

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

SERRA DE BOTUCATU: ANÁLISE DA ESTRUTURA DO *TRAPP* BASÁLTICO E
SUAS IMPLICAÇÕES DE NATUREZA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

ERIKA SCHUMACHER SANCHEZ

Dissertação apresentada ao Programa de Geoquímica e
Geotectônica para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de concentração: Geotectônica

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

SÃO PAULO
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:
Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

SCHUMACHER SANCHEZ, ERIKA

SERRA DE BOTUCATU: ANÁLISE DA ESTRUTURA DO TRAPP
BASÁLTICO E SUAS IMPLICAÇÕES DE NATUREZA GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICA / ERIKA SCHUMACHER SANCHEZ; orientador
MARCOS EGYDIO DA SILVA. -- São Paulo, 2023.

113 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Geoquímica e Geotectônica) -- Instituto de
Geociências, Universidade de São Paulo, 2023.

1. . I. EGYDIO DA SILVA, MARCOS, orient. II.
Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

SERRA DE BOTUCATU: ANÁLISE DA ESTRUTURA DO *TRAPP* BASÁLTICO E
SUAS IMPLICAÇÕES DE NATUREZA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

ERIKA SCHUMACHER SANCHEZ

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

Dissertação de Mestrado

Nº 899

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Marcos Egydio da Silva

Dr. Edilson Pizzato

Dra. Joana Paula Sanchez

SÃO PAULO

2023

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação, esse pedaço de texto sobre um lugar, àquelas e àqueles que habitavam esta região, e que a conheciam profundamente, para muito além do que possa estar aqui observado.

AGRADECIMENTOS

Essa dissertação é uma construção lenta entre os anos de 2021 e 2022, período intenso, de morte e vida, em que o mundo enfrentou a pandemia de Covid-19 e, em muitos sentidos, precisou desacelerar. Às pessoas que se fizeram presentes durante este período, trazendo força, trocas interessantes, esperança e alegria: minhas amigas-irmãs de geologia Natasha, e Ana, Nathalie, Denise, Aline e Erika de samba, e companheiras dos tempos de república Baba e Archana.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer uma troca através de conversa em que um conhecido tupinambá me falava sobre o nome Ybycatu, que o prefixo Y - 'água' traz consigo a sabedoria ancestral na palavra, de um período de grandes inundações antes dos humanos habitarem o planeta, revelando um conhecimento 'geológico' profundo e que antecede quaisquer publicações: o conhecimento da oralidade, pois é necessário descolonizar o imaginário e respeitar os saberes e os povos ancestrais, que permitiram e permitem que as paisagens naturais dos territórios sigam preservadas.

Às pessoas que me motivaram a iniciar um mestrado, gostaria de agradecer especialmente ao Werner, pelas 'cobranças' e discussões sobre temas, ideias... e ao professor Sadowski pelas sempre ricas conversas e discussões em campo, fora de campo, e a coordenação não formalizada, pessoas que encontrei desde o início da trajetória profissional, com as quais muito aprendo, e que sobretudo incentivaram a curiosidade, que também levou à elaboração deste projeto.

Meus agradecimentos: à Vecttor Projetos na figura de cada pessoa, por ser casa de muito aprendizado ao longo dos anos e que possibilitou o contato com a área de estudo e surgimento de interesse de pesquisa, bem como ao Lucas, parceiro em alguns campos; ao meu orientador o professor Egydio, um botucatuense, pela orientação e reencontro em mais esta etapa acadêmica.

Por fim, agradeço ao meu companheiro de caminhada Robson pela parceria e amor compartilhados, à minha Oma e falecido Opa sempre presente, mãe, família, e à revolução de origem e identidade através do encontro com meu tio Juan. Anhankatú.

'A montanha que se levanta da Terra sobre as águas,
Ybycatu'

RESUMO

A Serra de Botucatu representa feição importante do relevo de *cuestas* basálticas, tendo sido local de referência a estudos clássicos nos campos da geomorfologia e geologia da porção oeste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. Representa divisor topográfico entre as grandes bacias dos rios Tietê a norte, e Paranapanema a sul, por onde percorrem e nascem alguns de seus afluentes. Parte da área de proteção permanente (APA) Corumbataí-Botucatu-Tejupá (lei nº 6.336) hoje em desmembramento, apresenta coberturas vegetais densas ao longo de suas escarpas previstas como faixa de proteção pelo zoneamento urbano do município, e é área de recarga do Aquífero Guarani, fonte de segurança hídrica nacional e internacional. Essa feição de relevo é sustentada pelo *trapp* de derrames basáltico Serra Geral, e *intertrapps* de arenitos eólicos sobre a sucessão sedimentar Botucatu-Pirambóia. Essa intercalação é responsável pelo condicionamento geológico-geotécnico ao longo de toda a serra, em especial na ‘seção’ ao longo do traçado da rodovia SP-300 - Marechal Rondon, em uma área mapeada de 15,7 km², em escala de detalhe 1:10.000. Ao longo dos taludes de corte expostos nos principais acessos, afloramentos, encostas naturais e drenagens podem ser verificadas as relações tectonoestratigráficas entre rochas basálticas e arenitos em contatos irregulares, interrupções por falhamentos, e derrames sobre paleotopografia, que permitem identificar número e espessura de derrames, a natureza geológica-geotécnica destes contatos, bem como relevantes feições decorrentes de processos erosivos e mecanismos de movimentos de massa gravitacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia do Paraná; Serra de Botucatu; Botucatu; *cuеста*; *trapp* basáltico; *intertrapp*; *interbeds*; Formação Serra Geral; Formação Botucatu; Formação Pirambóia; Aquífero Guarani; Gigante Guarani; área de proteção ambiental; mapa geológico; mapa geotécnico.

ABSTRACT

The Botucatu mountain range represent an important feature of the basaltic *cuesta* relief, reference location for classical geological and geomorphological studies of the Paraná Basin at western São Paulo. It is the topographic divisor of Tiete, north, and Paranapanema, south, main river basins, spring location of some of their affluents. With a dense vegetation cover at its cliffs predict at the urban municipal zoning, it is part of the Corumbataí-Botucatu-Tejupá environmental protection area (law nº 6.336), in dismemberment process, and recharge area for the Guarani Aquifer that guarantees national and international hydric security. This mountain range is sustained by the Serra Geral basaltic trapp and aeolian sandstones intertrapp above the Botucatu-Pirambóia sedimentary succession, conditioning the geological-geotechnical behavior along SP-300 - Marechal Rondon main railroad alignment and other accesses at a 15,7 km² area mapped in a 1:10.000 scale. Natural and cutting slopes along its main accesses, outcrops and drainage patterns reveal the local tectonostratigraphic relation of basalts and sandstones, width and number of lava flows, the geological-geotechnical nature of its contact, so as relevant erosional and gravitational mass movement features.

KEY-WORDS: Paraná Basin; Botucatu mountain range; Botucatu; *cuesta*; basaltic trapp; intertrapp; interbeds; Serra Geral Formation; Botucatu Formation; Pirambóia Formation; Guarani Aquifer; Gigante Guarani; environmental protection area; geotechnical map.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Localização	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Materiais e Métodos.....	3
2. REVISÃO CONCEITUAL E FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Contexto Geológico Regional	5
2.1.1. Trabalhos clássicos na região da Serra de Botucatu.....	7
2.2. <i>Trapp</i> Basáltico e <i>Intertrapp</i>	13
2.3. A Sucessão Sedimentar Pirambóia – Botucatu	18
2.4. Evolução Geomorfológica e Formas de Relevo na Região da Serra de Botucatu.....	19
2.4.1. Formas de relevo.....	20
2.5. Mapas e cartas geotécnicas de detalhe e semidetalhe disponíveis.....	24
3. RESULTADOS.....	29
3.1. Amostragem.....	29
3.2. Análise do Relevo e Condicionamento Estrutural da Área de Estudo	30
3.3. Descrição dos Litotipos na Área de Estudo	33
3.3.1. Rochas basálticas da Formação Serra Geral	33
3.3.2. Arenitos da Formação Botucatu e <i>intertrapps</i>	34
3.3.3. Arenitos da Formação Pirambóia	35
3.4. O <i>Trapp</i> Basáltico, <i>Intertrapp</i> e Suas Relações de Contato.....	35
3.4.1. Seção ao longo da Rodovia SP-300.....	37
3.4.2. Estradas de acesso e vale ao topo da Serra	45
3.4.3. Vale localizado na porção de topo da serra.....	48
3.4.4. Região estrada de ferro Sorocabana -derrame sobre Pirambóia	50
3.4.5. Contato Botucatu-Pirambóia.....	52

3.5. Aspectos geotécnicos.....	56
3.5.1. Perfis de alteração de rocha e solos residuais.....	56
3.5.1.1. Solos residuais das rochas basálticas.....	56
3.5.1.2. Solos residuais de arenitos.....	59
3.5.2. Feições erosivas e movimentos de massa gravitacionais ao longo da serra	60
3.5.3. Mapeamento e zoneamento geológico geotécnico	68
4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	73
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICE I - MAPA DE PONTOS	81
APÊNDICE II - MAPA HIPSOMÉTRICO.....	83
APÊNDICE III - MAPA DE DECLIVIDADES	85
APÊNDICE IV - MAPA GEOLÓGICO.....	87
APÊNDICE V - MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de projeto no município de Botucatu, São Paulo, em diferentes escalas: (dir. superior) – localização em relação ao mapa estadual, e do município (hachura vermelha); em relação ao mapa de zoneamento do município (dir. inferior); e detalhe para a delimitação da área (esq.) ; Sistema de Projeção Cartográfica UTM, <i>datum</i> SIRGAS 2000, fuso 22S, para a grade nacional, Sistema de Coordenadas Geográficas – WGS84.	2
Figura 2 - Recortes (esq.) do mapa geológico da Folha Bauru (modificado de Landim, 1964), escala 1:250.000, e (dir.) do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de São Paulo (modificado de Perrota <i>et al.</i> , 2005), escala 1:750.000, com descrições das unidades geológicas conforme referências, e indicação da área de projeto e principais acessos/ vias.....	6
Figura 3 - Carta estratigráfica proposta por e modificada de Almeida e Barbosa (1953).	9
Figura 4 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná; traduzido e modificado de Sandford e Lange (1960).	10
Figura 5 – Seção-tipo da Formação Pirambóia ao longo do traçado da rodovia SP-300 de Botucatu a Conchas proposta por Soares (1973); modificada de Soares (1975).	11
Figura 6 - Ponto B3: afloramento de basalto sobre de arenito; altitude de ~592m....	13
Figura 7 - Ponto B3; contato entre dois níveis de rocha da Fm. Pirambóia. Na porção basal do corte, ocorre arenito bege rosado abaixo de camada de siltito de coloração amarronzada.	13
Figura 8 - Seção esquemática da estrutura de um derrame; extraído de Leinz (1949).	14
Figura 9 – Preenchimento pela lava de paleotopografia com condicionamento estrutural por falhamentos na região de Pedra, município de Araranguá, Santa Catarina; modificado de Leinz (1949).....	15
Figura 10 - Compilação de figuras a partir de Waters (1960) de afloramento apresentando porções de derrames de lavas com diferentes comportamentos estruturais das disjunções colunares.	16
Figura 11 - Perfil esquemático das estruturas em derrames basálticos de Long & Wood (1986), <i>apud</i> Sadowski, 2012; extraído de Sadowski (2012).	16

Figura 12 - Junta-falha em corte de basalto com faixa de preenchimento centimétrico argiloso, em destaque pelas setas amarelas; extraído de Sadowski (2012).	17
Figura 13 – Seção geológica esquemática de Fernandes <i>et al.</i> (2006) mostrando as fácies do recobrimento basáltico na Formação Botucatu, evidenciando a percolação de água pelos sistemas de fratura.....	18
Figura 14 – Ilustração em perspectiva da atuação de processos erosivos e suas feições e impactos em exemplo de talude de corte e aterro de pista existente; modificado de DER (1991).....	22
Figura 15 – Exemplos de vossorocas apresentados por Carneiro (2007) para os pontos C1 e C2 da Tabela 1.....	22
Figura 16 - Encostas em degrau características do relevo da faixa de afloramento da Fm. Pirambóia em São Paulo (Rod. Castello Branco); extraído de Soares (1973). .	23
Figura 17 – Mapa de pontos para o limite da área mapeada com indicação das seções A, B e 1, e regiões de referência às descrições de relações tectonoestratigráficas ao longo da serra.....	30
Figura 18 – Mapa hipsométrico obtido do MDE, com indicação dos lineamentos interpretados sobre imagem de satélite (<i>Google Satellite</i>).	31
Figura 19 – Mapa de declividades sobre imagem de satélite (<i>Google Satellite</i>) obtido de MDE, indicação da rodovia SP-300 e seus pontos de quilometragem de referência, principais acessos e lineamentos interpretados.	32
Figura 20 – Amostra de mão de basalto vesicular/ amigdaloidal de topo de derrame.	33
Figura 21 - Amostra de mão de basalto/ microgabro da porção maciça interna aos derrames.....	33
Figura 22 – Exemplo de estratificação cruzada em afloramento entre os km 237 e 236 da rodovia SP-300 (~ponto 67; UTM 7461238.63 N/ 770739.60 E).	34
Figura 23 – afloramento de arenito silicificado com preservação da estratificação original da rocha (ponto 243; UTM 7462110.96 N/ 770815.39 E).....	34
Figura 24 - Mapa geológico do <i>trapp</i> basáltico da Serra de Botucatu em escala 1:10.000, elaborado pela autora.	36
Figura 25 - Vista para a configuração de platôs e escarpas para relevo mais baixo colinoso, a partir do topo do corte do km 239 da rodovia SP-300 para a configuração em platôs e escarpas a jusante (ver seção esquemática da Figura 31).	37

Figura 26 - Vista para o topo da Serra de Botucatu e destaques para contatos entre dois derrames, separados por porções de basalto vesicular/ amigdaloidal, e o contato com arenito eólico com injeção de rocha basáltica nos cortes laterais à pista sentido Botucatu; configuração em platôs e presença de morro testemunho de arenito na porção inferior à pista; região do km 239 da rodovia SP-300.....	38
Figura 27 - Derrames sobrepostos na região A do km 239 da SP-300.	38
Figura 28 – Porção intermediária do corte onde observado contato entre dois derrames, identificado por camada de até 1m de espessura vesiculada, delimitada por tracejado magenta, alterada em muitas porções a argila siltosa de cor marrom escura, sob horizonte de basalto em maciço fraturado (ponto 77; UTM 7460266.77 N/ 769472.651 E).....	39
Figura 29 - Detalhe da ‘faixa’ de basalto, com afinamento de espessura até interrupção à dir. da imagem, entre arenito Botucatu; vista a partir de estacionamento da capela São Cristóvão (ponto 55; UTM 7460300.78 N/ 769651.87 E).	40
Figura 30 – Croqui esquemático - seção longitudinal 1 pela pista na região do km 239, revelando o contato irregular de 2 derrames de basalto sobre arenito, aflorante em curva fechada no local.	41
Figura 31 – Seção esquemática AA’, transversal ao km 239 da rodovia SP-300, e modelo interpretado para as intercalações e interrupções de contatos entre basaltos e arenitos.....	41
Figura 32 - Faixa de afloramento contínua em rocha basáltica/ diabásio, em orientação aproximadamente E-W em platô da Figura 31 (ponto 31; UTM 7460126.86 N/ 769457.93 E).....	42
Figura 33 - Vista para contato de basalto sobre arenito na cota ~770m (ponto 88; UTM 7460004.23 N/ 769671.88 E).	42
Figura 34 – Vista para ‘quebra’ de relevo observada na face SW de morro alongado na região do km 239, sugestiva da posição de contato de basalto sobre arenito.	43
Figura 35 – Vista frontal de ponto de contato de basalto sobre arenito na região do km 238 da SP-300; notar presença de faixa de solo marrom arroxeadado escuro diretamente sobre o arenito fraturado alaranjado, sobre o qual ocorre camada de blocos de basalto fraturados parcialmente envoltos em solo residual evidenciando se tratar de porção mais maciça do derrame (ponto 48; UTM 7461077.51 N/ 769975.34 E).	44

Figura 36 - Contato de basalto sobre arenito em curva fechada do km 236 (sup. Ponto 69, UTM 7461262.16 N/ 770744.64 E); inf. Ponto 67, UTM 7461211.98 N/ 770802.55 E).	45
Figura 37 – Cortes em perfil de alteração misto em solo residual e blocos arredondados de basalto (ponto 183; UTM 7462126.85 N/ 769593.39 E).	46
Figura 38 – Padrão escalonado de rupturas em solos residuais de basaltos ao longo das encostas na região de topo da serra.....	46
Figura 39 - Perfil de alteração em topo de derrame em estrada de acesso às fazendas pelo alto da serra (ponto 216, UTM 7461729.14 N/ 768589.20 E).	47
Figura 40 - Contato basalto sobre arenito apresenta contato irregular sobre arenito – contato em estrada de acesso às fazendas pelo topo da serra (ponto 185; UTM 7462188.88 N/ 769720.43 E).....	47
Figura 41 - Contato basalto sobre arenito apresenta contato irregular sobre arenito – contato em estrada de acesso às fazendas pelo topo da serra (ponto 201; UTM 7462146.14/ 769098.56 E).	48
Figura 42 – Vista para o vale localizando na porção de topo da serra, região de ocorrência de encosta em arenito recoberta por derrame basáltico, e sobre drenagem em basalto (vista a partir do ponto 193; UTM 7462125.50 N/ 70085.02 E).	48
Figura 43 – Trecho da encosta em arenito, com coberturas coluvionares de solos arenosos, sulcos e ravinamentos (ponto 243; UTM 7462110.96 N/ 770815.39 E)...	49
Figura 44 - ‘Paredão’ em basalto – possivelmente antiga pedreira; perfil de basalto com disjunções colunares (ponto 104; UTM 7462080.29 N/ 770912.66 E).	50
Figura 45 – Padrão de relevo baixo na região de alinhamento da ferrovia Sorocabana.	50
Figura 46 - Basalto sobre arenito mal selecionado bege, região da ferrovia.	51
Figura 47- Arenito pouco argiloso esbranquiçado, fino, com estratificação plano paralela e descontinuidades subverticais exposto em cortes ao longo da ferrovia (ponto 127; UTM 7462442.62 N/ 770766.94 E).	51
Figura 48 – Padrão de estratificação característico observado em região de afloramento da Fm. Pirambóia (recorte de imagem Google Satellite).	52
Figura 49 - Afloramento de solos residuais de arenitos eólicos da Fm. Botucatu em estrada de acesso local sentido córrego do Alambari (ponto 274; UTM 7460831.36 N/ 771030.62 E).	53

