma e aquelas que podem ser ocupadas uma vez obedecidos os critérios técnicos estipulados pela Carta (SANTOS, 2012).

2.1.2 Movimentos de massa

O comportamento geotécnico de campo se reflete em aspectos como topografia (ondulações de terreno, mudanças bruscas de declividade ou declividades mais acentuadas), cor dos materiais expostos, comportamento frente à erosão hidráulica ou aos fenômenos de modelagem do terreno, afloramentos de água ou mudanças de vegetação (BRESSANI et al., 2015); a intervenção humana também pode influenciar o comportamento de encostas naturais.

Segundo Cruden e Varnes (1996) os principais tipos de instabilidade do terreno ou movimentos de massa são: quedas, tombamentos (*topple*), escorregamentos, expansão lateral, corridas (*spreads*

e *flows*) e movimentos complexos (combinação de mais de um tipo de movimento). Esses tipos de rupturas podem ocorrer em rochas, detritos (solos grosseiros ou *debris*) ou terra (solos finos).

Já a classificação de Hutchinson (1988), é mais extensa e detalhada. Voltada para a engenharia geotécnica, ela contempla, além do mecanismo de ruptura, as condições de poro pressão, a velocidade do movimento e as características da estrutura do solo (apud BRITTO, 2014). Os tipos de movimentos, segundo este autor, se dividem em: recuo, rastejo, deformação em cristas de morros, escorregamentos, fluxo de detritos, tombamentos, quedas e movimentos complexos. Dessa forma, esse sistema de classificação depende da existência de uma considerável quantidade de informações.

Entre as classificações brasileiras destaca-se a elaborada pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1991), a qual foi detalhada posteriormente por Augusto Filho (1992). Essa classificação propõe a subdivisão dos movimentos de massa que ocorrem com maior frequência no Brasil: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas, em função das características do movimento, dos materiais envolvidos e da sua geometria. Essa classificação é recomendada pelo Ministério das Cidades (2004) no curso de Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco e é utilizada atualmente pelo IPT e pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) Serviço Geológico do Brasil, no mapeamento de áreas propensas à ocorrência de movimentos de massa.

Segundo Britto (2014) as classificações complexas, que envolvem a discretização de um grande número de fenômenos, dificultam o reconhecimento dos movimentos de massa em campo, sendo necessária a utilização de caracterizações detalhadas de subsuperfície, sendo assim, onde não é necessária a identificação de todos os mecanismos envolvidos no movimento, a adoção de sistemas classificatórios mais sucintos é preferível.

Para o presente trabalho foi adotado o sistema de classificação proposto por Augusto Filho (1992).

2.1.2.1 Rastejos

Os rastejos são movimentos lentos, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo, com velocidades de centímetros ou milímetros por ano, por esse motivo em campo não ocorre uma superfície de ruptura bem definida. São ocasionados pelo processo de expansão e contração do solo, devido às variações de umidade e temperatura. Podem afetar áreas extensas e envolvem grandes volumes de material, sem que haja um limite nítido entre o material em movimento e o

material estacionário. O rastejo pode, ainda, preceder os escorregamentos, caso ocorram precipitações pluviais intensas e/ou prolongadas. Em campo pode-se identificar o movimento por mudança na verticalidade de postes, árvores, muros e cercas dentre outros.

2.1.2.2 Escorregamentos

Subdivididos em movimentos translacionais (planares), rotacionais e em cunhas. Os escorregamentos são movimentos rápidos, de curta duração, com velocidades de metros por hora a metros por segundo. Apresentam planos de ruptura bem definidos entre o material deslizado e o não movimentado.

Os escorregamentos translacionais (planares) são típicos de solos rasos e anisotrópicos e apresentam, frequentemente, um controle estrutural evidente (COROMINAS et al., 1996). O plano de ruptura desenvolve-se ao longo de superfícies de fraqueza, marcadas por uma resistência ao cisalhamento reduzida, como falhas, planos de estratificação, diaclases ou no contato entre o solo e o substrato rochoso (VARNES, 1978). De acordo com Fernandes e Amaral (2003), são os processos mais marcantes na evolução natural das encostas brasileiras, seja pela frequência com que ocorrem, como pelo potencial de causar danos ao homem. São relativamente mais rasos que do que os escorregamentos por rotação.

Os escorregamentos rotacionais são um tipo bastante comum em que a superfície de ruptura é curva ou côncava. São muito comuns em materiais homogêneos.

Os escorregamentos em cunha são associados à saprólitos e maciços rochosos, nos quais a existência de dois planos de fraqueza condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos.

2.1.2.3 Quedas

As quedas consistem no movimento de fragmentos de rocha através de queda livre, salteamento ou rolamento, com velocidades muito altas, da ordem de metros por segundo (CRUDEN e VARNES, 1996). A ocorrência destes processos está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes. São potencializadas por variação de temperaturas, por meio da dilatação e contração da rocha, por discontinuidades (fraturas, planos de fraqueza, falhas e bandamentos), pelo avanço dos processos de intemperismo físico e químico, assim como pelo crescimento de raízes nas fraturas existentes nas rochas (IPT, 1991). Podem ser divididas em quedas, tombamentos e rolamentos.

As quedas de blocos envolvem materiais rochosos que se destacam de taludes ou encostas íngremes de paredões rochosos e se deslocam em movimentos do tipo queda livre, com a ausência de uma superfície de movimentação (INFANTI JÚNIOR e FORNASARI FILHO, 1998). São associadas à presença de fraturas e descontinuidades no maciço rochoso.

Os tombamentos de blocos ocorrem por mecanismos semelhantes aos das quedas, com a diferença que, nesses casos, o plano de fraqueza desenvolve-se em sentido vertical, paralelo ao plano do talude. Dessa forma, quando a inércia é rompida, resulta um movimento em báscula, provocando o tombamento do bloco. Ocorrem, geralmente, em encostas abruptas, principalmente em taludes de corte (IPT, 1991).

Os rolamentos de blocos ocorrem ao longo de superfícies inclinadas, através do desprendimento de matacões pela perda de apoio, devido à atuao de processos erosivos (INFANTI JÚNIOR e FORNASARI FILHO, 1998).

2.1.2.4 Corridas

As corridas são movimentos rápidos de grandes dimensões, com velocidades de metros por hora ou até mesmo metros por segundo. São altamente destrutivas e resultam da confluência de inúmeros escorregamentos e de um grande aporte de detritos nas linhas de drenagem. Esse material, misturado com grandes volumes de água, forma uma massa semifluida, com comportamento semelhante ao de um líquido altamente viscoso (IPT, 1991), ocasionado pela perda de atrito interno do solo, em virtude da destruio de sua estrutura em presença de excesso de gua (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). As corridas podem ser divididas, dependendo do material mobilizado e da velocidade do movimento, em: corrida de terra, corrida de lama e avalanche de detritos.

2.1.2.4 Escoamentos

O termo é usado por Cruden e Varnes (1996) para descrever a extensão lateral de uma massa de solo ou rocha combinada com um movimento geral de subsidência dentro de um material inferior mais mole.

2.1.3 Solos

Os solos têm propriedades que influenciam a suscetibilidade a movimentos de massa, tais como: peso específico, porosidade, ndice de vazios, mineralogia, granulometria, permeabilidade,

compressibilidade, textura, coesão, ângulo de atrito, espessura, condutividade hidráulica, histórico de tensões, entre outros (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004).

Solos residuais têm sua resistência determinada, principalmente, pelas discontinuidades existentes, as quais são constituídas por feições estruturais reliquias do embasamento rochoso e por horizontes de solo formados por processos pedogenéticos (FERNANDES e AMARAL, 2003). Nas discontinuidades podem ocorrer processos de instabilização por percolação de água e aumento da pressão neutra (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004).

Solos coluvionares e de depósitos de tálus são indícios de movimentos de massa pretéritos. Estes solos não apresentam qualquer estrutura, pois são compostos por blocos e/ou fragmentos de rocha imersos numa matriz de solo, transportados por gravidade e depositados no sopé de encostas (LACERDA e SANDRONI, 1985). Colúvios são materiais geralmente associados a problemas de estabilidade de encostas, pois são porosos e de alta plasticidade, apresentando assim baixa resistência. Em períodos de intensa precipitação pluvial esse material favorece movimentos de rastejo, devido ao comportamento visco-elástico que desenvolve.

Solos de depósitos de tálus são formados principalmente por blocos e matacões que se desprendem de encostas à montante e são depositados nos sopés de relevos escarpados. Em virtude dos materiais detríticos que o compõem estes solos apresentam baixa coesão podendo ser facilmente remobilizados a partir da execução de cortes, por exemplo, gerando assim, novos movimentos de massa.

2.1.4 Mapeamento geotécnico

Entende-se o mapeamento geotécnico como sendo a aplicação de uma série de técnicas e procedimentos que fazem parte do processo de setorização em cartas e/ou mapas de áreas de risco ou de suscetibilidade a desastres naturais.

Sendo a área de estudo objeto de mapeamento geotécnico e local de topografia e geologia favoráveis a movimentos de massa e, tendo um sistema social implantado, é importante conceituar termos relacionados ao estudo de desastres naturais.

O desastre natural é definido como o resultado do impacto de fenômenos naturais sobre um sistema social, intensos (ou extremos) o suficiente para causar danos e prejuízos que excedam a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida em conviver com os efeitos produzidos (TOBIN e MONTZ, 1997). O desastre natural ocorre numa área vulnerável onde existe um sistema social

qualquer implantado. Se a área não possui um sistema social implantado sobre ela, não se define como desastre natural, mas apenas a ocorrência de um processo natural.

Uma área com ou sem sistema social implantado pode apresentar níveis de suscetibilidade à ocorrência de desastre ou fenômeno natural. Entende-se suscetibilidade como a predisposição dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno do meio físico (FELL et al., 2008).

A vulnerabilidade é representada por um fator denominado grau de perdas e danos, variável entre 0 (sem perdas e danos) e 1 (com perdas e danos totais), sobre áreas que possuem sistema social implantado ou venham a possuir. Sendo assim, as consequências de um evento dependem da vulnerabilidade dos elementos expostos.

Por fim, o risco ao desastre natural é entendido como a probabilidade da ocorrência de perdas danosas ou esperadas causadas por um fenômeno natural sobre uma área vulnerável.

2.2 TRABALHOS ANTERIORES

Neste capítulo é feita uma breve revisão dos mapeamentos geotécnicos realizados nas cidades de Caxias do Sul e Santa Cruz do Sul, pois abordam a técnica de mapeamento geotécnico, contribuindo para análise crítica e aprendizado.

2.2.1 Mapeamento Geotécnico de Caxias do Sul

O levantamento geológico-geotécnico realizado no trabalho intitulado Mapa Básico das Unidades Geotécnicas da área urbana de Caxias do Sul (BRESSANI et al., 2005), teve como premissa norteadora servir como instrumento para o planejamento urbano básico e para a realização de estudos específicos de riscos geológico-geotécnicos, especialmente em áreas de assentamentos subnormais (BRESSANI et al., 2005).

No município de Caxias do Sul, afloram rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral e depósitos recentes de tálus e colúvios. Foram feitos estudos de petrografia e mineralogia das principais rochas presentes na área de estudo, bem como realizados ensaios geotécnicos nos solos derivados das rochas. Para o mapeamento dos materiais geotécnicos, foram realizadas inspeções em campo, analisadas fotos aéreas e realizados ensaios geotécnicos de caracterização. Os solos foram inspecionados e descritos conforme seu comportamento geotécnico similar sob o ponto de vista de interesse para obras e ocupação urbana.

Os autores mapearam uma unidade geológica na área urbana de Caxias do Sul, quimicamente classificada como Dacito e a dividiram em cinco subtipos: Dacito Ana Rech, marcada por estratificação horizontalizada em toda a sua área de ocorrência; Dacito Forqueta, com estrutura de fluxo bem marcada; Dacito Caxias, com estratos tabulares sub-horizontais na sua porção basal; Dacito Canyon, com uma estrutura de fluxo subvertical e Dacito Galópolis, compreendendo dois derrames: um intervalo basal vulcânico e um vidro vulcânico superior (unificados em uma só unidade devido à declividade do local).

Na classificação dos solos os autores levaram em conta principalmente o comportamento geotécnico de campo que se reflete em aspectos como topografia (ondulações do terreno, mudanças bruscas de declividades ou declividades mais acentuadas), cor dos materiais expostos, comportamento frente à erosão hidráulica ou aos fenômenos de modelagem do terreno, afloramentos de água ou mudanças de vegetação (BRESSANI et al., 2005). Devido ao intemperismo natural, os 5 tipos de rochas deram origem a 5 tipos de solos: Solo Ana Rech, Solo Forqueta, Solo Caxias/Carijó, Solo Canyon e Solo Galópolis.

Para a compartimentação do relevo, dos fatores geomorfológicos, foram considerados declividade, forma da encosta (planta e perfil), orientação, espessura do solo, amplitude da encosta e elevação.

Bressani et al (2005) compartimentaram a área urbana do município em 2 setores, dividindo-os internamente em 8 unidades morfo-estruturais. Analisando qualitativamente as formas do relevo e as características do solo de cada unidade puderam avaliar a variação morfológica que ocorre na área estudada.

As unidades foram avaliadas pelos seguintes aspectos: forma de relevo predominante, características do regolito referentes à espessura, infiltração de água, processo de rastejo e vertentes. Os autores subdividiram as vertentes em: face escarpada, quando observada a ocorrência de quedas de blocos; vertente de detritos, quando observado o fluxo de detritos, e vertente de colúvio, quando observado depósito de detritos e escorregamentos.

2.2.2 Mapeamento Geotécnico de Santa Cruz do Sul

No mapeamento geotécnico do município de Santa Cruz do Sul, realizado por Noronha (2012), foram empregados três métodos de análise do meio físico para a determinação de:

- a) unidades geológicas, a partir de um mapeamento geológico e análise do substrato rochoso;

- b) unidades de vertentes, a partir da compartimentação geomorfológica do relevo baseada no modelo conceitual de Dalrymple et. al (1968),
- c) unidades geotécnicas preliminares, a partir do cruzamento das informações das duas caracterizações anteriores.

O modelo conceitual de Dalrymple et al. (1980) é dividido em 9 unidades hipotéticas (Figura 2.1) que combinam as mais prováveis formas de relevo e os possíveis processos geomorfológicos, geológicos e de movimentação de águas atuantes.

No trabalho os autores simplificaram o modelo para 7 unidades: interflúvio, declive com infiltração, declive convexo, escarpa, declive intermediário, sopé coluvial e declive aluvial (pedimentos e aluviões).

As unidades geotécnicas foram então definidas pela sobreposição e intersecção entre os mapas de unidades geológicas e unidades de vertentes. Ou seja, as unidades geotécnicas são uma divisão geológica com base nas características geomorfológicas (classes de vertentes), as quais são resultados de diferentes processos de intemperismo, formação e movimentação do solo.

2.3 COMPARTIMENTAÇÃO DE RELEVO

Neste capítulo é abordada a sistemática de mapeamento geomorfológico a partir da compartimentação do relevo por níveis taxonômicos propostos por Ross (1992).

A análise da geomorfologia é critério básico para o mapeamento geotécnico, pois a forma do relevo é reflexo da composição e estruturação das rochas, bem como da atuação de processos de caráter exógeno sobre o substrato rochoso. Sendo assim, a classificação das formas do relevo, entre outros parâmetros naturais (rocha, solo, vegetação, águas pluviais, de escoamento superficial e subterrâneo), ajuda a estabelecer estratégias geotécnicas para acompanhar os processos de urbanização, uma vez que a dinâmica externa é, em grande parte, condicionada pelas variações dos modelados de relevo (BRESSANI et al., 2005).

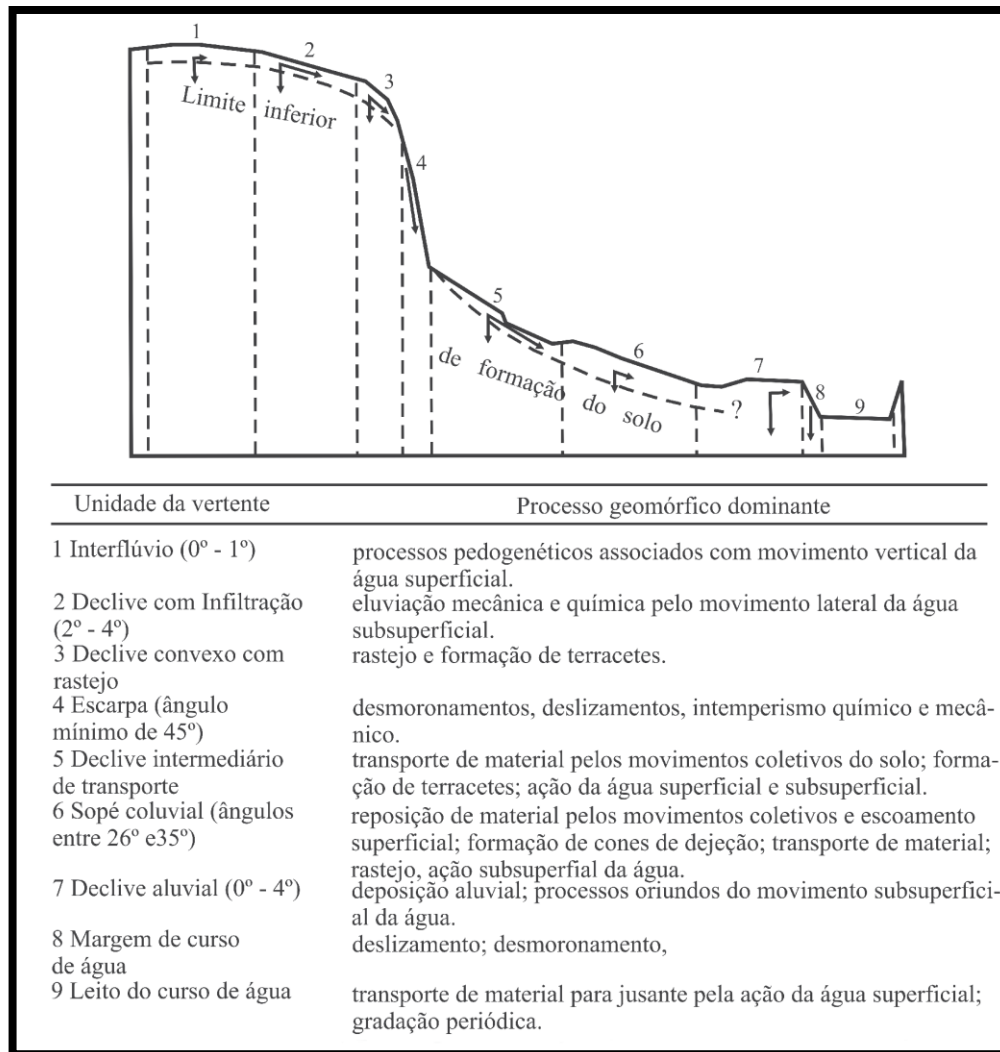


Figura 2.1 - Classes de vertentes definidas conforme declividade e o respectivo processo geomorfológico dominante. Fonte: Modificado de Dalrymple et al. (1980), em Noronha (2012)

2.3.1 Níveis taxonômicos

O mapeamento geomorfológico, seguindo os níveis taxonômicos de Ross (1992), conforme a Figura 2.2, define que o relevo pode ser cartografado em seis táxons, o que possibilita descrever e explicar a existência dos mais variados tamanhos e gêneses de formas, em diferentes escalas de abordagem. Sendo assim, o autor elaborou uma estrutura na qual define que os seis táxons do relevo podem ser representados por: 1) morfoestruturas; 2) morfoesculturas; 3) padrões fisionômicos das formas; 4) forma/tipo de relevo; 5) forma/tipo de vertente, 6) formas de processos atuais (entre estes, movimentos de massa).

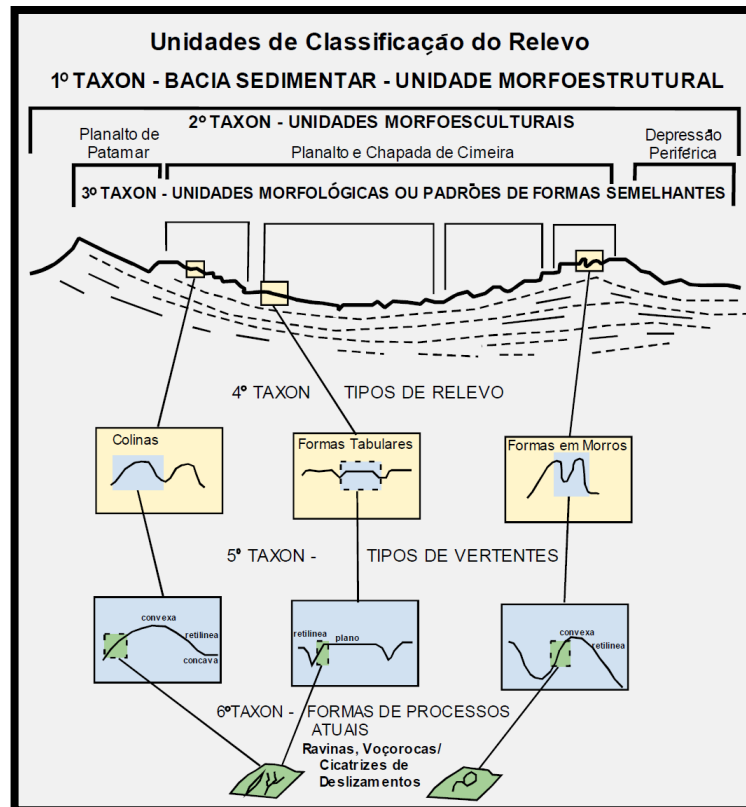


Figura 2.2 – Unidades taxonômicas de classificação de relevo. Fonte: Modificado de Ross (1992)

A partir da Figura 2.2 acima, define-se cada nível taxonômico de uma carta geomorfológica:

- 1º Táxon (**Unidades morfoestruturais**) – correspondem às macroestruturas, como as grandes estruturas da bacia do Paraná;
- 2º Táxon (**Unidades morfoesculturais**) – correspondem aos compartimentos e subcompartimentos do relevo pertencentes a uma determinada morfoestrutura e posicionados em diferentes níveis topográficos;
- 3º Táxon (**Modelado**) – corresponde ao agrupamento de formas de agudação (relevos de acumulação) e formas de denudação (relevos de dissecação);
- 4º Táxon (**Conjuntos de formas semelhantes**) – correspondentes aos tipos de formas/modelado que caracterizam o relevo;
- 5º Táxon (**Tipos de vertente**) – corresponde ao tamanho médio dos interflúvios e grau de entalhamento dos canais originando formas de vertentes: côncavas, retilíneas, convexas,

- 6° Táxon (**Formas que refletem os processos atuais**) – são as formas mais detalhadas relacionadas a processos atuais-sub atuais como ravinas, movimentos de massa e também formadas a partir da interferência antrópica.

A compartimentação da área de estudo em táxons é apresentada nos capítulos Contexto Geomorfológico Regional e Unidades Geomorfológicas Regionais.

2.3.2 Formas de vertente

A classificação do relevo em formas de vertente como: retilíneas, convexas, côncavas, convergentes, divergentes e planas; definem o 5° táxon Ross que é o último nível, analisado neste trabalho, da sistemática de compartimentação do relevo. Desta maneira é importante a caracterização desses termos.

Essas formas, segundo Valeriano (2008), resultam da combinação entre as curvaturas vertical e horizontal.

2.3.2.1 Curvatura vertical

A curvatura vertical (Figura 2.3) é uma variável de alto poder de identificação de unidades homogêneas do relevo, por referir-se à forma convexo/côncavo ou retilínea do terreno. Relaciona-se com os processos de transporte e acumulação de água, de minerais e de matéria orgânica no solo (VALERIANO, 2008). Assim, a forma da vertente é base para o estudo da dinâmica erosiva e de suscetibilidade a movimentos e massa.

Bloom (1970) definiu as encostas convexas dominadas por rastejos e predomínio de escoamento superficial e as côncavas com predomínio de transporte e acumulação detrítica. Sobre as declividades destas formas verticais, Silva et al. (2007) definiram para vertentes convexas declividades acentuadas próximo a base, declividades menores nos trechos médios e declividades quase nulas nos topos. Para vertentes côncavas declividades baixas próximo a base, declividades moderadas nos trechos médios e próximas aos topos declividades acentuadas. Para vertentes retilíneas valores de declividade similares em todos os pontos da vertente.

A percepção da curvatura vertical do terreno no campo, quando não ocorre visualmente (em perfil), se dá pela variação da declividade enquanto se percorre a vertente em sua direção do desnível (VALERIANO, 2008).

Valeriano e Albuquerque (2010) consideraram que o valor da curvatura vertical é definido pela diferença de ângulo de declividade em relação à respectiva distância horizontal, assim se não houver diferença desse ângulo, o resultado é nulo, portanto, com curvatura vertical retilínea. Os perfis de vertente convexa apresentam os valores positivos e os perfis côncavos apresentam os valores negativos.

Segundo Valeriano e Albuquerque (2010) “a medida da curvatura horizontal se baseia na mudança da orientação de vertentes em relação à distância horizontal, ao longo das curvas de nível”.

2.3.2.2 Curvatura horizontal

A curvatura horizontal (Figura 2.3) das vertentes indica as áreas de escoamento superficial divergente e convergente, de modo que as vertentes de fluxos concentrados (convergente) tende ao transporte de partículas maiores, que aquelas movidas pelo escoamento laminar difuso (divergente) (BIGARELLA, 2003). Bloom (1970) definiu as encostas, com relação à curvatura horizontal em “coletoras de água” (vertentes convergentes) e “distribuidoras de água” (vertentes divergentes).

Ainda, para Fernandes e Amaral (2003) a forma da vertente, tanto no perfil quanto no plano, influencia fortemente o desenvolvimento de movimentos de massa, uma vez que condiciona o fluxo de água e de materiais sólidos ao longo da mesma, o acúmulo de umidade e, em última análise, os níveis de poro pressão desenvolvidos. Em encostas convexas e divergentes, a água subterrânea é dispersada e as pressões neutras são menores, enquanto que em encostas côncavas e convergentes, o fluxo de água tende a se concentrar podendo elevar a pressão neutra, diminuindo assim a resistência. Brenda (1990) comenta que, em geral, encostas divergentes e convexas são mais estáveis, seguido pelas encostas com segmentos planos e pelas encostas convergentes e côncavas, menos estáveis.

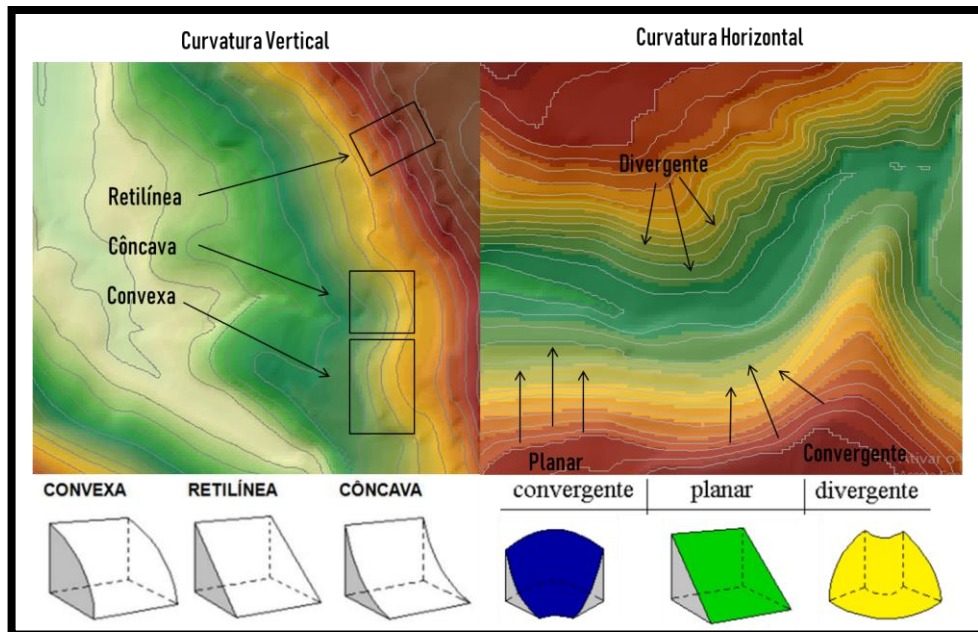


Figura 2.3 – Curvatura vertical e horizontal. Fonte: elaborado pela autora (2018)

2.4 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

Este capítulo contextualiza geomorfologicamente a região da área de estudo, descrevendo-a do ponto de vista morfoestrutural (1º táxon) e morfoescultural (2º táxon).

A área de estudo localiza-se no domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares a qual corresponde de modo geral à província geológica do Paraná, que define o 1º táxon da sistemática de mapeamento de Ross (1992). Esse domínio apresenta formas de relevo esculpidas nas litologias desta bacia desde a fase de sedimentação paleozóica e mesozóica até a fase efusiva, de idade jurássica e, posteriormente, por coberturas terciárias. Esse domínio é subdividido em seis Regiões Geomorfológicas, onde a área de estudo se encontra no Planalto das Araucárias na unidade geomorfológica do Planalto dos Campos Gerais onde as formas da paisagem são esculpidas em rochas vulcânicas ácidas (JUSTUS et al., 1986).

O Planalto dos Campos Gerais, que define o 2º táxon, caracteriza-se a leste por um relevo relativamente plano e conservado. Desenvolveram-se por extensas áreas interfluviais dos rios Caí e das Antas e deste com o Rio Pelotas. As formas de relevo revelam a existência de etapas evolutivas de dissecação, com áreas bastante conservadas de morfologia planar, outras onde a erosão alargou vales, ocasionando muitas vezes, rupturas de declive de pequenos desníveis, e em outras a erosão alargou os extensos vales, deixando resíduos de antigas superfícies de aplainamento. Mostra áreas com sucessão de colinas de topos planos cobertas por vegetação de

campos, separadas por vales de fundo chato. A leste essa unidade caracteriza-se por formas de relevo de dissecação diferencial, profundos entalhamentos fluviais encaixados em linhas estruturais (JUSTUS et al., 1986).

Entre o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, os derrames vulcânicos do GSG – Grupo Serra Geral – (ROSSETI et al, 2017) formam: morros e serras dissecados em diferentes níveis, com topos planos (mesas/tabuleiros), sustentados por platôs de rochas vulcânicas básicas e topos convexos sustentados por rochas ácidas (Figura 2.4).