Figura 50 – Transição para arenito com estratificação plano-paralela esbranquiçado (ponto 277; UTM 7460739.96 N/ 771078.75 E).....	54
Figura 51 – Intercalação de arenito alaranjado eólico, sobre segundo nível de arenito com estratificação plano-paralela esbranquiçado (próximo ao ponto da figura anterior).	54
Figura 52 - Fotografias com vista em planta e perspectiva de superfície de camada de arenito Pirambóia com traços de sistema de descontinuidades subverticais, bem como padrões de oxidação/ laterização formando manchas avermelhada.....	55
Figura 53 – Seção geológica B transversal à serra desde a região a norte da ferrovia, até as colinas baixas da porção sudeste da área.....	55
Figura 54 - Corte recuado à pista, em solo de alteração de topo de derrame basáltico, próximo ao km 239 da SP-300.	57
Figura 55 - Topo de derrame corte em rocha km 239, em perfil de alteração de solo de alteração de basalto vesicular vermelho, arenoso, sendo possível a identificação de ‘pontos’ brancos que correspondem às amígdalas (ponto 2; UTM 7460238.457 N/ 769308.857E).....	57
Figura 56 - Solo de alteração argiloso marrom escuro envolvendo blocos arredondados com evidente processo de esfoliação esferoidal.	58
Figura 57 - Exemplo de cobertura destes solos, em horizonte superficial mais evoluído no perfil de alteração.	58
Figura 58 - Expressão das vossorocas V1 e V2 em alinhamentos N45 e N275, respectivamente; regiões de topo de derrames no alto da serra, região dos km 239 e 238 da rodovia SP-300, sobre solo residual vermelho arenoso de basalto vesicular/ amigdaloidal; data das imagens indicadas, obtidas através do <i>software Google Earth</i>	61
Figura 59 - Perfil ‘transversal’ da vossoroça do km 239, hoje sob coberturas vegetais agrícolas, desenvolvida em solo de alteração arenoso avermelhado de topo de derrame basáltico.....	61
Figura 60 – Fotografia aérea de levantamento 1962 mostrando início de formação das vossorocas V1 e V2.	62
Figura 61 – Vista geral para alinhamento em arenito Botucatu exposto, com assoreamento formando canal de drenagem localizado (ponto 270; UTM 7460981.41 N/ 770839.74 E).	63

Figura 62 – Detalhamento do leito arenoso extenso da figura anterior, sobre região de afloramento dos arenitos Botucatu (Ponto (ponto 272; UTM 7460980.94/ 770859.74 E).	63
Figura 63 - Vistas para afloramento/ corte em estrada de acesso às fazendas da porção baixa a sudeste da área, em arenito e solos de alteração da Formação Botucatu com intenso processo de ravinamento e série de rupturas em solo (ponto 268; UTM 7461093.456 N/ 770863.615 E).	64
Figura 64 – Cicatriz de ruptura em perfil de alteração de rocha basáltica lateral à ferrovia Sorocabana (ponto 148; UTM 7462511.79 N/ 770469.376 E).....	64
Figura 65 – Corte em estrada de acesso na porção de topo da serra, em perfil de alteração de basalto misto em solo e blocos de rocha (ponto 177; UTM 7462386.72 N/ 769483.16 E).....	65
Figura 66 – Vista em perspectiva para o corte lateral à pista no km 239 apresentando tratamento com aplicação de grampos e proteção por tela; imagem obtida através do <i>Google Street View</i> , acesso em 09.01.23.....	66
Figura 67 – Depósito de tálus (esq.) e massas coluvionares (dir.) sobre arenitos esbranquiçados da Formação Pirambóia ao longo da ferrovia Sorocabana (proximidade do ponto 154; UTM 7462483.87 N/ 770283.70 E).....	66
Figura 68 – Área alagável na região de contato de basalto/ massas coluvionares de basalto sobre arenitos Pirambóia, na região da ferrovia (proximidade do ponto 111; UTM 7462222.35 N/ 771190.10 E).	67
Figura 69 – Talude em arenitos eólicos abaixo de dois derrames sob nível da pista na região do km 239.	68
Figura 70 – Mapa geológico-geotécnico da região da Serra de Botucatu em escala 1:10.000 elaborado pela autora.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese descritiva dos pontos visitados por Carneiro (2007).	12
Tabela 2 - Tipos de contato Botucatu-Pirambóia observados de acordo com referências bibliográficas.....	19
Tabela 3 - Condições limitantes das bases topográficas à elaboração das cartas de declividade; extraído de Zuquette e Gandolfi (2004).....	25

1. INTRODUÇÃO

A Serra de Botucatu constitui importante feição geomorfológica do relevo de *cuestras* basálticas no Estado de São Paulo, da erosão diferencial entre os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu, além de representar área de recarga do mais importante sistema aquífero do sudeste brasileiro: o aquífero Guarani, reserva que abastece e garante segurança hídrica de diversos municípios.

Diversos trabalhos clássicos de natureza geológica na região da Serra já observavam a intercalação de derrames basálticos com os arenitos Botucatu, trabalhos estes que remontam ao período pré-República.

As observações através dos mapeamentos geológicos realizados na região permitiram um detalhamento destas intercalações como também a verificação/comprovação de interrupções destas intercalações associadas às estruturas regionais, a identificação de superfícies de contato irregulares ao longo de paleotopografia, ideia das espessuras dos derrames, presença de morros testemunho dos arenitos Botucatu, além da identificação de processos de movimentos de massa e erosivos nestas unidades, que serão apresentados na forma gráfica de mapa geológico e carta geotécnica, e apresentados ao longo do texto.

1.1. Localização

A área estudada está localizada no município de Botucatu, porção oeste do Estado de São Paulo, parte da Serra ou *Cuesta* de Botucatu. A Figura 1 contém indicação da área, em diferentes escalas, limitada pelos vértices: 7463000N/ 768000E - 7463000N/ 772000E - 7459500N/ 768000E - 7459500N/ 772500E (*datum* SIRGAS 2000, zona 22S) e totalizando aproximadamente 15,7 km², a sudeste das áreas que compõem o zoneamento urbano do município (Lei nº 6.336, Affonseca, 2022, Anexo 1).

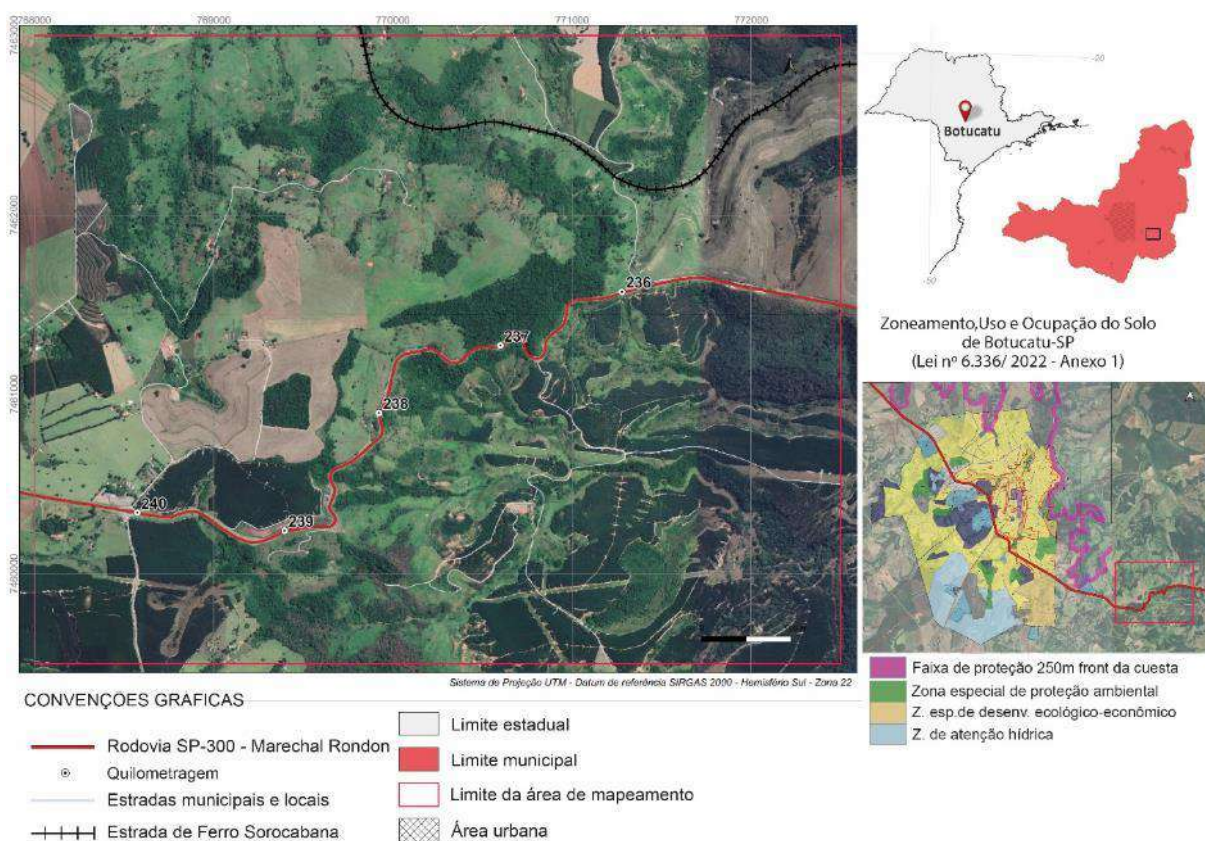


Figura 1 - Localização da área de projeto no município de Botucatu, São Paulo, em diferentes escalas: (dir. superior) – localização em relação ao mapa estadual, e do município (hachura vermelha); em relação ao mapa de zoneamento do município (dir. inferior); e detalhe para a delimitação da área (esq.) ; Sistema de Projeção Cartográfica UTM, *datum* SIRGAS 2000, fuso 22S, para a grade nacional, Sistema de Coordenadas Geográficas – WGS84.

Integra a Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu-Tejupá (Decreto - 20.960 - 08/06/1983), hoje em processo de desmembramento, e tem estipulada pelo zoneamento urbano uma faixa de 250m de preservação ambiental no front da *cuesta*.

Abrange parte do traçado da rodovia SP-300 – Marechal Rondon, mais especificamente entre os quilômetros 240 a 236, e parte do traçado da ferrovia

Sorocabana na porção nordeste da área, acessada, por sua vez, pela estrada municipal Geraldo Biral.

1.2. Objetivos

Os objetivos propostos com este projeto consistem essencialmente na contribuição às discussões do modelo geológico do *trapp* basáltico e *intertrapp* de arenitos eólicos na Serra de Botucatu no âmbito geológico-geotécnico, através da observação de relações tectonoestratigráficas ao longo de localidades em diferentes posições topográficas do relevo e identificação de feições erosivas e de movimentos de massa gravitacionais. Da amostragem realizada, objetiva-se a apresentação de:

- Mapa de pontos amostrados com indicação de seções e regiões de interesse sobre base topográfica 1:10.0000;
- Mapa geológico em escala 1:10.000;
- Mapa geológico-geotécnico em escala 1:10.000 (com mapeamento de coberturas de solo, cicatrizes de ruptura, vossorocas, regiões com processos de movimentos de massa em curso, regiões alagáveis etc.)
- Seções geológicas cortando a Serra de Botucatu;
- Registro fotográfico com identificação de pontos de contato e feições importantes.

1.3. Materiais e Métodos

Para a preparação de base de dados existentes, foram utilizados os seguintes materiais:

- Documentos bibliográficos dentre teses, dissertações, artigos, livros texto e mapas, com consultas online e empréstimos realizados através do serviço da biblioteca do instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP);
- Folhas topográficas em escala 1:10.000 obtidas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) de São Paulo: Folhas Fazenda Segrede e Fazenda Nova América I.
- Par de fotografias aéreas de números: '22_2320', '22_2319', '22_2318"', em escala 1:25.000 de levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo (1962), consultadas em acervo do laboratório de cartografia do Departamento

de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da USP.

- Imagens de satélite históricas obtidas pelo software *Google Earth Pro*, disponíveis para intervalos de tempo desde 2007/2008.
- Modelos digitais de elevação para as imagens 'AP_27773_PLR_F6720_RT1' e 'AP_27773_PLR_F6730_RT1' do banco de dados geoespaciais do satélite Sentinel 1, obtidas através do programa SNAP (*Sentinel Application Platform*) da Agência Espacial Europeia (ESA- *European Space Agency*), e que apresentam precisão de 10m (tamanho do pixel), maior detalhe entre os produtos 'SRTM', com precisão de 30m.

A aquisição de dados foi realizada através de mapeamento geológico-geotécnico na Serra de Botucatu, Botucatu-SP. Foram realizadas um total de 3 etapas em uma amostragem total de 287 pontos descritos ao longo de trilhas e principais acessos em uma área de 15,7km² mapeada em escala 1:10.000 a partir de base topográfica de articulação das folhas Fazenda Nova América I e Fazenda Segrede. Os materiais utilizados durante os mapeamentos foram: aplicativo *Geotracker* e GPS de mão do tipo *Etrex 3.0* para geolocalização; e martelo de geóloga, lupa de aumento de 20x, e bússola do tipo *Brunton*.

Para levantamento dos pontos foram realizadas descrições simplificadas, objetivando: identificação de litotipos, tipos de solo (classificação genética de Vaz, 1996; descrição táctil-visual), perfis de alteração e espessuras de solo, feições erosivas e potenciais mecanismos de movimentos de massa gravitacionais.

2. REVISÃO CONCEITUAL E FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção são apresentadas as fundamentações bibliográficas e breve revisão conceitual relevante e relativa ao contexto geológico, geomorfológico e conceitos geológico-geotécnicos pertinentes. Não será apresentada uma abordagem detalhada em relação a trabalhos específicos para as unidades geológicas.

2.1. Contexto Geológico Regional

A Serra de Botucatu está localizada em um contexto geológico essencialmente Mesozóico (~252 a 66Ma) na porção oeste da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2007), sustentada por rochas que representam a transição de ambiente sedimentar continental flúvio-eólico a eólico de deposição das unidades atribuídas às Formações Pirambóia e Botucatu, respectivamente, somado à dinâmica intrusiva e extrusiva atribuída à Formação Serra Geral. Coberturas detrítico-lateríticas, coluvionares e corpos de tálus, bem como depósitos aluvionares associados aos corpos d'água que percorrem a área representam as unidades mais recentes, quaternárias, da coluna estratigráfica.

Para representação espacial das unidades geológicas em relação à área de estudo, são apresentados, na Figura 2, os mapas geológicos regionais disponíveis na literatura, em escalas de menor e maior detalhe, respectivamente mapas geológicos do Estado de São Paulo, em escala 1:750.000 (Perrota *et al.*, 2005), e mapa geológico da Folha Bauru-SF.22-Z-B, em escala 1:250.000 (Landim, 1984).

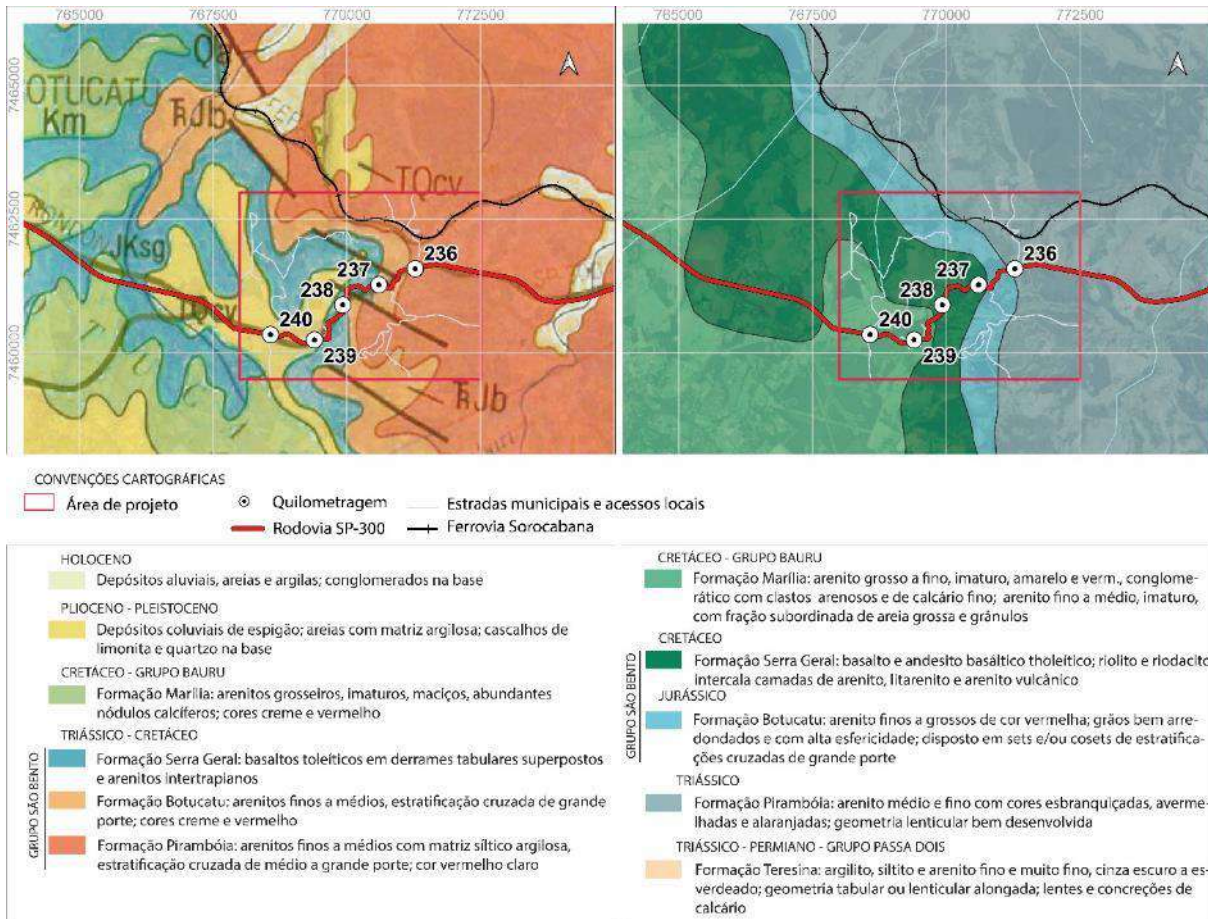


Figura 2 - Recortes (esq.) do mapa geológico da Folha Bauru (modificado de Landim, 1964), escala 1:250.000, e (dir.) do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de São Paulo (modificado de Perrota *et al.*, 2005), escala 1:750.000, com descrições das unidades geológicas conforme referências, e indicação da área de projeto e principais acessos/ vias.

A Formação Serra Geral integra a Província Magmática do Paraná, de idade eocretácea (134 e 131 Ma) (conforme trabalhos mais recentes de Janasi *et al.*, 2011; Thiede e Vasconcelos, 2010) desenvolvida imediatamente antes da abertura do oceano Atlântico Sul, marcando o fim dos eventos de sedimentação extensiva no interior do continente.

A Formação Botucatu, primeiramente descrita por Gonzaga de Campos (1898; *apud* Soares, 1975; Marconato *et al.*, 2006) é composta essencialmente por arenitos eólicos finos a grossos, de coloração alaranjada/avermelhada, com grãos bem arredondados e com alta esfericidade, apresentando sets de estratificações cruzadas, planar ou acanaladas, de médio a grande porte, com ausência de depósitos de interdunas úmidos (Marconato *et al.*, 2006).

A Formação Pirambóia é primeiramente descrita por Pacheco (1927) como ‘grez de Pirambóia’, nome derivado da cidade de mesmo nome a oeste de São Paulo, e é constituída por arenitos finos a médios variegados (colorações esbranquiçadas, avermelhadas e alaranjadas) apresentando geometria lenticular e presença de estratificações cruzadas acanaladas de grande porte (Marconato *et al.*, 2006).

As duas primeiras unidades geológicas são formalmente atribuídas no mapa geológico do Estado, em Perrota *et al.* (2005) e Marconato *et al.* (2006), ao Grupo São Bento, e Marconato *et al.* (2006) descrevem que as Formações Botucatu e Serra Geral ocorrem interdigitadas. Milani *et al.* (2007) na mais recente versão da carta estratigráfica da Bacia do Paraná atribuem estas unidades ao que chama de ‘Megassequência Gondwana III’.

2.1.1. Trabalhos clássicos na região da Serra de Botucatu

Os primeiros estudos geológicos na região da Serra de Botucatu remontam ao período colonial escravocrata pré-República, e da ocupação contínua do território paulista ainda na condição de Província. Com a finalidade de exploração do território e de seus recursos hídricos abundantes, ao final da década de 1880, em 1886, é criada a Comissão Geográfica e Geológica (CGG) do Estado, através da qual foram liderados estudos técnicos dos principais cursos hídricos. No excerto abaixo, é apresentada descrição, em um destes relatórios, para os corpos de rochas basálticas cortando as unidades sedimentárias:

“Diabases de varios typos cortam, em forma de diques, ou cobrem em forma de lençoes todas essas formações. Desse modo complica-se muito o trabalho de discriminação no campo, pois que devido à sua profunda decomposição em terra rôxa e subsequente mistura com elementos derivados das rochas de compostas infra e superpostas, torna-se difficil muitas vezes averiguar si ella está *in situ*, ou si é apenas o resultado de esboroamentos de um ponto mais alto.”

(Cardoso, 1907)

A região da Serra de Botucatu, divisor topográfico entre as duas grandes bacias hidrográficas formadas pelos rios Tietê, a norte, e Paranapanema, ao sul, e por onde nascem os afluentes rio Pardo, do Peixe e Alambari, que foram objeto dos levantamentos e estudos técnicos da CGG. Desta época remonta a primeira descrição

do ‘arenito Botucatu’ pelo geólogo Luiz Felipe Gonzaga de Campos, que integrava a comissão.

“O arenito Botucatu foi descrito pela primeira vez, em 1889, por Gonzaga de Campos (*in* Salamuni e Bigarella, 1967). Este nome, emprestado da Serra de Botucatu, foi usado para designar arenitos com estratificação cruzada de grande porte, sotopostos ou intercalados a derrames basálticos. O conteúdo da designação era estritamente litológico, não estratigráfico.” (Soares, 1975)

Em um destes relatórios de exploração dos rios da CGG, Pacheco (1927) apresenta as primeiras observações estratigráficas entre as unidades Botucatu e Pirambóia, em ‘andares’ superior e inferior, respectivamente, e descrição da unidade Pirambóia, e sua relação com os derrames basálticos:

“O Triassico está representado neste estudo quasi que só pelo seu membro inferior, dos dois em que os geólogos de S. Paulo o dividiram, ou seja, o grez de Piramboia. E' uma formação quasi que exclusivamente grezosa, cortada, recoberta e injectada de diques, bossas e derrames de trap ou diabase.”
(Pacheco, 1927)

Com o desenvolvimento da indústria e a demanda pelo petróleo no começo do século XIX, pós-República, surge a necessidade de levantamentos específicos de áreas potenciais para futuras prospecções. Nesse contexto, Chester Washburne (1930) - geólogo pelo serviço geológico dos Estados Unidos (USGS – *United States Geological Survey*), consultor e especialista na área de petróleo e gás elabora a obra “*Petroleum geology of the State of Sao Paulo*” em trabalho conjunto com a CGG¹.

Washburne (1930) apresenta um panorama geral de levantamentos geológicos da Bacia do Paraná principalmente no Estado de São Paulo, e até seus limites nas regiões centro-oeste e sul, sendo recorrente a menção aos arenitos Botucatu e da região da Serra de Botucatu como rochas potenciais reservatório. Define o ‘arenito Botucatu’ como o pacote superior de arenitos eólicos e ‘arenito Pirambóia’ o pacote inferior de arenitos argilosos fluviais contendo camadas de folhelhos (em Almeida e Barbosa, 1953), divisão esta que é criticada pelo autor da versão traduzida Joviano Pacheco, sugere o abandono da divisão do Pirambóia (como referido também em Soares, 1975).

¹ Versão em português traduzida e comentada por Joviano Pacheco – ex-diretor superintendente do Departamento Geográfico e Geológico de São Paulo, de 1939.

Almeida e Barbosa (1953), apresentam o mapeamento geológico das quadrículas Piracicaba e Rio Claro, em escala 1:100.000. No que chamam de ‘série’ São Bento’, destacam como Membro inferior da série o arenito Pirambóia (Figura 3), “de caráter predominantemente fluvial”, fazendo menção à tradução da obra de Washburne (1930) onde discordam da observação apontada por Joviano Pacheco, e definem como ‘fácies Santana’, dentro da unidade do arenito Botucatu, a porção úmida das dunas, lacustre.

- Pirambóia: ‘granulação grossa a fina’ com eventuais seixos rolados em matriz areno-argilosa de cores vermelha/ rosa/ cinza, e com estratificação plano-paralela e cruzada (‘de corrente aquosa’ - distinção às observadas no arenito Botucatu); intercalação de siltitos vermelhos ou ‘cor de chocolate’, podendo ser calcíticos; espessura de poucos metros;

SÉRIE	Idade	Formação, membro ou fácies	Litologia	Ambiente gerador	Espessura M (máx. observ.)
---	Holoceno Pleistoceno		Areias, cascalhos e argilas	Canais fluviais e planícies de inundação, terraços antigos e aluviões modernos	Poucos metros
BAURU	Senoniana ?	Itaqueri	Arenitos, conglomerados, argilitos, siltos	Canais fluviais e planícies de inundação	125m.
SÃO BENTO	Liássica ou Rética	Eruptivas da Serra Geral	Trapes basálticos, sills e diques de diabésio	Vulcânico. Derrames de planalto, com intercalações de dunas desérticas	350m. (lavas)
		Botucatu	Arenitos	Dunas desérticas	320m.
		Santana	Arenito, argilito, folhelho micáceo	Lagos entre dunas desérticas	9m.
		Pirambóia	Arenitos argilosos, conglomerados, folhelhos micáceos	Fluvial e coluvial	10m.

Figura 3 - Carta estratigráfica proposta por e modificada de Almeida e Barbosa (1953).

Ainda com o enfoque do interesse por áreas potenciais à prospecção de petróleo, Sanford e Lange (1960) apresentam um estudo regional da Bacia do Paraná do ponto de vista de sua gênese/ modelo deposicional/ estratigráfico. Na coluna estratigráfica da Figura 4 incorporam à Formação Serra Geral *interbeds* (mesmo que *intertrapps*) lenticulares de arenitos eólicos, individualizam Botucatu e Pirambóia como Formações, agrupadas como Grupo São Bento.

Assim como Almeida e Barbosa (1953), Sanford e Lange (1960) consideram a fácies Santana dentro da Formação Botucatu, e para a Formação Pirambóia descrevem ser composta por depósitos de fácies de agregados coluvionares de 'regolito fóssil' (inferior), e arenitos 'de granulometria' mais grossa, aluvionares, com estratificação cruzada.

PERÍODO	SÉRIE	GRUPO	FORMAÇÃO	ESPESSURA MÁX. (m)	LITOLOGIA	CARACTERÍSTICAS
QUATERNÁRIO				80		Aluvionar. Planícies costeiras marinhas.
TERCIÁRIO				150		Areia, cascalho e argila
CRETÁCEO			BAURU	220		Arenitos, argila, calcário em algumas porções. Continental
JURÁSSICO			CAIUÁ	250		Arenitos, eólicos, estratificações cruzadas
JURO - TRIÁSSICO		SÃO BENTO	LAVAS SERRA GERAL	1550		Lava basáltica, a excessão de 30 fluxos distintos na porção central da bacia Interbeds de arenitos eólicos lenticulares Diques de diabásio e sills intrudindo fraturas e falhas nos sedimentos
TRIÁSSICO			BOTUCATU	700		Arenitos, eólicos, abrasão em quartzo e feldspato, estratificação cruzada
		PIRAMBÓIA	Arenitos, aquosos, estratificação cruzada, porção norte da bacia			
		S. MARIA	Arenitos, argilas, restrito à porção sul da bacia			

Figura 4 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná; traduzido e modificado de Sandford e Lange (1960).

Com relação à Formação Serra Geral e espessuras dos derrames, Sanford e Lange (1960) apresentam um mapa de isópacas em extensão regional. Neste mapa, a região da Serra de Botucatu apresentaria uma faixa de 100 a 200m de espessura.

Soares (1973; 1975) redefine a Formação Botucatu, composta por sedimentos de ambiente desértico, e propõe pela primeira vez a designação de Formação Pirambóia, composta por sedimentos de ambiente fluvial (separação inicialmente proposta por Washburne, 1930) e subdivide esta última em membros inferior - de fácies mais argilosas (argila, folhelhos arenosos e sílticos), com predomínio de estratificações

plano-paralela e cruzada de pequeno porte, e superior - bancos de arenito pouco a muito argilosos (variação faciológicas já observada por Almeida e Barbosa,1953).

Em sua proposição estratigráfica, Soares (1973) também agrupa as Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia em Grupo São Bento, e para o contato entre as duas primeiras, postula que este não constitui superfície contínua, e ressalta a dificuldade na definição do magmatito como extrusivo/ intrusivo. Entre Botucatu e Pirambóia, Soares (1975) observa contato gradacional.

Soares (1973) apresenta uma seção geológica ao longo da Serra de Botucatu, ao longo da Rodovia Marechal Rondon - SP-300 (Figura 5), desde o município de Botucatu (WNW) a Conchas (ESE), que nomeia como 'seção-tipo' da Formação Pirambóia, além de apresentar a informação que a seção tipo da Formação Botucatu se localiza entre os km 237,3 e 238 desta mesma rodovia.

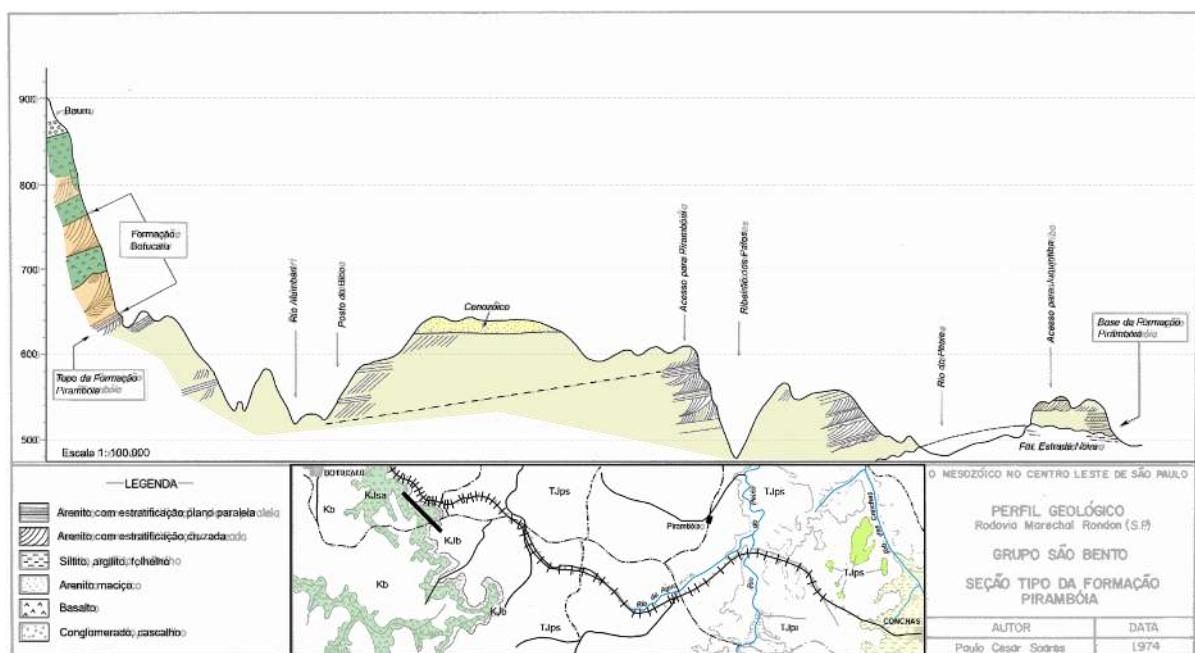


Figura 5 – Seção-tipo da Formação Pirambóia ao longo do traçado da rodovia SP-300 de Botucatu a Conchas proposta por Soares (1973); modificada de Soares (1975).

Tandel (1993) descreve a unidade Botucatu como “pacote de arenitos de granulação fina e muito fina dominante como estratificação cruzada de grande a médio porte, apresentando na parte basal corpos de arenitos conglomeráticos”.

Carneiro (2007) apresenta descrição de pontos de contato entre basaltos e arenitos imediatamente a norte da área de estudo, em excursão que contou com a presença do geólogo Fernando Flávio Marques de Almeida, que já havia feito contribuições importantes ao estudo das Formações nesta região. Na Tabela 1 estão destacados alguns dos pontos visitados, localização e observações que fornecem observações acerca da relação estratigráfica entre litotipos.

Tabela 1 - Síntese descritiva dos pontos visitados por Carneiro (2007).

PONTO	LOCAL	N	E	Elev. (m)	OBS.
A1	Mirante no alto da Serra de Botucatu	7468287	764817	789	Observações geomorfológicas da <i>cuesta</i> e região baixa de relevo colinoso, colinas sustentadas pelo arenito Pirambóia; afloramento rochas basálticas Fm. Serra Geral
A2	Corte junto à estação ferroviária Belvedere, pátio 8	7468158	765209	712	Encosta de Serra de Botucatu - entre antigas plataformas 7 e 8 da ferrovia; cita Almeida (1953a); exposição arenito Botucatu
A3	Morro do Peru	7469525	766464	517	corrida de blocos de basalto observada ao longo do trajeto; faz ref. à seção de Almeida (1953a)
B1	Beira da estrada da Indiana, Botucatu	7467165	765147	733	topo da Serra de Botucatu; observações geomorfológicas
B2	Corte na estrada da Indiana, Botucatu	(idem B1)	(idem B1)	733	Contato basalto sobre arenito Botucatu; instabilidade de blocos de basalto no talude de corte exposto; menciona visita de Washburne (1930) ao corte (Figura 6)
B3		7467620	766249	592	Entroncamento da estrada da Indiana com a estrada vicinal de acesso ao Morro do Peru; afloramento de contato entre fácies Fm. Pirambóia (Figura 7)



Figura 6 - Ponto B3: afloramento de basalto sobre de arenito; altitude de ~592m.



Figura 7 - Ponto B3; contato entre dois níveis de rocha da Fm. Pirambóia. Na porção basal do corte, ocorre arenito bege rosado abaixo de camada de siltito de coloração amarronzada.

2.2. *Trapp* Basáltico e *Intertrapp*

A designação *trapp* tem sido atribuída na literatura referindo-se à morfologia de séries de derrames de lava em grandes províncias ígneas (ou LIP's - *Large Igneous Provinces*) geralmente formadas por rochas basálticas e formando padrões no relevo em 'degraus' ou escarpado (Mcdougall, 1988). Alguns exemplos de LIP's que apresentam este tipo de feições são Deccan, na Índia (*Deccan Traps*), *Columbia River*, nos Estados Unidos e Paraná, esta última abrange Brasil e países da borda oeste do continente africano, formada durante a abertura do Atlântico Sul.

Outra designação importante, e que ocorre comumente associada à estas séries de derrames é a de *intertrapp*, relativo à ocorrência de intercalações de unidades sedimentares em contexto de interação vulcanossedimentar durante o evento tectônico, e que é observada na Serra de Botucatu.

Para o reconhecimento da estratigrafia dos derrames, importante ressaltar o processo de resfriamento e volume de lava na configuração faciológica de seus afloramentos, com resfriamento rápido da borda ao centro.

Leinz (1949) apresenta informações acerca da morfologia, estratigrafia e tectônica dos derrames basálticos da Formação Serra Geral em relação ao arenito Botucatu em áreas levantadas entre Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Apresenta seção esquemática em perfil de derrame (Figura 8) e para a identificação da quantidade dos derrames em uma área pontua atenção à fenômenos indiretos como:

- Variação textural: amigdalóide vesicular, vítrea, micro e macrogranular;
- Variações das diaclases de contração;
- Identificação de padrões geomorfológicos, formando por vezes patamares.

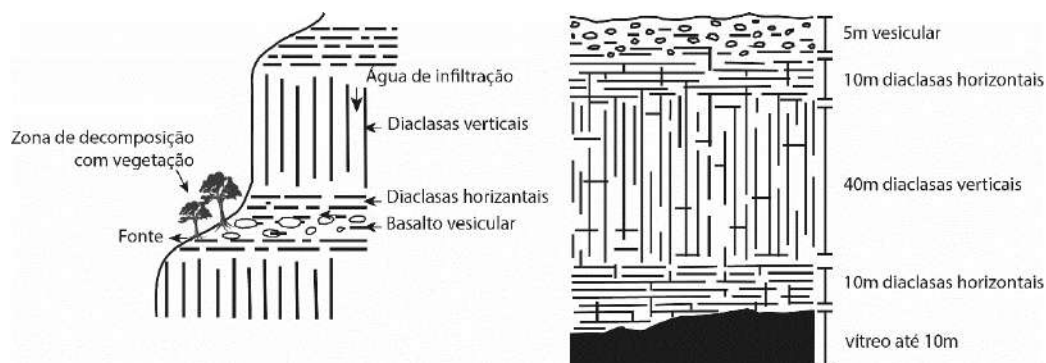


Figura 8 - Seção esquemática da estrutura de um derrame; extraído de Leinz (1949).

Descreve para a região de Três Forquilhas Tainhas, no Rio Grande do Sul, o seguinte perfil (de baixo para cima) (Figura 8): faixa vítrea de cor preta 'piche' passando gradativamente a basalto microcristalino com 'diaclases' horizontais a basalto micro e macrocristalino com predomínio de 'diaclases' verticais, sucessão que atribui a 'corridas de lava', representando a faixa vítrea uma 'soleira'.

Em relação às estratificações sedimentares, Leinz (1949) observa que a inclinação dos estratos de arenito varia de 25 a 30°, e para a relação com os derrames, que inclusões arenosas ou diques de arenito seriam indicativas de sedimentação contemporânea ao vulcanismo. Menciona a presença de intercalações de derrames aos arenitos Botucatu nos arredores do município homônimo, com ‘depósitos sedimentares’ sobre ‘topos’ vesiculares em superfícies irregulares e ‘cavernosas’ ‘em forma de crosta’. Estima para esta região uma espessura total de derrames de 880m \pm 80.

Em relação à tectônica e estruturas regionais nestas unidades, Leinz (1949) descreve o preenchimento pelos derrames de estruturas pré e sin extrusivas de ‘degraus’ e fissuras formados por falhamentos cortando o arenito Botucatu, observadas no município de Araranguá, Santa Catarina. Nos locais onde o derrame estaria também afetado pela tectônica rúptil/rúptil-dúctil, destaca que haveria formação de zonas brechadas (brechas de atrito) a ‘milonitos’. As falhas identificadas destes levantamentos na região sul brasileira são de tipo normal, segundo os sistemas principais N70-50W, E-W, N10-40E, com desníveis entre 40 e 300m.