Figura 2.4 – Topo de morro convexo sustentados por rochas ácidas, registro de campo. Foto da autora (2018)

A morfologia regional da área de estudo mesmo sendo elaborado pelos mecanismos morfoclimáticos variados, reflete diretamente as estruturas geológicas dos derrames vulcânicos básicos e ácidos.

Leinz (1980) esquematiza a variação topográfica, de relevos formados por rochas basálticas, em patamares como resultante da variação de estruturas dos derrames mostrando que a disjunção dos blocos ocorre nos planos preferenciais: a escarpa abrupta coincide com zonas de diaclases verticais e a escarpa inclinada com diaclases horizontais.

Cassetti (1994) descreve a sequência de eventos para a construção de relevos tabuliformes analisando a evolução da incisão linear da drenagem onde: 1) a orientação do sistema fluvial está associada ao mergulho dos pacotes de derrame; 2) os esforços tectônicos e as estruturas geradas influenciam a drenagem a entalhar o talvegue, admitindo-se implicações morfológicas na elaboração dos vales pela possibilidade de alternâncias litológicas; 3) a alternância de clima úmido para clima seco implica na evolução (denudação) horizontal do modelado, ou seja, recuo paralelo das vertentes por desagregação mecânica.

2.5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Neste capítulo é apresentada a geologia regional e estrutural da área de estudo, como também se aborda sobre lavas ácidas, a gênese de dois possíveis depósitos que podem ser encontrados na área de estudo, e sobre a arquitetura de cada um desses depósitos.

2.5.1 Geologia Regional

A região da área de estudo é composta por rochas vulcânicas básicas e ácidas, pertencentes ao Grupo Serra Geral, que está inserido no sul da Bacia do Paraná.

A Província Ígnea Paraná-Etendeka (PIPE) é o maior evento magmático do baixo Cretáceo e se relaciona à fragmentação do Gondwana Sul e abertura do Oceano Atlântico. A PIPE cobre $1,2 \times 10^6$ km² principalmente na América do Sul e possui contrapartes na África. A sucessão vulcânica é formada principalmente por basaltos e andesitos basálticos (97,5%) com quantidades menores de rochas ácidas (2,5%), que podem ser divididas em dois setores principais (1) ao sul, baixo TiO₂ (também chamado de baixo Ti / Y) e (2) à norte, alto TiO₂ (também chamado de alto Ti / Y) (BELLIENI et al., 1984; PEATE, 1997). Uma abordagem vulcanológica forneceu evidências importantes de que os pacotes de lava mudaram sua morfologia e arquitetura em todas as diferentes fases da evolução vulcânica (WAICHEL et al., 2012; ROSSETTI et al., 2014).

A formação dessa sucessão é de curta duração (135 – 131 Ma), ocorrida em clima seco durante o baixo Cretáceo, o que inibiu a formação de paleosolo com ausência de marcadores estratigráficos (ROSSETTI et al, 2017).

O polígono da área de estudo se localiza dentro dos limites da FP (Formação Palmas), na fácies Caxias, que está sobreposta às lavas *pahoehoe* de andesitos basálticos da Formação Vale do Sol (ROSSETTI et al, 2017) ou fácies Gramado (PEATE et al, 1992), e sotoposta pelas lavas *pahoehoe* da Formação Esmeralda (ROSSETTI et al, 2017) .

A área total estimada ocupada por rochas ácidas no GSG é de 64.000 km², com um volume de pelo menos 15.300 km³, dos quais a FP representa 95% da área e 80% do volume (NARDY et al., 2008). A FP é composta por domos de lava dacíticas que mostram estruturas circulares com dimensões típicas de 5 a 8 m de altura e até 30 m de comprimento na base, e, fluxos de lava. A FP é subdividida em 5 subgrupos: Dacito Caxias, Santa Maria (riolitos), Anita Garibaldi, Jacuí e Clevelândia (PEATE et al.,1992).

Porém, a presença de estruturas centrais semelhantes a caldeiras (ex.: *Messum Complex* – Etendeka, Namíbia) leva alguns autores (ROISENBERG, 1989; GARLAND et al., 1995; BRYAN et al., 2010) a acreditar em origem piroclástica e uma colocação das rochas em depósitos ignimbríticos bem soldados.

2.5.2 Depósitos de lavas ácidas e Arquitetura das fácies

Na área de estudo encontram-se rochas de composição ácida (Formação Palmas, fácies Caxias), desta maneira é apropriado a revisão dos mecanismos que as geram.

Rochas vulcânicas ácidas são formadas por magmas riolíticos ou dacíticos que são ricos em Si (sílica), e por isso, possuem alta viscosidade e fluem lentamente. Sendo assim o derrame de lava ácida é muito mais restrito em extensão do que o derrame de lava básica, que pode chegar a dezenas de quilômetros. Porém, observa-se que em magmas ácidos, quando a pressão dos gases se torna maior que a resistência do magma, podem ocorrer erupções explosivas na câmara magmática, formando caldeiras vulcânicas e gerando nuvens densas de fragmentos suspensos por gás, que ao atingir o terreno abrangem muitas dezenas de quilômetros.

As rochas ácidas da área de estudo provavelmente têm origem em caldeira vulcânica. Segundo Winge et al. (2009) caldeira vulcânica é uma estrutura de colapso desenvolvida a partir da explosão da câmara magmática. As caldeiras apresentam forma circular de grandes dimensões (centenas de metros a dezenas de quilômetros de diâmetro) topograficamente rebaixadas com relação às bordas mais elevadas e íngremes que a margeiam.

O colapso da câmara magmática gera os depósitos ignimbríticos (Figura 2.5 A), e numa fase pós-colapso, podem-se formar domos de lava na superfície (Figura 2.5 B), pois após o colapso a câmara magmática se torna rasa e o material ácido não é mais tão volátil, movendo-se assim lenta e calmamente para a superfície, passando assim de um sistema de subsuperfície para um regime de superfície.

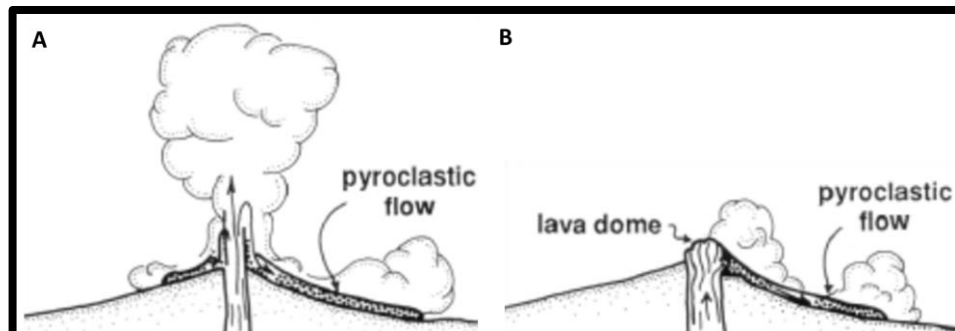


Figura 2.5 – Formação de depósitos vulcânicos por caldeira. A) nuvem de fluxo piroclástico, depósito ignimbrítico B) depósito de fluxo piroclástico seguido por domo de lava. Fonte: Modificado de Macdonald (1927), em McPhie (1993)

O presente trabalho detectou que na área de estudo ocorrem depósitos ignimbríticos e de domos de lava.

Depósitos Ignimbríticos: São depósitos de altas temperaturas que formam materiais bem consolidados (fluxo soldado), no início são dúcteis e, ao serem comprimidos pelo peso sobrejacente, formam foliação. Apresentam uma típica feição de fluxo tabular, devido à deposição de materiais mais densos no mesmo nível.

Segundo Roisenberg (1989) os ignimbritos da região da área de estudo exibem formas tabulares ao longo de perfis longitudinais, com espessuras de 40 metros, e podem chegar a distâncias de até 60 km. A arquitetura desses depósitos pode ser dividida em três zonas (Figura 2.6), segundo Roisenberg (1989), e vale ressaltar que elas são muito importantes para a compreensão do desenvolvimento de movimentos de massa:

- **Zona Basal:** constituída por vitrófiros e brechas de fluxo dispostos sem padrão definido e sem diaclasamento característico. O vitrófiro consiste em lentes irregulares com até 6 metros de espessura. As brechas possuem tonalidades avermelhadas com diferentes intensidades ao longo das bandas de fluxo, e os fragmentos são irregulares e de dimensões variáveis.
- **Zona Central:** é a mais expressiva constituindo 70% da espessura da unidade, formada por granófiros acinzentados que apresentam diaclasamento fino e tabular na base, podendo alcançar 30 metros de espessura. Na porção intermediária a rocha se torna maciça, com fraturamento discreto a colunar dominante.
- **Zona Superior:** mais delgada com espessura de até 8 metros e litologia semelhante à zona basal, da qual se distingue pela presença de vesículas e amígdalas.

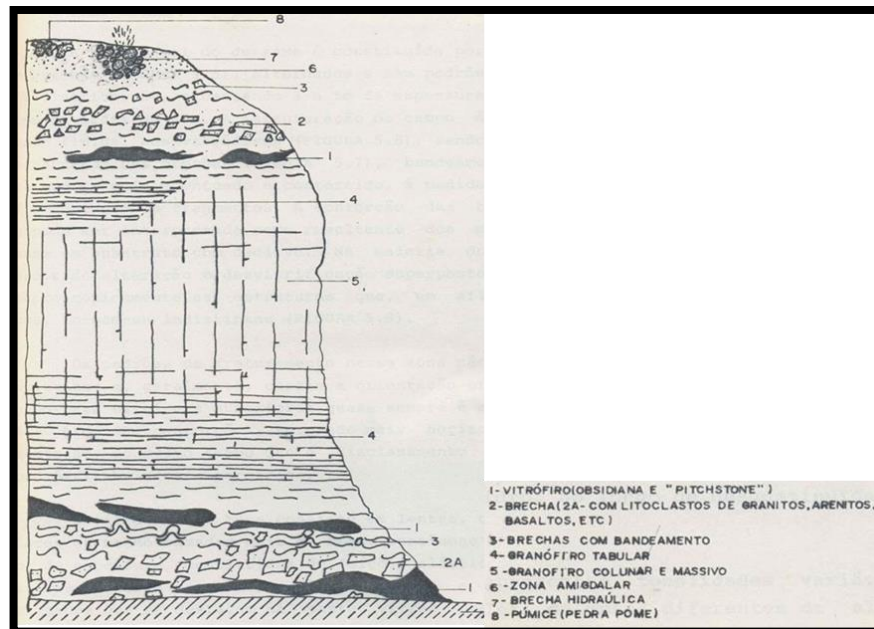


Figura 2.6 – Anatomia de um fluxo ignimbrítico do tipo Palmas. Fonte: Roisenberg (1989)

As estruturas da área de estudo que foram associadas a depósitos dômicos são muito semelhantes às descritas no trabalho de Lima et al. (2012) que descreve domos de lava ácidos na região de São Marcos-Antônio Prado (Formação Serra Geral).

Domos de Lava Ácida: A estruturação dômica é determinada pela resistência do fluxo em fluir tendo em geral vitrófiros na base e no topo. As estruturas presentes na base destes depósitos marcam a transição dos magmas do sistema de subsuperfície para um sistema de superfície por estruturas magmáticas verticais a subverticais que, devido à expansão lateral do magma, se tornam-se sub-horizontais e horizontais. Este arranjo permite ao núcleo uma cristalização de resfriamento mais lento, favorecendo a geração de texturas faneríticas. Segundo o esquema (Figura 2.7) de variações texturais em domos de lavas ácidas de Fink e Manley, (1987), podem-se caracterizar as zonas dos domos da seguinte maneira:

- Bordas topo e base: formada por brechas, podendo apresentar na base feições de fluxo.
- Núcleo: formado por vitrófiro vesicular nas bordas, gradando para obsidiana maciça, obsidiana com esferulitos e, por fim, nas porções centrais rocha maciça. Nas partes basais do centro pode desenvolver feições de fluxo horizontais e conforme se aproxima do topo essas feições podem-se tornar sub-verticais. Disjunções também são presentes dentro da zona central do domo, elas são

horizontais na base e gradam para sub-verticais a verticais conforme se aproxima da borda do domo, no sentido de avanço do fluxo.

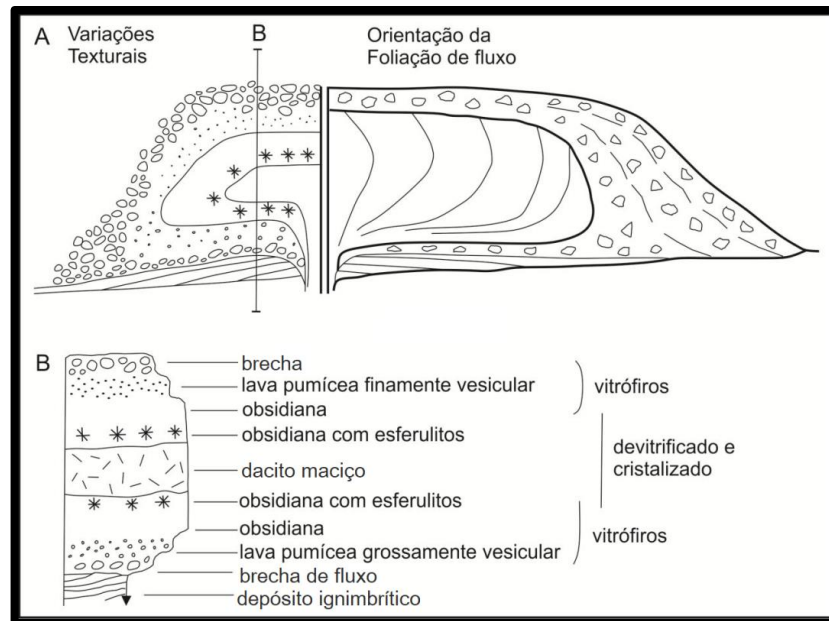


Figura 2.7 – Esquema da estruturação de derrame ácido sub-aéreo. A) O lado esquerdo mostra a textura interna e variações decorrentes da vesiculação, devitrificação e fragmentação durante o fluxo. O lado direito mostra a orientação das foliações no fluxo e o depósito de brechas de talus na margem do fluxo. B) variação textural interna do derrame. Fonte: Modificado de Fink e Manley (1987); em McPhie, (1993)

2.5.3 Geologia Estrutural

A deposição das rochas e estruturação da bacia do Paraná, impulsionada pela dinâmica de placas no processo de evolução do Gondwana, foi desenvolvida sob forte controle estrutural com base em dois *trends* principais, NW-SE e NE-SW e um terceiro *trend* de direção E-W (ZALAN et al, 1990).

Para Almeida (1983), os arqueamentos e flexuras da Bacia do Paraná parecem estar ligados à própria evolução da bacia e teriam sido realçados no Mesozoico, quando foram afetados inicialmente pelo magmatismo basáltico e alcalino e novamente pelo magmatismo alcalino. Durante o vulcanismo da Formação Serra Geral houve uma reorganização geral da bacia, havendo uma tendência de avanço das unidades vulcânicas sobre o Arco de Ponta Grossa, momento em que as estruturas NW voltaram a ter grande influência na sua evolução (ZALAN et al., 1991).

Nummer et al (2014) com objetivo de avaliar o padrão das estruturas rúpteis que afetam as rochas vulcânicas na aba sul do Sinclinal de Torres, definiram quatro famílias de falhas: NE-SW a NNE-SSW, WNW-ESE a E-W, N-S e NW-SE (menos expressivas na escala de afloramento). A partir desse estudo, foram identificadas em Bento Gonçalves os sistemas de falhas transcorrentes: NE-SW (dextral) e NW-SE (sinistral), que afetam as rochas vulcânicas da Serra Geral no leste do Planalto do Rio Grande Sul e podem ser explicadas em um mesmo campo de esforços com tensão máxima (σ_1) ao redor de E-W. O padrão transcorrente dextral NE-SW parece reativar estruturas já existentes no embasamento da Bacia do Paraná e no Escudo Catarinense, enquanto o padrão transcorrente NW-SE (sinistral) corresponde aparentemente uma direção estrutural mais nova na bacia que foi nucleado no Cretáceo como reflexo da ruptura continental do Gondwana ligada à abertura do Oceano Atlântico Sul (NUMMER et al, 2014).

Zalan et al. (1990) salientam as diferenças entre os padrões estruturais das zonas de falhas NW e NE. As primeiras, ao contrário das últimas, foram fortemente reativadas durante a ruptura jurocretácia do Gondwana, e acham-se geralmente preenchidas por diques de diabásio. Caracterizam-se por extensas zonas retilíneas de falhas, que podem se alargar ou se estreitar ao longo do seu traçado, a exemplo da zona de falha Curitiba-Maringá, inserindo inteiramente o eixo do Arco de Ponta Grossa, que é limitada ao norte pela falha de São Jerônimo- Curiúva e ao sul pela falha do Rio Alonso.

O padrão NE é constituído em geral por uma única falha larga ou por uma zona de falha retilínea, sendo muito mais comuns movimentações transcorrentes do que no padrão NW, embora aqui tais movimentações também sejam frequentes (ZALAN et al., 1990).

O lineamento é uma feição linear simples ou composta da superfície, cujas partes estão alinhadas retilineamente ou ligeiramente em curva e que diferem claramente dos padrões de características adjacentes e presumivelmente refletem um fenômeno em sub superfície (O'LEARY E FRIEDMAN, 1978).

3 METODOLOGIA E PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Neste capítulo apresenta-se a metodologia utilizada ao longo do trabalho, o modelo conceitual utilizado para relacionar formas de vertente e movimentos de massa, e os produtos cartográficos, de escala regional e local, que representam os espaços de análise e de integração dos dados. Também aborda sobre os pontos inspecionados na etapa de campo e sobre os ensaios laboratoriais.

A metodologia do trabalho foi o mapeamento geotécnico que, de modo geral, consiste no estudo do meio físico através da análise do relevo considerando os materiais (rocha e solo) que o compõem. Sendo assim, uma série de etapas foram realizadas para identificação e descrição desses materiais para posterior integração com o relevo e interpretação do terreno do ponto de vista geotécnico.

Para o desenvolvimento da metodologia as seguintes etapas foram desenvolvidas:

- a) Pesquisa bibliográfica relevante ao tema mapeamento geotécnico;
- b) análise geomorfológica da área de estudo em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas);
- c) confecção de produtos cartográficos em ambiente SIG;
- d) campo para análise expedita e coleta de amostras (rochas e solos);
- e) descrição macroscópica e microscópica das amostras de rocha;
- f) caracterização geotécnica das amostras de solo;
- g) compartimentação da área de estudo em setores geomorfológicos;
- h) integração e interpretação dos dados,
- i) confecção do mapa de unidades geotécnicas.

3.1 MODELO CONCEITUAL

Neste capítulo é apresentado o modelo conceitual utilizado para delimitar as unidades geológicas da área de estudo. Apresenta-se a relação estabelecida entre este modelo conceitual e as formas de vertente, que por sua vez, podem ser relacionadas a movimentos de massa.

O modelo conceitual utilizado para auxiliar a delimitação das unidades geológicas é o de Roisenberg (1989) para depósitos ignimbríticos. Na região da área de estudo ocorre também a provável presença de domos de lava, porém são unidades pouco extensas que não contemplam a escala do mapeamento realizado. Mesmo assim, o modelo de arquitetura e geometria apresentado para depósitos ignimbríticos (Figura 2.6) e para domos de lavas ácidas (Figura 2.7) são muito semelhantes entre si, dessa maneira as unidades delimitadas com base no modelo de Roisenberg (1989) também podem contemplar domos de lava, ainda que esses sejam de escala local.

A partir do modelo conceitual de Roisenberg (1989) associaram-se as litofácies do depósito às formas de vertente da área de estudo, como mostra a Figura 3.1A abaixo, onde: **1)** formas planas/lineares de baixa declividade representam a zona de topo do depósito ou ainda, porções de diaclases horizontais; **2)** formas convexas (expressões positivas) com declividade médias representam a zona basal ou de topo dos fluxos vulcânico; **3)** formas retilíneas de forte a muito forte declividade representam a zona central maciça com diaclases verticais, mas também domos de lava podem se associar a este tipo de vertente, **4)** formas planas/lineares a côncavas (expressões negativas) com declividades baixas a médias representam a zona com diaclases horizontais, assim como áreas planas também podem representa-las. Considerando a variedade litológica dentro de cada unidade, suas estruturas e sua disposição, o grau de faturamento provocado por tectonismo bem como os efeitos diversos do intemperismo, deve-se levar em conta que a descrição acima é esquemática, mas serve como um bom ponto de partida para classificar e ordenar as unidades geotécnicas da área de estudo.

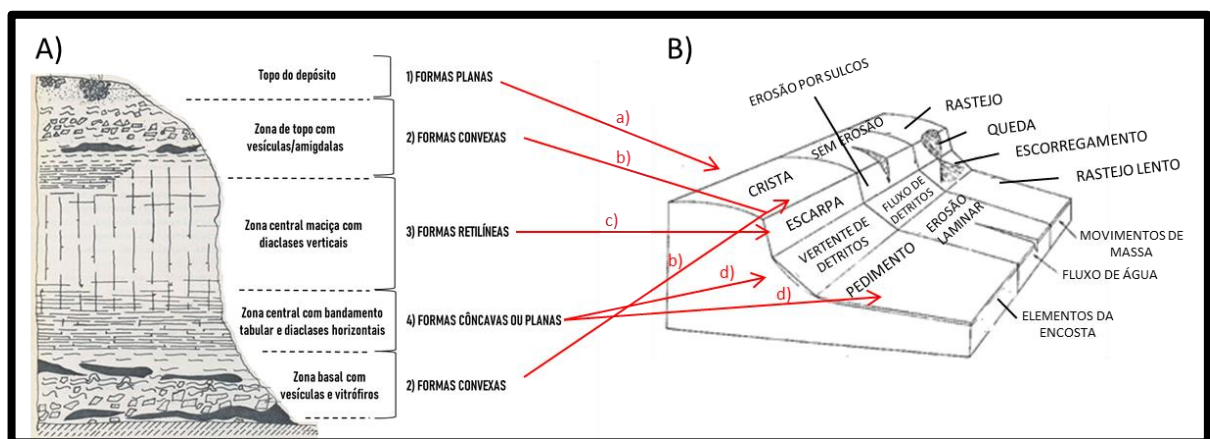


Figura 3.1– A) litofácies do depósito ignimbrítico *versus* formas de vertente através do modelo conceitual para depósitos ignimbríticos de Roisenberg (1989); B) forma das vertentes *versus* movimentos de massa

através do modelo de elementos da encosta de King (1962). Fonte: elaborado pela autora (2018)

Além da relação modelo ignimbrítico *versus* forma das vertentes, se propõe a relação formas de vertente *versus* movimentos de massa através do modelo de elementos da encosta de Lester King (1962) como mostra a Figura 3.1B, onde: **a)** formas planas (representando o topo do depósito ou a porção de diaclases horizontais quando já erodido o complemento superior das unidades) são equivalentes à crista de encostas onde predomina infiltração e, com aumento da declividade, rastejo; **b)** formas convexas são equivalentes à transição de crista para escarpa onde predomina rastejo; **c)** formas retilíneas são equivalentes a escarpas onde predominam quedas e **d)** formas côncavas são equivalente às vertentes de detrito onde se depositam materiais (tálus e colúvio) transportados de cotas superiores onde predominam escorregamentos, e formas mais aplainadas são equivalentes à pedimentos onde predominam rastejos (mais lentos) de colúvio em cotas inferiores e com a suavização da topografia. Os pedimentos são praticamente inexistentes pelo fato que o relevo ainda não se desenvolveu suficientemente para gerar amplos pedimentos.

Por fim, através desses modelos (Figura 3.1A e B) se estabelece a relação entre o zoneamento dos fluxos e movimentos de massa.

3.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS REGIONAIS

Neste capítulo são apresentados os produtos cartográficos gerados para região da área de estudo: Unidades Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas.

Os produtos foram gerados sobre imagem estereoscópicas de anaglifos obtidos através da fusão de uma imagem LANDSAT TM5 (bandas 3,4 e 5) com o modelo numérico do terreno SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission* NASA) ambas as imagens com resolução espacial de 30 m. As estruturas interpretadas e traçadas nas imagens referem-se às falhas, fraturas, vales (negativas) e cristas alinhadas (positivas) existentes na região da área de estudo.

3.2.1 Lineamentos Regionais

Neste capítulo são apresentados os lineamentos traçados na região da área de estudo, definem-se unidades morfoestruturais e analisam-se seus respectivos controles estruturais.

O lineamento é uma feição geomorfológica da imagem materializada pelo alinhamento de vales, cristas, escarpas, tonais e de vegetação, que refletem prováveis estruturas no terreno (GOLD, 1980). Podem ser divididos em três escalas de comprimentos: lineamentos de grande porte, maiores do que 100 km, provavelmente associados a limites entre províncias geológicas; lineamentos entre 10 e 100 km, provavelmente associados a falhas; e lineamentos de pequeno porte menores do que 10 km, associados a fraturas.

Da confecção do mapa de lineamentos regionais e delimitação das unidades morfoestruturais (Figura 3.2), destaca-se lineamento de médio porte com direção NW que tem continuidade a sudeste da área (F-F'), o qual por suas dimensões sugere provável falha. Este lineamento divide a área de estudo (Figura 3.2) em duas unidades morfoestruturais: (1) nordeste com morfologia dissecada e (2) sudoeste com morfologia predominante aplainada. Esta condição geomorfológica sugere que a unidade (1), nordeste, mais erodida seja relativamente mais alta e que a unidade mais preservada (2), sudoeste, seja mais baixa. Individualizou-se na área de estudo regional uma terceira unidade (3) separada da (1) e da (2) por limite erosivo que corresponde à dissecação do Rio das Antas, caracterizado por vales profundos com traçado predominantemente sinuoso.

Na unidade 1 predominam lineamentos multidirecionais de pequeno porte com forte controle estrutural por prováveis fraturas. Na unidade 2 predominam lineamentos de pequeno porte com direção noroeste, principalmente, mostrando médio controle estrutural por fraturas. Na unidade 3 predominam lineamentos de pequeno porte com direção nordeste com baixa densidade de lineamentos.

Sobre o lineamento F-F' dois fatos aventam a hipótese de uma linha de falha entre as unidades 1 e 2: a) o lineamento F-F' é de médio porte e se estende para fora da área, diferente das outras linhas de fratura que são de pequeno porte; b) a erosão diferencial dos dois lados do lineamento F-F': unidade 1, morfologicamente alta e mais resistente; e, unidade 2, menos resistente e morfologicamente mais baixa; indicando materiais de resistência diferente ao intemperismo – erosão em cada um dos blocos separados pela descontinuidade.

Quanto ao tipo de movimento da F-F', sabe-se que Nummer et al. (2014) afirmam a componente transcorrente para falhas com direção NW-SE, que afetam as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no leste no Planalto do Rio Grande do Sul. A componente vertical fica sugerida pela erosão diferencial entre as unidades, indicando o soergimento da unidade 1, de relevo mais alto que a

unidade 2. Porém, é importante acentuar que a classificação do lineamento F-F' como falha depende de posteriores dados de estudo em campo.

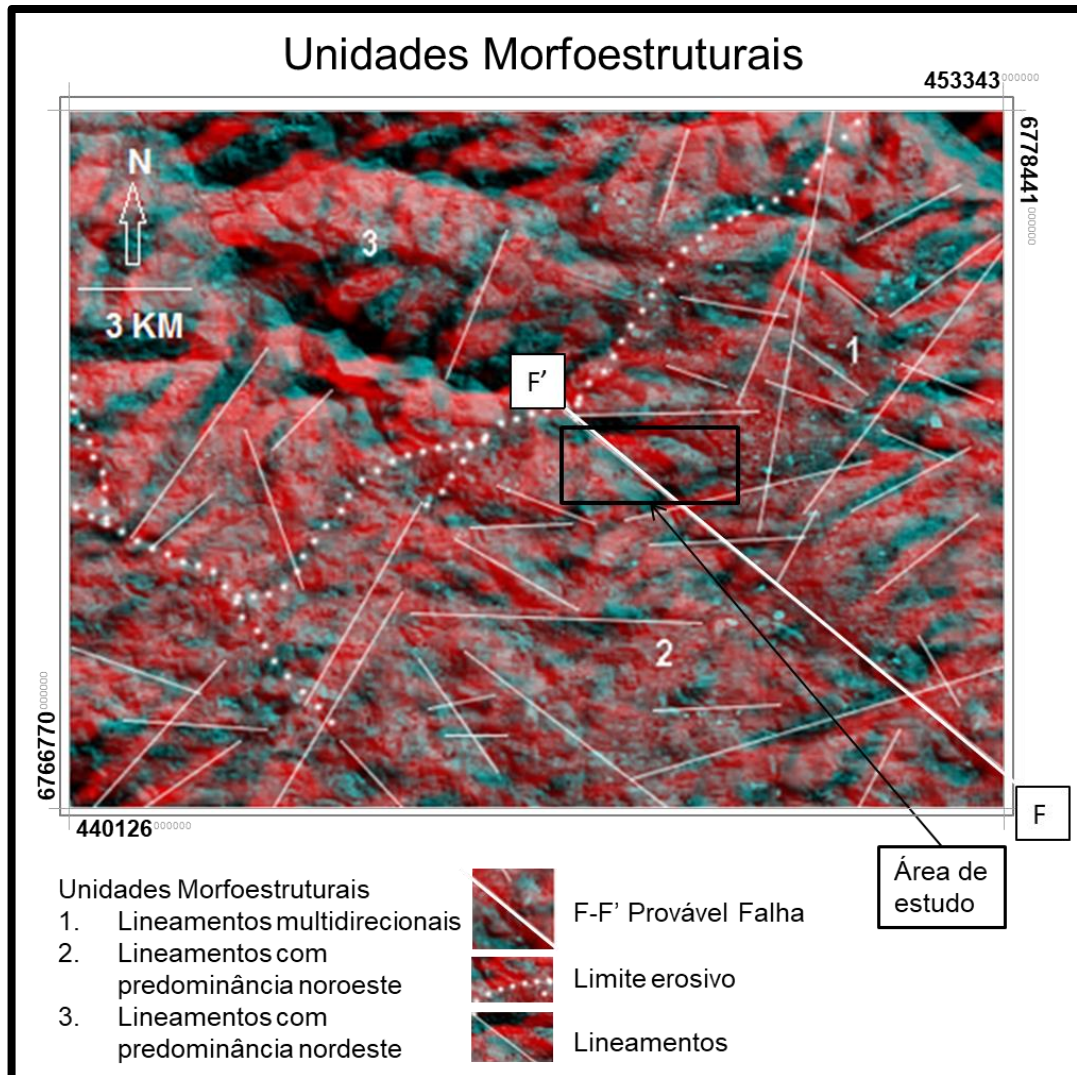


Figura 3.2 – Lineamentos regionais da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018)

3.2.2 Unidades Geomorfológicas Regionais

Neste capítulo definem-se as unidades geomorfológicas regionais da área de estudo e são descritas suas respectivas texturas de relevo, seus tipos de relevo, suas formas de vertente, seus padrões de drenagem, e produz-se mapa geomorfológico como uma das bases para a classificação geotécnica da área.