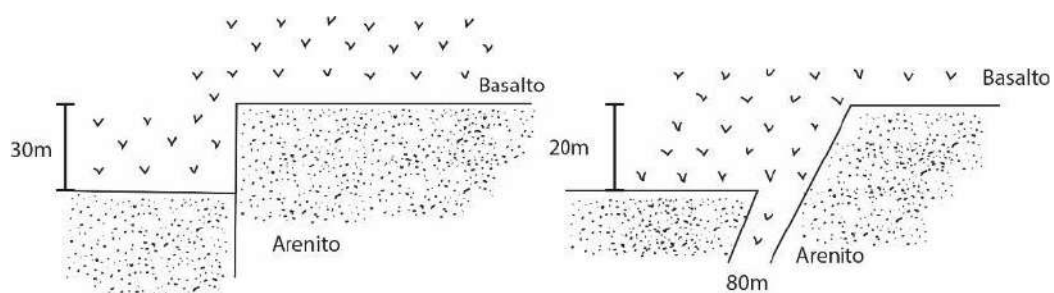


Figura 9 – Preenchimento pela lava de paleotopografia com condicionamento estrutural por falhamentos na região de Pedra, município de Araranguá, Santa Catarina; modificado de Leinz (1949).

Waters (1960) apresenta características de contato entre derrames de espessuras <20m dos basaltos de *Cascade Mountains* e *Columbia River*, na região central de Oregon nos Estados Unidos. Destaca as seguintes feições estruturais em relação à formação de disjunções colunares no corpo dos derrames (Figura 10):

- Inclinação das disjunções colunares no interior dos derrames como indicativas da direção de fluxo;

- Crescimento colunar é ortogonal às superfícies isotérmicas, caso o resfriamento seja rápido e irregular, ou caso a espessura de derrame não seja considerável (dimensão), as colunas não se formam, dando lugar ao fraturamento irregular com presença de juntas verticais;
- Formação de disjunções inclinadas também a partir de superfícies irregulares.

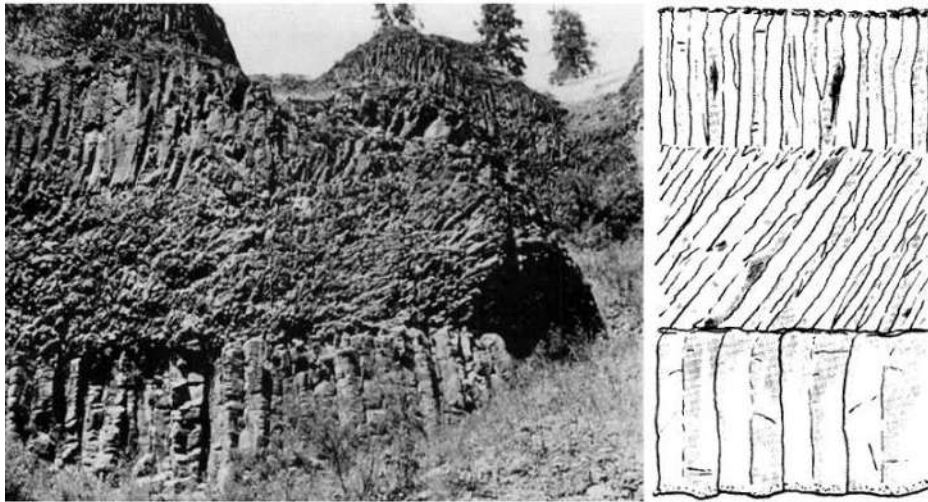


Figura 10 - Compilação de figuras a partir de Waters (1960) de afloramento apresentando porções de derrames de lavas com diferentes comportamentos estruturais das disjunções colunares.

Long & Wood (1986) *apud* Sadowski (2012) apresentam seções esquemáticas ao longo de derrames (Figura 11), mostrando variações de padrões estruturais.

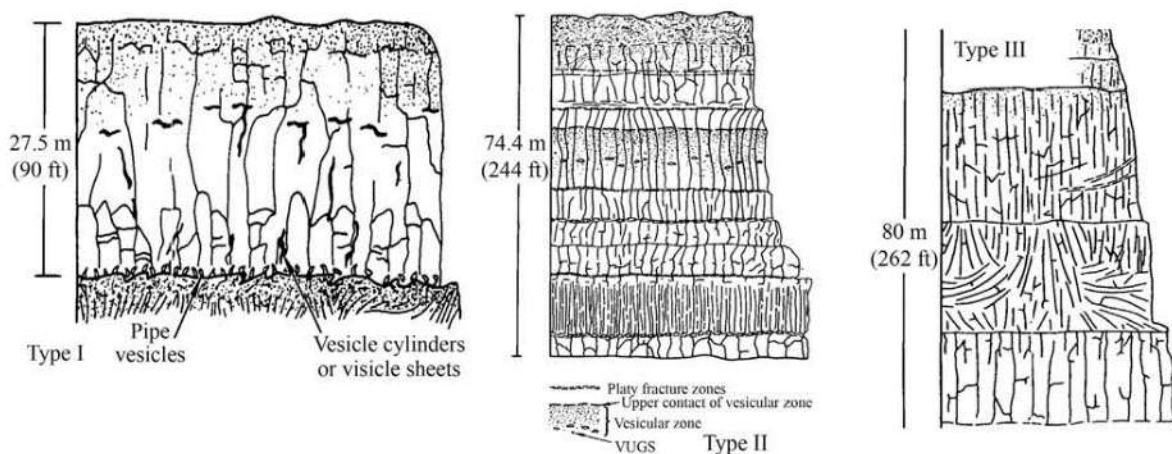


Figura 11 - Perfil esquemático das estruturas em derrames basálticos de Long & Wood (1986), *apud* Sadowski, 2012; extraído de Sadowski (2012).

Guidicini e Campos (1968), *apud* Sadowski (2012), a partir da observação de exposições dos basaltos na área do projeto da UHE Ibitinga, barramento do rio Tietê a noroeste de Botucatu, definem o tipo de estrutura 'junta-falha'. Caracterizadas por planos retilíneos sub-horizontais a inclinados e inerentes ao resfriamento ao longo do corpo do derrame, Sadowski (2012) aponta a relevância geológico-geotécnica destas estruturas como descontinuidades com expressiva alteração ao longo destes planos, formando faixas espessas de solo argiloso (Figura 12).



Figura 12 - Junta-falha em corte de basalto com faixa de preenchimento centimétrico argiloso, em destaque pelas setas amarelas; extraído de Sadowski (2012).

Fernandes *et al.* (2006) em mapeamentos realizados na região de Ribeirão Preto, São Paulo, apresentam importantes observações no que diz respeito à conexão entre o sistema fraturado dos basaltos como recarga ao Aquífero Guarani. Na seção geológica da Figura 13, os autores evidenciam as fácies de derrame e mecanismos de percolação de água pelos sistemas de fraturas (NS-N25E, N40-55E, N30-55W, N65-80W e N5-25W), derrames que recobrem os arenitos da Formação Botucatu na região de Bonfim Paulista.

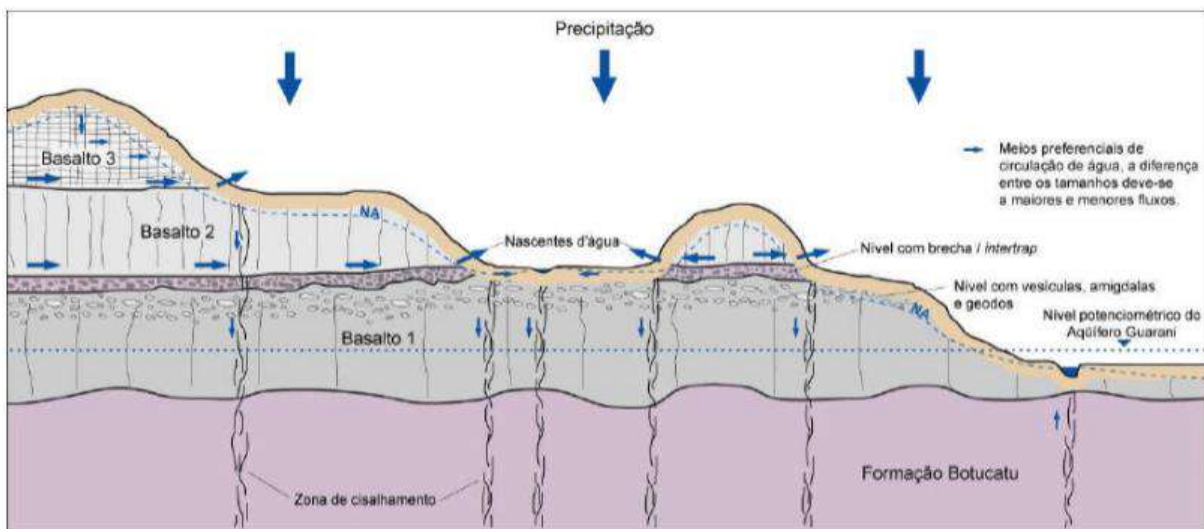


Figura 13 – Seção geológica esquemática de Fernandes *et al.* (2006) mostrando as fácies do recobrimento basáltico na Formação Botucatu, evidenciando a percolação de água pelos sistemas de fratura.

2.3. A Sucessão Sedimentar Pirambóia – Botucatu

Nesta seção procura-se abordar a natureza polêmica do contato entre a Formação Botucatu, de sedimentação eólica, e Pirambóia, sedimentação eólica e fluvial: abrupto ou gradacional? Este questionamento torna-se relevante uma vez que na porção leste da área mapeada ocorre o contato entre estas unidades, não tendo sido objetivada, porém, uma descrição faciológica detalhada desta transição.

Na Tabela 2 é apresentada uma tentativa de compilação de alguns dos principais trabalhos que abordam especificamente a natureza deste contato, bem como uma tentativa de rastrear a localidade destes estudos e descrições apresentadas. Vale observar que Soares (1973; 1975) observa o contato gradacional na região de Botucatu.

Tabela 2 - Tipos de contato Botucatu-Pirambóia observados de acordo com referências bibliográficas.

AUTOR/ES/ ANO	TIPO DE CONTATO	OBS.	LOCAL DE ESTUDO
Vieira e Maingué (1972) (<i>apud</i> Giannini <i>et al.</i> , 2004)	discordante	camada conglomerática marcando a base Botucatu	-
Soares (1973; 1975)	gradual	mudanças litológicas graduais ou por discordância erosiva	Botucatu, SP
Fúlfaro <i>et al.</i> (1980)	-	dificuldade de em se determinar a posição do contato Botucatu-Pirambóia	-
Caetano-Chang e Wu (1995); Caetano-Chang (1997); Caetano-Chang e Wu (2003)	discordante	marcada por superfície de peneplanização via deflação eólica	-
Donatti <i>et al.</i> (2001)	abrupto	contato abrupto; superfície 'planar'; diferença de idade de 100Ma	São Paulo e Paraná"
Giannini <i>et al.</i> (2004)	discordante	discordância erosiva	-
Massoli e Caetano-Chang (2007)		contato marcado por camada conglomerática de topo da Fm. Pirambóia	Ribeirão Preto, SP
Côrtes (2013)	discordante	menciona não haver consenso da relação de contato entre as duas unidades	Descalvado, SP

2.4. Evolução Geomorfológica e Formas de Relevo na Região da Serra de Botucatu

A Serra de Botucatu está localizada num contexto geomorfológico de transição (Moraes Rego, 1932; Ab'Saber, 1954; Almeida, 1964, 2018) de um domínio de colinas baixas da depressão periférica para a região de planalto através de escarpas formadas pelos derrames da Formação Serra Geral. Essa transição do relevo foi observada primeiramente por Moraes Rego (1932), mas é Almeida (1964; 2018) que propõe a individualização na província geomorfológica de *cuestas* basálticas, que mapeou a região dos arredores de Botucatu e Piracicaba entre os anos de 1953 e 1955.

Almeida (1964) apresenta as seguintes considerações para as unidades presentes na área de estudo:

- IV - *Cuestas* basálticas: mergulho regional para noroeste; sucessão de escarpas de bordas elevadas e festonadas; relevo acidentado que compreende

elevações máximas de 1000 a 1200m e mínimas (baixas dos rios que as atravessam) de 420/ 520/ 540m;

- III - Depressão periférica/ 1- Zona do médio Tietê: a depressão periférica encontra-se no reverso da *cuesta* basáltica e é dividida em 3 zonas, sendo a zona do médio Tietê definida por apresentar trechos drenados pelo rio e seus afluentes, configurando relevo mais erodido; colinas baixas e vales jovens; perfis convexos das vertentes.

Almeida (1964) destaca a intermitência entre os derrames basálticos (espessuras da ordem de dezenas de metros) e a sedimentação de ambiente desértico do arenito Botucatu, com o preenchimento de depressões do relevo configurado por dunas, ocorrendo ora intercalados ora não, quando da maior atividade vulcânica, destacando para este último caso regiões a norte do rio Tietê.

Entre os rios Tietê e Paranapanema a *cuesta* basáltica apresenta orientação das escarpas frontais para SE e cuja terminação distal é representada pela Serra de Botucatu, à borda da Depressão Periférica, com altitudes de até 1000m nas proximidades do município de Pardinho, onde verifica-se a nascente do rio Pardo (Almeida, 1964).

2.4.1. Formas de relevo

Para a abordagem teórica e metodológica apresentada em IBGE (2009) a partir dos estudos e proposição taxonômica de Ross (1992), a menor unidade do fluxograma de taxonomia geomorfológica é representada pelas formas de relevo, estas associadas a materiais, processos e condições de drenagem.

Dentre as formas de relevo contempladas em IBGE (2009), pertencem à categoria de 'formas de relevo simbolizadas' as *cuestas*, os morros testemunho e anomalias de drenagem.

As *cuestas* representam forma de relevo assimétrico em desnível abrupto, associada ao recuo erosivo em unidades sedimentares com diferentes susceptibilidades à erosão podendo apresentar falhamentos associados, enquanto os morros testemunho

consistem em formas de relevo de topos planos residual de recuos pela erosão atuante em porções frontais da *cuesta* (IBGE, 2009)

As anomalias de drenagem consistem em mudanças bruscas nos padrões observados ao longo do canal e/ou rede de drenagem, como estreitamento ou mudanças de direção. No caso de drenagens em unidades geológicas com forte controle estrutural, é comum a observação de mudanças bruscas de direção dos canais, até a formação de ângulos retos.

Ainda segundo as formas de relevo apresentadas em IBGE (2009), destacam-se aquelas relacionadas aos processos de erosivos como a 'arenização' - resultante do retrabalhamento predominantemente em materiais arenosos, sendo associada ao aparecimento a ravinamento e/ou formação de vossorocas "agravada pela pressão exercida pelas atividades agrícolas" (IBGE, 2009), e 'fenômenos de erosão' - resultantes dos processos de erosão de ação rápida ou lenta, pela ação de agentes naturais e/ou artificiais.

No manual de geotecnia para taludes de rodovias do DER (1991) os processos erosivos, parte dos processos intempéricos, atuam causando destruição da estrutura do solo e sua remoção, "sobretudo pela ação das águas de escoamento superficial, depositando o em áreas mais baixas do relevo", podendo ser intensificado por atividades antrópicas. Destaca alguns tipos principais de processos erosivos, que podem atuar tanto em encostas naturais como em taludes de corte e aterro (Figura 14).

"...a execução de cortes em solos origina de um modo geral superfícies mais frágeis devido ora a exposição dos solos a polícticos geralmente associados à falta de proteção superficial inexistência ou ineficácia de sistemas de drenagem provocam o surgimento de erosão em sucros e de erosão diferenciada. Esse tipo de problema é comum nos cortes os a polícticos intensificando se naqueles com predominância de material siltoso."

(DER, 1991)

1. Erosão por escoamento laminar: atua 'lavando' a superfície do terreno como um todo, sem formar canais definidos" (DER, 1991);
2. Erosão por escoamento concentrado: evolução passa pela formação de sulcos, até ravinas, e ao atingir o lençol freático pode levar à configuração de

vossorocas (Figura 15); aumento do destrutivo no sentido de potencializar a ocorrência de rupturas em suas bordas associadas ao solapamento da base do talude de conformação subvertical.

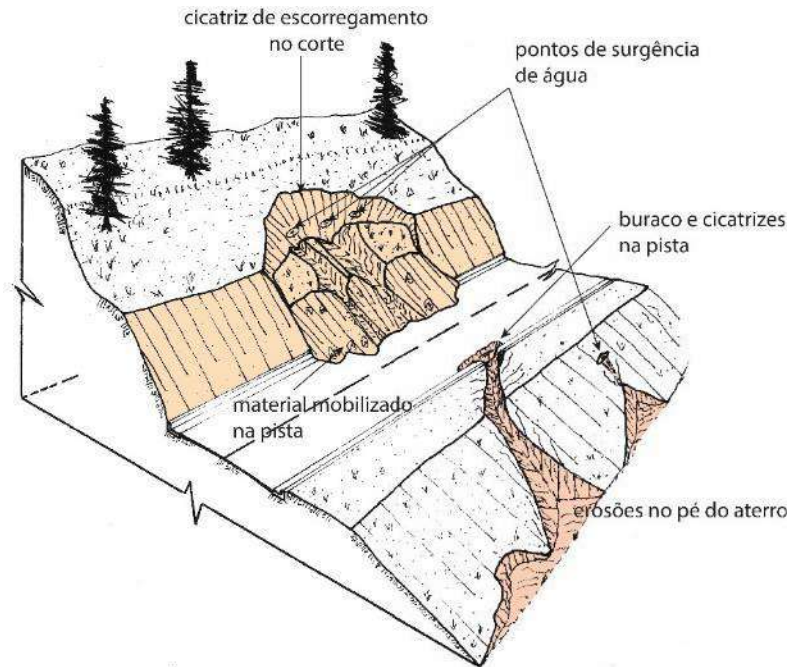


Figura 14 – Ilustração em perspectiva da atuação de processos erosivos e suas feições e impactos em exemplo de talude de corte e aterro de pista existente; modificado de DER (1991).

Estes processos erosivos costumam apresentar característica evolução lenta, contínua e progressiva ao longo do tempo, e as dimensões das feições resultantes destes processos dependem dos tipos de solo e das condições de drenagem e concentração de água locais (DER, 1991).



Figura 15 – Exemplos de vossorocas apresentados por Carneiro (2007) para os pontos C1 e C2 da Tabela 1.

São destacados em DER (1991) também a erosão diferenciada e a desagregação superficial em taludes. A primeira é dada pela atuação dos processos erosivos em taludes constituídos por materiais que apresentam diferentes suscetibilidades à erosão, resultando em diferentes graus de intensidade da erosão ao longo do talude e associadas a solos residuais/ rochas sedimentares. A desagregação superficial, também tem ação destrutiva da estrutura do material, resultante da ação cíclica de saturação/ secagem comumente associados à presença de argilominerais com propriedade expansiva, que levam por exemplo ao empastilhamento.

Como exemplo a feições de erosão diferenciada, Soares (1973), menciona encostas escalonadas como feições morfológicas características da Formação Pirambóia, também observada por Tandel (1993) em razão de maior variação faciológica dentro da unidade, formando camadas com diferente susceptibilidade à erosão/ erosão diferenciada, como exemplo da Figura 16.



Figura 16 - Encostas em degrau características do relevo da faixa de afloramento da Fm. Pirambóia em São Paulo (Rod. Castello Branco); extraído de Soares (1973).

Para IBGE (2009), fenômenos de movimentos de massa compõem categoria de feições de relevo, resultantes de processos rápidos ou lentos por ação da gravidade combinados a fatores naturais como a ação da água e/ou antrópicos, podendo provocar aparecimento de cicatrizes de escorregamento ou desmoronamento de blocos, por exemplo.

DER (1991) destaca que estes tipos de movimento apresentam superfície de ruptura definida em função do tipo do solo ou rocha, da geometria do talude e das condições

de fluxo d'água, e que este último representa principal agente deflagrador, uma vez que suas ocorrências são observadas com mais frequência em períodos chuvosos. Observa que a execução de cortes em encostas provoca mudança no estado de tensões atuantes no maciço, bem como as condições de drenagem e cobertura vegetal em relação a infiltração de água e sua saturação.

2.5. Mapas e cartas geotécnicas de detalhe e semidetalhe disponíveis

“mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia planejamento construção exploração e preservação do ambiente” (IAEG, 1976)

A premissa que distingue a carta ou o mapa geotécnico (Unesco e IAEG, 1976, *apud* Zuquette e Gandolfi, 2004), está relacionada as informações utilizadas. À elaboração da carta geotécnica, utiliza-se uma base de dados pré-existente para os quais se faz uma análise e interpretação para a representação espacial através de documento cartográfico, representando o estágio de reconhecimento da área pretendida, enquanto para a elaboração de mapa geotécnico, a base de dados é alimentada pela geração de novos dados.

Diversas metodologias encontram-se disponíveis para apresentação de cartas e mapas geotécnicos, podendo estes apresentar diferentes enfoques como fisiográfico – cartas de susceptibilidade à erosão, de formas de relevo (*landforms*), escavabilidade etc., sendo que sua elaboração deve partir de mapas básicos como topográficos, geológicos etc., sendo um fator determinante a escala adequada ao enfoque pretendido, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Condições limitantes das bases topográficas à elaboração das cartas de declividade; extraído de Zuquette e Gandolfi (2004).

ESCALA	ZONAS COM AMPLITUDE DE RELEVO (m)	DISTÂNCIA HORIZONTAL ENTRE CURVAS DE NÍVEL (mm)	EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL (m)	Nº DE CURVAS DE NÍVEL QUE PODEM SER AGRUPADAS	RECOMENDAÇÕES
1:100.000	> 500	< 0,5	20	2	Controle com procedimentos de fotointerpretação (fotos aéreas 1:60.000)
	200 – 500 100 – 200	< 1	20 10	2 2	Controle com procedimentos de fotointerpretação e trabalhos de campo (fotos aéreas 1:60.000)
	< 100		10	2	
1:50.000	> 500	< 0,5	20	2	Controle com procedimentos de fotointerpretação e trabalhos de campo (fotos aéreas 1:60.000)
	200 – 500 100 – 200	< 1	20 10	5	
	< 100		10/5		
1:25.000	> 500	< 0,5	20		Controle com procedimentos de fotointerpretação e trabalhos de campo (fotos aéreas 1:25.000)
	< 500	< 1	10	5	
1:10.000	> 200	< 0,5	10		Controle com procedimentos de fotointerpretação por meio de fotos aéreas de baixa altitude e trabalhos de campo (fotos aéreas 1:25.000/1:10.000)
	100 – 200 < 100	< 1	5 1	5	
1:5.000	> 100	< 1	10		Controle com procedimentos de fotointerpretação, fotos aéreas de baixas altitudes e trabalhos de campo (fotos aéreas 1:10.000)
	< 100		2	5	
Maiores que 1:5.000	> 100	< 2	5	2	Controle com procedimentos de fotointerpretação, trabalhos de campo e fotogrametria terrestre
	< 100	< 1	1	2	

“As escarpas da Serra de Botucatu constituem unidade diferenciada das anteriores. São vertentes muito íngremes, com frequentes paredões rochosos sustentados por basaltos e arenitos da Formação Botucatu. Essas escarpas e vertentes são ocupadas por estradas vicinais e estruturas rurais, que, com o desmatamento indiscriminado, potencializam o desenvolvimento de inúmeras ravinas, geralmente de pequeno porte, e de processos de movimentação de massas do tipo escorregamentos, rastejo e queda de blocos” (IPT, 1995)

A carta de risco de erosão da área urbana de Botucatu (IPT, 1995), da qual foi extraído o excerto acima, foi solicitada em 1995 pela prefeitura municipal de Botucatu, por meio de ofício ao Programa de Assistência Técnica aos Municípios (Patem), da Secretaria da Ciência Tecnologia e Desenvolvimento Econômico (SCTDE), e desenvolvida juntamente ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), apresentada em escala 1:25.000, juntamente de relatório técnico e as fichas de cadastro e medidas sugeridas.

Neste relatório, são identificados processos de erosões lineares e seus principais condicionantes. Para elaboração da carta, apresentam separação nas classes de

declividades 0-12%, 12-20%, 20-30% e >30%, mapeamento das cabeceiras de drenagem, e considerações sobre uso e ocupação urbana do solo.

Para as coberturas de solo, observam horizontes de solos argilosos latossolos roxos e terra roxa estruturada; solos podzólicos e latossolos de textura arenosa média para a unidade de arenitos, e em setores íngremes de encosta a ocorrência de cambissolos e litossolos, e de rocha aflorante.

Para as feições erosivas, é apresentado cadastramento de vossorocas levantadas pelo IPT em 1991, contendo orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo.

A situação de erosão relatada em 1995 era de 23 cicatrizes de erosão de maior porte (16 caracterizadas em detalhe), desenvolvidas nas cabeceiras de drenagem formadas pela concentração do escoamento de águas pluviais provocada pelo processo de desmatamento e urbanização (loteamentos), mapeadas em áreas de arenitos das formações Marília e Itaqueri. As dimensões variam de 8 a 200m de extensão, 5 a 80m de largura, e até 3m de profundidade.

Observa que na rede de drenagem natural sobre os arenitos Botucatu ser comum o solapamento das margens com desmoronamentos e alargamento de canais, como no caso das regiões de córrego do Tanquinho - Vila tanquinho, e a vossoroca de cabeceira do córrego Lavapés – erosão do bairro de Vila Real, regiões de conjuntos habitacionais com obras de contenção, e criticidade alta à formação de processos erosivos.

Fernandes (2008) elaborou carta geotécnica de suscetibilidade em escala 1:50.000, do trecho entre os km 215 a 249 da Rodovia Marechal Rondon - SP-300 no município de Botucatu, 'como subsídio à gestão ambiental', citando o trabalho de IPT (1995) quanto à classificação da área como de alta criticidade aos processos erosivos. Estipula 5 unidades fisiográficas a partir da interpretação de fotografias aéreas e alguns pontos de mapeamento apresentados na forma de fichas:

- **Unidade 1 - Várzeas e fundos de vale** - Susceptibilidade alta/muito alta: contempla planícies fluviais/ áreas de várzea - drenagem principal representada pelo rio Alambari, e fundos de vale restritos às drenagens menores, onde ocorrem gleissolos arenosos cinzas intercalados a camadas de turfa; espessuras de 0,5 a 2m;
- **Unidade 2 - Cuesta da Serra de Botucatu** - Susceptibilidade alta/muito alta (localmente baixa): Região de escarpa; solos coluvionares argilosos escuros da Fm. Serra Geral intensamente fraturada; cambissolos e argissolos vermelhos; diferenciações locais devidas ao que chama *intertrapp* com camadas de arenito Botucatu; ocorrências de tálus;
- **Unidade 3 - Vertentes íngremes em arenitos** - Susceptibilidade média a muito alta: formada pelas unidades Botucatu e Pirambóia; declividades >20% (desníveis de 40 a 150m); solos coluvionares com 'rupturas negativas de relevo';
- **Unidade 4 - Topos de colinas dos arenitos** - Susceptibilidade muito alta: formada pelas unidades Botucatu e Pirambóia; declividades entre 0-10%; latossolos vermelho-amarelos e neossolos quartzarênicos suscetíveis à erosão; espessuras de 2 a 15m;
- **Unidade 5 - Arenitos no reverso da cuesta** - Susceptibilidade média: Formação Marília; declividades entre 0-20%; solos lateríticos/ latossolos vermelho-amarelos; espessuras de 2-8m;

3. RESULTADOS

Nesta sessão é apresentada a distribuição de pontos amostrados para elaboração dos mapas geológico e geotécnico em escala 1:10.000, bem como análise do relevo a partir dos mapas hipsométrico, de declividades, da imagem de satélite e dos padrões de lineamentos observados, além da apresentação das relações de contato entre litotipos, espessuras, seções geológicas e aspectos geotécnicos inerentes ao *trapp* basáltico, *intertrapp* da Serra de Botucatu e formações sedimentares na porção leste da área, em relevo mais baixo.

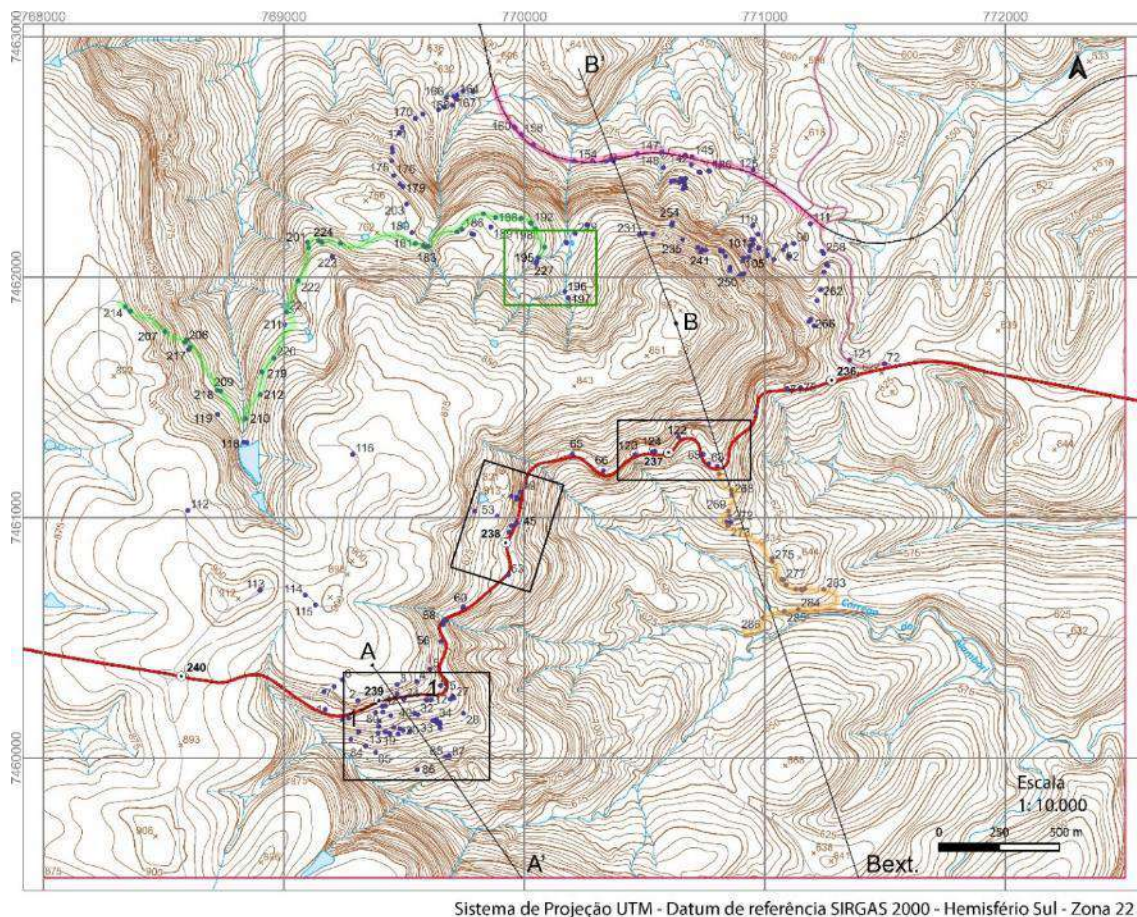
3.1. Amostragem

A amostragem através dos mapeamentos realizados objetivou principalmente a identificação por litotipos: entre rochas basálticas e sedimentares, bem como de pontos de contato e ocorrência de mecanismos e processos erosivos e de movimentos de massa. Entre as rochas sedimentares o litotipo predominante são arenitos, para os quais foi adotada uma subdivisão de acordo com as características principais das ocorrências e associação com as descrições existentes para as unidades geológicas sedimentares Botucatu – arenitos ‘cozidos’ silicificados e arenitos alaranjados com grãos bem selecionados e presença de estratificação cruzada de grande porte, e Pirambóia – arenitos com finos na matriz, de cores bege a rosado claro, sendo observadas intercalações com fácies de sedimentos finos amarronzados.

Para apresentação dos dados levantados, e por estes advirem essencialmente de observações de campo durante os mapeamentos geológicos realizados na área, faz-se necessária a identificação de algumas subáreas para referenciamento ao longo do texto:

1. Seção pela rodovia SP-300: observações de contatos ao longo dos taludes da pista sentido Botucatu, ou em seção transversal a esta, a montante ou jusante;
2. Região próxima à ferrovia Sorocabana;
3. Região de vale no topo da serra;
4. Estrada de acesso no alto da serra;
5. Estrada de acesso às fazendas porção sudeste da área até o córrego do Alambari;

Na Figura 17 é apresentado mapa contendo a indicação dos pontos levantados, (ampliado no Apêndice I) traçado das seções geológicas elaboradas, e de regiões de referência acima.



Sistema de Projeção UTM - Datum de referência SIRGAS 2000 - Hemisfério Sul - Zona 22

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Pontos levantados
- Área de projeto
- ⊙ Quilometragem
- Rodovia SP-300
- Estradas municipais e acessos locais
- ++ Ferrovia Sorocabana
- Seções geológicas elaboradas

Curvas topográficas

- Mestras (a cada 25m)
- Intermediárias (a cada 5m)
- Pontos cotados
- Lagos artificiais/ perenes
- Drenagens intermitentes
- Canais de drenagens existentes

Regiões de referência

- Estrada de acesso topo da serra
- Vale em porção intermediária da serra
- km em seção pela rodovia SP-300
- Trecho pela ferrovia Sorocabana
- Estrada Municipal Geraldo Biral
- Estrada de acesso às fazendas na porção SE da área e até o Córrego do Alambari

Figura 17 – Mapa de pontos para o limite da área mapeada com indicação das seções A, B e 1, e regiões de referência às descrições de relações tectonoestratigráficas ao longo da serra.

3.2. Análise do Relevo e Condicionamento Estrutural da Área de Estudo

Os padrões de relevo e interpretação de lineamentos estruturais foi feita a partir da análise integrada de: base topográfica das folhas 1:10.000 modelo digital de elevação (MDE) da imagem AP_27773_PLR_F6730_RT1 do satélite Sentinel 1 obtida através

do Programa *Copernicus* da Agência Espacial Européia (ou *European Space Agency* – ESA); imagens satélite históricas disponíveis no *software Google Earth*; e fotografias aéreas impressas em escala 1:10.000 do levantamento cartográfico do município (1962). O geoprocessamento foi feito utilizando o *software QGIS* e ferramentas de análise do relevo.

Na Figura 18 é apresentado o mapa hipsométrico (ampliado no Apêndice II), obtido a partir do MDE, em uma categorização de elevações apresentada em sua legenda, juntamente dos lineamentos interpretados, que podem ser agrupados em 4 sistemas preferenciais de direções: NS a N25E, N45 a N60E, EW e N60W, e que condicionam a estruturação e alinhamento de vertentes da Serra de Botucatu.

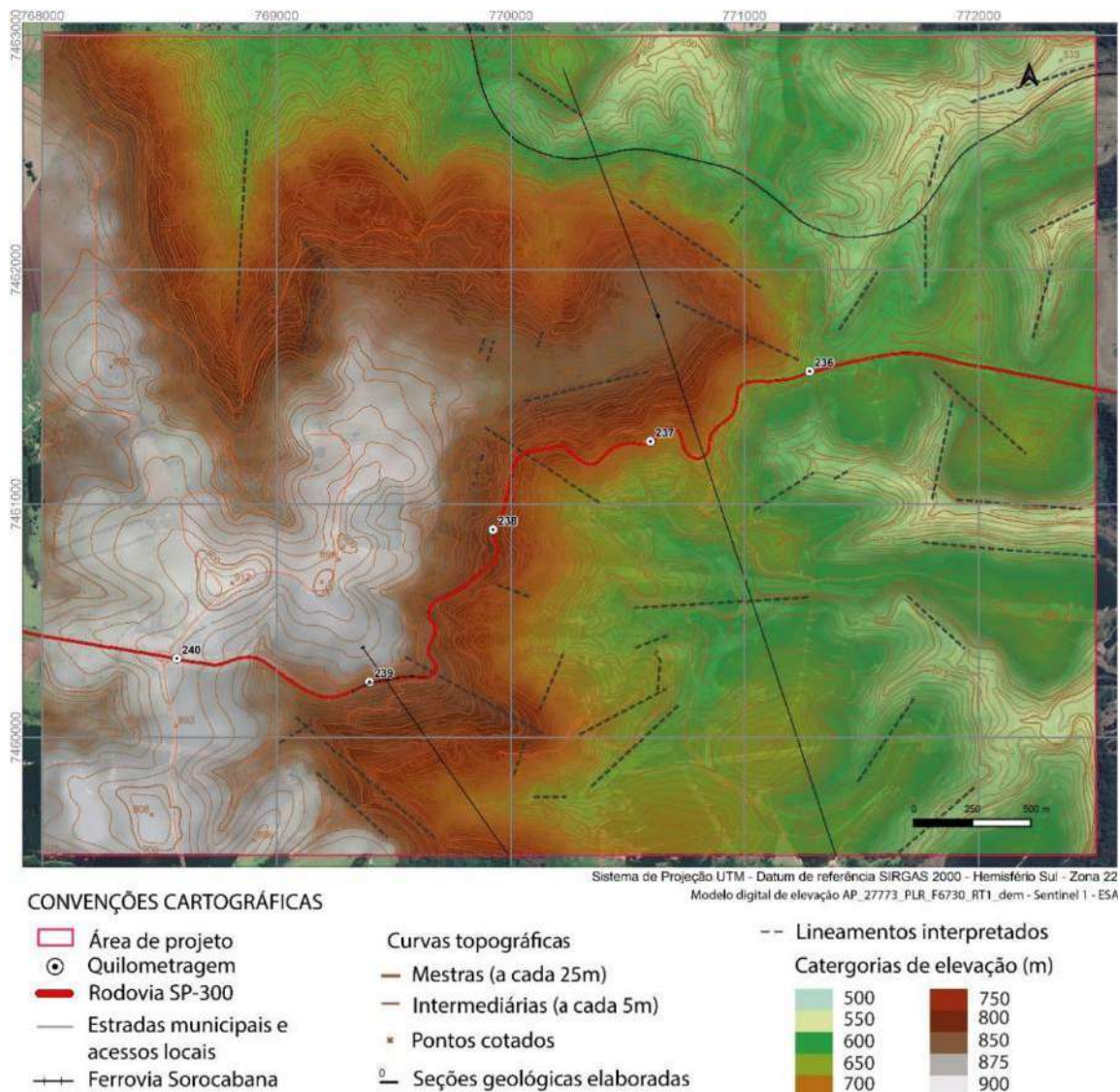


Figura 18 – Mapa hipsométrico obtido do MDE, com indicação dos lineamentos interpretados sobre imagem de satélite (*Google Satellite*).