Para definição e cartografia das unidades geomorfológicas regionais utilizou-se como guia a sistemática de mapeamento (Figura 3.3) do IBGE (2009) que considera os táxons de Ross (1992) explicados anteriormente na Figura 2.2. Essas unidades geomorfológicas regionais descritas a seguir definem o 3º táxon da sistemática de mapeamento geomorfológico.

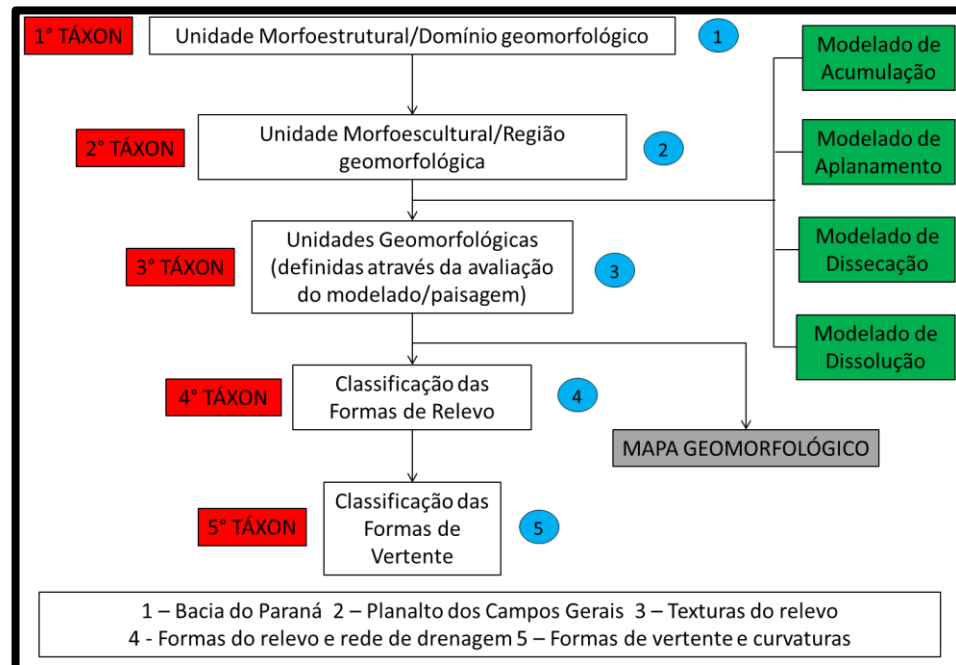


Figura 3.3 – Fluxograma da sistemática de mapeamento geomorfológico.
Fonte: Modificado de IBGE (2009)

A morfologia da região de estudo é resultado de modelados de dissecação por uma rede de drenagem com forte controle estrutural por fraturas. Um polígono de modelado abrange um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais (IBGE, 2009).

Após avaliação da paisagem regional foram definidas três unidades geomorfológicas que foram nomeadas da seguinte maneira: Gm 1 (Unidade Geomorfológica 1), Gm 2 (Unidade Geomorfológica 2), Gm 3 (Unidade Geomorfológica 3), com base nas texturas de relevo, formando assim o Mapa Geomorfológico da região da área de estudo (Figura 3.3). É importante lembrar que o polígono da área de estudo encontra-se entre o limite das unidades Gm 1 e Gm 2, como demonstrado na Figura 3.3.

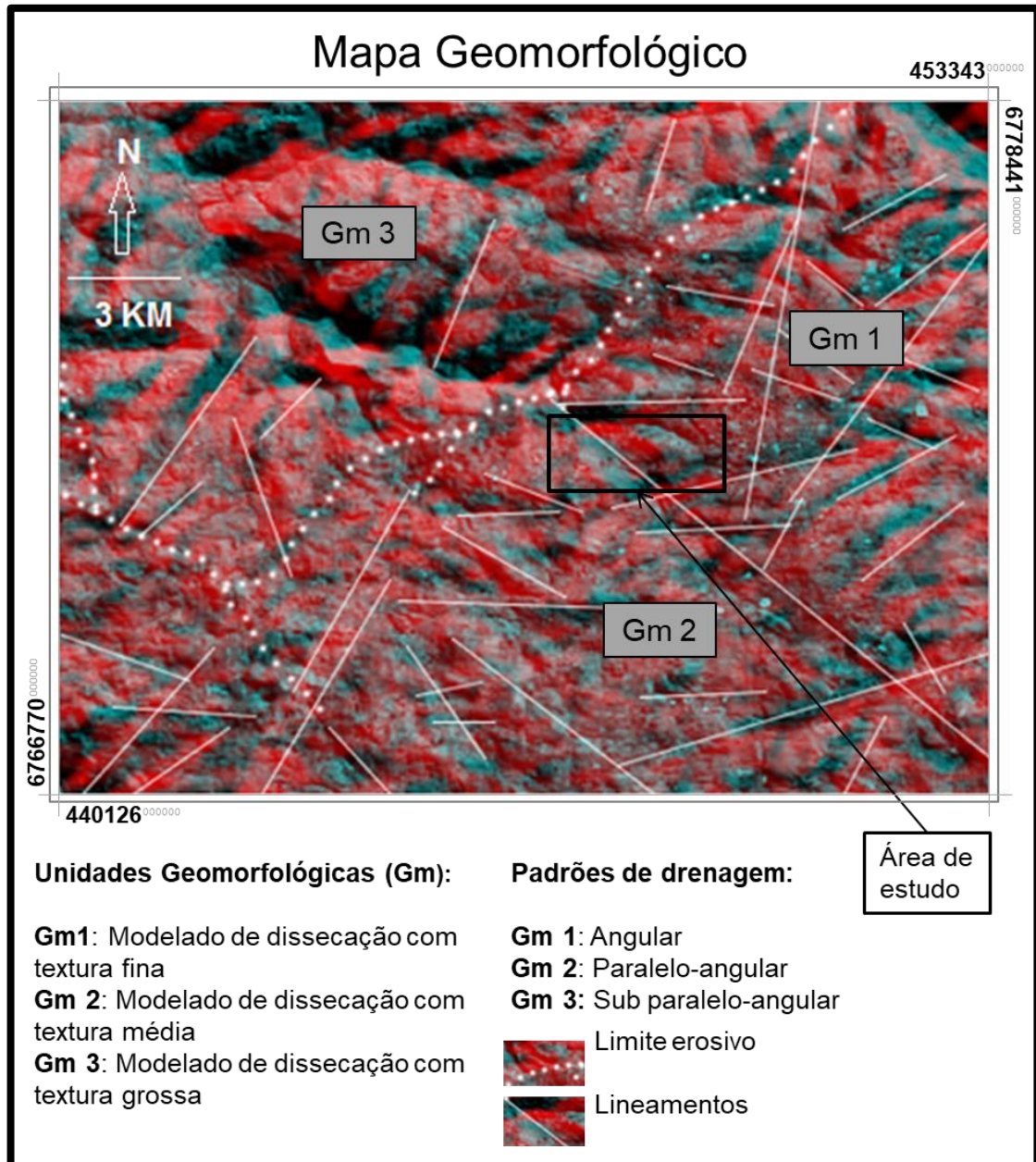


Figura 3.3 – Mapa geomorfológico da região da área de estudo, apresentando unidades geomorfológicas: Gm 1, Gm 2 e Gm 3, com seus respectivos modelados de dissecação e padrões de drenagem. Fonte: Elaborado pela autora (2018)

A análise das formas de relevo e de vertente feita na apresentação das unidades geomorfológicas a seguir definem o 4º e o 5º táxon. Para melhor estruturação dos dados apresenta-se os níveis taxonômicos definidos para região da área de estudo, com o resumo das descrições das unidades Gm 1, Gm 2 e Gm 3.

3.2.2.1 Unidade geomorfológica 1 (Gm1)

Apresenta modelado de dissecação de textura fina, padrão de drenagem angular com forte controle por fraturas multidirecionais, profundidade média dos talwegues dos vales. Observando o perfil topográfico NE-SW (Figura 3.4) da unidade Gm1 verifica-se a predominância de vertentes retilíneas com declividade média a forte, cenário que quando associado à cobertura de manto de alteração espesso cria condições de instabilidade das encostas em épocas de precipitações pluviométricas intensas. Subordinadamente ocorrem vertentes convexas e topo de morros tabulares a convexos.

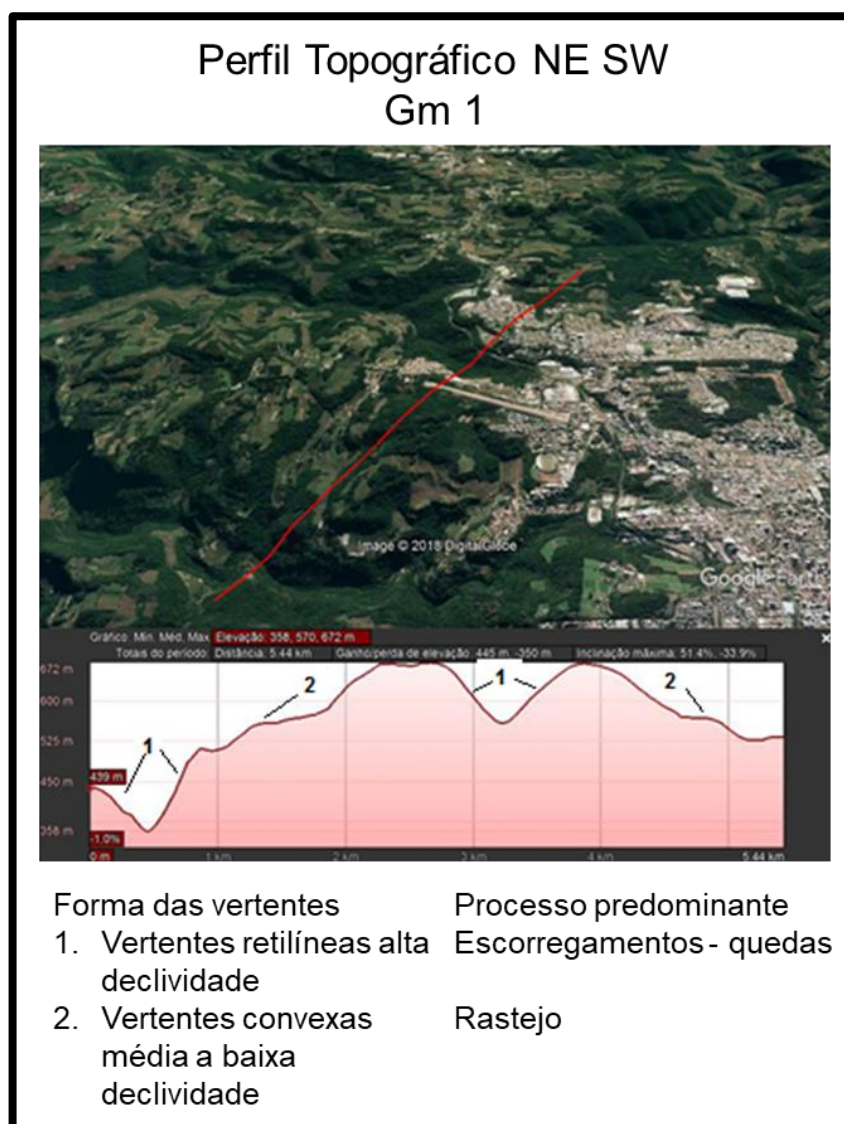


Figura 3.4 – Perfil topográfico NE-SW da unidade Gm1. Fonte: elaborado pela autora (2018)

3.2.2.2 Unidade geomorfológica 2 (Gm2)

Apresenta modelado de dissecação de textura média, padrão de drenagem paralelo-angular com controle médio por fraturas predominantemente noroeste, profundidade média dos talwegues dos vales. Observando o perfil topográfico NE-SW da unidade Gm 2 (Figura 3.5) verifica-se a predominância de vertentes côncavas e convexas com média declividade, que podem propiciar ocorrência de rastejos a depender da declividade. Ocorre topo de morros tabulares a convexas.

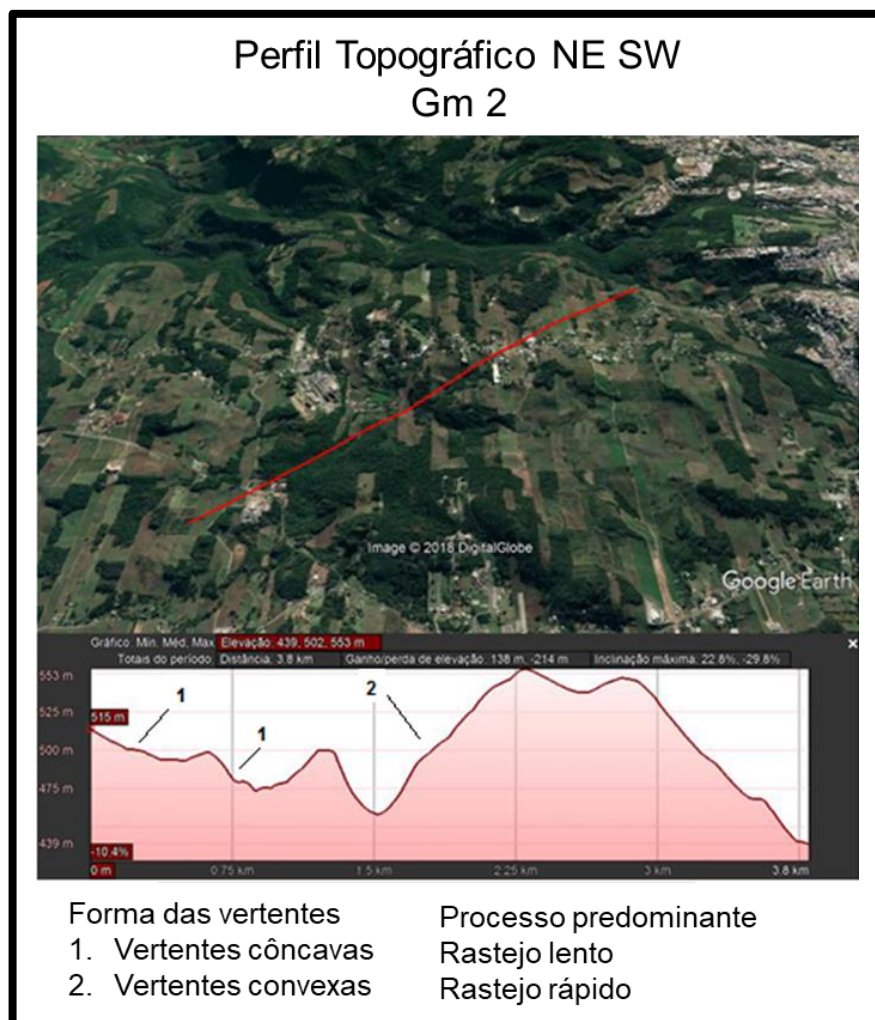


Figura 3.5 – Perfil topográfico NE-SW da unidade Gm2. Fonte: Elaborado pela autora (2018)

3.2.2.3 Unidade geomorfológica 3 (Gm3)

Apresenta modelado de dissecação de textura grossa, padrão de drenagem subparalelo-angular, controle estrutural por fraturas predominantemente nordeste, profundidade alta dos talwegues dos vales. Observando o perfil topográfico NE-SW da unidade Gm3 (Figura 3.6) verifica-se a

predominância de vertentes retilíneas com alta declividade, fato que cria condições de instabilidade das encostas e propicia ocorrência de escorregamentos e quedas de bloco. Ocorre topo de morros fortemente convexos. Essa unidade não está inserida na área de estudo, porém como análise regional ela é fundamental para o entendimento geomorfológico.

A Gm3 se delimita das unidades Gm1 e Gm2 por uma linha sinuosa de recuo da escarpa, que configura um limite erosivo.

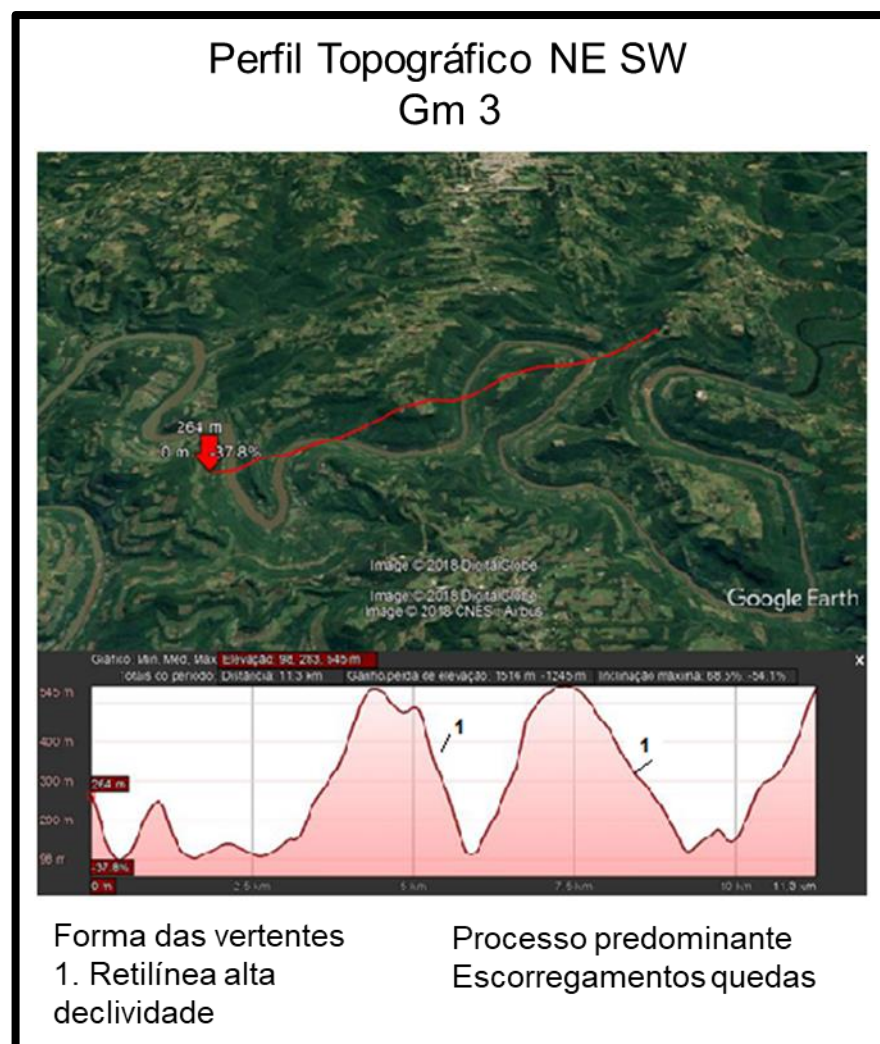


Figura 3.6 – Perfil topográfico NE-SW da unidade Gm3. Fonte: elaborado pela autora (2018)

A Figura 3.7 apresenta os níveis taxonômicos definidos para região da área de estudo, com o resumo das descrições das unidades Gm1, Gm2 e Gm3.

| TÁXON | UNIDADES | | | O que representam? | |
|----------------------------|--|--|--|---|--|
| 1° | Bacia do Paraná | | | Unidade Morfoestrutural que engloba a área de estudo | |
| 2° | Planalto dos Campos Gerais | | | Unidade Morfoescultural que engloba a área de estudo | |
| 3° | Gm 1* | Gm 2* | Gm 3 | Unidades Geomorfológicas Regionais definidas neste trabalho | DESCRIÇÃO DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS |
| | Modelado de dissecação de textura fina, padrão de drenagem angular com forte controle por fraturas multidirecionais, profundidade média dos talwegues dos vales. | Modelado de dissecação de textura média, padrão de drenagem paralelo-angular com controle médio por fraturas predominantemente noroeste, profundidade média dos talwegues dos vales. | Modelado de dissecação de textura grossa, padrão de drenagem sub paralelo-angular, controle estrutural por fraturas predominantemente nordeste, profundidade alta dos talwegues dos vales. | Modelado de relevo de cada unidade geomorfológica sob análise do 3° táxon | |
| 4° | Topo de morros tabulares a convexos | Topo de morros tabulares a convexos | Topo de morros fortemente convexos | Forma de relevo de cada unidade sob análise do 4° táxon | |
| 5° | Retilíneas com declividade média a forte | Côncavas e convexas com média declividade | Retilíneas com alta declividade | Forma de vertente de cada unidade sob análise do 5° táxon | |
| * contém a área de estudo. | | | | | |

Figura 3.7 – Quadro com níveis taxonômicos definidos para região da área de estudo, com o resumo das descrições das unidades Gm1, Gm2 e Gm3.

3.3 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentados os produtos cartográficos gerados para a área de estudo: Altimetria, Declividade e Lineamentos.

O MDE utilizado encontra-se disponível no site do Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS, o mesmo MDE foi utilizado pelo trabalho intitulado Os Solos do Vale dos Vinhedos (FLORES et al., 2012). A base cartográfica foi produzida por empresa especializada por meio de um levantamento aerofotogramétrico na escala 1:10.000 (ampliadas para a escala 1:5.000 como material de trabalho de campo), com restituição digital da planimetria e da altimetria (curvas de nível com equidistância de 5 m) e elaboração de um mosaico digital das fotografias ortorretificadas (SARMENTO et al., 2014).

Em seguida, a partir do plano de informação com as curvas de nível, foi gerado um MNT – Modelo Numérico do Terreno – pela interpolação linear baseada em um TIN – rede triangular irregular. Para facilitar o uso do MNT, os valores de elevação derivados do TIN foram interpolados e convertidos no formato *raster* (matricial), utilizando uma resolução espacial de 5 m (célula de 5 x 5 m) (SARMENTO et al., 2014).

3.3.1 Lineamentos da área de estudo

O traçado dos lineamentos na área de estudo (Figura 3.8) confirmou a tendência verificada pela análise regional, ou seja, unidade Gm1 de padrão multidirecional com densidade de lineamentos relativamente alta e unidade Gm2 com predominância da direção NW e densidade relativamente baixa. A direção geral NW do Arroio Leopoldina materializa um lineamento de médio porte que atravessa a área de estudo e se estende para fora da área a NW e SE. Esta feição foi aventada como uma provável falha (lineamento F-F') que separa as unidades Gm1 e Gm2.

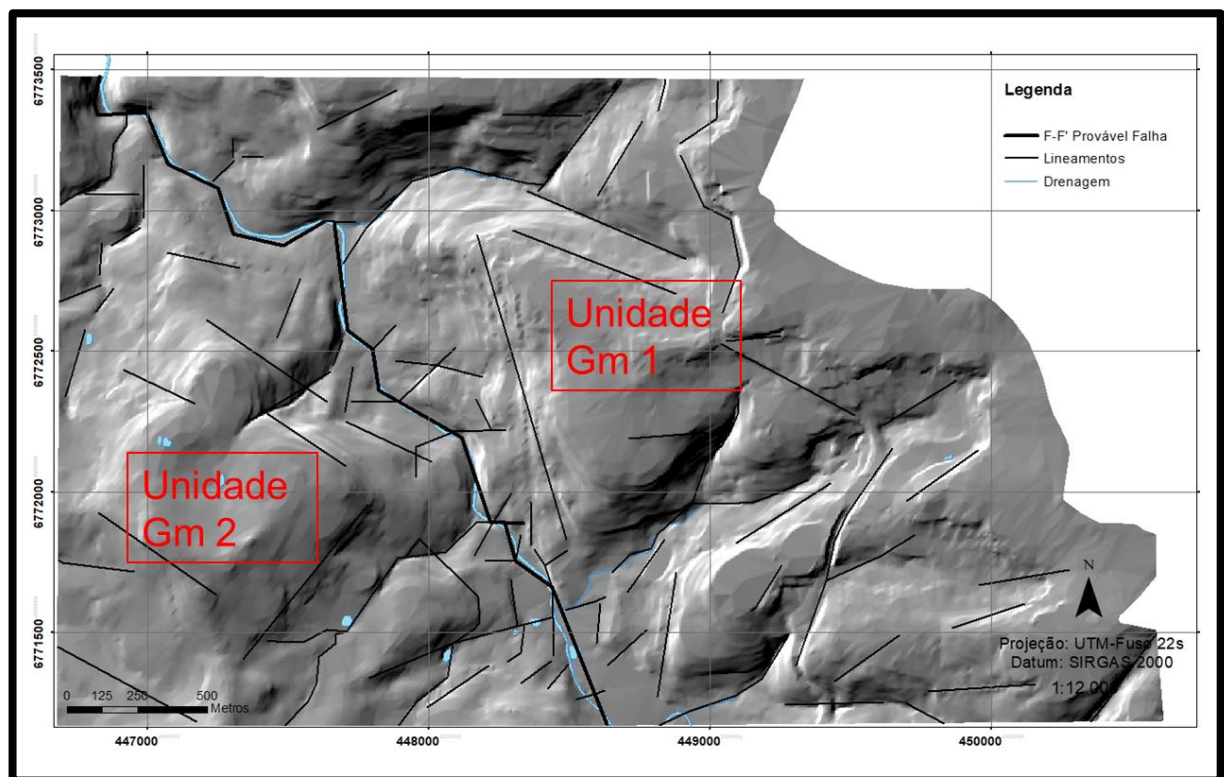


Figura 3.8 – Traçado dos lineamentos na área de estudo e unidades geomorfológicas Gm1 e Gm2. Fonte: elaborado pela autora (2018)

3.3.2 Altimetria da área de estudo

A área de estudo possui altitudes variando de 382 a 687 metros, verificando-se uma amplitude altimétrica de 305 metros. A área foi dividida em 6 classes hipsométricas (Figura 3.9). O método de classificação utilizado foi o *Natural Breaks (Jenhs)* que é um método de agrupamento de dados projetado para determinar a melhor disposição de valores em diferentes classes. Isso é feito procurando minimizar o desvio médio de cada classe da média da classe, ao mesmo tempo em que maximiza o desvio de cada classe dos meios dos outros grupos. Em outras palavras, o método busca reduzir a variação dentro das classes e maximizar a variância entre elas.

As maiores cotas altimétricas (Tabela 3.1) estão representadas pela classe de 641 – 687 metros que se localizam na porção leste da área de estudo e representam 16,59% da área. A maior classe em área (28,17%) de 598 – 641 metros, configura os interflúvios do vale formado no lineamento F-F'. Nas cotas mais baixas entre 382 a 493 metros, aproximadamente, corre o Arroio Leopoldina. As altitudes compreendidas entre 471 e 598 metros (compreendendo 3 classes de altimetria) representam as vertentes do vale e, somam o total de 51% da área de estudo.

Tabela 3.1 - Classes de altitude da área de estudo

| Classes de altitude (m) | Área (km ²) | Área (%) |
|-------------------------|-------------------------|----------|
| 382 - 471 | 0,72 | 9,97 |
| 471 - 516 | 1,25 | 17,28 |
| 516 - 557 | 1,10 | 15,24 |
| 557 - 598 | 1,37 | 18,98 |
| 598 - 641 | 2,04 | 28,17 |
| 641 - 687 | 1,20 | 16,59 |

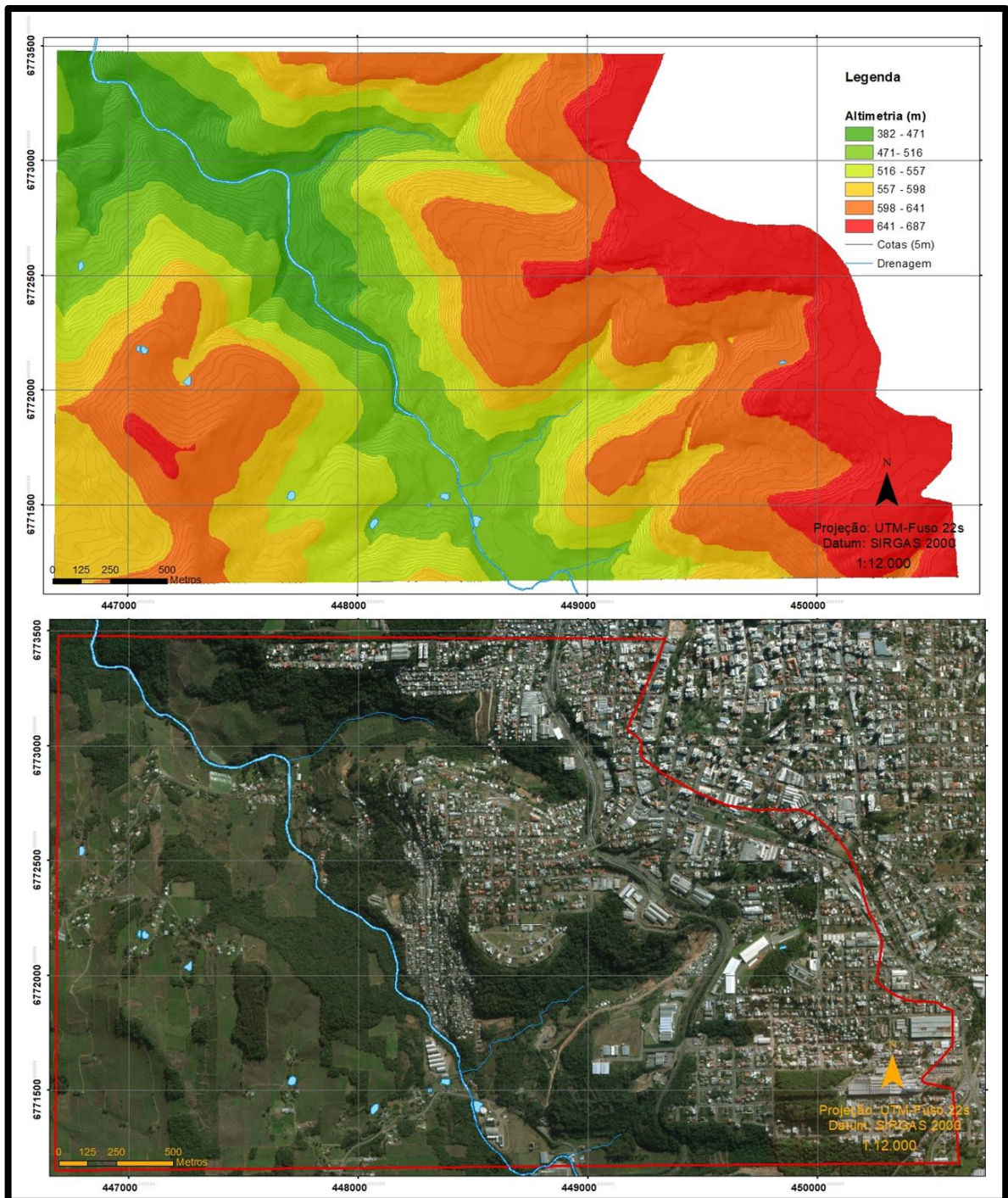


Figura 3.9 – Mapa altimétrico da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018)

3.3.3 Declividade da área de estudo

A declividade é considerada fator fundamental condicionante dos movimentos de massa, pois ela é diretamente proporcional à velocidade do movimento e, portanto, à capacidade de transporte de solo e rocha (DIAS e HERRMANN, 2002). Porém ela não pode ser considerada exclusiva, pois

áreas com menores declividades, algumas vezes, apresentam cicatrizes de movimentos de massa no campo.