A partir do modelo digital de elevação também foi gerado mapa de declividades (ampliado no Apêndice III) através do da Figura 19 com separação nas seguintes classes:

- <5%: relação com áreas susceptíveis a alagamentos;
- 5 a 10%;
- 10 a 20%;
- 20 a 30%;
- 30 a 40%;
- >40%: regiões escarpadas, geralmente apresentando perfil de alteração menos desenvolvido e baixas espessuras de solo; potencialidade a cinemáticas de ruptura como a formação de massas coluvionares e de tálus;

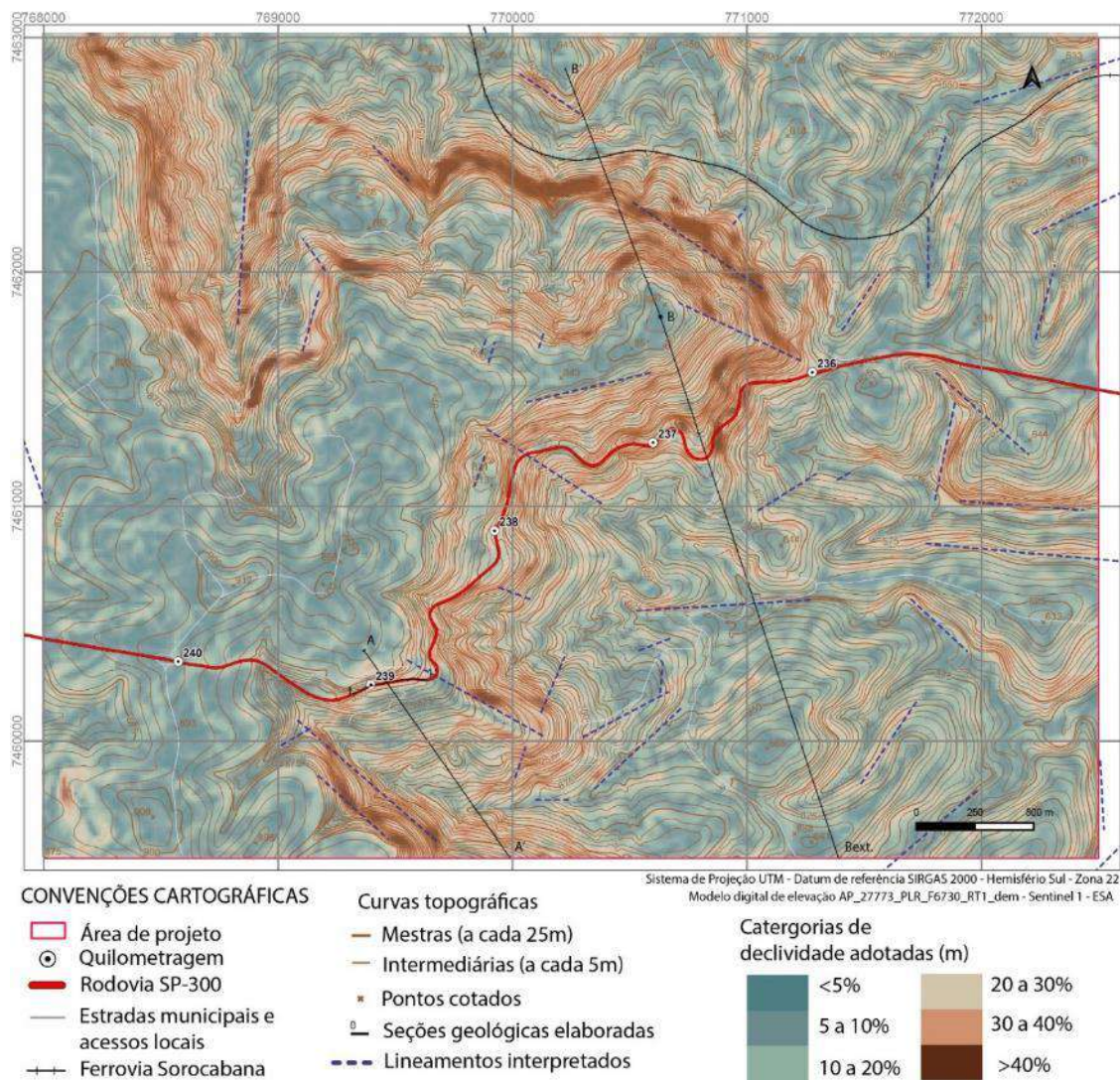


Figura 19 – Mapa de declividades sobre imagem de satélite (*Google Satellite*) obtido de MDE, indicação da rodovia SP-300 e seus pontos de quilometragem de referência, principais acessos e lineamentos interpretados.

3.3. Descrição dos Litotipos na Área de Estudo

3.3.1. Rochas basálticas da Formação Serra Geral

Dentre as rochas basálticas observadas ao longo da área de estudo, destacam-se duas porções faciológicas principais:

- Porções de basalto vesicular-amigdaloidal (Figura 20) observadas em bases e topos dos derrames com espessuras menores que 1m até 5m; destaca-se que para a região de topo da serra é onde este horizonte alcança maiores espessuras e apresenta alta densidade de amígdalas, estas observadas com preenchimento de quartzo de poucos milímetros até centimétricas.
- Poções de basalto a microgabro maciço (Figura 21), afanítico a fanerítico de granulação muito fina a fina, apresentando característico diaclasamento localmente formando padrão de disjunções colunares em afloramentos de maiores espessuras, onduladas, e por vezes apresentando mudanças de inclinação principal, ou apenas formando padrão de fraturamento do maciço, com sistemas de descontinuidades subverticais e sub-horizontais; localmente observados preenchimentos de fraturas por calcita;



Figura 20 – Amostra de mão de basalto vesicular/ amigdaloidal de topo de derrame.



Figura 21 - Amostra de mão de basalto/ microgabro da porção maciça interna aos derrames.

3.3.2. Arenitos da Formação Botucatu e *intertrapps*

Os arenitos da Formação Botucatu na área de estudo apresentam característica coloração laranja avermelhada, granulação fina a média e graus de esfericidade e seleção elevados, compostos por quartzo essencialmente. São observados padrões em *sets* de estratificações cruzadas acanaladas na base, métricas, bem preservadas, ora com estratificação plano paralela separando os *sets*.

Os arenitos *intertrapp* apresentam estas mesmas características, porém, com a particularidade da ocorrência de porções silicificadas quando em região de contato com os derrames. Nestes últimos casos, mesmo silicificados, é possível ainda em alguns pontos reconhecer as estratificações cruzadas preservadas na matriz silicificada.



Figura 22 – Exemplo de estratificação cruzada em afloramento entre os km 237 e 236 da rodovia SP-300 (~ponto 67; UTM 7461238.63 N/ 770739.60 E).

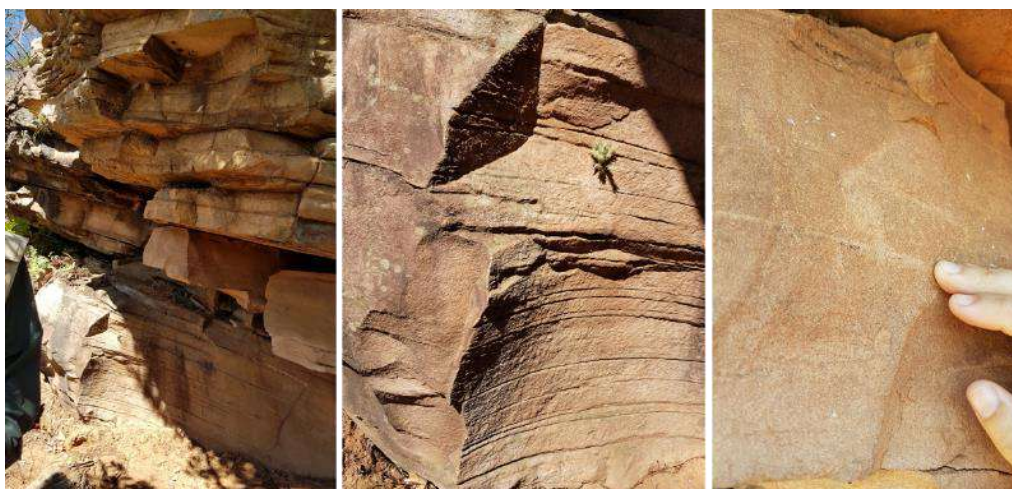


Figura 23 – afloramento de arenito silicificado com preservação da estratificação original da rocha (ponto 243; UTM 7462110.96 N/ 770815.39 E).

3.3.3. Arenitos da Formação Pirambóia

Os litotipos atribuídos à Formação Pirambóia na área de estudo correspondem a arenitos predominantemente de granulação fina, com matriz contendo partículas de finos (argila e silte), e característica coloração esbranquiçada, beges e rosados, e predomínio de estratificação plano paralela.

Em alguns afloramentos verifica-se intercalação centimétrica a decimétrica com níveis de siltitos de coloração amarelada/ castanho.

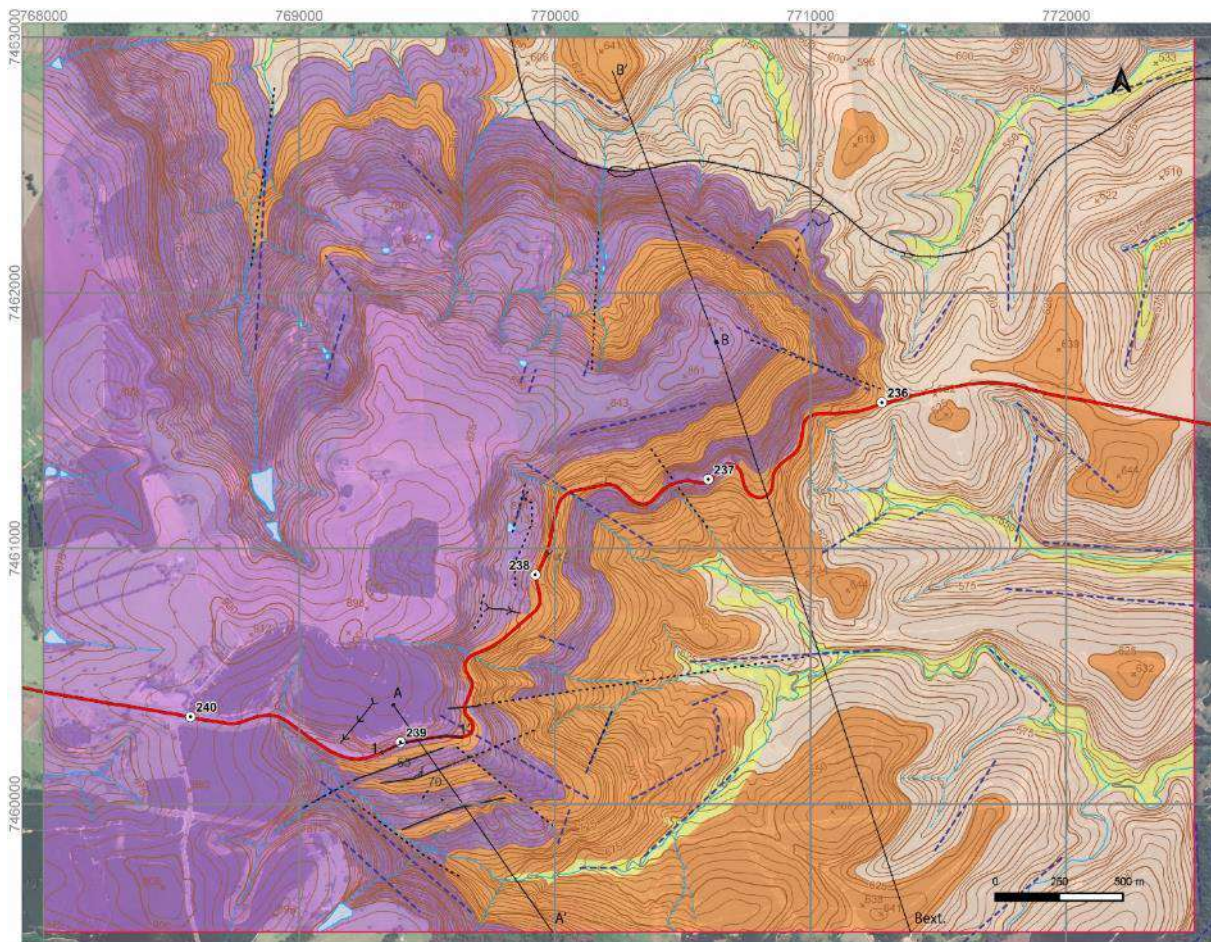
Na região de contato com os arenitos Botucatu em estrada de acesso às fazendas da porção baixa sudeste da área, é verificada intercalação com níveis métricos de arenitos alaranjados com estratificações cruzadas de características semelhantes às descritas para os arenitos Botucatu, bem como feições de oxidação e laterização com manchas em padrões aleatórios avermelhadas, e ainda sistemas de descontinuidades persistentes subverticais apresentados em maior detalhe no item 3.4.4.

3.4. O *Trapp* Basáltico, *Intertrapp* e Suas Relações de Contato

Um dos principais objetivos deste estudo foi a identificação das relações de contato, espessuras e quantidade de derrames/*sills* do *trapp* basáltico da serra e arenitos *intertrapp*. Neste sentido, a 'seção' pela rodovia SP-300, no trecho entre os km 239 e 236, permite um acompanhamento desta alternância de basalto e arenito em diferentes cotas ao longo dos cortes expostos.

Na porção extrema leste da área, em relevo mais baixo colinoso, predomina área aflorante da Formação Pirambóia transicionando à Formação Botucatu entre elevações de 620 a 630m. Ao longo do traçado da ferrovia em cotas próximas a 600m, observou-se o contato direto de derrame basáltico sobre arenitos Pirambóia.

O mapa geológico do *trapp* basáltico e *intertrapp* da Serra de Botucatu elaborado em escala 1:10.000 é apresentado simplificado na Figura 24 abaixo, e em maior detalhe no Apêndice IV.



Sistema de Projeção UTM - Datum de referência SIRGAS 2000 - Hemisfério Sul - Zona 22

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Área de projeto Quilometragem Rodovia SP-300 Estradas municipais e acessos locais Ferrovia Sorocabana | <ul style="list-style-type: none"> Lagos artificiais/ perenes Drenagens intermitentes Canais de drenagens existentes Seções geológicas elaboradas Lineamentos interpretados Possíveis falhamentos interpretados Falhamentos identificados Medidas pontuais de descontinuidades | <ul style="list-style-type: none"> Vossorocas identificadas <p>Unidades geológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Depósitos aluvionares Depósitos coluvionares Rochas basálticas da Formação Serra Geral Arenitos eólicos intertrapp e da Formação Botucatu Arenitos e siltitos subordinados da Formação Pirambóia |
|---|--|---|

Figura 24 - Mapa geológico do *trapp* basáltico da Serra de Botucatu em escala 1:10.000, elaborado pela autora.

Nas subseções seguintes, serão detalhadas as principais observações tectonoestratigráficas para as regiões de referência identificadas na Figura 17.

3.4.1. Seção ao longo da Rodovia SP-300

O traçado da rodovia SP-300 bordeja a escarpa da Serra de Botucatu em uma seção desde o planalto até a planície em uma variação de altitude de ~880m a ~620m, entre os quilômetros 239 a 236.

A região do km 239 da rodovia SP-300, no alto da serra, representa uma área de importantes observações do ponto de vista geomorfológico e relações litoestratigráficas. Em uma seção transversal à pista, nesta região, é possível verificar uma estruturação em sequência de platôs e escarpas até um relevo mais baixo colinoso, no que foi interpretado como uma sequência de abatimentos da escarpa na forma de falhamentos normais (Figura 25).



Figura 25 - Vista para a configuração de platôs e escarpas para relevo mais baixo colinoso, a partir do topo do corte do km 239 da rodovia SP-300 para a configuração em platôs e escarpas a jusante (ver seção esquemática da Figura 31).

Quanto às relações estratigráficas, os cortes em rocha do lado da pista sentido Botucatu apresentam contato entre dois derrames através de superfície de baixo ângulo de mergulho e o contato irregular com arenito eólico marcado por suavização do relevo (porção extrema direita da imagem), que apresenta 'injeção' de rocha basáltica caracterizada por faixa pouco espessa (0,5m) a aproximadamente 2/3 da altura do corte em arenito (Figura 26).

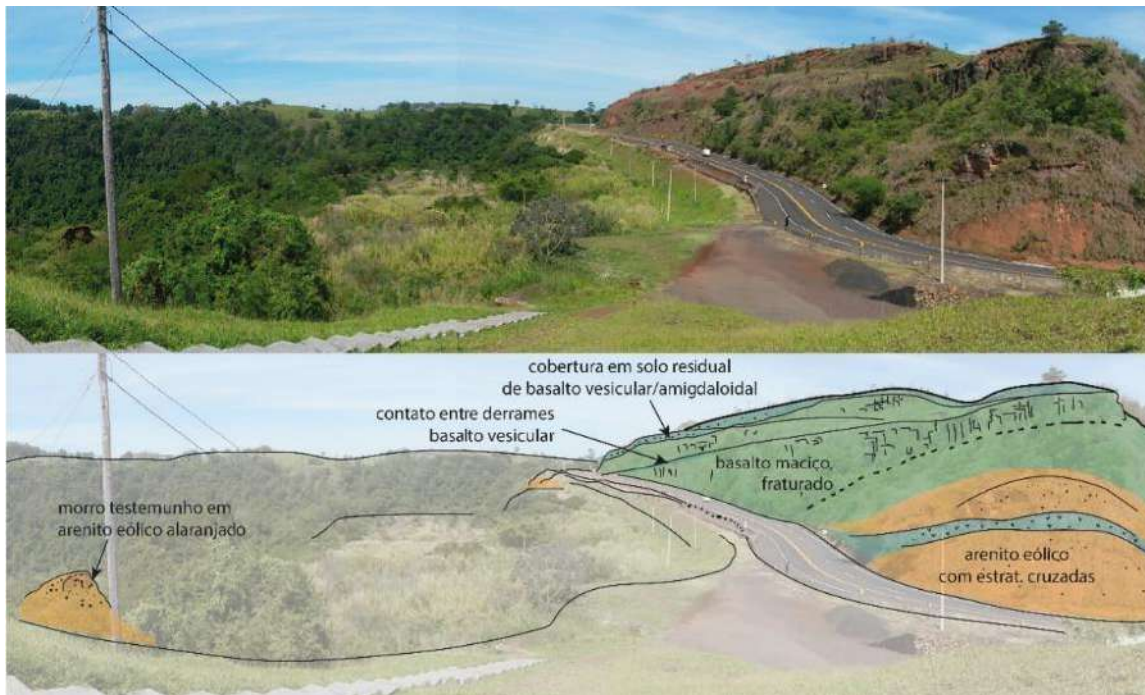


Figura 26 - Vista para o topo da Serra de Botucatu e destaques para contatos entre dois derrames, separados por porções de basalto vesicular/ amigdaloidal, e o contato com arenito eólico com injeção de rocha basáltica nos cortes laterais à pista sentido Botucatu; configuração em platôs e presença de morro testemunho de arenito na porção inferior à pista; região do km 239 da rodovia SP-300.