Como o presente trabalho tem por objetivo avaliar o relevo frente a movimentos de massa, a declividade é fator fundamental, pois junto com as formas do relevo e vertente configuram a objeto de estudo deste trabalho.

A declividade pode ser definida como a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte. Entre dois pontos no terreno a declividade pode ser medida pela inclinação da reta que os une (GUERRA, 1980). Em imagens, a declividade é estimada pela análise dos desníveis entre *pixels* vizinhos (VALERIANO, 2008).

As classes de declividade da área em estudo seguem o modelo proposto pelo IBGE (2009) no Manual Técnico de Geomorfologia, sendo divididas em: Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte (Figura 3.10).

Na análise das declividades (Tabela 3.2) verificou-se que maior porcentagem da área de estudo está representada por declividade Forte (39,84 %) e Moderada (32,01 %). As vertentes que formam o vale estão representadas, principalmente, pelas classes Forte e Muito Forte (12,8 %). As declividades Muito Fraca (1,59 %), Fraca (13,75%) e Moderada ocorrem, principalmente, nos interflúvios do vale e no talvegue do Arroio Leopoldina.

Tabela 3.2 - Classes de declividade da área de estudo

| Classes de declividade (%) | Classes de declividade | Área (km ²) | Área (%) |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|----------|
| 0-3 | Muito fraca | 0,12 | 1,59 |
| 3-8 | Fraca | 1,00 | 13,75 |
| 8-20 | Moderada | 2,32 | 32,01 |
| 20-45 | Forte | 2,89 | 39,84 |
| >45 | Muito forte | 0,93 | 12,80 |

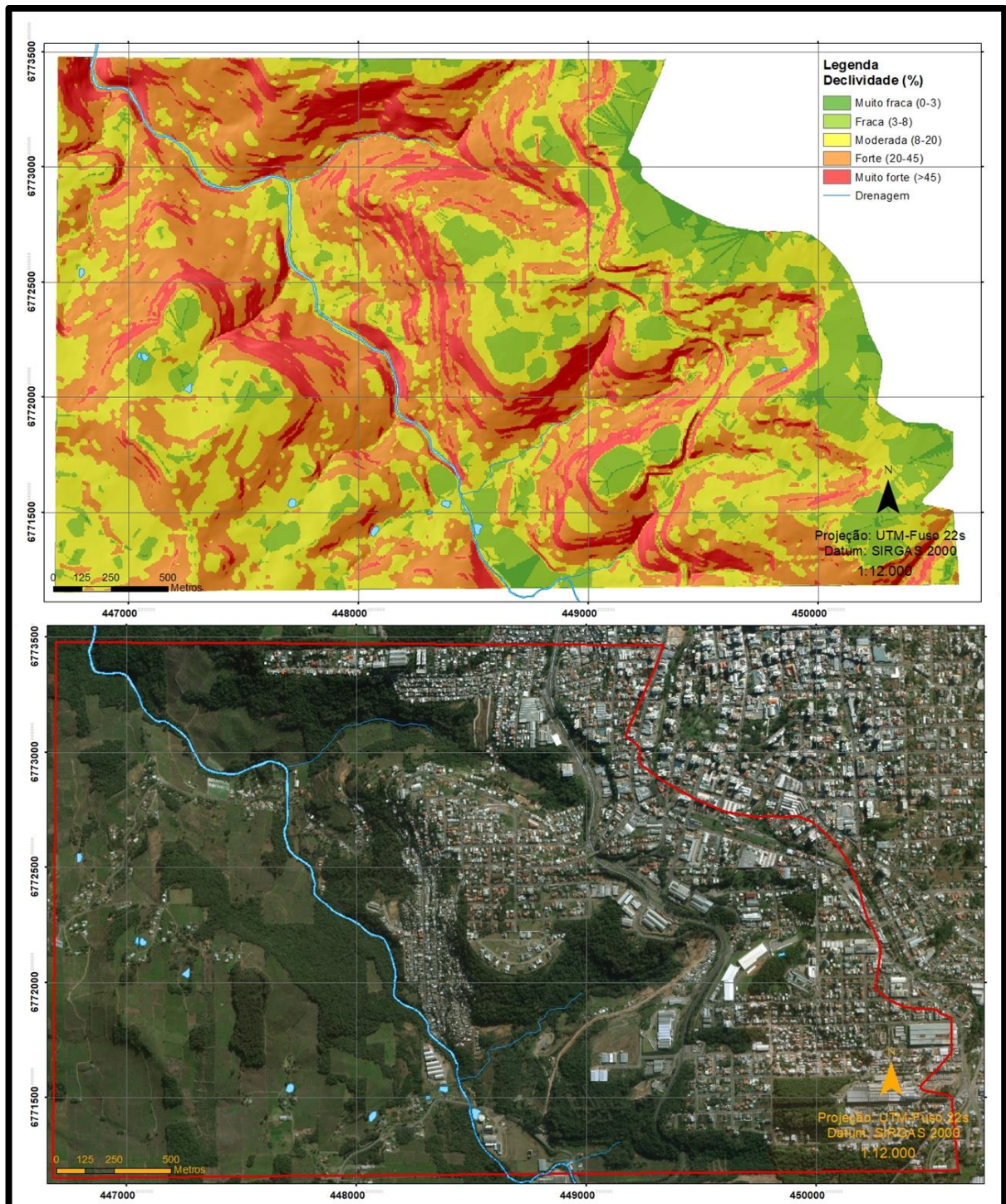


Figura 3.10 – Mapa de declividade da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018)

3.4 PONTOS INSPECIONADOS

Na etapa de campo vários aspectos foram identificados e descritos, tais como: variação de altitude e declividade, rochas e solos que compõem o relevo, ocorrência pretérita de movimento de massa, etc.

A inspeção ao campo foi dividida em duas partes; o planejamento dos pontos a serem levantados, descritos e fotografados foi feito com base na análise de imagens de satélite do Google Earth, no MDE e no mapa de declividade. Após, foram estudados 27 pontos dentro da área de estudo (Figura 3.11) e mais 3 pontos fora da área, que apresentaram afloramentos de rocha e perfil de solo bem expostos.

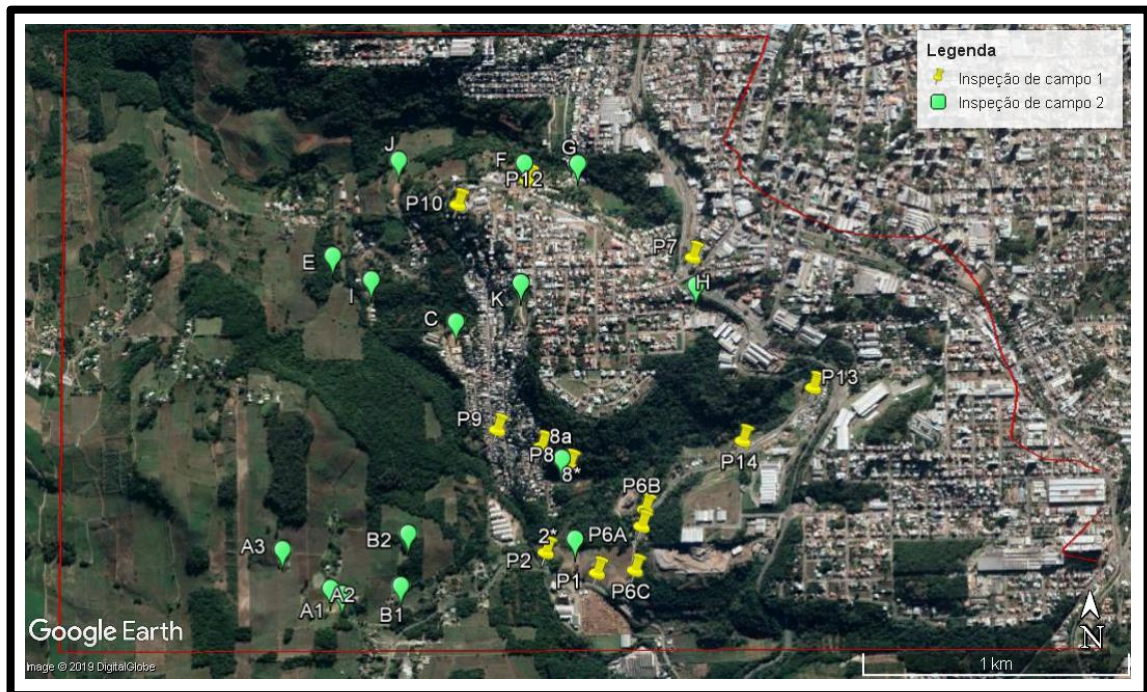


Figura 3.11 – Pontos de observação e coleta em campo. Fonte: Google Earth

Foram recolhidas 16 amostras de rocha para petrografia e 8 amostras de solo para caracterização geotécnica dos materiais.

Foram visitados os bairros Cidade Alta, Jardim Glória, Municipal, Merlot, Vinosul, Pomarosa, Botafogo e Santa Rita, com acompanhamento do Secretário da Defesa Civil do Município de Bento Gonçalves. O bairro Municipal é um dos bairros que apresenta, em sua maioria, declividades fortes a muito fortes (Figura 3.12), na área de estudo.



Figura 3.12 – O bairro Municipal apresenta declividades fortes a muito fortes e a quantidade de construções é bastante alta, registro de campo

O ponto 10 (P10) representa um escorregamento (Figura 3.13) de terra que interditou duas casas. A imagem abaixo apresenta o registro da área interditada pela Defesa Civil do Município.



Figura 3.13 – Porção superior do escorregamento e porção inferior do escorregamento, registro de campo.

É importante ressaltar que, além deste escorregamento, durante a inspeção de campo não foram observadas evidências de movimentos de massa, desconsiderando-se algumas rupturas de aterros e muros de pequenos volumes nos lotes urbanos.

3.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios de laboratório consistiram em ensaios geotécnicos realizados sobre amostras selecionadas para classificação dos solos: análise granulométrica (Apêndice B) e índices de consistência (limite de liquidez – LL – e limite de plasticidade – LP). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Escola de Engenharia/UFRGS

A análise granulométrica foi realizada para o reconhecimento do tamanho dos grãos do solo.

Os limites baseiam-se na constatação que um solo argiloso ocorre com aspectos bem distintos conforme o seu teor de umidade. Quando muito úmido, ele se comporta como um líquido viscoso; quando perde parte da água, fica plástico; e quando mais seco, torna-se quebradiço (PINTO, 2006).

O LL é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar numa concha. Então diversas tentativas são realizadas com o solo em diferentes umidades: anota-se o número de golpes para fechar a ranhura e se obtém o limite pela interpolação dos resultados.

O LP é definido com o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão sobre uma placa de vidro.

O índice de plasticidade (IP) é a diferença numérica entre o LL e o LP e pode ser entendido como a quantidade máxima de água que pode ser adicionada à amostra, a partir do limite de plasticidades, de modo que o solo mantenha a sua consistência plástica.

Plasticidade e granulometria são os aspectos principais para a caracterização dos materiais e agrupamento dos mesmos em unidades de comportamento geotécnico semelhantes. Eles guiam a análise de resistência ao cisalhamento, o que está associado diretamente com estudos de suscetibilidade e/ou risco.

Além dos ensaios geotécnicos foram confeccionadas 16 lâminas petrográficas de amostras de rocha, pelo Laboratório de Preparação de Amostras – Geociências da UFRGS.

4 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS LITOFÁCIES

4.1 LITOFÁCIES DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentadas as litologias encontradas na área de estudo, suas características de campo, suas descrições macroscópicas e petrográficas. Também é apresentada uma tabela que estabelece relação entre as litologias da área de estudo e as litofácies que definem depósitos vulcânicos ácidos.

As rochas encontradas na área de estudo foram subdivididas em três litofácies através de critérios geológico-geotécnicos, são elas: Dacito com vesículas/amígdalas (DVA), Dacito equigranular com textura média sal pimenta (DM), Dacito com textura fina (DF).

As amostras coletadas não foram submetidas à técnica de Fluorescência de Raios X (FRX), porém as quantidades de SiO₂ *versus* Alcalis observadas na análise microscópica das lâminas sugere a classificação Dacito no diagrama TAS (Total – Alkali *vs.* Sílica).

4.1.1 Dacito com vesículas e amígdalas (DVA)

Rochas marrom-avermelhadas (Figura 4.1A) de brilho graxo e sedoso. Quando muito alteradas perdem o brilho e se tornam litoidais com aspecto de mancha cinza-escuro. A matriz da rocha é equigranular e a granulometria varia de fina a média, pode apresentar pórfiros de até 5 mm. É uma rocha vesicular/amígdaloidal (Figura 4.1B) com a percentagem de amígdalas variando nos afloramentos, geralmente, ocorre de forma esparsa. As amígdalas são geralmente ovais com 1 a 5 cm de comprimento e preenchidas por quartzo translúcido, zeólita e calcita. Localmente apresenta geodos ovais a alongados preenchidos por quartzo hialino a translúcido sob a forma de drusas. Quando alterada a rocha mostra minerais amarelados, pretos e esverdeados.

As feições de fluxo são marcadas por porções mais ricas em vidro (Figura 4.2A) alteração diferencial das bandas e fluxo, orientação preferencial de amígdalas (Figura 4.2B) ou/e por amígdalas achatadas. O modelado da alteração ocorre a partir das vesículas e planos de fraqueza.

Essa litofácies pode apresentar contato lateral com saprólito de outro litotipo atingido por intemperismo em grau muito maior do que o DVA. Este aflora como um pequeno *inselbergue* (morro ilha) saliente no relevo, imerso no saprólito da outra litologia, cujo alto grau de alteração não permite sua caracterização petrográfica (Figura 4.2 C e D). O DVA quando são é uma rocha

muito difícil de quebrar, o faz em lascas côncavas (fratura conchoidal). Alterada a rocha é vermelha e amarela com minerais alterados de cores branca/bege e amarelo claro.

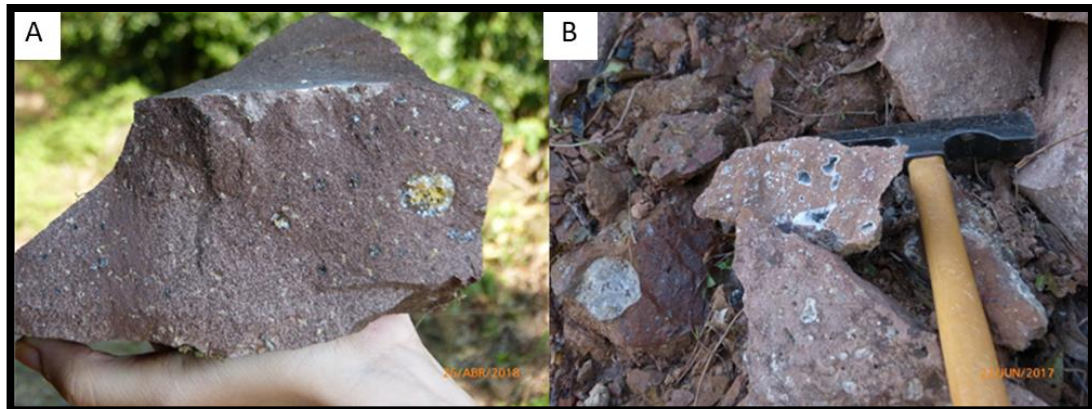


Figura 4.1 – Rocha DVA - dacito com vesículas/amígdalas. A) Rocha marrom-avermelhadas e B) amígdalas e vesículas, registro de campo

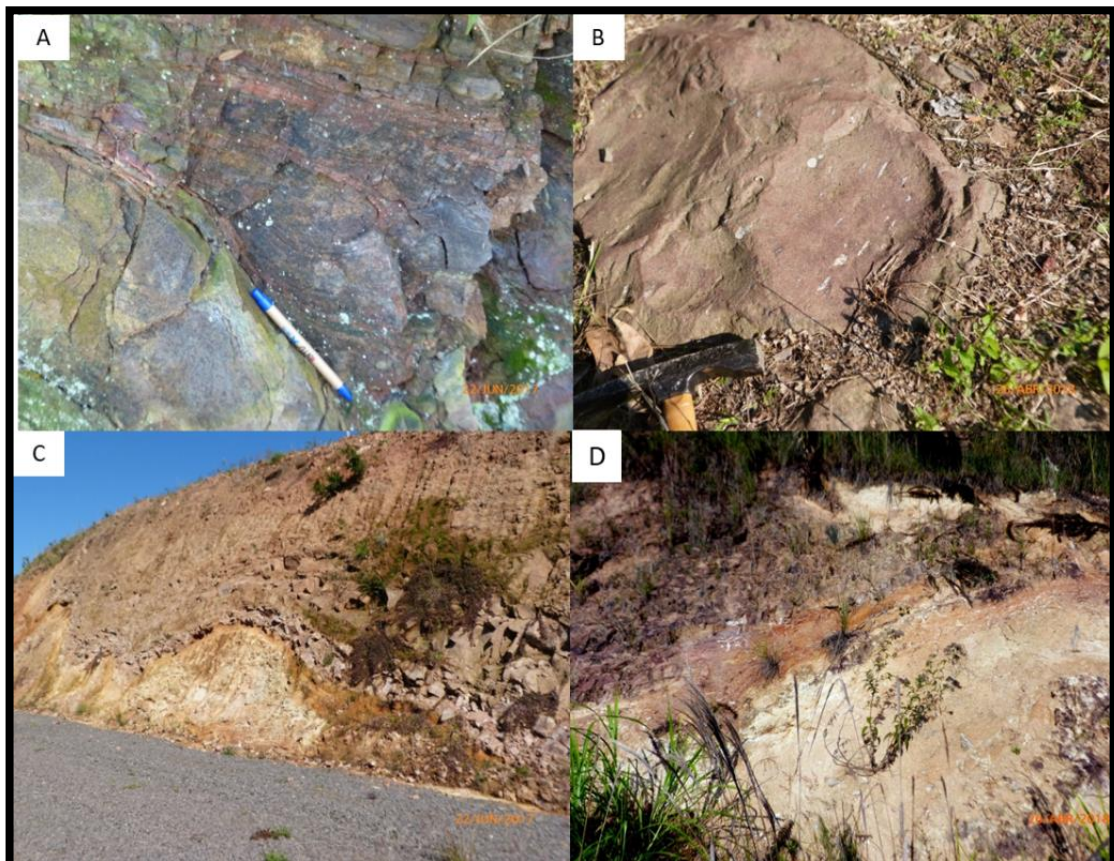


Figura 4.2 – Rocha DVA - dacito com vesículas/amígdalas. A) feição de fluxo B) orientação de pórfiros/achatamento de vesículas; C e D) contatos com brecha e material vesiculado/amígdalar, registro de campo

Ainda, com estrutura amígdalar e brilho graxo a sedoso, ocorre um vitrófiro preto a azulado (Figura 4.3 A). A matriz da rocha é equigranular e a granulometria é fina tendo microamígdalas de até 5 mm, com auréolas de oxidação. Rocha encontrada fragmentada em blocos irregulares (Figura 4.3 B) decimétricos a métricos no perfil de solo residual.



Figura 4.3 – A) Vitrófiro com microamígdalas e B) blocos de vitrófiro, registro de campo

4.1.2 Dacito equigranular textura média sal e pimenta (DM)

São rochas maciças de cor cinza-claro esverdeado. A matriz da rocha é equigranular e a textura varia de média a grossa do tipo sal pimenta (quantidades semelhantes entre minerais claros e vidro). Quando ocorrem feições de fluxo são marcadas por bandamento tabular (Figura 4.4 A) de espaçamento variável, podendo ser de 5 cm até 1 m típicas de ignimbritos. Quando ocorrem disjunções elas são horizontais a sub-horizontais dispostas em lajes (Figura 4.4B e C). Quando são uma rocha muito difícil de quebrar, quebra em lascas finas e pequenas.



Figura 4.4 – Rochas DM - dacito de granulometria média com textura sal pimenta. A) bandamento tabular, B e C) disjunção horizontal, registro de campo

4.1.3 Dacito de textura fina (DF)

São rochas maciças cinza escuro (Figura 4.5A), quando muito alteradas se tornam amareladas. A matriz da rocha é equigranular de textura fina, com pórfiros de mineral esbranquiçado a translúcido medindo até 1 cm e, localmente com amígdalas de zeólita e calcita. As disjunções ocorrem em lajes e são sub-verticais a verticais (Figura 4.5B), apresentando-se, por vezes, numa transição dúctil típicas de domo de lava (Figura 4.5C) marcando a expansão de estruturas verticais para sub-horizontais e horizontais nas lavas, devido a transição de um sistema de alimentação magmático de subsuperfície para superfície.

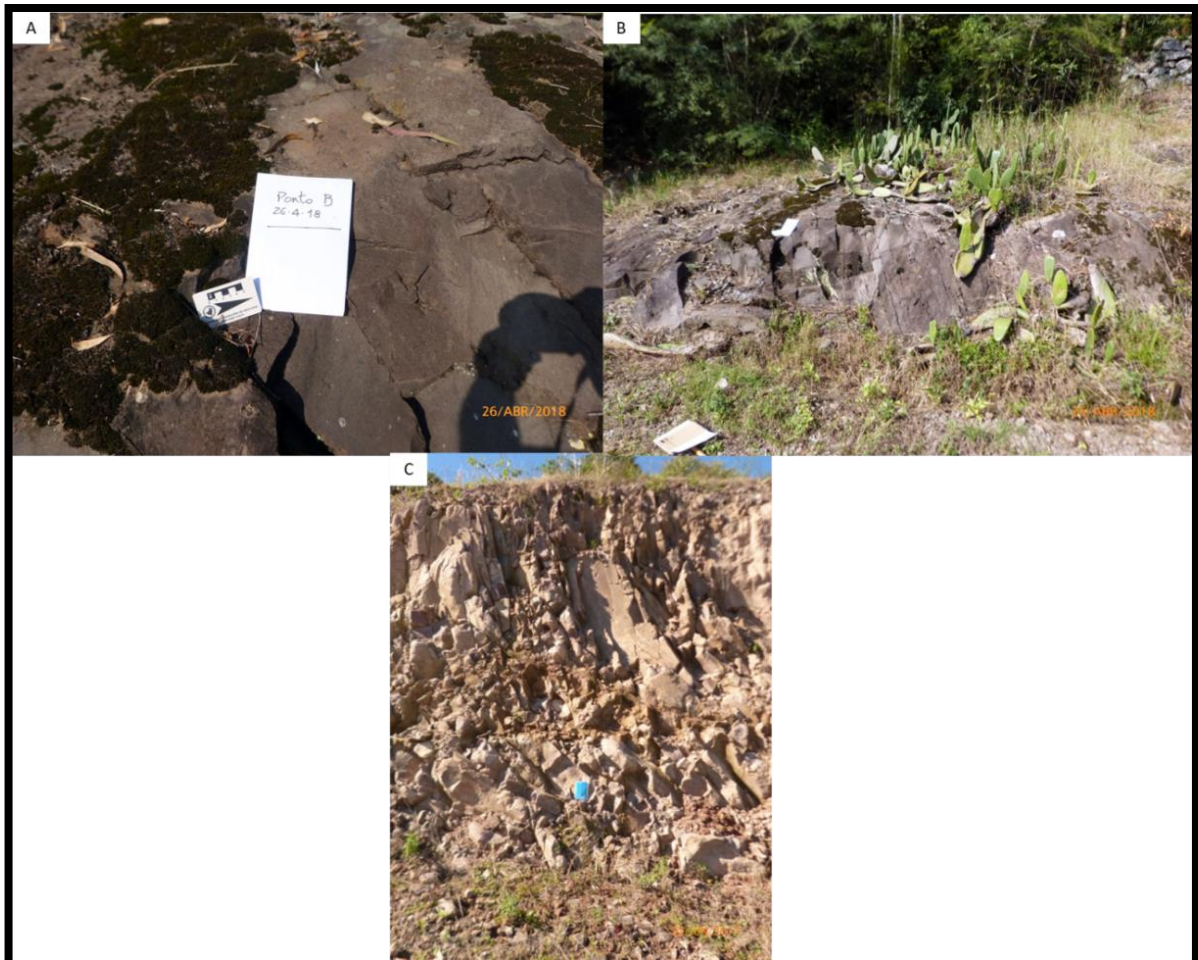


Figura 4.5 – Rochas DM - dacito de granulometria média com textura sal pimenta. A) rocha de matriz fina e cinza escura; B) disjunção sub- vertical, C) transição dúctil de disjunção sub-vertical para vertical, registro de campo

4.2 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS LITOFÁCIES

4.2.1 Dacito com vesículas/amígdalas (DVA)

Lâminas A1, J, 2, B2, 06/2

Basicamente a diferença entre estas lâminas e as demais é a maior quantidade de vidro vulcânico na matriz, maior presença de vesículas e ocorrência de ágatas. Essa rocha pode ser classificada como um vitrófiro, pela quantidade de vidro presente na matriz.

Matriz: A textura da rocha, de modo geral, é microporfírica, apresentando alguns agregados de pórfiros. A matriz é semi-vítrea, contendo micrólitos de plagioclásio, quartzo, piroxênio e opacos. A matriz dessa rocha é mais vitrificada que as demais podendo ser verde escuro a preta (Figura 4.6A e B) em algumas lâminas, porém o processo de desvitrificação como alteração para

plagioclásio e quartzo varia de intensidade também. Os micrólitos são de plagioclásio andorinha, mais raramente piroxênio. O vidro pode ter cor preta a marrom e vermelho intenso (Figura 4.6C), a depender da alteração.

Pórfiros: são de sanidina e piroxênio - mais comumente na setor longitudinal – (Figura 4.6D), se observou processo de caulinitização por substituição de feldspato.

Estrutura: Ocorrem várias vesículas preenchidas por quartzos, zeólitas, e algumas vezes, por calcita, também ocorrem ágatas bem desenvolvidas envoltas por seladonita (Figura 4.6E). Por vezes as calcedônias e vesículas apresentam na borda processo de argilização quando as amígdalas são totalmente preenchidas, quando são parcialmente preenchidas o processo de argilização pode ocorrer no centro da vesícula (Figura 4.6F).

4.2.2 Dacito equigranular textura média sal e pimenta (DM)

Lâminas 8A, 14, G, 10, K

Matriz: A textura da rocha, de modo geral, é microporfírica, apresentando alguns agregados de pórfiros. A matriz da rocha contém bastante sílica e é semi-vítrea, contendo micrólitos de plagioclásio, quartzo, piroxênio e opacos. A matriz encontra-se em um estado parcial de desvitrificação apresentando alteração para plagioclásio e quartzo (que forma porções esbranquiçadas de minerais com formas difusas), onde não ocorre desvitrificação ela é verde escuro e pode apresentar formas radiais. Os opacos disseminados na matriz são euédricos a sub-édricos e o plagioclásio forma cristais ripidiformes.

Pórfiros: Ocorrem agregados glomeroporfíricos com pórfiros euédricos a subédricos variando de 0,5 a 1mm (Figura 4.7A), formados por grãos alongados de sanidina apresentando macla Carlsbad, piroxênios em setor basal e longitudinal (Figura 4.7B), e opacos de magnetita. Como processo de alteração da matriz e dos pórfiros é comum argilização por substituição de esmectita (Figura 4.7C) nos pórfiros de piroxênio e argilização por minerais de argila de cor amarelo nos pórfiros de sanidina, também ocorre inclusão de opacos na sanidina e piroxênio.

Estruturas: Localmente ocorrem fraturas de espessura de menos de 0,5 mm preenchidas por quartzo e vesículas de quartzo de até 2 mm. As fraturas, geralmente, se encontram orientadas (Figura 4.7D).

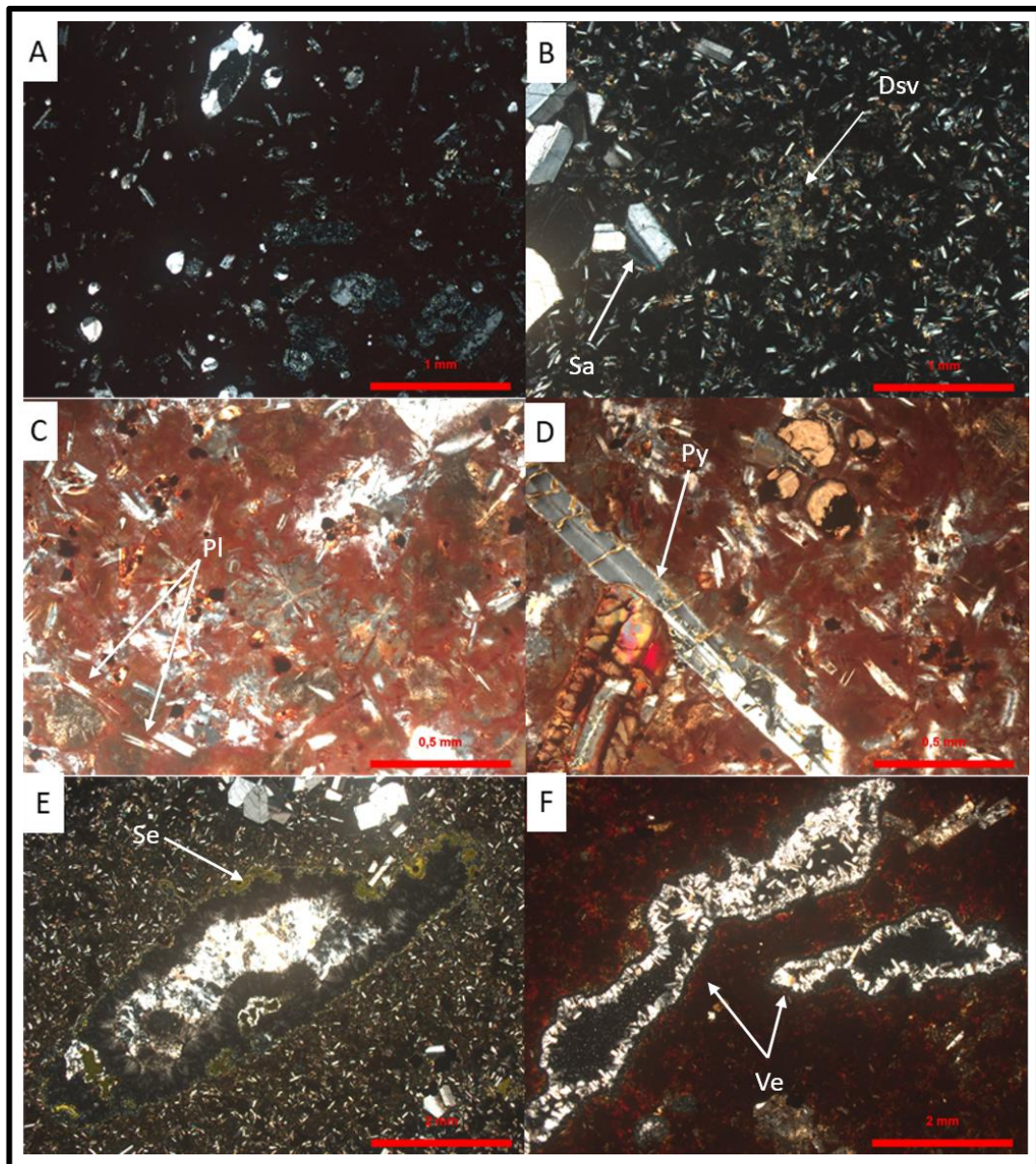


Figura 4.6 – Lâminas fotografadas sob luz polarizada. A) e B) matriz de vidro vulcânico com diferentes níveis de desvitrificação; C) desvitrificação radial em matriz avermelhada; D) pórfiros de sanidina e piroxênio; E) ágata envolta por seladonita, F) vesículas semipreenchidas com cristais de zeólita e com argilização no centro. Dsv = desvitrificação, Pl = plagioclásio, Py = piroxênio, Sa = sanidina, Se = seladonita e Ve = vesícula.

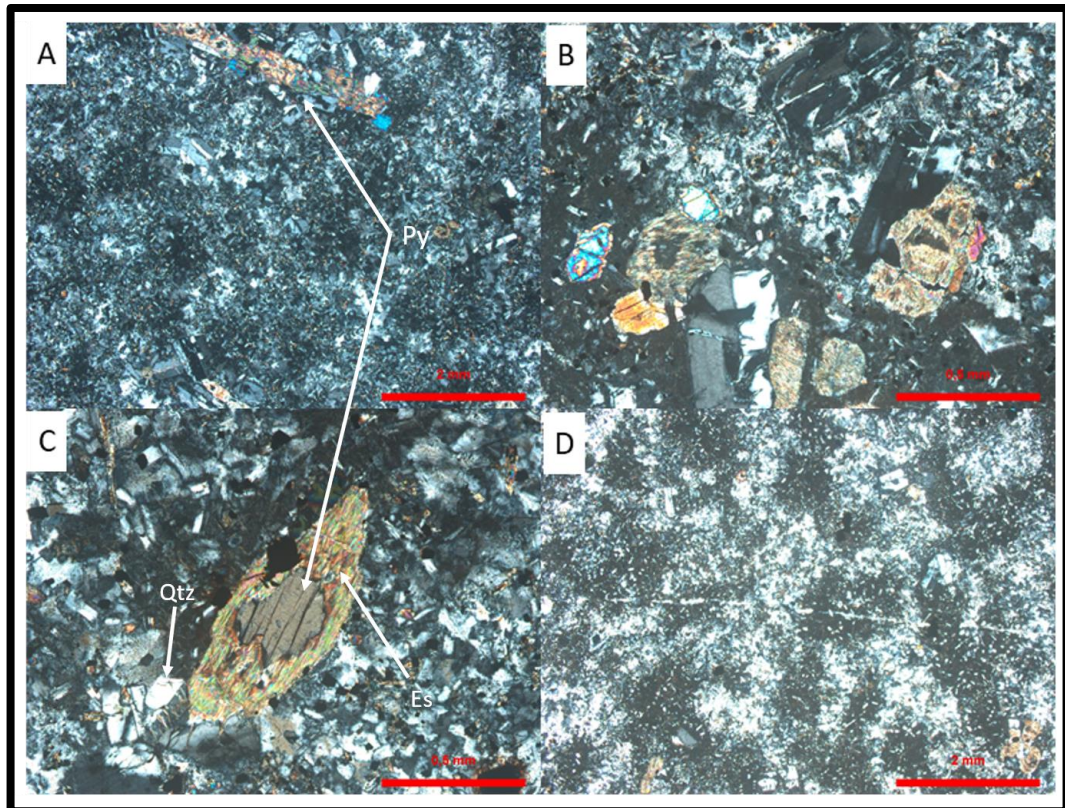


Figura 4.7 – Lâminas fotografadas sob luz polarizada. A) matriz semi-vítrea com alteração para quartzo e plagioclásio e cristal de piroxênio; B) glomeropórfiros; C) substituição de esmactita em piroxênio, D) veio de quartzo. Es = esmactita, Qtz = quartzo e Py = piroxênio,

4.2.3 Dacito de textura fina (DF)

Lâminas 01, 06, 02, 02* E e B

Basicamente a diferença entre estas lâminas e as anteriores é a maior quantidade de vidro vulcânico na matriz, menos pórfiros e plagioclásio de textura esqueletal (andorinha) na matriz.

Matriz: A textura da rocha, de modo geral, é microporfirítica, apresentando mais raramente agregados de pórfiros. A matriz da rocha é basicamente vítrea (Figura 4.8A), podendo ser semi-vítrea, contendo micrólitos de plagioclásio, opacos, alguns quartzos e piroxênio. A matriz encontra-se em um estado parcial de desvitrificação apresentando alteração para plagioclásio e quartzo, onde não ocorre desvitrificação ela é marrom, podendo ser vermelho a verde escuro na LP. A desvitrificação forma texturas radiais e esferulíticas (Figura 4.8B). É frequente a ocorrência de opacos. O plagioclásio forma cristais ripidiformes que, no geral, são grãos esqueletais com a textura andorinha (Figura 4.8B e C).

Os pórfiros são de sanidina, piroxênio e opacos, que ocorrem de forma disseminada na matriz, localmente formam glomeropórfiros e apresentam argilização de feldspatos para um mineral amarelo (Figura 4.8D). Localmente ocorrem fraturas preenchidas por quartzo e vesículas de quartzo.

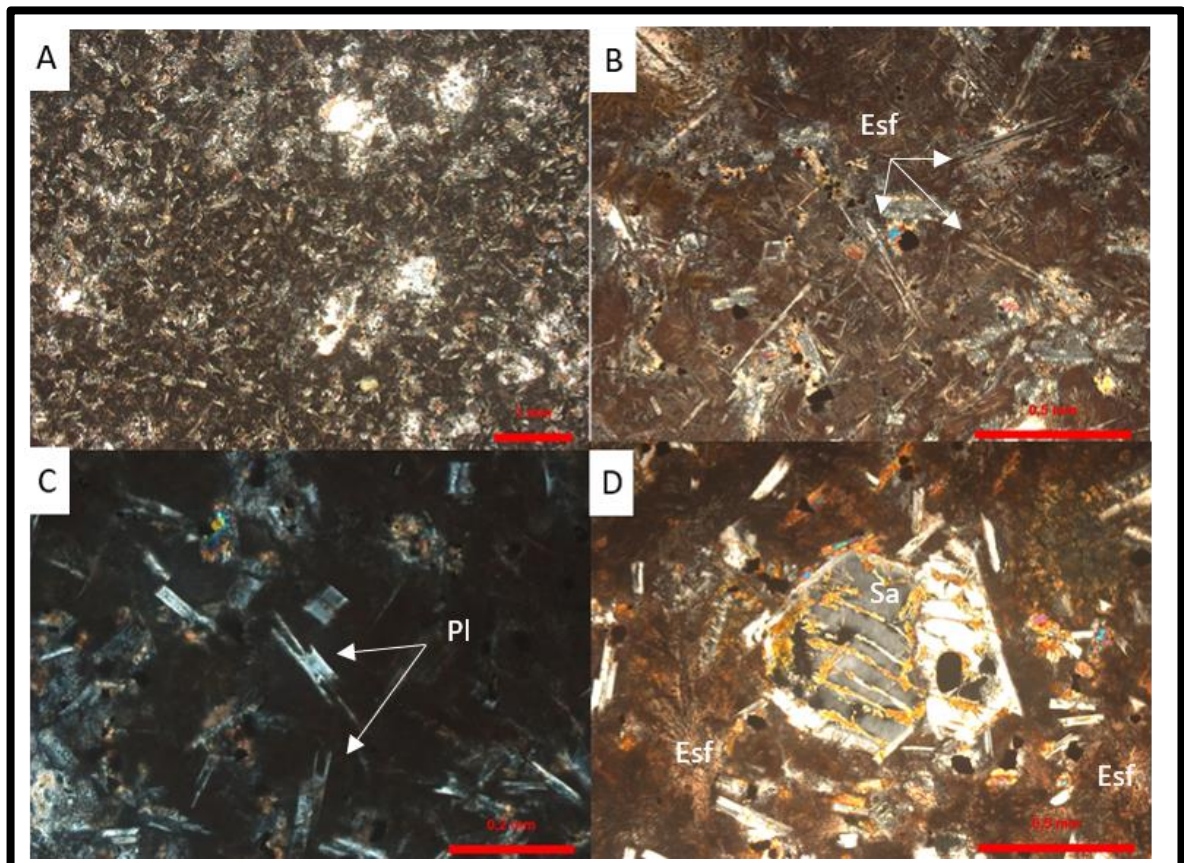


Figura 4.8 – Lâminas fotografadas sob luz polarizada. A) matriz vítrea com desvitrificação; B) cristais esqueletais de plagioclásio e esferulitos; C) plagioclásio com textura andorinha na matriz de vidro, D) argilização de feldspato potássico. Esf = esferulito, Pl = plagioclásio e Sa = sanidina.

4.3 LITOLOGIAS DA ÁREA DE ESTUDO ASSOCIADA AOS DEPÓSITOS VULCÂNICOS

A análise das estruturas das rochas em afloramentos, sua ordenação sequencial, seus aspectos texturais macroscópicos e comparações com descrições na bibliografia consultada permitiram a relação (Tabela 4.1) entre as litologias da área de estudo e as litofácies presentes nos depósitos ignimbríticos e de domos de lava.

Tabela 4.1 – Relação entre as litologias da área de estudo e as litofácies dos depósitos (ignimbrito e domo de lava)

| Litologia da área de estudo | Litofácies dos Depósitos | Tipos de Depósitos |
|-----------------------------|--|--------------------|
| DVA | vitrófiro (obsidiana e <i>pitchstone</i>) | Ignimbrito |
| ? | brecha | |
| DM | dacito tabular | |
| DM | dacito colunar maciço | |
| DVA | zona com vesículas/amígdalas | |
| ? | brecha | |
| DVA | zona com vesículas/amígdalas | Domo de lava |
| DVA | vitrófiro (obsidiana e <i>pitchstone</i>) | |
| DF | obsidiana com esferulitos | |
| DF | dacito maciço | |

Dessa maneira pode-se dizer sobre as litologias da área de estudo:

- DVA – as rochas avermelhadas com vesículas/amígdalas estão relacionadas ao aprisionamento de gás no topo e base das unidades, tanto de ignimbritos (ver Figura 2.6) como de domos (ver Figura 2.7) – apresentando maior espessura na base dos domos –, ainda podem representar a zona de frente do avanço de lava em domos. Os vitrófiros podem ocorrer como lentes desconectadas na base e topo dos ignimbritos e como uma camada “selante” que envelopa a zona central dos domos.
- DM – estão relacionadas à zona central das unidades de ignimbritos (ver Figura 2.6). Quando diaclasadas horizontalmente estão relacionadas com a porção de base da zona central; quando apresentam bandamento de fluxo estão relacionadas com a porção de base ou topo, mais raramente, da zona central; e, quando maciças com diaclases verticais bem espaçadas, representam o núcleo da zona central da unidade.
- DF: representam a zona de núcleo dos domos de lavas (ver Figura 4.9), esse núcleo pode ser dividido, de fora para dentro, em vitrófiro, obsidiana e rocha maciça, respectivamente. Essa rocha quando apresenta disjunção vertical está relacionada com o topo do núcleo do domo. Quando apresenta disjunção sub-horizontal gradando para vertical (de modo dúctil) está relacionada com a frente do avanço da lava, dentro do núcleo. Quando maciça representa a porção cristalina do núcleo.

5 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS GEOTÉCNICOS

Além das rochas que os originam, os solos representam as condições topográficas em que se desenvolveram e as condições climáticas locais. Nas inspeções ao campo foi observada a presença predominante de dois tipos de solo que foram definidos como Material geotécnico 1 e Material geotécnico 2, descritos no final deste capítulo, com base nas observações de campo, granulometria e índices de plasticidade.

Apresenta-se a seguir tabela (Tabela 5.1) com dados de granulometria e índices de plasticidade dos solos amostrados no trabalho de campo. Onde LL é limite de liquidez, LP é limite de plasticidade, IP é índice de plasticidade, IP/ARG é a relação teor de argila índice de plasticidade e NP é não apresentou plasticidade.

Tabela 5.1 – Granulometria e índices de plasticidade dos solos amostrados

| AMOSTRA | GRANULOMETRIA (%) | | | ÍNDICES DE PLASTICIDADE (%) | | | |
|------------------|-------------------|-------|-----------|-----------------------------|----|----|--------|
| | ARGILA | SILTE | > 0,06 mm | LL | LP | IP | IP/ARG |
| PT2 | 43 | 36 | 21 | 63 | 58 | 5 | 0,12 |
| PTA2 VERDE | 16 | 28 | 56 | NP | NP | NP | NP |
| PTA2 VERMELHO | 73 | 9 | 18 | 101 | 58 | 43 | 0,59 |
| PTA2 AMARELO | 29 | 22 | 49 | 56 | 43 | 13 | 0,45 |
| PTA3 | 56 | 30 | 14 | 84 | 65 | 19 | 0,34 |
| PT8 | 37 | 30 | 33 | 78 | 59 | 19 | 0,51 |
| PTJ1 | 54 | 21 | 25 | 49 | 44 | 5 | 0,09 |
| PTH | 24 | 26 | 50 | 70 | 60 | 30 | 1,25 |

Com base na carta de plasticidade de Casagrande (Figura 5.1) foram classificadas 8 amostras de solo conforme granulometria e índices de plasticidade, resultando assim em argila orgânica de alta compressibilidade, argila orgânica de média compressibilidade e areia (areia com finos não

plásticos). Os materiais foram descritos brevemente segundo sua plasticidade, resistência a seco, dilatância e rigidez, com base no Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

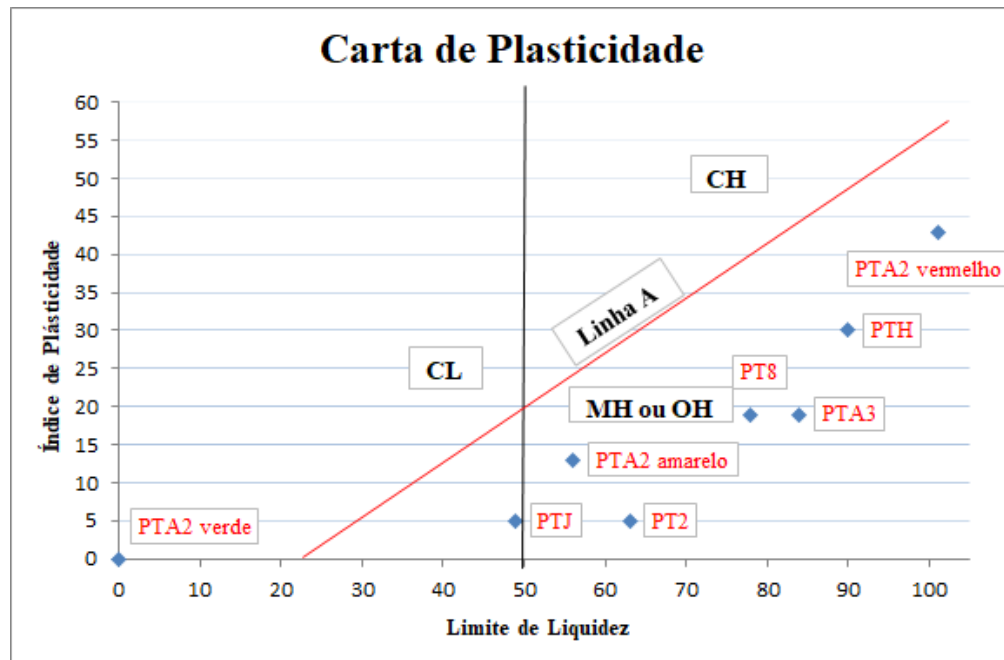


Figura 5.1 – Carta de plasticidade de Casagrande, amostras da área de estudo.

Foram classificados como argila orgânica de alta compressibilidade os solos dos pontos PT8, A3, 2, A2 (vermelho), A2 (amarelo) e H. A seguir estão reunidas breves descrições dos solos amostrados:

a) **Argila orgânica de alta compressibilidade** (argilas com média alta plasticidade, resistência a seco média a elevada, dilatância nenhuma a muito lenta e rigidez pequena a média, segundo o SUCS):

- Solo do ponto PT8 de cor vermelho-amarelado (Figura 5.2A), com feições de fluxo milimétricas preservadas;
- Solo do ponto PTA3 de cor vermelho-amarelado (Figura 5.2B), com feições de fluxo milimétricas preservadas;
- Solo do ponto PT2 de cor cinza-amarelado a vermelho-amarelado (Figura 5.2C), com feições de fluxo milimétricas preservadas. Possui presença de argilomineral branco;
- Solo do ponto PTA2 (vermelho) de cor vermelho, com transição lateral para o solo PTA2 amarelo;

- Solo do ponto PTA2 (amarelo), arenoso, de cor bege-amarelado, com transição lateral para os solos PTA2 vermelho e PTA2 verde,
- O solo do ponto PTH apresenta cor vermelho-amarelado e feições de fluxo milimétricas preservadas. Possui localmente argilominerais brancos, provavelmente caolinita.

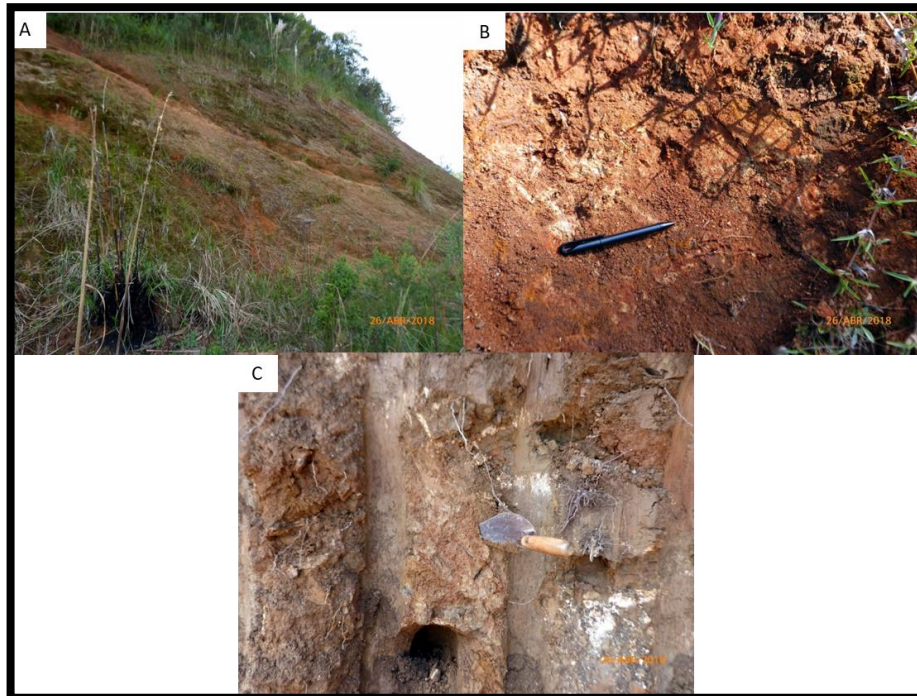


Figura 5.2 – A) Talude ponto PT8; B) Solo do ponto PTA3; C) Perfil de solo PT2; registro de campo

O solo do ponto PTJ foi classificado como argila de baixa a média plasticidade:

- **Argila orgânica de baixa a média compressibilidade**, baixa plasticidade, resistência a seco pequena a média, dilatância lenta e rigidez pequena, segundo o SUCS. O solo do ponto PTJ apresenta cor bege-amarelado (Figura 5.3). Possui feições de fluxo milimétricas preservadas. Presença de argilomineral branco, provavelmente caolinita.



Figura 5.3 – Solo PTJ, registro de campo

O solo do ponto PTA2 (verde) foi classificado como areia com finos não plásticos, pois nos ensaios de LL e LP não foi possível formar corpo de prova:

- **Areia com finos não plásticos**, areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte, segundo o SUCS. O solo do ponto PTA2 (verde) apresenta cor bege e verde (Figura 5.4A). No perfil do saprólito existem fragmentos esverdeados e outros arroxados escuros. Possui pedregulhos (zeolitas/carbonatos e fragmentos de geodos com quartzo) e feições de fluxo milimétricas preservadas.



Figura 5.4 – A) Solo PTA2 verde, B) Solo rico em argilomineral verde, registro de campo

Com base na classificação da SUCS a maioria dos solos são argilas com alta plasticidade. Para melhor distingui-los utilizou-se o índice de plasticidade (IP) e o índice de atividade das argilas (IP/ARG) que dá ideia sobre a atividade da fração argila dos materiais. A partir disso os solos encontrados na área de estudo foram classificados em Material geotécnico 1 e Material geotécnico 2, divisão que é função, principalmente, da origem dos materiais, fato que reflete comportamentos diferentes quanto à plasticidade.

5.1 MATERIAL GEOTÉCNICO 1- SOLOS MUITO PLÁSTICOS

Solos originados, em sua maioria, pela decomposição da zona de topo e base das unidades (rochas DVA – dacito com vesícula e amígdalas), mais ricas em vidro.

O tom avermelhado é consequência da presença de óxidos ferro-magnesianos, que possuem alto poder de pigmentação. A granulometria depende bastante do grau do intemperismo, podendo ser classificado como textura argilosa a argilo-arenosas. Nas áreas onde este material está no topo plano do relevo ocorre boa drenagem, desenvolvem-se solos espessos e com características evoluídas pedologicamente. Os perfis apresentam um horizonte B textural a incipiente. O vidro vulcânico observado nas lâminas petrográficas da rocha DVA é relevante geotecnicamente, pois aumenta a plasticidades do solo gerando queda na resistência do material. Esse solo apresenta cor vermelho com tons mosqueados de amarelo e brilho graxo (aspecto ceroso) o que pode estar associado à presença de argilominerais.

O índice de atividade de argilas varia de 1,25 a 0,59 e o IP 30 a 43. Este material pode ter argilas expansivas, fato que estaria associado à sua plasticidade muito alta, porém para esta fase do trabalho não foram aplicados testes para a identificação dos argilominerais. Em campo foi observada a variação lateral deste material para o material geotécnico 2.

5.2 MATERIAL GEOTÉCNICO 2 – SOLOS POUCO PLÁSTICOS À PLÁSTICOS

Solos originados da alteração da zona central das unidades (rochas DF – dacito de textura fina e DM – dacito e textura média), apresentando feições de fluxo e diaclases horizontais nas porções de base e material maciço na porção central. Este material tem muita importância geotécnica, pois representa a zona mais espessa das unidades, ou seja, é o material que ocorre em maior quantidade na área de estudo.

O solo apresenta cor cinza-amarelado podendo variar para vermelho-amarelado e, às vezes, cor amarelo-bege, apresentando com frequência argilomineral branco. Os perfis apresentam um horizonte B incipiente ou formam perfis de neossolo. A granulometria depende bastante do grau do intemperismo, podendo ser classificado como textura argilosa a argilo-siltosa e arenosas.

No campo, algumas vezes, os solos originados das porções com estruturas horizontais, podem ser diferenciados dos originados da porção maciça das unidades, provavelmente essa distinção implica em diferentes plasticidades. As estruturas de fluxo horizontais podem gerar alguma plasticidade devido à presença de vidro vulcânico relacionado a essas estruturas. Com relação à porção maciça das unidades geológicas, pode-se dizer que: solos originados das rochas DM tendem a ser menos plásticos do que solos originados das rochas DF (com matriz esferulítica e com menor desvitrificação verificadas nas lâminas petrográficas), devido maior quantidade de vidro vulcânico presente nestas últimas.

O índice de atividade de argilas varia de 0,09 a 0,51 e o IP de 5 a 19, sendo que uma amostra não apresentou plasticidade (NP, ponto PTA2 verde), pois, representa uma transição para uma zona de brecha. A análise em lâminas petrográficas revelou argilização para esmectitas e caulinitas, bem como outros processos de argilização não identificados.

Mesmo observando-se estas possíveis diferenças de plasticidade entre DF e DM, não se definiu um terceiro material geotécnico, pois os índices de plasticidade variam muito entre si, revelando uma sensibilidade muito grande a um componente muito considerável da área de estudo: a variação topográfica.

6 CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentadas as unidades geológicas da área de estudo.

Com base no modelo conceitual (ver Figura 2.6) de Roisenberg (1989), em técnicas de geoprocessamento e em afloramentos descritos no campo, foi gerado o mapa geológico da área de estudo (Figura 6.1).

Para o processo de delimitação das unidades foram analisados quatro *layers* em programa de geoprocessamento: fotomosaico, declividade, altimetria e relevo sombreado (*hillshade*), além dos afloramentos marcados na etapa de campo.

Foram cartografadas 7 unidades geológicas (Figura 6.1) de rochas vulcânicas ácidas. O lineamento de porte médio F-F' que define o vale que divide a área de estudo em unidades geomorfológicas 1 (Gm1) e 2 (Gm2), representa provavelmente um falhamento que soergueu a Gm1, pois a mesma se encontra mais dissecada que a Gm2. O relevo mais aplainado da Gm2 colaborou para desenvolvimento de espesso manto intempérico, unidade em que se cultivam muitas parreiras do Vale dos Vinhedos, fato responsável pela escassez de afloramentos de rocha na Gm2. Onde não existiu afloramento, o contato entre as unidades foi inferido pelo modelo conceitual utilizado a partir da relação (Figura 3.1) que se estabeleceu entre a geometria das unidades e a forma das vertentes.

Estima-se que para cada unidade litológica definida:

- a) nas menores cotas de uma unidade se encontram rochas avermelhadas do tipo DVA (dacito vesicular/amigdaloidal), correspondentes à zona basal (podendo atingir até 10m, aproximadamente);
- b) nas cotas medianas de uma unidade se encontram as rochas cinza-claro DM (dacito médio de textura sal pimenta) e/ou as rochas cinza-escuro DF (dacito/vitrófiro com esferulitos, observadas principalmente nas unidades 2 e 3), correspondentes à zona central (podendo atingir até 70m, aproximadamente) apresentando diaclases e estruturas de fluxo horizontais nas primeiras cotas e diaclases verticais bem espaçadas nas rochas maciças no restante da zona central,

c) nas cotas altas de uma unidade se encontram também as rochas avermelhadas do tipo DVA, correspondentes à zona de topo, porém com espessuras menores que a basal.

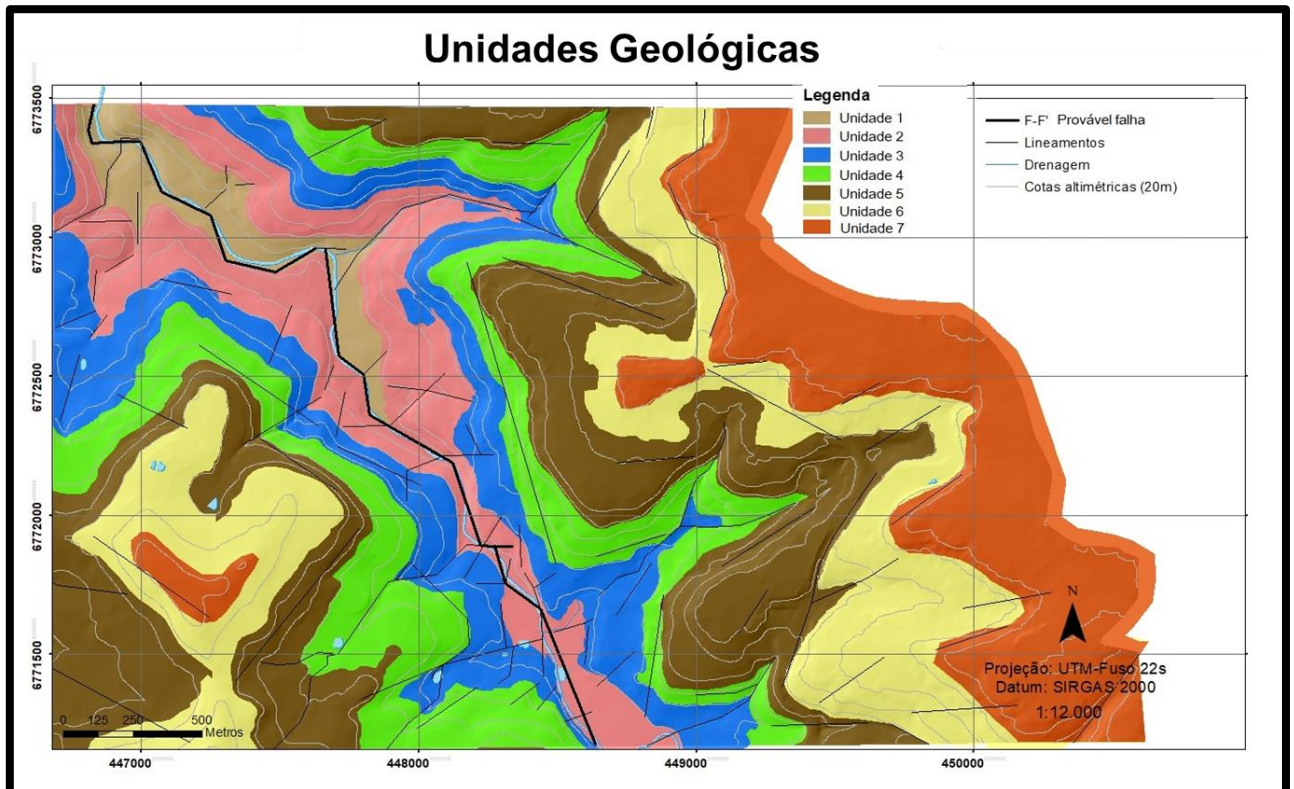


Figura 6.1 – Carta geológica contendo unidades geológicas (de 1 à 7), lineamentos (F-F' como provável falha e demais lineamentos de pequeno porte), drenagem e cotas altimétricas (20 metros) da área de estudo.