O contato entre os dois derrames é apresentado em vista frontal geral da Figura 27 e sua faciologia apresentada na Figura 28, detalhe para a base em basalto vesicular amigdaloidal alterado à solo argiloso escuro, sob basalto maciço formando 'colunas' onduladas com predomínio de juntas subverticais e horizontais.



Figura 27 - Derrames sobrepostos na região A do km 239 da SP-300.



Figura 28 – Porção intermediária do corte onde observado contato entre dois derrames, identificado por camada de até 1m de espessura vesiculada, delimitada por tracejado magenta, alterada em muitas porções a argila siltosa de cor marrom escura, sob horizonte de basalto em maciço fraturado (ponto 77; UTM 7460266.77 N/ 769472.651 E).

Na Figura 29 são apresentadas fotografias mais próximas do corte onde observado o contato em arenito eólico. Neste corte é possível observar estratificações cruzadas de grande porte, em matriz de areia fina a média alaranjada bem selecionada e não silicificada. O basalto ocupa a porção superior do corte, em contato marcado por 'quebra' na topografia acompanhando um formato ondulado, assim como a continuidade de faixa de basalto 'injetada' no arenito de cerca de 0,5m de espessura.



Figura 29 - Detalhe da 'faixa' de basalto, com afinamento de espessura até interrupção à dir. da imagem, entre arenito Botucatu; vista a partir de estacionamento da capela São Cristóvão (ponto 55; UTM 7460300.78 N/ 769651.87 E).

Na Figura 30 é apresentada uma seção esquemática longitudinal ao km 239, seção 1 indicada na Figura 17, mostrando a superfície de contato irregular, ondulada, dos derrames com o arenito *intertrapp*, faixas de basalto vesicular/ amigdaloidal nos contatos, e espessuras em relação ao nível da pista projetado e do corte lateral à pista.

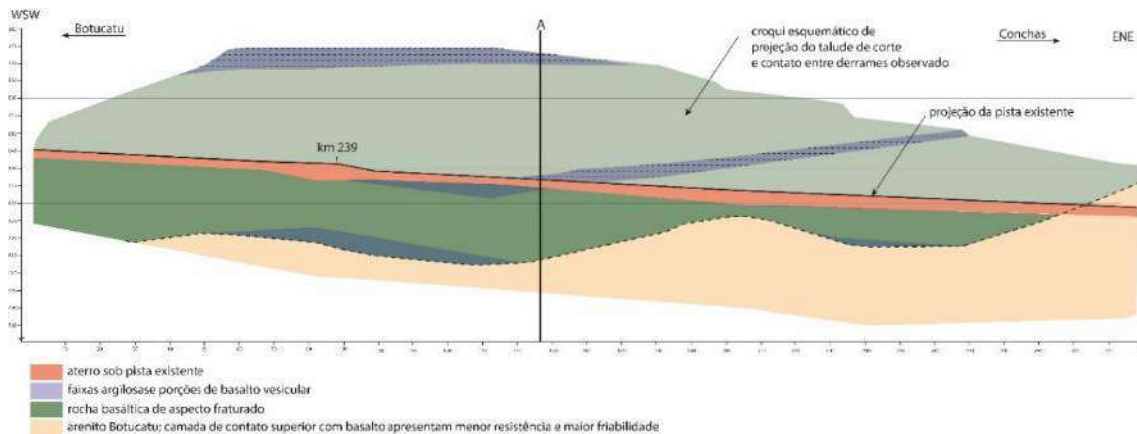


Figura 30 – Croqui esquemático - seção longitudinal 1 pela pista na região do km 239, revelando o contato irregular de 2 derrames de basalto sobre arenito, aflorante em curva fechada no local.

Para representação da seção transversal à pista no km 239, é apresentada a seção esquemática da Figura 31, que evidencia a existência de três platôs abaixo do nível da pista existente limitados por falhamentos normais interpretados a partir da interrupção dos contatos ao longo destas 'quebras' topográficas.

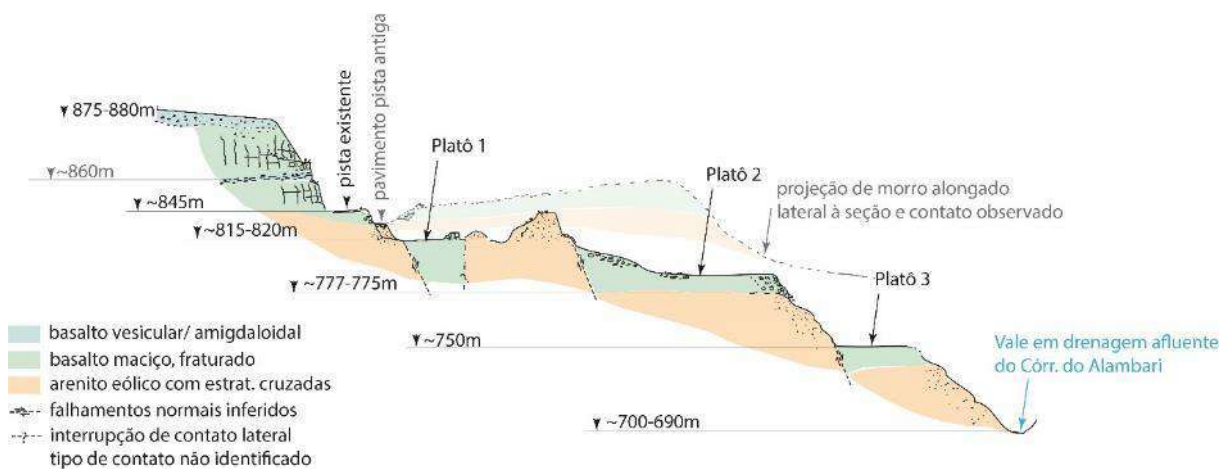


Figura 31 – Seção esquemática AA', transversal ao km 239 da rodovia SP-300, e modelo interpretado para as intercalações e interrupções de contatos entre basaltos e arenitos.

A região do 'platô 1' da Figura 31, inferior ao nível da pista existente e ao nível de pavimento restante da pista antiga, está situada entre cotas de 815 a 820m pelo qual é possível a observação de afloramentos de basalto *in situ* e em 'bancadas' (Figura 32), e pilhas de blocos dispostas em geometria sugestiva de atividade minerária, de pedra desativada.



Figura 32 - Faixa de afloramento contínua em rocha basáltica/ diabásio, em orientação aproximadamente E-W em platô da Figura 31 (ponto 31; UTM 7460126.86 N/ 769457.93 E).

Seguindo na seção transversal à pista à menores elevações, observa-se lateralmente às bancadas em basalto, a ocorrência de ‘morrotes’ de arenito silicificado e de morro testemunho em arenito (Figura 26), com horizontes de solo residual arenoso de até 3m e feições erosivas como sulcos e cicatrizes de ruptura. Esta lateralidade abrupta corrobora a existência de falhamento neste local, interpretado como normal.

Na Figura 33 são apresentadas vistas laterais para o contato observado de basalto sobre arenito no ‘platô 2’ da seção esquemática da Figura 31 contato, ondulado e ocorrência de camada coluvionar de basalto.



Figura 33 - Vista para contato de basalto sobre arenito na cota ~770m (ponto 88; UTM 7460004.23 N/ 769671.88 E).

Na Figura 34 é apresentada uma vista a partir do nível da pista para o padrão geomorfológico de base da face SW escarpa do km 239 (projetada na seção esquemática da Figura 31), com quebra de relevo observada indicativa de contato com arenito.



Figura 34 – Vista para 'quebra' de relevo observada na face SW de morro alongado na região do km 239, sugestiva da posição de contato de basalto sobre arenito.

Seguindo se pelo traçado da rodovia, na região do km 238, pontos de contato de basalto sobre arenito são observados aproximadamente ao longo da cota 790m, como na Figura 35, onde observado horizonte de blocos de rocha envoltos em solo residual, sobre horizonte de argila marrom arroxeadada escura, marcando o contato com o arenito alaranjado. A encosta neste trecho é formada por basalto *in situ* apresentando intenso processo de esfoliação esferoidal, ora ocasionando rolamento de blocos quando do perfil de alteração mais avançado.



Figura 35 – Vista frontal de ponto de contato de basalto sobre arenito na região do km 238 da SP-300; notar presença de faixa de solo marrom arroxeadado escuro diretamente sobre o arenito fraturado alaranjado, sobre o qual ocorre camada de blocos de basalto fraturados parcialmente envolvidos em solo residual evidenciando se tratar de porção mais maciça do derrame (ponto 48; UTM 7461077.51 N/ 769975.34 E).

Do ponto de contato apresentado na Figura 35, segue-se por topografia mais abatida, em arenitos com cicatrizes de ruptura em solo que é interrompida por ‘paredão’ e drenagem em basalto próxima do km 237 da SP-300, atribuída a possível falhamento. Após esta interrupção em basalto, é observado (Figura 36) novamente o contato ‘ondulado’ de basalto (fraturado com blocos envolvidos por solo de alteração arroxeadado) sobre arenitos alaranjados com estratificações cruzadas métricas ao longo de curva fechada na região do km 236 da SP-300, com variação de cota da base do basalto de 688m a 700m. Na Figura 36 inferior, é possível verificar o ‘caimento’ da faixa de basalto de coloração escura tanto para o lado esquerdo como direito da imagem.

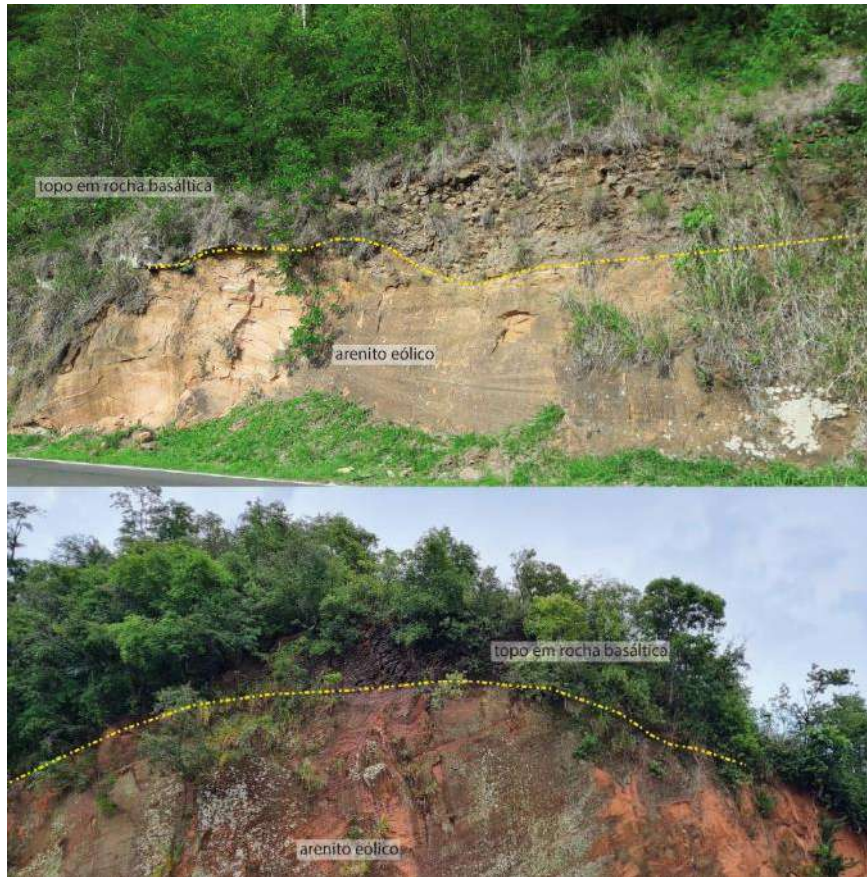


Figura 36 - Contato de basalto sobre arenito em curva fechada do km 236 (sup. Ponto 69, UTM 7461262.16 N/ 770744.64 E); inf. Ponto 67, UTM 7461211.98 N/ 770802.55 E).

3.4.2. Estradas de acesso e vale ao topo da Serra

Os afloramentos e cortes expostos ao longo da estrada de acesso no topo da serra (ver indicação das regiões de referência na Figura 17) encontram-se predominantemente em perfis de alteração de rochas basálticas misto em solo e blocos de rocha (Figura 37), com recobrimentos locais de arenitos. As escarpas dos morros apresentam característico padrão escalonado de rupturas nesses solos residuais (Figura 38).



Figura 37 – Corte em perfil de alteração misto em solo residual e blocos arredondados de basalto (ponto 183; UTM 7462126.85 N/ 769593.39 E).



Figura 38 – Padrão escalonado de rupturas em solos residuais de basaltos ao longo das encostas na região de topo da serra.

Na Figura 39 é apresentada vista para corte em perfil de rocha basáltica. Nos 2/3 inferiores da altura do corte ocorre basalto maciço fraturado apresentado juntas verticais em fraturamento intenso, localmente apresentando empastilhamento, e nos 1/3 superiores do corte, basalto vesicular de topo do derrame, alterado a camadas de argila de cor esverdeada a avermelhada.



Figura 39 - Perfil de alteração em topo de derrame em estrada de acesso às fazendas pelo alto da serra (ponto 216, UTM 7461729.14 N/ 768589.20 E).

Em localidades aflorantes (Figura 40 e Figura 41), foram observadas ‘capas’ de derrame basáltico sobre colinas baixas, arredondadas, e com contatos irregulares ao longo da superfície dos afloramentos de arenito, sugerindo ter havido derrame sobre paleotopografia, possivelmente interrompendo a continuidade de camadas de arenito.



Figura 40 - Contato basalto sobre arenito apresenta contato irregular sobre arenito – contato em estrada de acesso às fazendas pelo topo da serra (ponto 185; UTM 7462188.88 N/ 769720.43 E).



Figura 41 - Contato basalto sobre arenito apresenta contato irregular sobre arenito – contato em estrada de acesso às fazendas pelo topo da serra (ponto 201; UTM 7462146.14/ 769098.56 E).

3.4.3. Vale localizado na porção de topo da serra

Nesta região, acessada pela estrada mencionada no item anterior, observa-se encosta em arenito por cerca de 60m de espessura, recoberta por derrame basáltico, que configura o topo da serra neste ponto, e sobre laje de basalto observada na drenagem local, como mostra a vista geral da Figura 42.



Figura 42 – Vista para o vale localizando na porção de topo da serra, região de ocorrência de encosta em arenito recoberta por derrame basáltico, e sobre drenagem em basalto (vista a partir do ponto 193; UTM 7462125.50 N/ 70085.02 E).

O contato inferior com o derrame basáltico/ sill inferior pode ser acompanhado ao longo de trilha pela base da encosta em arenito, sendo observadas porções silicificadas, como o arenito mostrado na Figura 23 do item 3.3.3. A encosta em arenito apresenta coberturas coluvionares de solo arenoso de baixa compactidade, sulcos e ravinações decorrentes dos processos erosivos atuantes, como na Figura 43.



Figura 43 – Trecho da encosta em arenito, com coberturas coluvionares de solos arenosos, sulcos e ravinações (ponto 243; UTM 7462110.96 N/ 770815.39 E).

A única exposição onde possível verificar a espessura deste derrame/ sill inferior à encosta em arenito, é acessada pela porção inferior da serra, representada por um corte subvertical de >30m de altura em basalto colunar (Figura 44). Neste local, além do corte, verificam-se pilhas de blocos de basalto dispostas em geometria que sugere ter se tratado de antiga pedreira. Na Figura 44 a continuidade das colunas se dá por ao menos 15m de altura, sendo interrompida por uma aparente superfície horizontal marcada pela vegetação, e sobre a qual as colunas passam a apresentar direcionamento mais disperso. A trilha pela qual é possível acessar o local, apresenta um aparente alinhamento estrutural de direção N035E.



Figura 44 - 'Paredão' em basalto – possivelmente antiga pedreira; perfil de basalto com disjunções colunares (ponto 104; UTM 7462080.29 N/ 770912.66 E).

3.4.4. Região estrada de ferro Sorocabana -derrame sobre Pirambóia

Na região da ferrovia Sorocabana (Figura 45), em proximidades da cota 600m, verifica-se contato direto de rochas basálticas sobre arenitos atribuídos à Formação Pirambóia (Figura 46). Este contato foi observado em cortes e afloramentos, mas também foram observadas coberturas coluvionares a corpos de tálus ao longo deste traçado, associados a rupturas e massas rompidas em eventos anteriores



Figura 45 – Padrão de relevo baixo na região de alinhamento da ferrovia Sorocabana.



Figura 46 - Basalto sobre arenito mal selecionado bege, região da ferrovia.

Os litotipos que aqui foram associados à Formação Pirambóia apresentam maior variação faciológica/ composicional, com arenitos finos argilosos esbranquiçados com variações rosada/ amarelada, bem como horizontes de siltitos/ argilitos (sedimentos finos) de coloração acastanhada/ bege (Figura 47), ora empastilhados. Estas intercalações a sedimentos finos também puderam ser identificadas da análise de imagens de satélite, como exemplo da Figura 48.



Figura 47- Arenito pouco argiloso esbranquiçado, fino, com estratificação plano paralela e descontinuidades subverticais exposto em cortes ao longo da ferrovia (ponto 127; UTM 7462442.62 N/ 770766.94 E).



Figura 48 – Padrão de estratificação característico observado em região de afloramento da Fm. Pirambóia (recorte de imagem Google Satellite).

3.4.5. Contato Botucatu-Pirambóia

O contato Botucatu-Pirambóia foi observado em uma seção com diminuição gradual de elevações ao longo da estrada de acesso sentido córrego do Alambari, porção sudeste da área mapeada, como de natureza gradacional, acessada a partir do km 236 da rodovia SP-300 (cota ~686m) onde está localizado o contato de basalto sobre arenito da Formação Botucatu. Deste ponto em diante, são observados cortes baixos expostos e intensamente erodidos, em solos arenosos alaranjados de baixa compactidade (areia fina-média bem selecionada; grãos com alto grau de arredondamento) e formando 'areiais' ao longo de drenagens (Figura 49).



Figura 49 - Afloramento de solos residuais de arenitos eólicos da Fm. Botucatu em estrada de acesso local sentido córrego do Alambari (ponto 274; UTM 7460831.36 N/ 771030.62 E).

A partir de um ponto da estrada, nota-se uma faixa de 'transição' de arenito fino, argiloso, de coloração esbranquiçada, com laminação plano paralela (Figura 50) e afetado por sistemas de descontinuidades subverticais. Seguindo-se na seção, encontra-se uma passagem de arenito semelhante ao perfil observado ao nível da pista, arenito Botucatu, com grãos bem selecionados e arredondados de arenito alaranjado com estratificação cruzada, seguida por um segundo nível de arenito fino de matriz argilosa e de estratificação plano paralela (Figura 52), afetado por sistema de descontinuidade subvertical na direção N255 e padrão mosqueado sugestivo de processo de pedogênese e laterização (Figura 52).