Dessa maneira as unidades litológicas, no geral, apresentam um padrão de repetição ao longo de um perfil vertical, ou seja, ocorre o empilhamento de unidades vulcânicas ácidas. Porém, pela presença provável de domos, em campo encontram-se variações laterais de litofácies.

Unidade Geológica 1: não foi descrito nenhum afloramento, pois a unidade se localiza nas cotas mais baixas da área de estudo, por onde corre a drenagem Arroio Leopoldina. A unidade apresenta espessura de até 50m, aproximadamente, e foi definida por análise do relevo em produtos cartográficos. Porém é possível prever que sua base e topo são representadas por rochas DVA e seu núcleo por rochas DF ou DM.

Unidade Geológica 2: Apresenta espessura de até 45m, aproximadamente. Por ela corre a drenagem Arroio Pedrinho que corta área de estudo na direção noroeste-sudeste, encaixada com o

lineamento de F-F'. A zona central dessa unidade é representada principalmente pela litofácia DF, enquanto base e topo são representadas pela litofácia DVA.

Unidade Geológica 3: Apresenta espessura de até 50m, aproximadamente. A zona central dessa unidade é representada principalmente pela litofácia DF, enquanto base e topo são representadas pela litofácia DVA.

Unidade Geológica 4: Apresenta espessura de até 60m, aproximadamente. A zona central dessa unidade é representada principalmente pela litofácia DM, enquanto base e topo são representadas pela litofácia DVA.

Unidade Geológica 5: Apresenta espessura de até 50m, aproximadamente. A zona central dessa unidade é representada principalmente pela litofácia DM, enquanto base e topo são representadas pela litofácia DVA.

Unidade Geológica 6: Apresenta espessura de 50m, aproximadamente. A zona central dessa unidade é representada principalmente pela litofácia DF, enquanto base e topo são representadas pela litofácia DVA.

Unidade Geológica 7: Apresenta espessura de 40m, aproximadamente. A zona central dessa unidade é representada principalmente, pela litofácia DF, enquanto base e topo são representadas pela litofácia DVA.

Com relação aos limites entre as unidades é importante dizer que a repetição vertical de litofácies relacionadas à arquitetura dos corpos foi fundamental para a identificação de unidades ácidas sobrepostas. Na cartografia da área de estudo é possível observar variações laterais de espessuras não muito significativas, com margens lobadas (Figura 6.2). Contudo não é possível calcular, com base nos dados atuais, a dimensão e geometria exatas das unidades ácidas. A sequência ácida ocupa a extensão de toda a área de estudo com unidades de espessuras que variam de 25 até 65m. É importante ressaltar que na literatura os depósitos ignimbríticos descritos no Grupo Serra Geral não atingem espessuras superiores à 45m, sendo assim é possível que algumas unidades, sejam compostas por mais de uma unidade, porém, para este trabalho não foram encontradas evidências de campo e do relevo suficientes para mais divisões, sendo que cada unidade apresentada foi delimitada por registro de contato em campo.

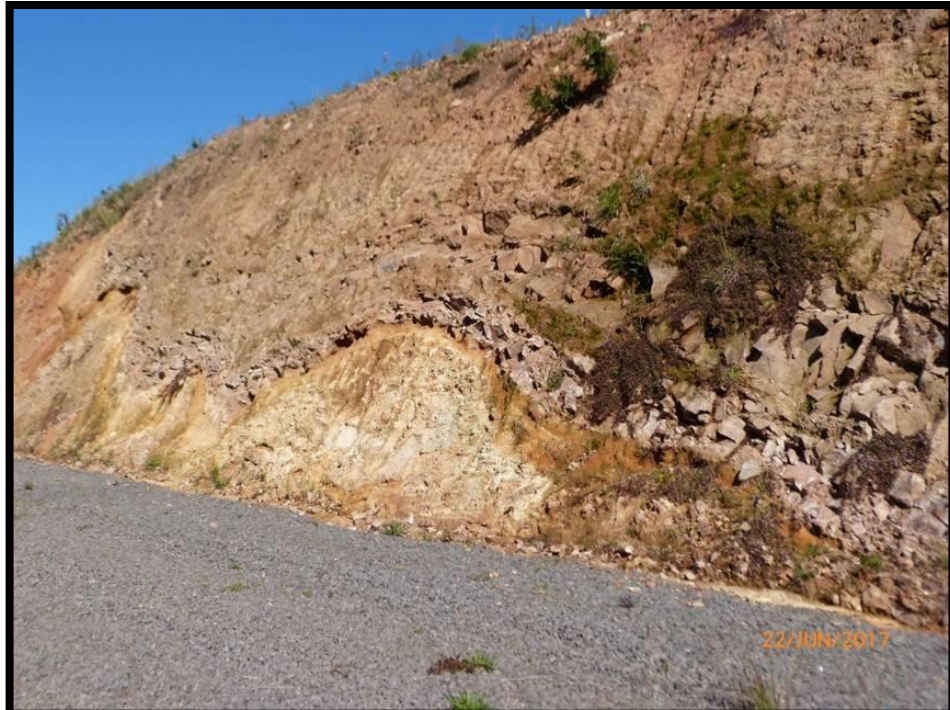


Figura 6.2 – Margens lobadas entre os contatos de unidades geológicas, registro de campo.

7 SETORES GEOMORFOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados e descritos setores geomorfológicos definidos para a área de estudo. A descrição dos mesmos integra e interpreta os dados obtidos e resultados gerados no trabalho. E também, com base no modelo conceitual estabelecido entre formas de vertente e movimentos de massa (ver Figura 3.1) faz análise do relevo frente aos movimentos de massa.

Os setores geomorfológicos foram definidos com o objetivo de possibilitar mais adequada análise das formas de vertente, frente a movimentos de massa, permitindo uma melhor apresentação dos resultados. Eles foram delimitados através de critérios morfoestruturais e geomorfológicos. Seus limites correspondem a lineamentos que separam áreas com formas de vertentes distintas.

Foram delimitados 5 setores geomorfológicos (Figura 7.1): Gm1 S (Sul), Gm1 C (Central), Gm1 N (Norte) Gm1 Topo e Gm2. O setor Gm1 C, foi descrita em função das áreas a, b, c, figura 7.1.

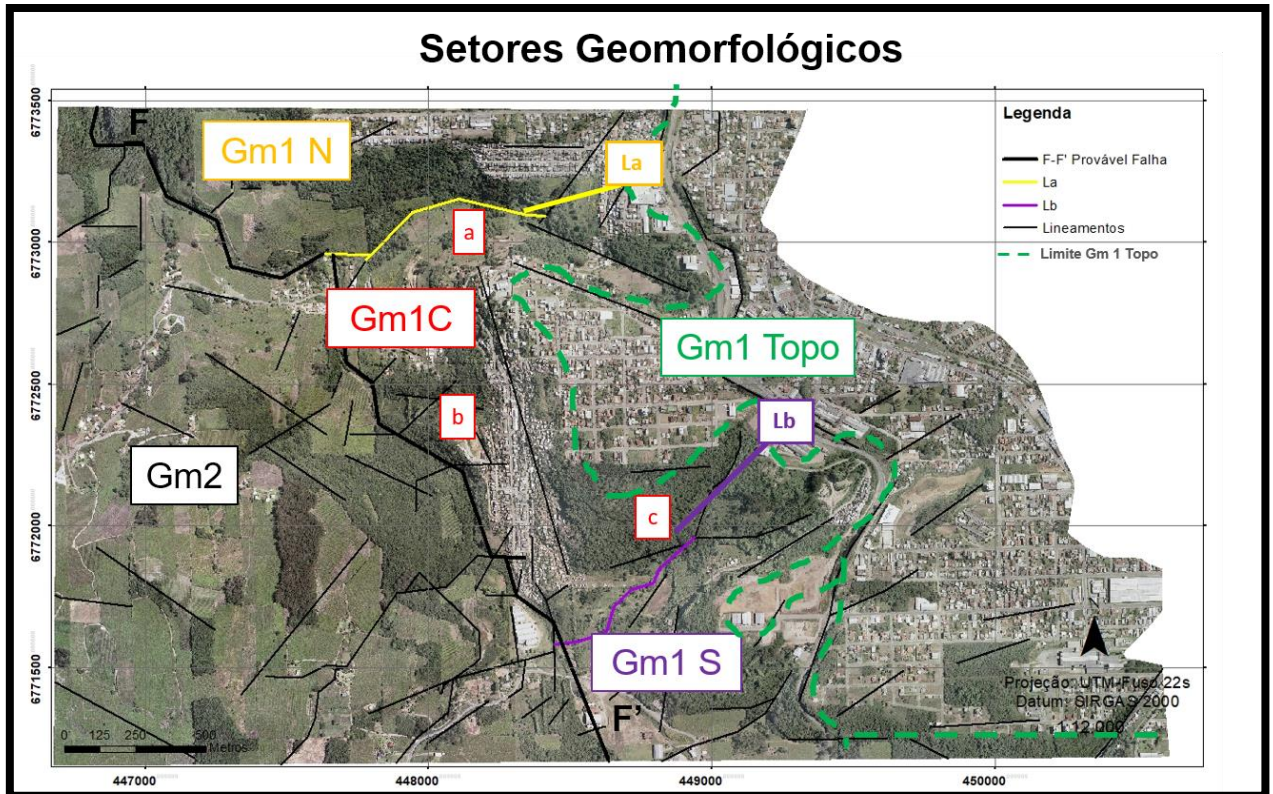


Figura 7.1 – Localização dos setores geomorfológicos sobre fotomosaico da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Para melhor compreensão da subdivisão e da nomenclatura é apresentado um fluxograma (Figura 7.2) que relaciona as unidades geomorfológicas e os setores geomorfológicos.

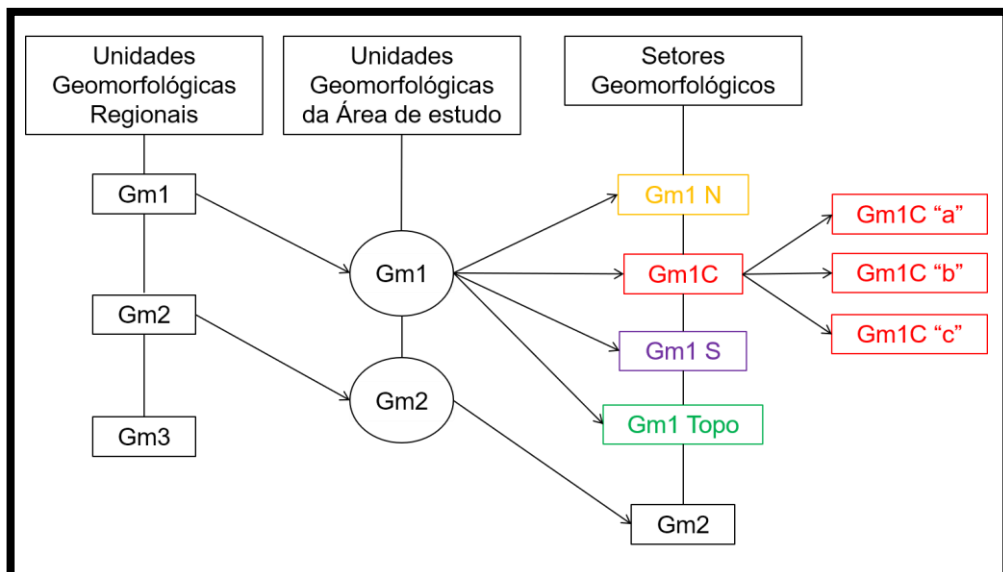


Figura 7.2 – Fluxograma idealizado para demonstrar a origem da nomenclatura das unidades geotécnicas. Fonte: Elaborado pela autora (2018)

7.1 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Centro “a” (Gm1 Ca)

A encosta deste setor (Figura 7.3) varia principalmente entre formas convexas a retilíneas, com exceção do entalhe do talvegue formado pelo lineamento a nordeste (traços amarelos) que apresenta forma côncava. O presente setor geomorfológico ocorre em parte do bairro Jardim Glória.

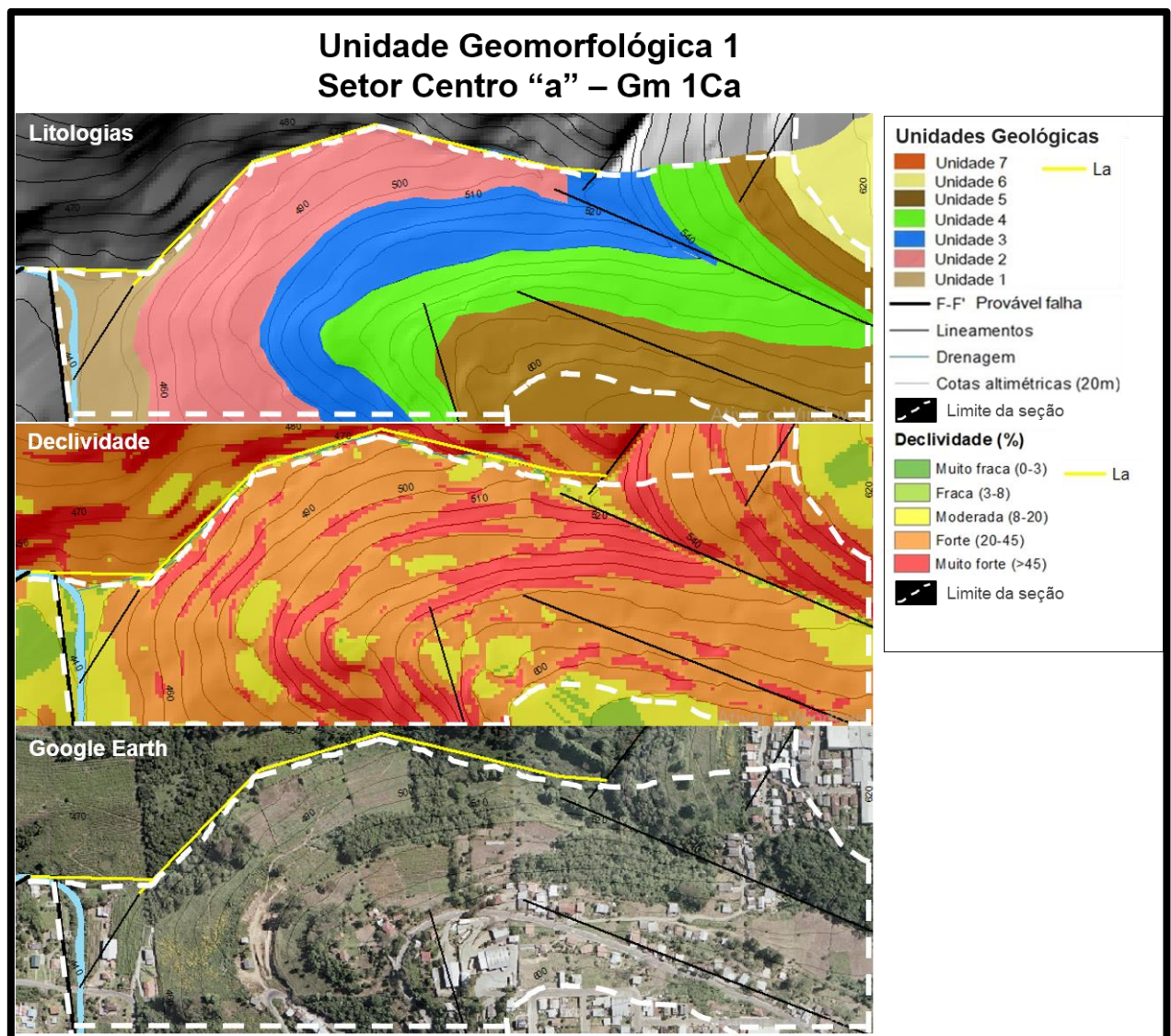


Figura 7.3 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Centro “a” (Gm 1Ca). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área.

Na carta geológica observa-se a ocorrência do material geotécnico 1 – muito plástico, em seus limites originado da rocha DVA (dacito com vesículas e amígdalas) presente em topo e base das unidades ácidas. Na parte ocorre o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, originado das

rochas DF (dacito de textura fina) e DM (dacito de textura média). Em muitos contatos entre as unidades o material geotécnico 1 não ocorre provavelmente devido à sua erosão.

A unidade geológica 1 (Figura 7.3), localizada nas cotas baixas com declividade moderada apresenta regolito pouco espesso, colúvio associado a material transportado de cotas altas, onde tende a ocorrer rastejo moderado e, no lineamento associado à drenagem, movimentos de massa rápidos discretos. No restante da encosta a declividade varia de forte a muito forte, predomina o escoamento superficial, que gera regolitos rasos e afloramentos rochosos da rocha DVA (de cor vermelha, rica em vidro, com vesículas e amígdalas), DF (de cor cinza escura, rica em vidro com esferulitos, em textura fina e maciça) e DM (de cor cinza claro, textura equigranular, rica em sílica, maciça nas porções centrais da unidade, com diaclasamento e entablamento na base da zona central).

As porções convexas desta vertente geram fluxos principalmente divergentes, fato que distribui a capacidade de transporte de partículas. Onde as porções são côncavas e geram fluxo convergente que concentra a capacidade de erosão, principalmente quando associadas a muito forte declividade. Nas vertentes retilíneas pode ocorrer rastejo moderado a considerável nas cotas mais baixas (unidades geológicas 2 e 3), e nos limites marcados por lineamentos, podem ocorrer escorregamentos moderados.

A declividade muito forte do relevo está, geralmente, associada às porções maciças e mais estáveis das unidades de rochas, que desenvolvem o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico. Este material pode apresentar instabilidade quando em contato com o material geotécnico – 1 muito plástico, na porção basal ou de contato das unidades geológicas (Figura 7.4). No prolongamento do lineamento La (Figura 7.3), em amarelo, a forma côncava convergente tem alto poder de concentração do escoamento superficial, em altos níveis pluviométricos com forte intensidade aumenta a probabilidade de escorregamentos e de enxurrada nas drenagens. Esta situação se repete no setor Gm1 Cc e nos setores Gm1 N e Gm1 S, no entalhamento dos talwegues.



Figura 7.4 – Contato entre unidades, material geotécnico 1 – muito plástico sobre material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico; registro de campo.

7.2 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Centro “b” (Gm1 Cb)

A encosta deste setor geomorfológico (Figura 7.5) é retilínea a côncava-convergente (Figura 7.6) com patamares convexos controlados estruturalmente por lineamentos que cortam esta unidade com direções NE e NW. O presente setor geomorfológico representa o bairro Municipal.

Geologicamente ocorre o material geotécnico 1 – muito plástico em seus limites, manto de alteração originado da rocha DVA presente em topo e base das unidades ácida. Nas porções centrais das unidades de rocha ocorre o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, originado das rochas DF e DM. Vale ressaltar que em muitos contatos entre as unidades o material geotécnico 1 não ocorre, provavelmente por erosão

Nas cotas mais baixas deste setor (unidades geológicas 1 e 2), com aumento da declividade, o regolito varia de pouco espesso, formado por colúvio (materiais geotécnicos 1 e 2 transportados de cotas superiores), até muito com afloramentos de rocha. Pode ocorrer rastejo moderado e movimentos de massa discretos nas declividades moderadas e quedas de rocha nas escarpas associadas aos lineamentos assinalados na carta geológica. No restante da encosta a declividade varia de forte a muito forte, com intervalos de menor declividade que formam patamares na vertente. Esses patamares são resultantes do diaclasamento horizontal da rocha DM (representa a

porção basal da zona central das unidades ácidas) que originam o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, o qual pode desenvolver perfis profundos em menores declividades.

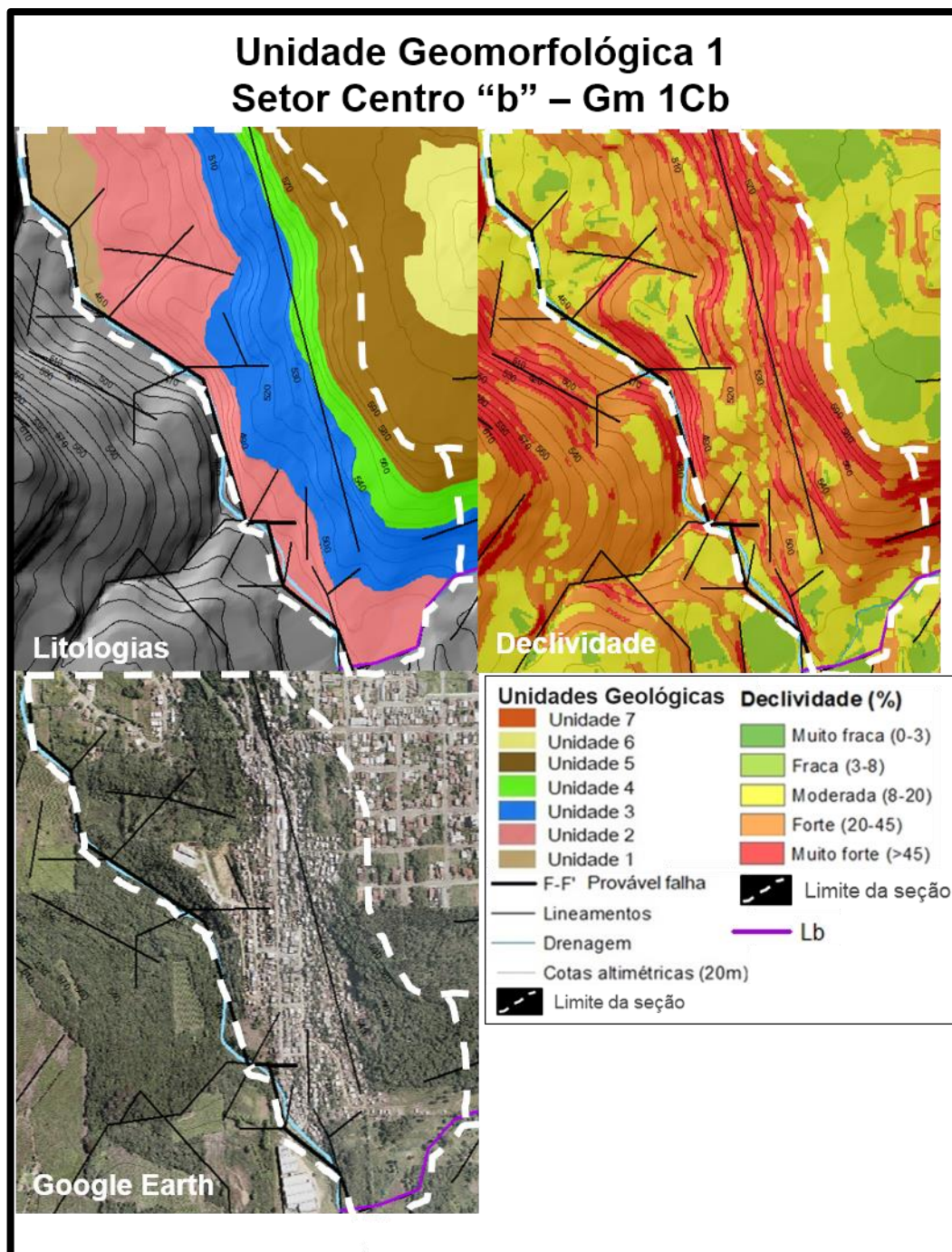


Figura 7.5 – Condicionamentos do Setor geomorfológico Gm 1 Centro “b” (Gm 1Cb). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área

A vertente côncava convergente tem alta capacidade de concentração de fluxos de água e, além disso, a densa ocupação urbana desde as unidades geológicas 3 até 5 aumenta o escoamento

superficial, pois a urbanização dificulta a infiltração. A grande área dessa encosta retilínea a côncava-convergente, quando associada a altos níveis pluviométricos, colabora para ocorrência de enxurradas nas drenagens encaixadas nas cotas inferiores da vertente durante eventos pluviométricos intensos.

A muito forte declividade do relevo gera regolitos rasos e afloramentos rochosos da rocha DVA (de cor vermelha, rica em vidro, com vesículas e amígdalas), DF (de cor cinza escura, rica em vidro com esferulitos, em textura fina e maciça) e DM (de cor cinza claro, textura equigranular, rica em sílica, maciça nas porções centrais da unidade e com diaclasamento e feições tabulares na base da zona central). Nessas porções mais íngremes predomina o escoamento superficial que é agravado pela quantidade de habitações existentes nessa encosta. O contato entre os materiais geotécnicos 1 e 2, que apresentam diferentes resistências, associados à forte declividade da vertente e a presença de água, podem criar situações de instabilidade, pois o material geotécnico 1 é muito mais plástico que o material geotécnico 2.

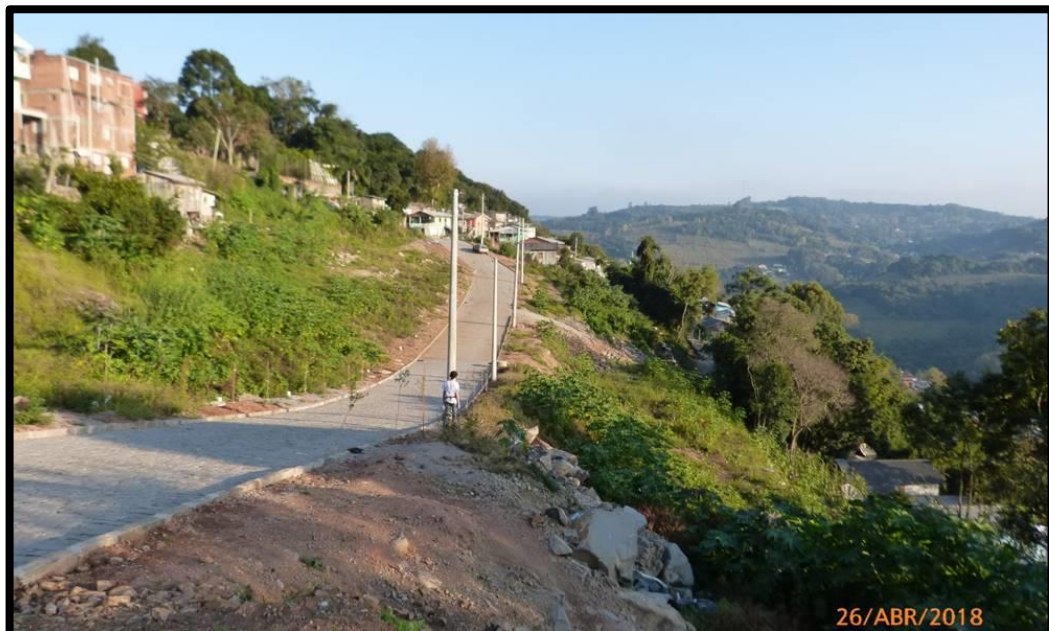


Figura 7.6 –Vertente côncavo - convergente, registro de campo.

7.3 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Centro “c” (Gm1 Cc)

Neste setor geomorfológico a encosta é principalmente retilínea à levemente convexa, com exceção do entalhe do talvegue formado pelo lineamento à leste que apresenta forma côncava

(Figura 7.7). O presente setor geomorfológico representa parte dos bairros Vinosul, Municipal e Jardim Glória.

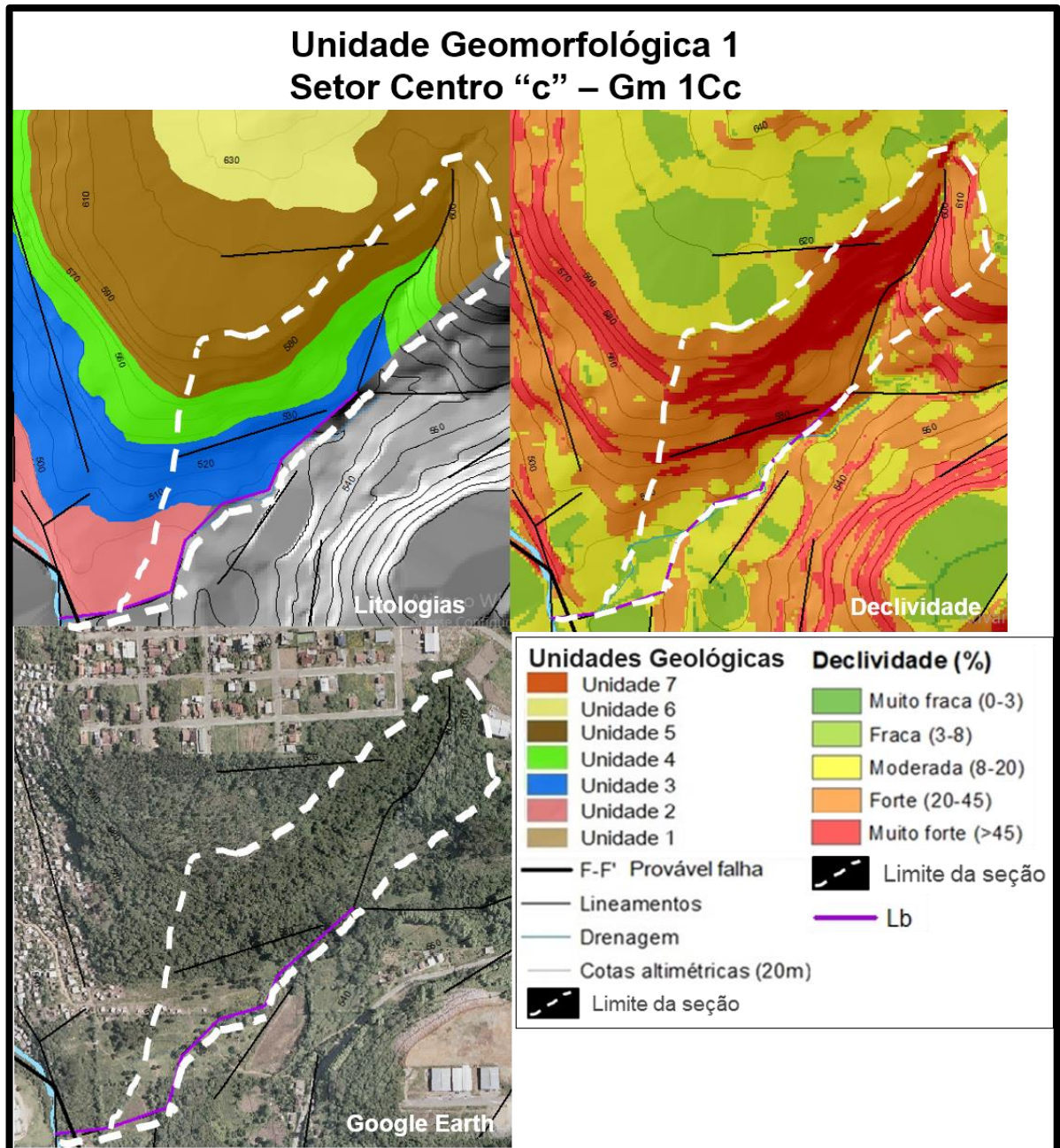


Figura 7.7 – Condicionamentos do Setor geomorfológico Gm 1 Centro “c” (Gm 1Cc). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área

As unidades geológicas apresentam o material geotécnico 1 - muito plástico em seus limites, é originado da rocha DVA presente em topo e base das unidades ácidas. Nas porções centrais das unidades geológicas ocorre o material geotécnico 2 - pouco plástico a plástico, originado das

rochas DF e DM. Em alguns contatos entre as unidades geológicas o material geotécnico 1 não ocorre provavelmente por ter sido erodido

Nas cotas mais baixas do setor (unidade geológica 2) o regolito é raso e pode estar associado a material coluvial, onde rastejo é ausente a incipiente. Nas cotas superiores (unidades geológicas 3, 4 e parte da 5) o regolito é raso com afloramentos rochosos. No lineamento Lb (Figura 7.7), roxo, que define o vale podem ocorrer rastejos discretos e escorregamentos moderados. Junto ao lineamento, que coincide com o contato entre as unidades geológicas 3 e 4, que possui densa vegetação, pode ocorrer rastejo moderado e escorregamentos discretos, associados ao contato entre o material geotécnico 1 – muito plástico e material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico.

7.4 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Norte (Gm1 N)

A setor geomorfológico apresenta encosta de forma retilínea à levemente convexa e côncava. O setor representa parte do bairro Conceição (Figura 7.8).

As unidades geológicas apresentam o material geotécnico 1 – muito plástico em seus limites, originado da rocha DVA presente em topo e base das unidades ácidas. Nas porções centrais das unidades ocorre o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, originado das rochas DF e DM. Em certos contatos entre as unidades geológicas o material geotécnico 1 não ocorre, provavelmente por ter sido erodido.

Nas cotas mais baixas (unidade geológica 1) o regolito varia em espessura, sendo pouco espesso até muito raso, a depender da declividade que varia de moderada a muito forte, com afloramentos rochosos nas declividades muito fortes. Os regolitos nas cotas mais baixas também são do tipo colúvio, onde o rastejo é considerável. A intersecção de lineamentos em forma de Y (Figura 7.8) que ocorre entre o limite das unidades geológicas 1 e 2 representa uma forma convergente que pode gerar escorregamentos.

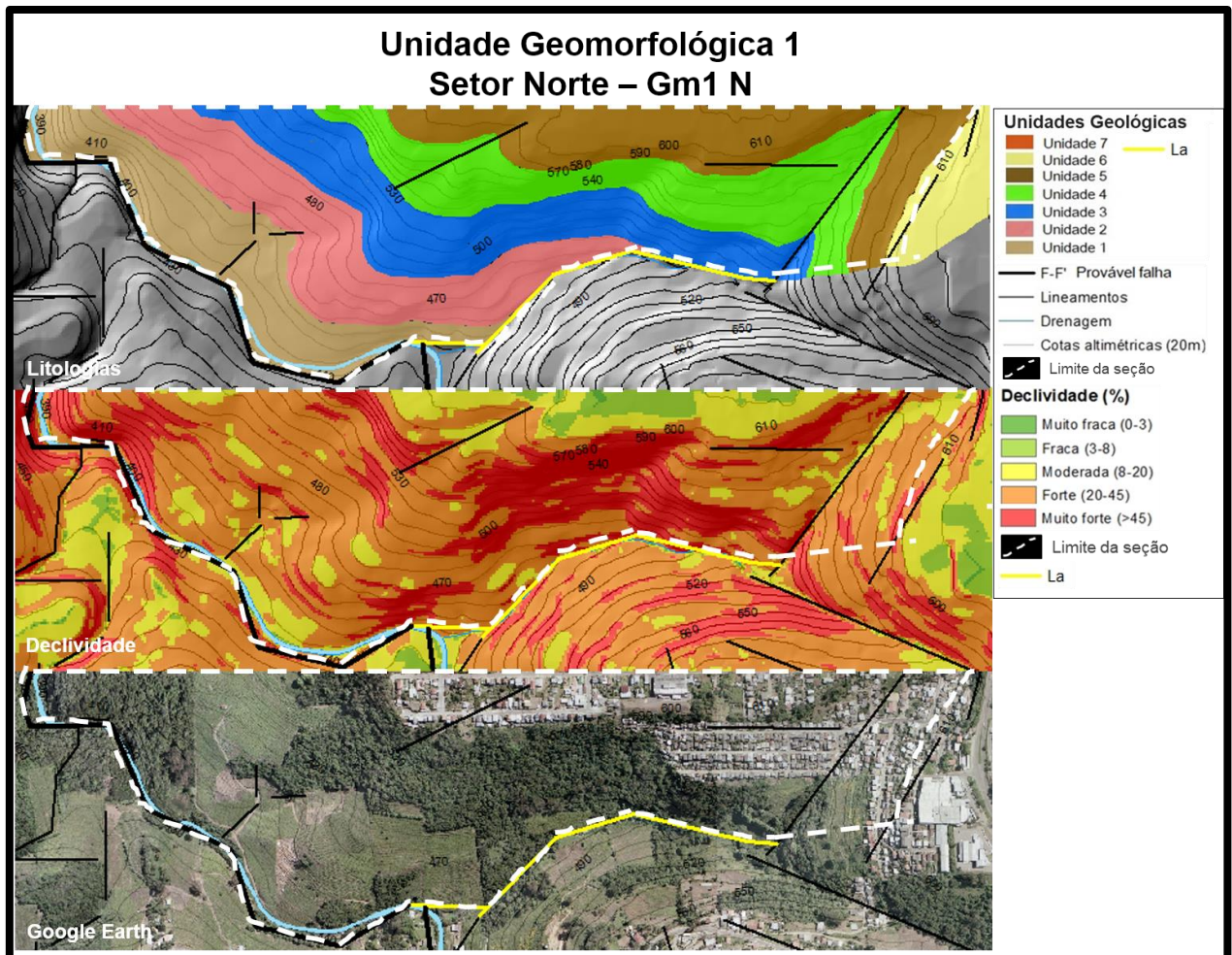


Figura 7.8 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Norte (Gm 1N). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área.

Nas unidades geológicas de 2 a 5, onde a declividade é moderada a forte, em níveis onde o solo é residual, podem ocorrer escorregamentos associados ao contato entre os materiais geotécnicos 1 – muito plástico e 2 – pouco plástico a plástico. Nas declividades muito fortes da vertente ocorre o predomínio de afloramentos rochosos com risco de ocorrer quedas de rocha. O bairro Conceição está localizado em terreno com declividade forte na unidade geológica 4. A urbanização aumenta o escoamento superficial da área, pois dificulta a infiltração, potencializando cenário instável em períodos de alta pluviosidade, nos contatos entre os materiais geotécnicos 1 e 2. A superfície areal dessa encosta retilínea com partes levemente côncava e convexa, quando associada a altos níveis pluviométricos, pode contribuir para ocorrência de movimentos de massa no lineamento La.

7.5 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Sul (Gm1 S)

Nesta unidade geotécnica a encosta é predominantemente retilínea. O setor representa o bairro Vinosul (Figura 7.9).

As unidades geológicas apresentam o material geotécnico 1 – muito plástico em seus limites originado do intemperismo da rocha DVA presente em topo e base das unidades ácidas. Nas porções centrais das unidades geológicas ocorre o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, originado do intemperismo das rochas DF e DM. Vale ressaltar que em muitos contatos entre as unidades geológicas o material geotécnico 1 falta, provavelmente por sua erosão.

Nas cotas mais baixas (unidades geológicas 2 e 3) o regolito é espesso nas declividades fracas a moderadas, onde predomina o intemperismo químico e a infiltração é fácil, como ocorre no perfil do material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, encontrado em declividade moderada (Figura 7.10A). Neste ponto o perfil encontrado foi identificado com evidências de intemperismo da rocha DM com feições e fluxo tabulares, típicas de porções basais da zona central maciça de depósitos ignimbríticos.

A mudança de declividade baixa para alta está associada à diferença de estruturas (diaclasses horizontais para diaclases verticais) e/ou contato entre as unidades geológicas. Na base da unidade geológica 4 ocorre perfil do material geotécnico 1 – muito plástico em forte declividade (Figura 7.10B). Na mesma unidade geológica, alguns metros acima, ocorre perfil muito raso do material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico em declividade muito forte (Figura 7.10C).

Rastejos relacionados à colúvio são discretos a moderados nas cotas mais baixas. Nas declividades fortes podem ocorrer escorregamentos discretos e quedas incipientes nas vertentes controladas por lineamentos. As porções côncavas dessa unidade associadas ao entalhamento do talvegue favorecem a concentração de escoamento superficial.

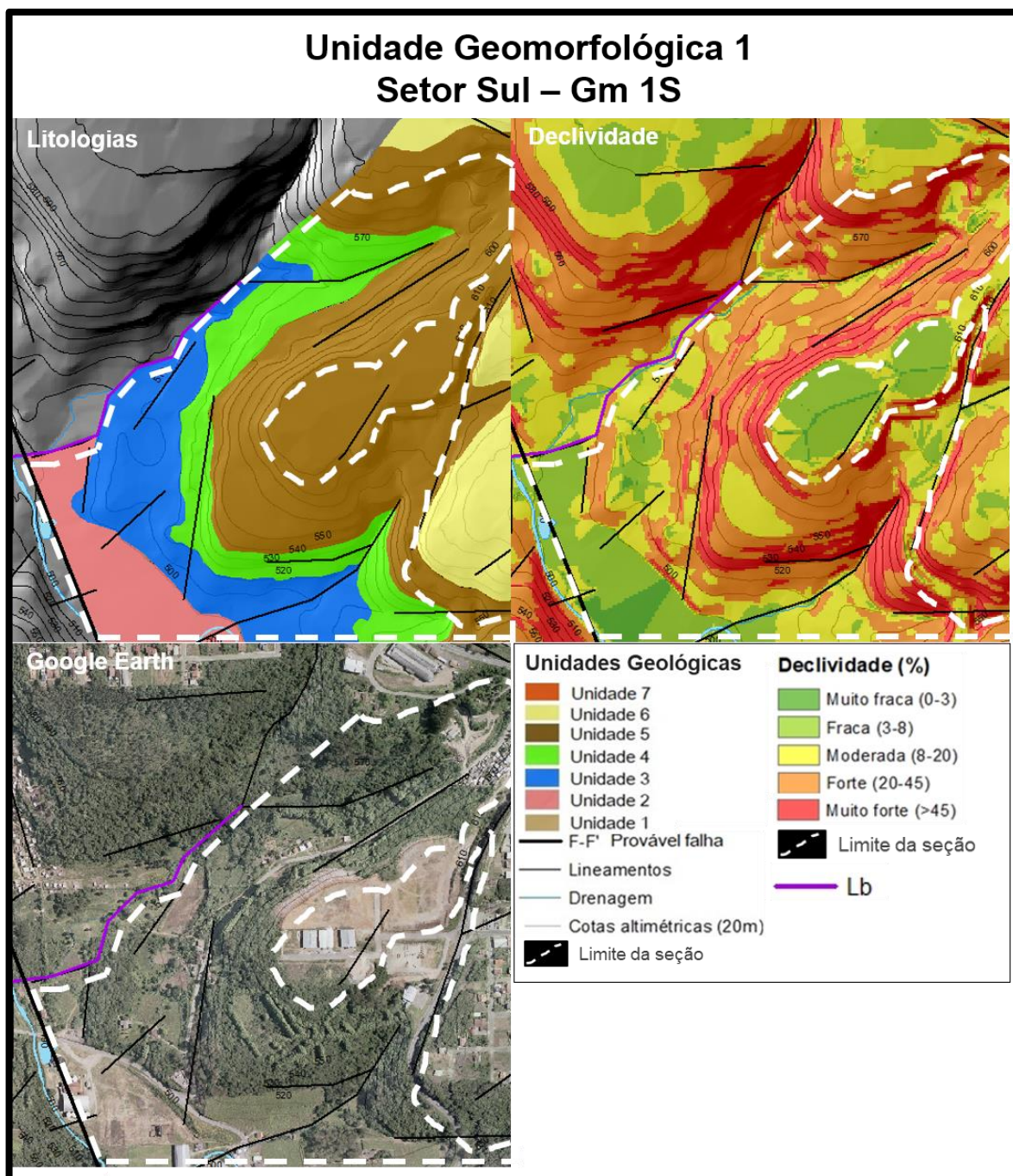


Figura 7.9 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Sul (Gm 1S). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área

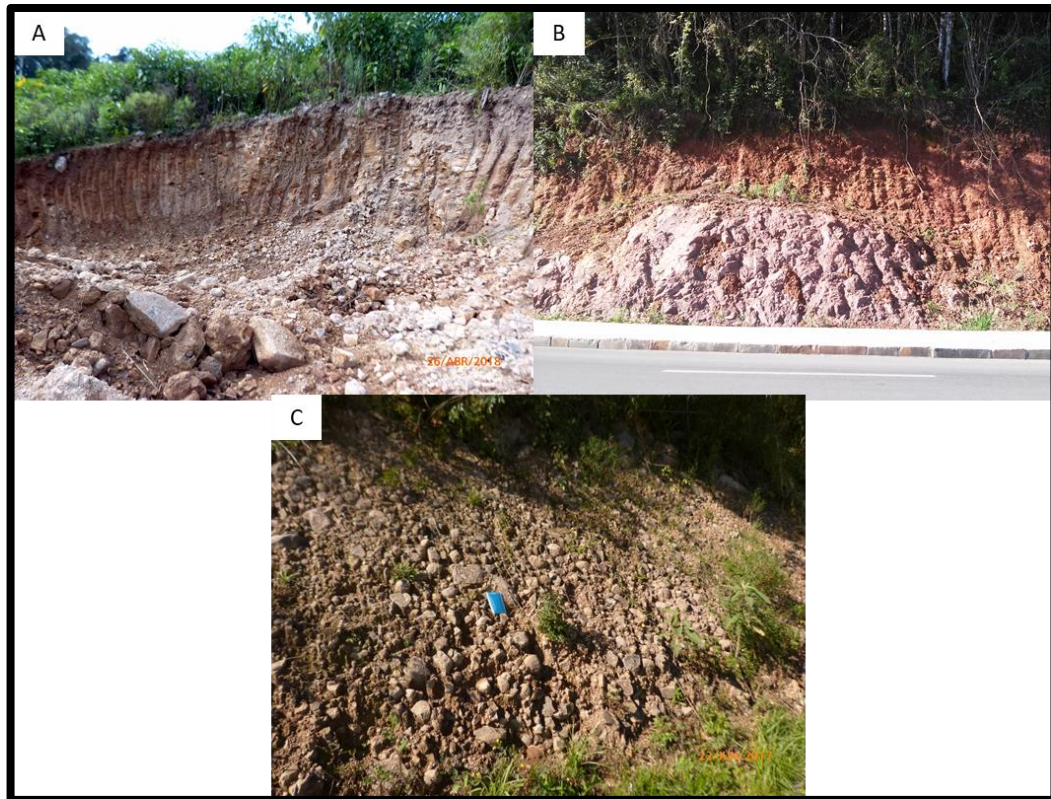


Figura 7.10 – A) perfil do material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, encontrado em declividade moderada; B) material geotécnico 1- muito plástico em declividade forte, C) material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico em declividade muito forte; registros de campo.

7.6 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm1 Topo (Gm1 Topo)

Esse setor geomorfológico (Figura 7.11) está representada pelas unidades geológica 7, 6 e parte da 5, onde se assentam os bairros Jardim Glória, Cidade Alta, Pomorosa, Botafogo e Santa Rosa.

As unidades geológicas apresentam o material geotécnico 1 – muito plástico em seus limites que é originado pelo intemperismo da rocha DVA presente em topo e base das unidades ácidas. Nas porções centrais das unidades geológicas 5, 6 e 7 ocorre o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, originado pelo intemperismo das rochas DF e DM. Em muitos contatos entre as unidades geológicas o material geotécnico 1 não ocorre, provavelmente por sua erosão.

A unidade foi definida assim, pois apresenta a maior superfície em área em declividades muito fracas até moderadas, o que a torna diferente das demais unidades geotécnicas que têm predominância de áreas íngremes.

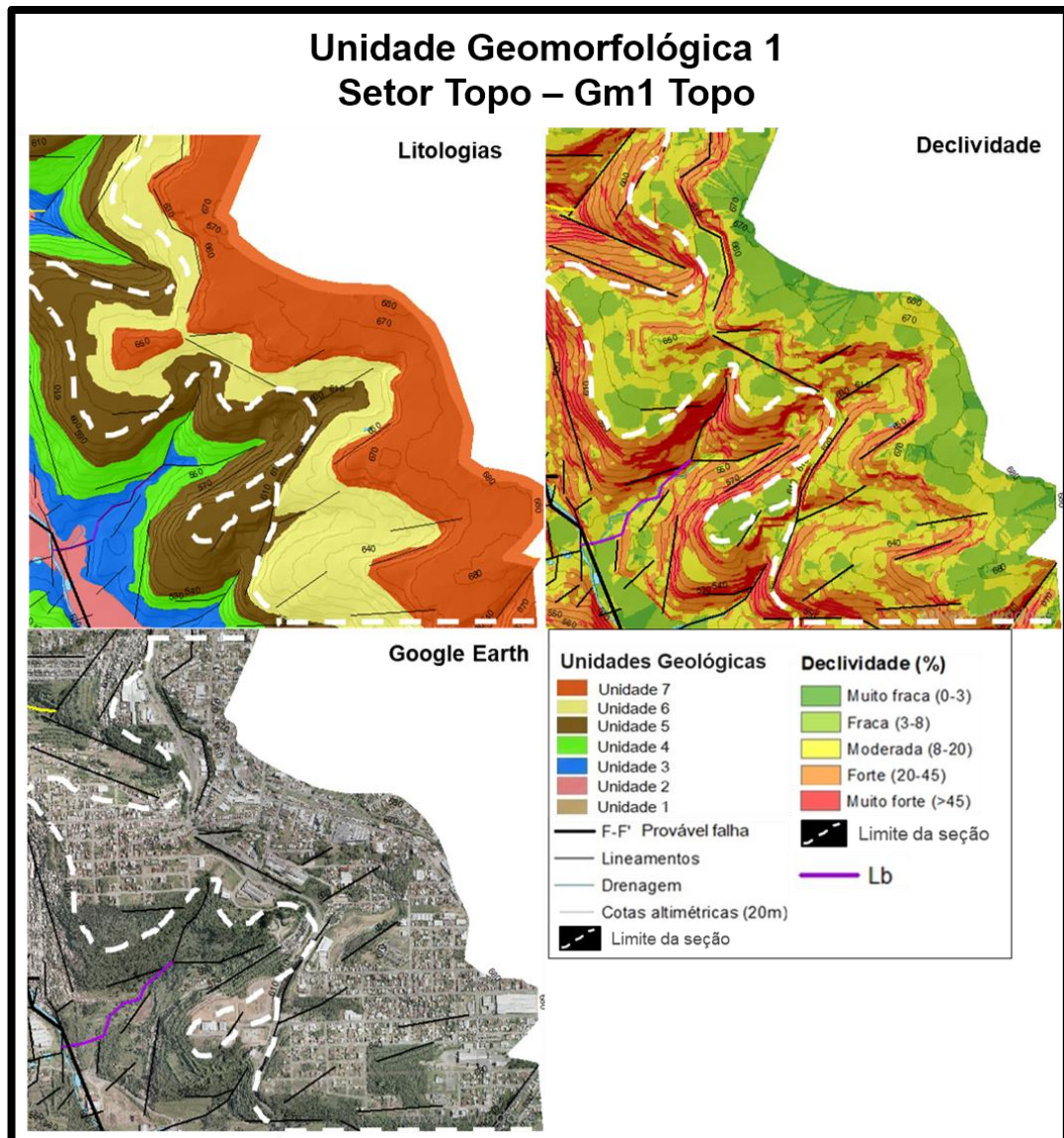


Figura 7.11 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 1 Topo (Gm1 Topo). Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área

A urbanização dessa unidade provoca a impermeabilização do solo, dificulta a infiltração de água e favorece o escoamento superficial. Apesar da baixa declividade formam-se patamares definidos pelo material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico.

Em setores com alguma declividade pode ocorrer material geotécnico 1 – muito plástico, como no perfil descrito no bairro Jardim Glória (Figura 7.12).

As declividades muito fortes quando ocorrem, estão relacionadas com as porções maciças das unidades geológicas 5 e 7, onde se desenvolvem diaclases verticais. Nos afloramentos de rocha muito presentes nas margens da BR 470, pertencentes a estas partes maciças-diaclasadas verticalmente, onde periodicamente percola água, podem ocorrer quedas e rolamentos de blocos.



Figura 7.12 – Material geotécnico 1 – muito plástico, perfil encontrado no topo do bairro Jardim Glória com declividade moderada, registro de campo

7.7 SETOR GEOMORFOLÓGICO Gm2 (Gm2)

O setor geomorfológico Gm2 coincide com a vertente oeste do vale formado pelo lineamento de médio porte F-F', que separa em diferentes unidades geomorfológicas a área de estudo (Figura 7.13).

A Gm2, por estar menos dissecada que a Gm1, apresenta manto de alteração mais espesso com solos mais evoluídos. Além disto, por estar menos dissecada, os vales apresentam encostas mais suaves (Figura 7.14). Neste setor geomorfológico está assentado o bairro Merlot.

As unidades geológicas apresentam como regolito o material geotécnico 1 – muito plástico em seus limites, originado pelo intemperismo da rocha DVA presente em topo e base das unidades ácidas. Nas porções centrais das unidades ocorre o material geotécnico 2 – pouco plástico a plástico, originado do intemperismo das rochas DF e DM. Vale ressaltar que em muitos contatos entre as unidades o material geotécnico 1 pode estar já erodido.

Esta unidade geotécnica apresenta vertentes convexas a côncavas com topo tabular a convexo. Os prováveis movimentos de massa são rastejos com movimentos planares.

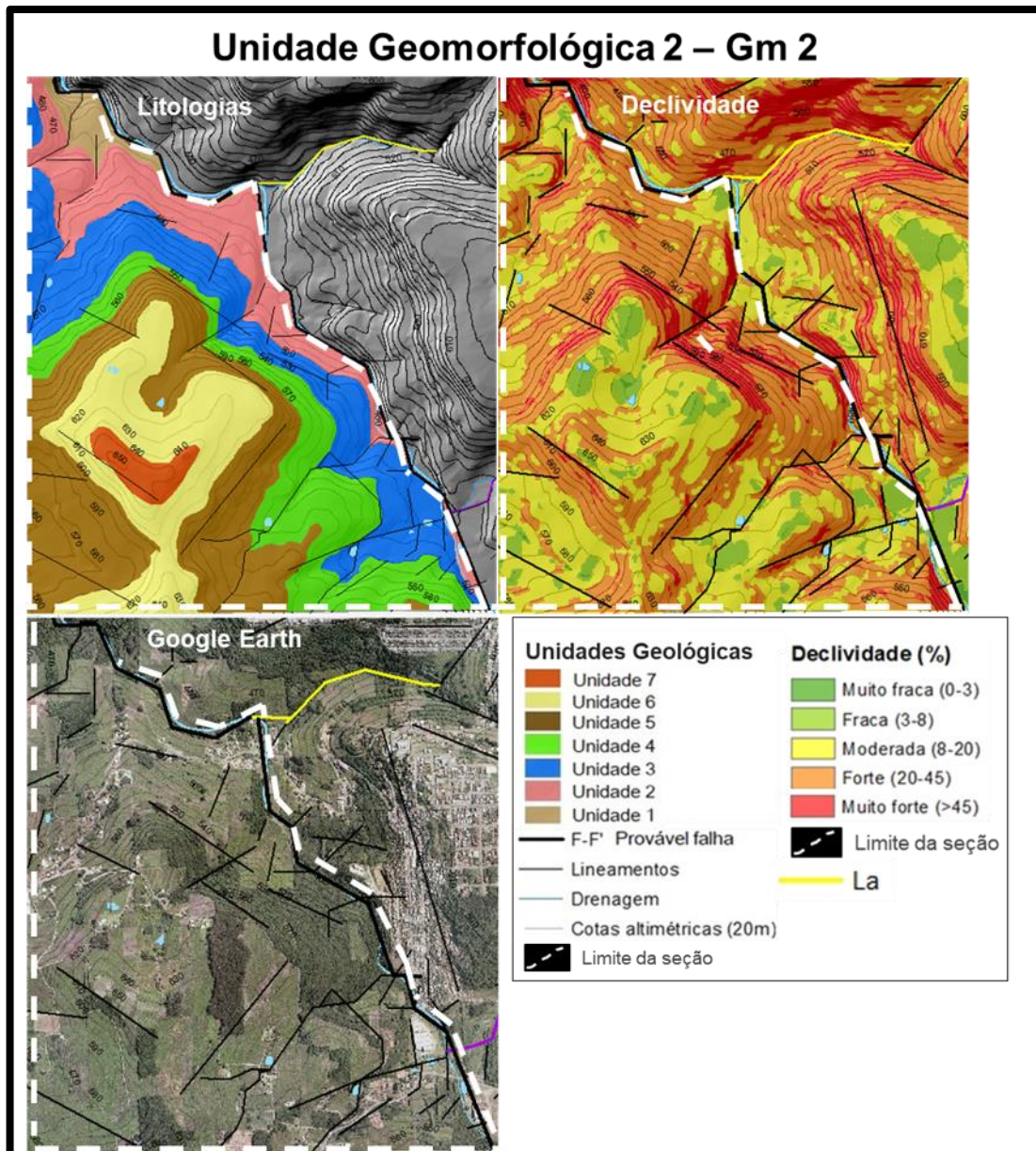


Figura 7.13 – Condicionamentos do setor geomorfológico Gm 2 (Gm 2).
 Detalhes sobre os litotipos, ver capítulo geologia da área

Nas vertentes com alta declividade controladas por lineamentos, em períodos de alta pluviosidade, podem ocorrer escorregamentos moderados e enxurradas nas drenagens que são muito encaixadas nas vertentes (Figura 7.15).

Nas declividades fortes o regolito é menos desenvolvido e podem ocorrer escorregamentos moderados associados ao contato entre os materiais geotécnicos 1 – muito plástico e 2 – pouco plástico a plástico. Nas declividades muito fortes prevalecem afloramentos das rochas DVA, DF e DM, e vegetação, podendo desenvolver rastejos discretos nessas classes de declividade. Nas unidades geológicas 4 e 5 onde ocorrem áreas de muito fraca à moderada declividade predomina

infiltração sobre o escoamento superficial, pois diferentemente da Gm1 Topo, a presente unidade não possui impermeabilização devido à urbanização.



Figura 7.14 – Vista do setor geomorfológico Gm2, mostrando vales menos desenvolvidos que os da Gm1, registro de campo.



Figura 7.15 – Resquícios de material (que ficou nos galhos da vegetação) trazido por provável enxurrada no Arroio Leopoldina, registro de campo

8 UNIDADES GEOTÉCNICAS PRELIMINARES

Com base nas análises feitas nos setores geomorfológicos definiu-se o mapa de declividade como base ideal para o mapa de unidades geotécnicas preliminares (Figura 8.1). Devido à baixa variabilidade dos materiais (rocha e solo) descritos neste trabalho e que compõem o relevo, os movimentos de massa ficam mais condicionados à variabilidade da declividade das vertentes, tornando a análise mais eficiente e praticável.

Os intervalos de declividade foram agrupados nas unidades geotécnicas (Geotec) intituladas: Geotec 1, Geotec 2 e Geotec 3, onde predominam as declividades muito fracas e fraca na Geotec 1, moderadas na Geotec 2, e fortes e muito fortes da Geotec 3.

No mapa de declividade (Figura 8.1detalhe) a classificação de pequenas áreas representam a sensibilidade do MDE à curvatura do relevo, que de fato representam a inclinação do relevo, mas também podem representar interferências de construções na imagem, sendo assim, para fins práticos de delimitação das unidades geotécnicas, algumas destas manchas foram desconsideradas dentro das unidades que não as descrevem.

A descrição por unidade geotécnica preliminar não foi realizada, pois as unidades delimitadas são de caráter preliminar e, também, porque se considera a relação intervalos de declividade *versus* movimentos de massa, analisada na descrição dos setores geomorfológicos no capítulo anterior.

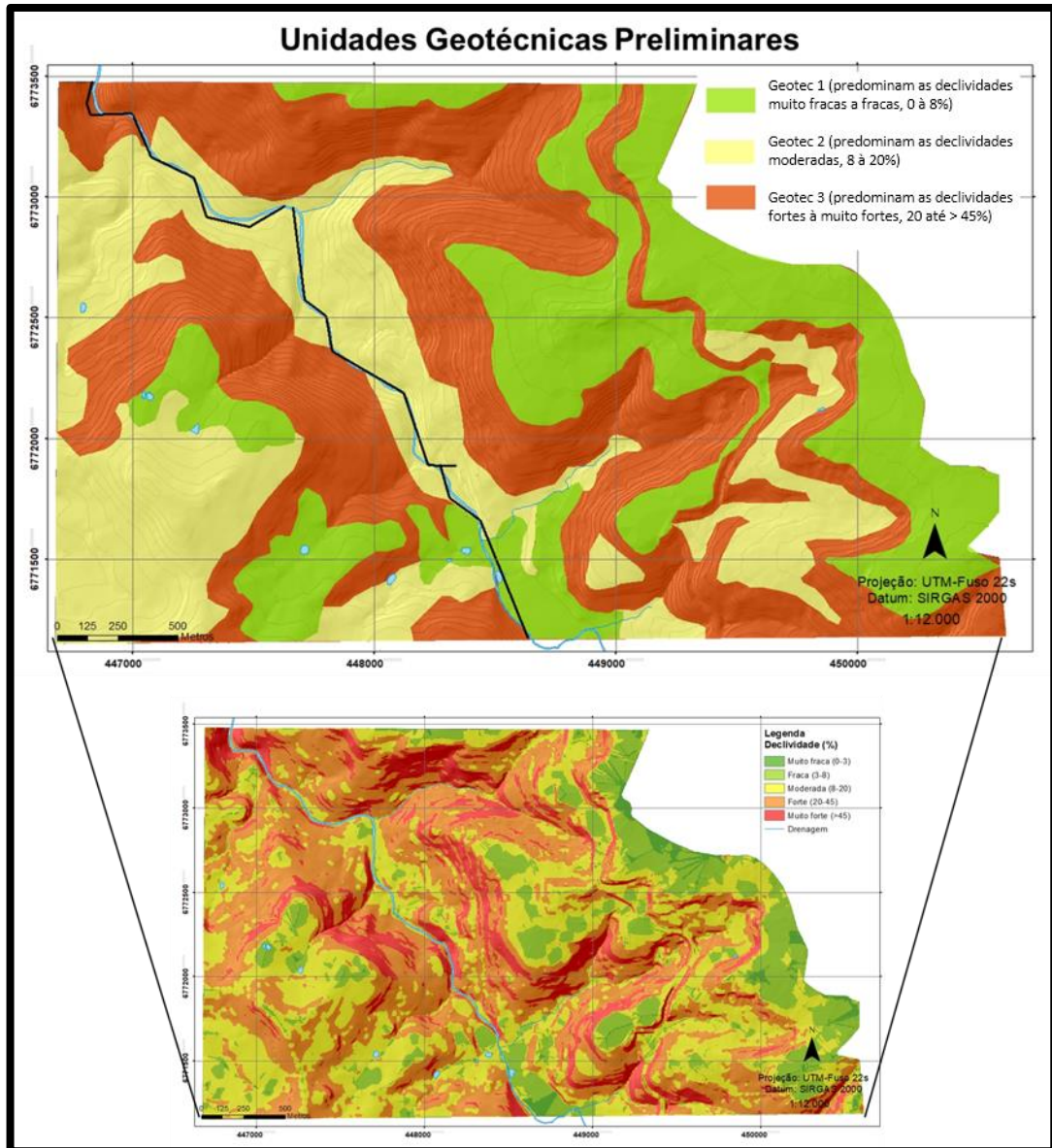


Figura 8.1 – Mapa de unidades geotécnicas preliminares. Geotec 1, Geotec 2 e Geotec 3. Detalhe do mapa de declividade da área de estudo.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram gerados produtos cartográficos de caráter regional para unidades geomorfológicas e morfoestruturais, também foram confeccionados mapas de altimetria, declividade e lineamentos sobre o MDE da área de estudo.

Um lineamento de médio porte F-F', provável falha, divide a área em duas unidades geomorfológicas denominadas: (a) Gm1 de morfologia dissecada, com lineamentos de densidade alta, verificando a predominância de vertentes retilíneas com declividade média a forte com topos de morros tabulares a convexos; (b) Gm2 com morfologia aplainada e com lineamentos de densidade relativamente baixa, verificando a predominância de vertentes côncavas e convexas com média declividade e topo de morros tabulares a convexos.

As inspeções ao campo permitiram a identificação de 3 litotipos: DVA (dacito com vesículas/amígdalas), rochas associadas às porções de base e topo das unidades vulcânicas ácidas; DF (dacito textura fina), rochas associadas às porções centrais dos depósitos; DM (dacito equigranular textura média sal-pimenta), rochas associadas também às porções centrais dos depósitos.

Foram também classificados os seguintes materiais geotécnicos: (1) solos muito plásticos, associados ao litotipo DVA; (2) solos pouco plásticos a plásticos, associados aos litotipos DF e DM.

Conclui-se que a repetição vertical de litofácies sugere sobreposição de unidades vulcânicas de arquitetura semelhantes. Mesmo que o modelo conceitual seja baseado principalmente em depósitos ignimbríticos é marcante a presença de depósitos de menor extensão com estruturas típicas de abertura de depósitos de domos de lava, que marcam a transição dos magmas do sistema de subsuperfície para um sistema de superfície por estruturas magmáticas verticais a subverticais que se expandem e tornam-se sub-horizontais e horizontais nas lavas.

O mapeamento geológico permitiu definir 7 unidades geológicas do tipo ignimbrítico (podendo conter domos de lava). Com relação aos limites entre as unidades é importante dizer que a repetição vertical de litofácies relacionadas à arquitetura dos corpos foi fundamental para a identificação de unidades ácidas sobrepostas, e observa-se também que o intenso intemperismo químico, comum

no clima holocênico na região sul do Brasil, suavizou as quebras de relevo criando topografia ondulada e colinosa.

Sobre cada unidade geológica conclui-se que: geralmente, nas menores cotas se encontram rochas avermelhadas do tipo DVA, correspondentes à zona basal; nas cotas medianas se encontram as rochas cinza-claro DM e/ou as rochas cinza-escuro DF (observadas principalmente nas unidades 2 e 3), apresentando diaclases e estruturas horizontais (nas primeiras cotas) e diaclases verticais nas rochas maciças no restante da zona central; nas cotas altas se encontram também as rochas avermelhadas do tipo DVA, correspondentes à zona de topo, porém com espessuras menores que a basal.

A área de estudo foi dividida em 5 setores geomorfológicos (Gm1S, Gm1C, Gm1N, Gm1 Topo, Gm2) para análise do relevo a partir da relação entre depósitos vulcânicos ácidos, tipo de vertente e movimentos de massa.

A partir da análise da forma das vertentes e principalmente sua declividade, se definiu 3 unidades geotécnicas preliminares (Geotec1 Geotec2 e Geotec3), em que predominam as declividades muito fracas e fraca na Geotec 1, moderadas na Geotec 2 e fortes e muito fortes da Geotec 3.

Na região da área de estudo, sugere-se que a delimitação das unidades geotécnicas por tipos de vertente é um método adequado para mapeamentos de menor escala. Pois, para fins de setorização da área de estudo, uma maior variabilidade entre os materiais (rochas e solo) permite melhor estudo do comportamento geotécnico do relevo. Para esta conclusão é possível sugerir que a área contemplada pelo mapa de unidades geomorfológicas regionais (ver Figura 3.3), configura escala apropriada para tal metodologia.

Ampliando-se a área de estudo outras unidades geomorfológicas estariam incluídas, enriquecendo a quantidade de dados sobre forma de relevo, sobre litologias e sobre materiais geotécnicos.

Para o avanço de trabalhos geotécnicos na região e área de estudo recomenda-se:

- Que através de procedimentos adequados se busque a validação do lineamento F-F' como uma falha, identificando assim possível movimento vertical que possa ter soerguido a unidade Gm1, elevando, conseqüentemente, as unidades geológicas deste bloco;
- O mapeamento dos diferentes tipos de depósitos (ignimbríticos e dômicos de lava);

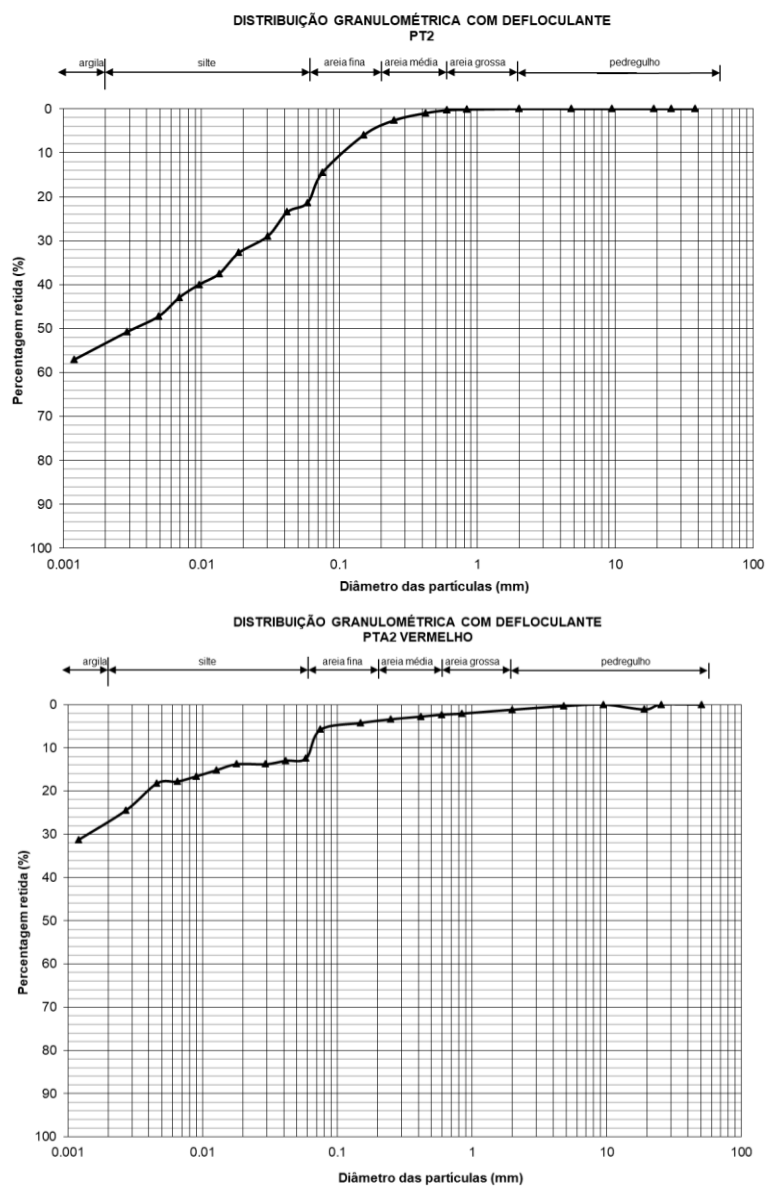
- Para enriquecer a descrição e análise geotécnica, a classificação das rochas através de FRX e diagrama de TAS, identificação de argilominerais dos materiais geotécnicos por DRX, ensaios de cisalhamento direto em amostras de solo;
- A descrição das unidades geotécnicas preliminares, delimitadas por intervalos de declividade,
- Recortes maiores para áreas de estudo que venham a utilizar a técnica aplicada neste trabalho.

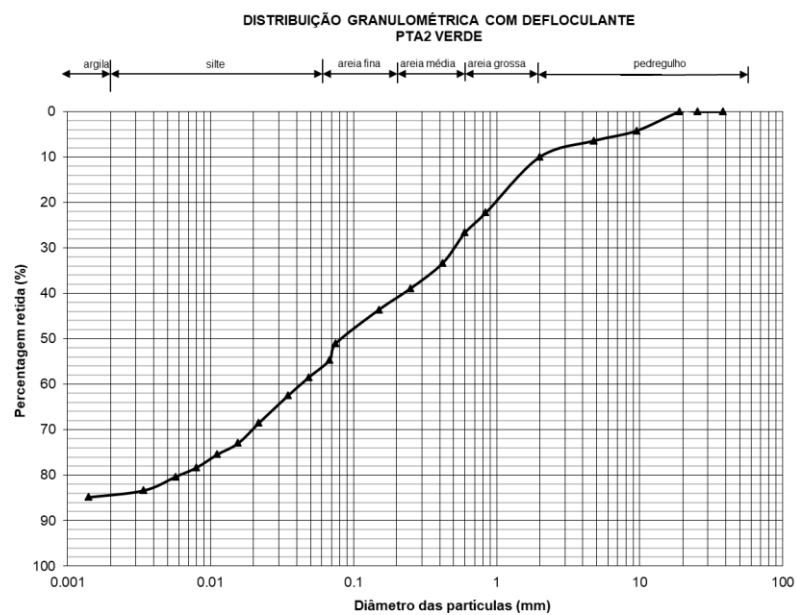
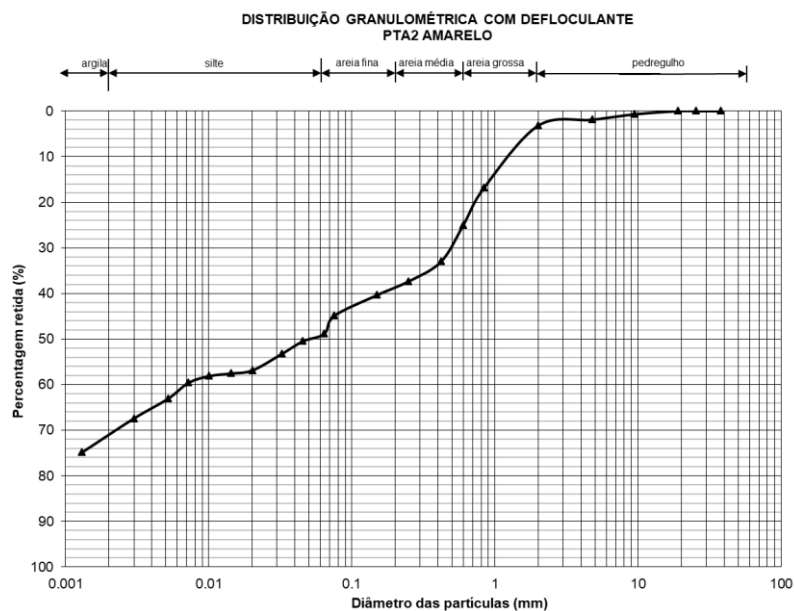
10 APÊNDICES

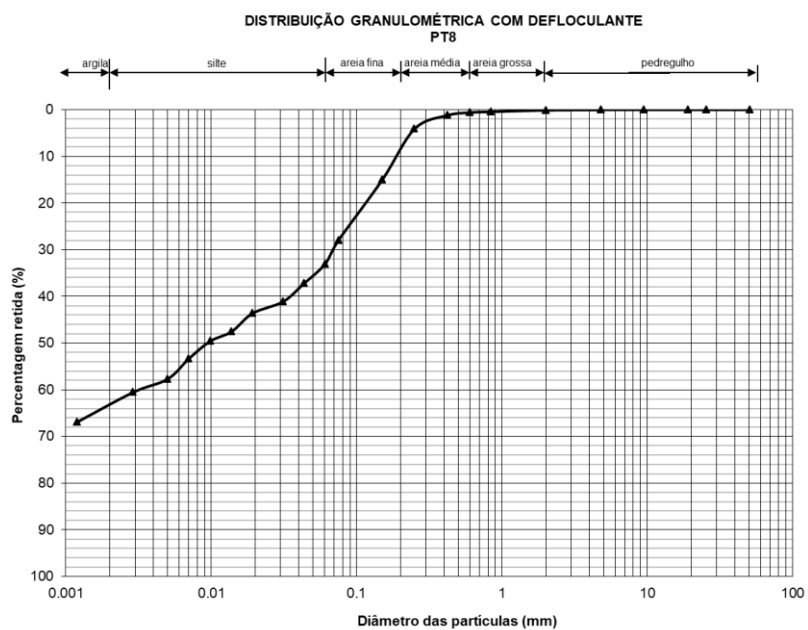
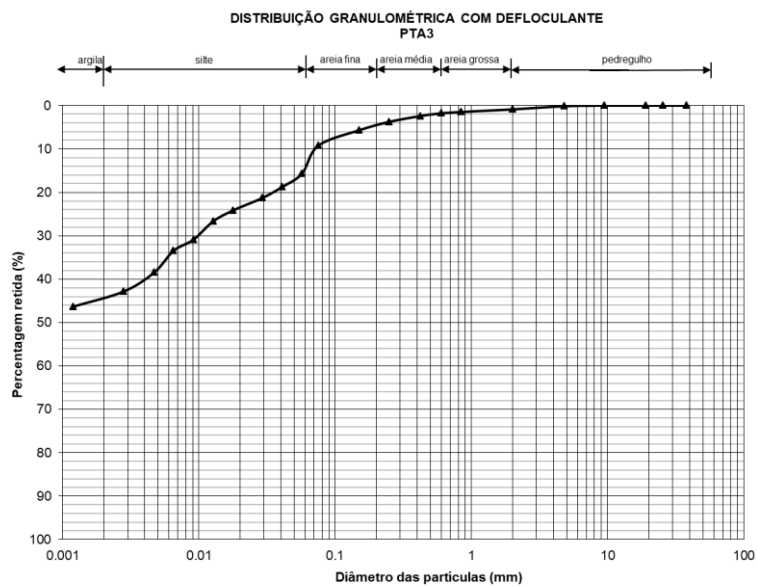
APÊNDICE A – PONTOS DE CAMPO

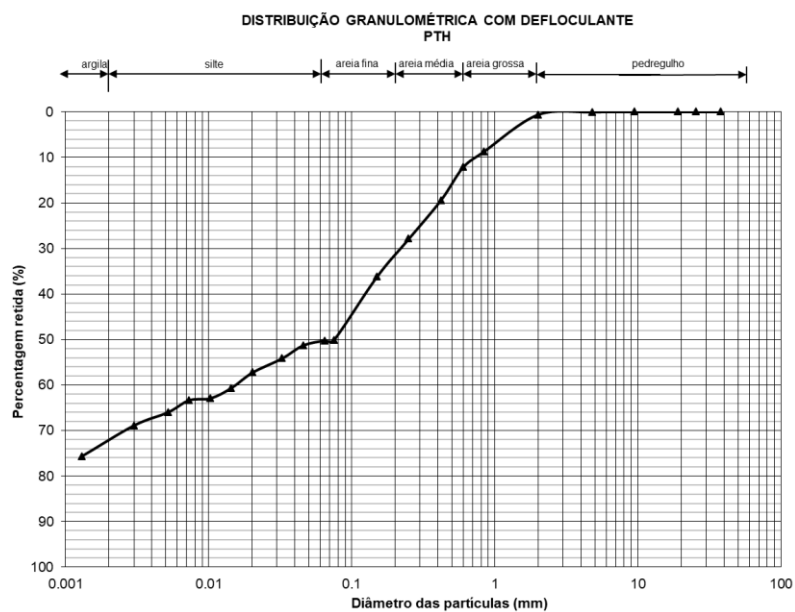
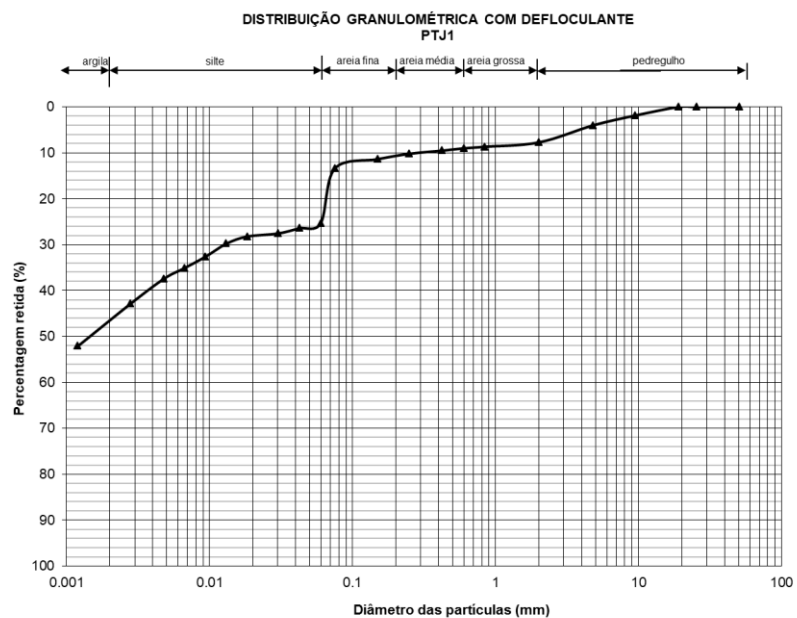
| PONTOS | COTA | AMOSTRAS ROCHA | AMOSTRAS SOLO |
|--------|------|---------------------|----------------------------------|
| PT1 | 500 | 01 | |
| PT2 | 489 | 02 | |
| PT3 | 609 | | |
| PT4 | 591 | | |
| PT5 | 579 | | |
| PT6A | 534 | | |
| PT6B | 537 | 06 | |
| PT6C | 523 | 06/2 | |
| PT7 | 644 | | |
| PT8 | 520 | | PT8 |
| PT9 | 492 | | |
| PT10 | 552 | | |
| PT11 | - | | |
| PT12 | 587 | | |
| PTA1 | 560 | A1 | |
| PTA2 | 565 | | PTA2 vermelho, verde, amarelo |
| PTA3 | 564 | | PTA3 |
| PTB1 | 529 | B | |
| PTB2 | 550 | B2 | |
| PTC | 497 | | |
| PTE | 444 | E | |
| PTG | 566 | G | |
| PTH | 624 | | PTH |
| PTI | 450 | | |
| PTJ | 503 | J | PTJ1 |
| PTK | 580 | K | |
| PT2* | 498 | 2*- 2? Vermellha | PT2 |
| PT8A | 521 | 8A | |
| PT10 | 552 | 10 | |
| PT14 | 567 | 14 | |

APÊNDICE B – ENSAIOS GEOTÉCNICOS (Granulometria por peneiramento e sedimentação)









REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre estabilidade de encostas, 1., Rio de Janeiro. **Anais**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: 1992b. v. 2, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. D. S.; BRITO, S. N. A. D. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. 2ª ed. São Paulo: ABGE, 2004. p. 243-269.

BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A. J.; PACCA, I. G.; PICCIRILLO, E. M.; STOLFA, D. Flood basalt to rhyolite suites in the southern Paraná plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. **Journal of Petrology**, v. 25, p. 579-618, 1984.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 1ª ed. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3, 1436 p.

BLOOM, A. L. **Superfície da terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

BRENDA, L. The influence of debris flows on channels and valley floors in the Oregon Coast Range, U.S.A. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 15, n. 5, p. 457-466, 1990.

BRYAN, S. E.; PEATE, I. U.; PEATE, D. W.; SELF, S.; JERRAM, D. A.; MAWBY, M. R.; MARSH, J. S.; MILLER, J.A. The largest volcanic eruptions on Earth. **Earth-Science Reviews**, v. 102, n. 3-4, p. 207-229, 2010.

BRESSANI, L. A.; COSTA, E. A. da. Cartas Geotécnicas aplicadas ao planejamento territorial – alguns ajustes no instrumento. In: 15º.Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2015, Bento Gonçalves. **Anais do 15º. CBGE**. SÃO PAULO: ABGE, 2015.

BRESSANI, L. A.; GUASSELLI, L.; HASENACK, H.; WEBER, E. J.; DANI, N.. **Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Igrejinha**, RS. 2014.

BRESSANI, L. A.; FLORES, J. A. A.; NUNES, L. F.. **Desenvolvimento de Estudos de Engenharia Geotécnica/Geologia com Vistas à Geração de Relatório e Mapa Geotécnico dos**

Solos e Rochas Superficiais da Área Urbana da Cidade de Caxias do Sul. Relatório final, Prefeitura Municipal de Caxias do Sul. RS. 2005

CASSETI, V.. **Geomorfologia.** [S.l.]: [1994]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/index.php>>. Acesso em 10 de julho 2017.

COROMINAS, J.; REMONDO, J.; FARIAS, P.; ESTEVÃO, M.; ZÊZERE, J.; DIAZ DE TERÁN, J.; DIKAU, R.; SCHROTT, L.; MOYA, J.; GONZÁLEZ, A. Debris flow. In: DIKAU, R.; BRUNSDEN, D.; SCHROTT L. (Eds.). **Landslide recognition: identification, movement and causes: identification, movement and courses.** New York: John Wiley, 1996. p. 29-42.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide Types and Processes. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Eds.), **Landslides: Investigation and Mitigation.** Transportation Research Board, Special Report 247, **National Academy Press**, Washington D.C., 1996. cap. 2, p. 36-75.

DALRYMPLE, J.B., BLONG, R.J., CONACHER, A.J.. A hypothetical nine unit landsurface model. *Z. Geomorphology*, 1968. p. 60-76.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. de P. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC. **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 57-73, 2002.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 29-77, 2012.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. E CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente.** 4ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003. cap. 3, p. 123-194.

FELL, R. *et al.* Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, p. 83-111, 2008.

FINK J.H., C.R. MANLEY. **Origin of pumiceous and glassy textures in rhyolite flows and domes.** *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 212 (1987), pp. 77-88

FLORES, C.A.; PÖTTER R.O.; SARMENTO, E.C.; WEBER, E.J. & HASENACK, H. **Os solos do Vale dos Vinhedos.** 2.ed. Brasília, Embrapa, 2012. 176p.

GARLAND, F.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M.S.M. Description and petrogenesis of the Paraná rhyolites (sic), Southern Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, p. 1193-1227, 1995.

GOLD, D. P. 1980. Structural Geology. In: Siegal, B. And Gillepsie, A. (ed.). **Remote Sensing in Geology**. New York: 419 – 485.

GORDON JR., M.. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Notas Preliminares e Estudos, **DNPM**. 1947. p. 1-20.

GUERRA, A. T. **Recursos naturais do Brasil. Rio de Janeiro**: IBGE, 1980. 220 p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

IBGE. 2009. **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598 ; n. 5)

INFANTI JÚNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos da dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. DOS S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. cap 9, p. 131-152.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Ocupação de Encostas**. São Paulo: IPT, 1991. 216 p.

JUSTOS, J. O.; MACHADO, M. L. A.; FRANCO, M. S. M. 1986. **Geomorfologia**. In: IBGE. 1986. Levantamento dos recursos naturais. Rio de Janeiro, RJ: IBGE. v.33, cap. 2, p.313-388.

LACERDA, W. A.; SANDRONI, S. S. Movimentos de massa coluviais. In: Mesa redonda sobre os aspectos geotécnicos de encostas. Rio de Janeiro. **Atas...** Rio de Janeiro: Clube de Engenharia, 1985. p. 111-119.

LEINZ, V.; AMARAL, S.E.. **Geologia Geral**. 80 Ed. Cia Ed. Nacional. São Paulo. 1980. 397p.

LIMA, E., Philipp, R., Rizzon, G., Waichel, B., & Rossetti, L. (2012). Sucessões vulcânicas, modelo de alimentação e geração de domos de lava ácidos da Formação Serra Geral na região de São Marcos-Antônio Prado (RS). *Geologia USP. Série Científica*, 12(2), 49-64. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2012000200004>

KING, L.C. (1962). **The morphology of the earth**, 1st edn. Oliver and Boyd, Edinburgh, 699 p.

MCPHIE, J. DOYLE, M.; ALLEN, R. **Volcanic Textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks**. Hobart: University of Tasmani, 1993.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco, 2013. Disponível em: <
<http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/mapeamento/mapeamento-grafica.pdf>> . Acesso em: 5 de maio de 2017.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F. 2008. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**. 38(1): 178-195.

NORONHA, F. L.; BRESSANI, L. A.; MIZUSAKI, A. M. P.. **O mapeamento geológico-geomorfológico como uma ferramenta para obtenção de informações geotécnicas preliminares: estudo de caso na área urbana de Santa Cruz do Sul (RS, Brasil)**. Pesquisas em Geociências, v. 39, p. 127-145, 2012.

NUMMER, A.R., MACHADO, R., JACQUES, P.D. **Tectônica transcorrente mesozoica/cenozoica na porção leste do Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil**. Pesquisas em Geociências, 41 (2): 121-130, maio/ago. 2014.

O'LEARY, D.W., FRIEDMAN, J. D., AND POHN, H. A., 1976: Linear, lineation, lineation: some proposed new standards for old terms. **Bull of the Geological Society of America**, v. 87. 1463-1469.

PEATE D.W. 1997. The Paraná-Etendeka Province. In: Mahoney J.J., Coffin M.F. (eds.) Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism. Geophysics Monography Series, 100, p. 217-245.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): Classification of magma types and their spatial distribution**. **Bull. Volcanol.**, Napoli, v. 55, p. 119-139, 1992.

PINTO, C.de S.. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RADAMBRASIL. 1986. Folha SH. 22 Porto Alegre e Parte das Folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. **Levantamento de Recursos Naturais**, Vol. 33.

ROISENBERG, A. (1989). Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná. Porto Alegre, 285p. (Tese – Doutorado) Instituto Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

ROSSETTI L., LIMA E.F., WAICHEL B.L., SCHERER C.M.S., BARRETO C.J. 2014. Stratigraphical framework of basaltic lavas in Torres Syncline main valley, Southern Paraná-Etendeka Volcanic Province. *Journal of South American Earth Sciences*, 56:409-421

ROSSETTI L., LIMA E. F., WAICHEL B. L., HOLE M. J., SIMÕES M. S., SCHERER C. M. S.. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group. Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. **J. Volcanol. Geotherm. Res.** 8 maio 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>>. Acesso em: 18 set. 2018.

SARMENTO, E. C.; GIASSON, E.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; ROSSITER, D. G.; HASENACK, H.. Caracterização de mapas legados de solos: uso de indicadores em mapas com diferentes escalas no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 38, p. 1672-1680, 2014.

VALENTE, A. L. S.. **Integração de dados por meio de Geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a paisagem urbana: o caso de Porto Alegre (RS)**. 1999. Tese de Doutorado. PPGEM- UFRGS. Porto Alegre. 323 p.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata**: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2010.

VALERIANO, M. M.. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, SP: **INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais** (INPE-15318-RPE/818). 72p., 2008.

VARNES, D. J. Slope movement and types and process. In: SCHUSTER, R. L. KRIZEK, R. J. (Orgs.) **Landslides: Analysis and control**. Washinton D.C.: National Academy Press, 1978. cap. 2, p. 11-33.

ZALÁN, P.V., WOLFF S., CONCEIÇÃO J.C., MARQUES A., ASTOLFI M.A.M., VIEIRA I.S. & APPI V.T. 1990. **Bacia do Paraná**. In: Origem e evolução de Bacias Sedimentares. Petrobrás, Rio de Janeiro, p. 135-164.

ZALÁN, P.V., WOLFF S., CONCEIÇÃO, J.C.J., ASTOLFI, M.A.M., VIEIRA I.S., APPI, V.T. ZANOTTO, O.A. & MARQUES, A. 1991. **Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin**. In: GONDWANA SYMPOSIUM, 7: São Paulo, Brazil, Proceedings..., São Paulo, p. 83-117.

WAICHEL, B. L.; LIMA, E. F.; LUBACHESKY, R.; SOMMER, C. A. Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts. **Bulletin of Volcanology**, v. 68, p. 599-610, 2006.

WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E.T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 2^a ed. Brasília: CPRM, 2009. 515 p.