Figura 50 – Transição para arenito com estratificação plano-paralela esbranquiçado (ponto 277; UTM 7460739.96 N/ 771078.75 E).



Figura 51 – Intercalação de arenito alaranjado eólico, sobre segundo nível de arenito com estratificação plano-paralela esbranquiçado (próximo ao ponto da figura anterior).



Figura 52 - Fotografias com vista em planta e perspectiva de superfície de camada de arenito Pirambóia com traços de sistema de discontinuidades subverticais, bem como padrões de oxidação/laterização formando manchas avermelhada.

Na seção geológica B-B' da Figura 53, é apresentada uma seção transversal à serra, desde a porção a norte da ferrovia Sorocabana, até a região de colinas baixas a sudeste da área, atravessando o canal de drenagem do córrego do Alambari.

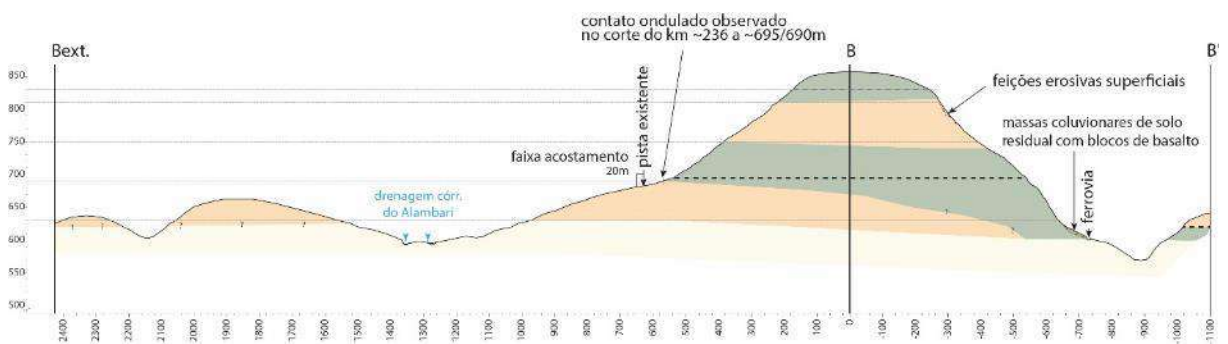


Figura 53 – Seção geológica B transversal à serra desde a região a norte da ferrovia, até as colinas baixas da porção sudeste da área.

3.5. Aspectos geotécnicos

Os diferentes tipos de perfis de alteração em basaltos e arenitos (*intertrapp*, Botucatu-Pirambóia) e sua distribuição sobre o relevo e suas declividades na área mapeada, ao longo da serra, condicionam tipos distintos de movimentos de massa e feições erosivas, além de variadas espessuras de solos. A superfície de contato entre esses dois litotipos, em especial, condiciona potencial superfície de ruptura, como observado, associado à presença de horizontes de areia fofa a pouco compacta, por vezes saturada, logo abaixo da camada de basalto.

3.5.1. Perfis de alteração de rocha e solos residuais

A designação como solos residuais aqui adotada, visto que existem diversas proposições para as denominações dos horizontes de solo do perfil de alteração para tipos variados de rochas, será a de Vaz (1996), num sentido de sua classificação genética, separando solos residuais dos solos transportados (abordados no item seguinte).

3.5.1.1. Solos residuais das rochas basálticas

Com relação aos solos residuais resultantes do perfil de alteração dos derrames basálticos podem ser destacados 2 tipos de solos observados:

- Solo argilo arenoso/ arenoso avermelhado (Figura 54; detalhe Figura 55): Resultante da alteração de horizontes de topo dos derrames, que apresentam concentração de vesículas/ amígdalas. O caráter arenoso do solo, não tipicamente esperado, se dá em função da alta densidade de amígdalas, e muitas das quais preenchidas por quartzo, resultando neste perfil.



Figura 54 - Corte recuado à pista, em solo de alteração de topo de derrame basáltico, próximo ao km 239 da SP-300.



Figura 55 - Topo de derrame corte em rocha km 239, em perfil de alteração de solo de alteração de basalto vesicular vermelho, arenoso, sendo possível a identificação de 'pontos' brancos que correspondem às amígdalas (ponto 2; UTM 7460238.457 N/ 769308.857E).

- Solo argiloso/siltoso de coloração marrom escura, avermelhado a arroxeado: solo observado nas regiões de afloramento de basalto de estrutura maciça/colunar, associado à evolução do perfil de alteração através de fraturas associado/não ao processo de esfoliação esferoidal;



Figura 56 - Solo de alteração argiloso marrom escuro envolvendo blocos arredondados com evidente processo de esfoliação esférica.



Figura 57 - Exemplo de cobertura destes solos, em horizonte superficial mais evoluído no perfil de alteração.

3.5.1.2. Solos residuais de arenitos

Perfis de alteração em rochas sedimentares, que tem seu processo de formação intrinsecamente ligado aos processos erosivos, ao transporte e acumulação dos sedimentos, apresentam um perfil de alteração heterogêneo e muitas vezes não linear, com formação de horizontes de solo de compactidade variada.

Os arenitos da Formação Botucatu e arenitos *intertrapp*, associados a ambiente de sedimentação eólica, apresentam caracteristicamente elevados graus de seleção (fração areia fina-média) e arredondamento dos grãos, com estruturas reliquiares representadas por sets de estratificações cruzadas e coloração alaranjada homogênea característica. Os solos de alteração resultantes apresentam perda da coesão, formando horizontes de areia fofa/ pouco compacta facilmente erodíveis, como nos exemplos das Figura 62 e Figura 63.

3.5.2. Feições erosivas e movimentos de massa gravitacionais ao longo da serra

Dentre as feições erosivas observadas na área mapeada, destacam-se distintos graus de erosão, com ravinamentos em solos arenosos, bem como vossorocas em solos arenosos relativos ao perfil de alteração em topos de derrame.

Os movimentos de massa observados, por sua vez, consistem essencialmente em escorregamentos observados em perfis de alteração de basaltos e arenitos, rastejamentos de massas coluvionares em terrenos de baixa declividade, e queda/rolamento de blocos em cortes ou regiões escarpadas em basalto.

Na região dos km 239 e 238 da rodovia SP-300 ocorrem duas vossorocas V1 e V2, com comprimentos da ordem de centenas de metros, indicadas na Figura 58 sobre imagem de satélite para duas datas distintas, com profundidade de poucos metros, sendo observada a comunicação com o lençol freático. Estas feições apresentam, respectivamente, direção e comprimento de N45E e N275, e 200 e 150m, e ocorrem sobre solos residuais de topo do derrame, arenosos. Na Figura 59 são apresentadas fotografias de vistas do interior da vossoroca V1 à época exposta, com estimada profundidade de até 3m.



Figura 58 - Expressão das vossorocas V1 e V2 em alinhamentos N45 e N275, respectivamente; regiões de topo de derrames no alto da serra, região dos km 239 e 238 da rodovia SP-300, sobre solo residual vermelho arenoso de basalto vesicular/ amigdaloidal; data das imagens indicadas, obtidas através do software *Google Earth*.



Figura 59 - Perfil 'transversal' da vossoroca do km 239, hoje sob coberturas vegetais agrícolas, desenvolvida em solo de alteração arenoso avermelhado de topo de derrame basáltico.

Na Figura 60 é apresentada fotografia de levantamento aerofotográfico de 1962, onde é possível verificar (onde indicado) que estas feições já se encontravam já em formação.

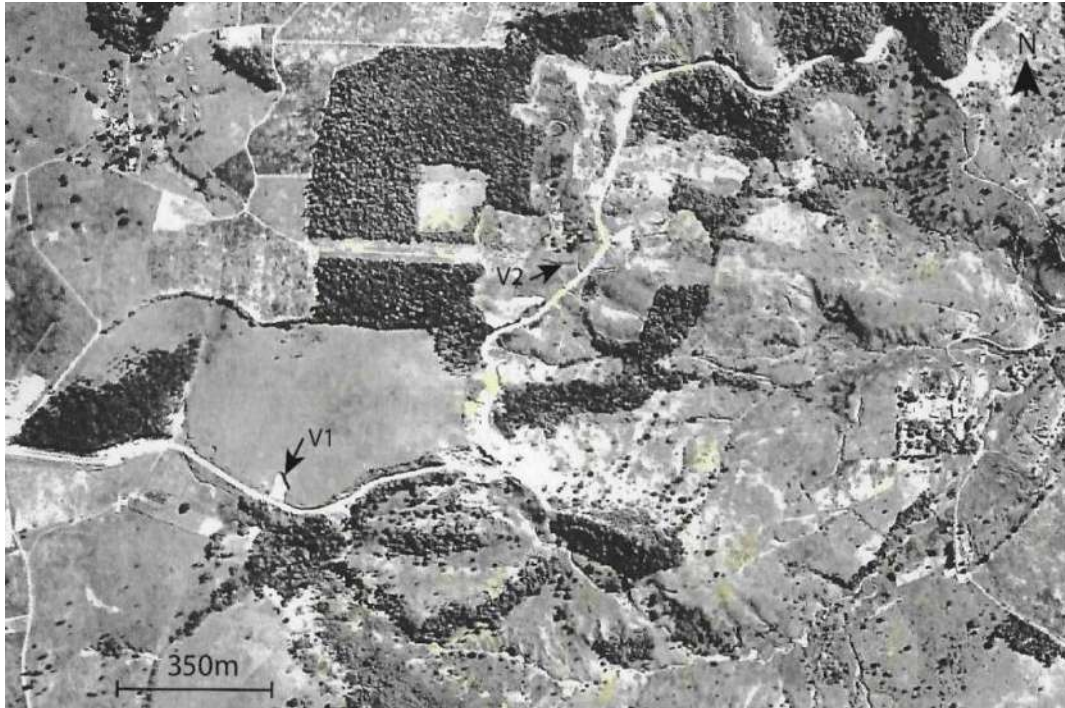


Figura 60 – Fotografia aérea de levantamento 1962 mostrando início de formação das vossorocas V1 e V2.

Ao longo de exposições de arenito *intertrap* / Botucatu nas escarpas, são identificáveis diversas cicatrizes de rupturas circulares em solo, processos de ravinamento intensos mobilizando grande quantidade de material, inclusive quando associados às drenagens locais, formando massas coluvionares arenosas, associada a uma maior propensão à perda de coesão entre partículas

Na seção geológica pela estrada de acesso às fazendas da porção sudeste da área, são verificadas drenagens extensas em solos arenosos alaranjados fofos da Formação Botucatu, como no exemplo da Figura 61 e Figura 62, bem como intenso processo de ravinamento com rupturas em solo dos cortes expostos ao longo dessa estrada de acesso, como na Figura 63.



Figura 61 – Vista geral para alinhamento em arenito Botucatu exposto, com assoreamento formando canal de drenagem localizado (ponto 270; UTM 7460981.41 N/ 770839.74 E).



Figura 62 – Detalhamento do leito arenoso extenso da figura anterior, sobre região de afloramento dos arenitos Botucatu (Ponto (ponto 272; UTM 7460980.94/ 770859.74 E).



Figura 63 - Vistas para afloramento/ corte em estrada de acesso às fazendas da porção baixa a sudeste da área, em arenito e solos de alteração da Formação Botucatu com intenso processo de ravinamento e série de rupturas em solo (ponto 268; UTM 7461093.456 N/ 770863.615 E).

As cicatrizes de ruptura formadas em escorregamentos localizados puderam ser observadas nos perfis de alteração em basaltos, nos horizontes de solo residual argiloso escuro com blocos de rocha, como os exemplos da Figura 64, próximo à estrada de ferro, e Figura 65 na porção de topo da serra em estrada de acesso às fazendas.



Figura 64 – Cicatriz de ruptura em perfil de alteração de rocha basáltica lateral à ferrovia Sorocabana (ponto 148; UTM 7462511.79 N/ 770469.376 E)



Figura 65 – Corte em estrada de acesso na poção de topo da serra, em perfil de alteração de basalto misto em solo e blocos de rocha (ponto 177; UTM 7462386.72 N/ 769483.16 E).

Parte importante dos aspectos geotécnicos diz respeito as intervenções realizadas ao longo do alinhamento da rodovia existente como obras de contenção de rupturas em solo/rocha ao longo dos cortes e aterros da pista.'

Em cortes íngremes em rocha basáltica, onde expressam-se os basaltos 'maciços' fraturados, existe potencial à queda de blocos por mecanismos de ruptura como tombamentos ou formação de cunhas associadas aos diaclasamento predominantemente subverticais (em direções variadas nas "colunas" formadas) a inclinados. Localmente, ao longo do traçado da rodovia SP-300, estes locais apresentam tratamentos como taludes cobertos com concreto projetado e estabilização de grandes blocos rochosos, e grampeamentos com proteção de tela (exemplo da Figura 66).

Em regiões de declividade baixa, podendo estar próximas aos corpos d'água que cortam a região/ fundos de vales, são identificadas área propensas a alagamentos. Regiões alagadas forma identificadas ao longo do corte pela estrada de ferro, também com identificação de massas coluvionares e de tálus (exemplos das Figura 67 e Figura 68).



Figura 66 – Vista em perspectiva para o corte lateral à pista no km 239 apresentando tratamento com aplicação de grampos e proteção por tela; imagem obtida através do *Google Street View*, acesso em 09.01.23.



Figura 67 – Depósito de tálus (esq.) e massas coluvionares (dir.) sobre arenitos esbranquiçados da Formação Pirambóia ao longo da ferrovia Sorocabana (proximidade do ponto 154; UTM 7462483.87 N/ 770283.70 E).



Figura 68 – Área alagável na região de contato de basalto/ massas coluvionares de basalto sobre arenitos Pirambóia, na região da ferrovia (proximidade do ponto 111; UTM 7462222.35 N/ 771190.10 E).

Nos trechos de ocorrência de arenitos *intertrapp* são observadas ocorrências de cicatrizes de ruptura em padrão escalonados, como nos cortes expostos do lado da pista sentido Botucatu. Nestes cortes ocorrem intervenções como recuo da pista bem como trechos com tratamento em concreto projetado com malha de drenos horizontais profundos (DHP's). Já em alguns trechos no sentido Conchas que afetam a borda da pista com a escarpa, foram implantadas cortinas atirantadas.



Figura 69 – Talude em arenitas eólicas abaixo de dois derrames sob nível da pista na região do km 239.

3.5.3. Mapeamento e zoneamento geológico geotécnico

O mapa geológico-geotécnico apresentado nesta dissertação é produto de uma base de dados que consiste essencialmente em informações advindas dos pontos levantados durante os mapeamentos geológicos-geotécnicos realizados, que foram correlacionados com a base de dados existente na bibliografia consultada. Destes pontos levantados obteve-se informações como espessuras de solos natureza dos solos tipos de processos erosivos ou de movimentos de massa potenciais ou existentes, bem como a identificação de áreas suscetíveis a alagamentos e identificação de solapamento de margens de drenagem se identificados a partir de imagens de satélite.

Destas observações resulta o mapa geológico-geotécnico da Figura 70, apresentado ampliado no Apêndice V.

Unidade 1 – perfis de alteração em rochas basálticas Serra Geral

- 1A: coberturas de horizontes superiores de solos residuais de basalto vesicular-amigdaloidal com alta densidade de amígdalas preenchidas por quartzo; espessuras de 2 a >5m; solos de característica silto-arenosa, vermelhos, podendo conter grânulos de quartzo; eventual presença de blocos de basalto

vesicular; maior susceptibilidade ao desenvolvimento de feições erosivas lineares como vossorocas; classes de declividade <5% até 10%;

- 1B: coberturas em perfil de alteração de basaltos maciços, horizontes de solo residual argiloso escuro a horizontes de blocos de rocha arredondados/subarredondados envoltos por solo residual ou em coberturas coluvionares; declividades de 5 a 20%; processos de rolamento de blocos e escorregamentos rotacionais em padrão escalonado; espessuras >5m;
- 1C: cortes ou taludes naturais em rocha basáltica; declividades >20%; predomínio de baixas coberturas de solo e de potencialidade à mecanismos de ruptura de blocos de rocha relativos às discontinuidades do maciço, principalmente subverticais e sub-horizontais como tombamentos ou formação de cunhas.

Unidade 2 – perfis de alteração em arenitos eólicos *intertrapp* e Botucatu

Destaca-se a característica boa seleção e arredondamento dos grãos que compõem os arenitos eólicos, tendo sido observada maior facilidade ao desenvolvimento de horizontes de baixa compactação até perda total de coesão entre partículas.

- 2A: perfis de alteração em terrenos de declividades de até 10%, localmente até 20%; > espessuras (2 a >5m) de solos arenosos de baixa compactação; areias médias a finas de cor alaranjada; maior susceptibilidade à processos erosivos e maior intensidade destes processos quando associados condições desfavoráveis de drenagem e escoamento superficial, sendo verificados processos de ravinamento intensificados e assoreamentos formando 'lençóis' de areia/ 'areiais';
- 2B: encostas em arenito; declividades >20%; presença de camadas coluvionares de até 5m de espessura; feições erosivas de baixa intensidade a moderada como sulcos e ravinamentos, e ainda cicatrizes de ruptura em solo em padrão escalonado.

Unidade 3 – perfis de alteração em arenitos Pirambóia

Esta unidade apresenta maior variação faciológica e presença de finos, sendo mais susceptível à formação de processos de erosão diferenciada.

- 3A: perfis em encostas de declividades até 20% em arenitos e siltitos subordinados da Formação Pirambóia; possíveis solapamentos próximos à áreas alagáveis e feições erosivas diferenciais.

Unidade 4 – depósitos aluvionares em fundos de vale ou áreas alagáveis: formados ao longo de planícies aluvionares ou porções baixas de declividades <5%;

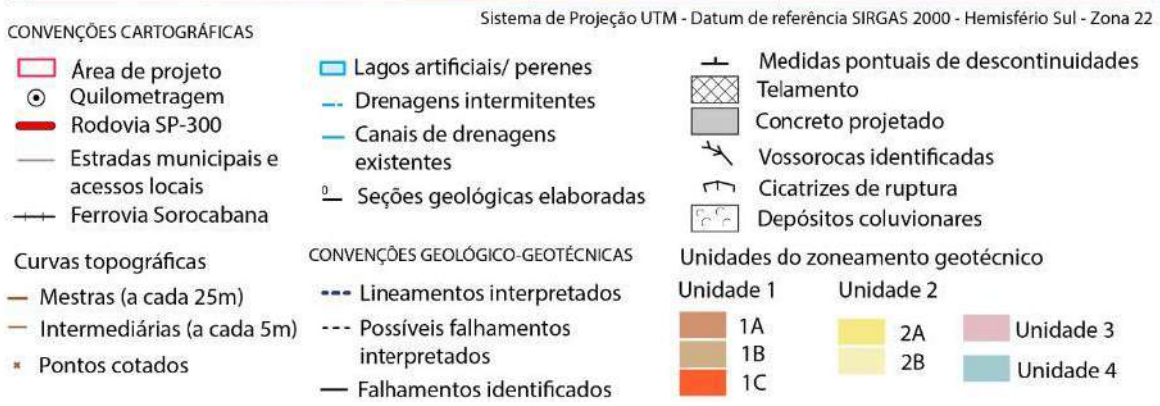
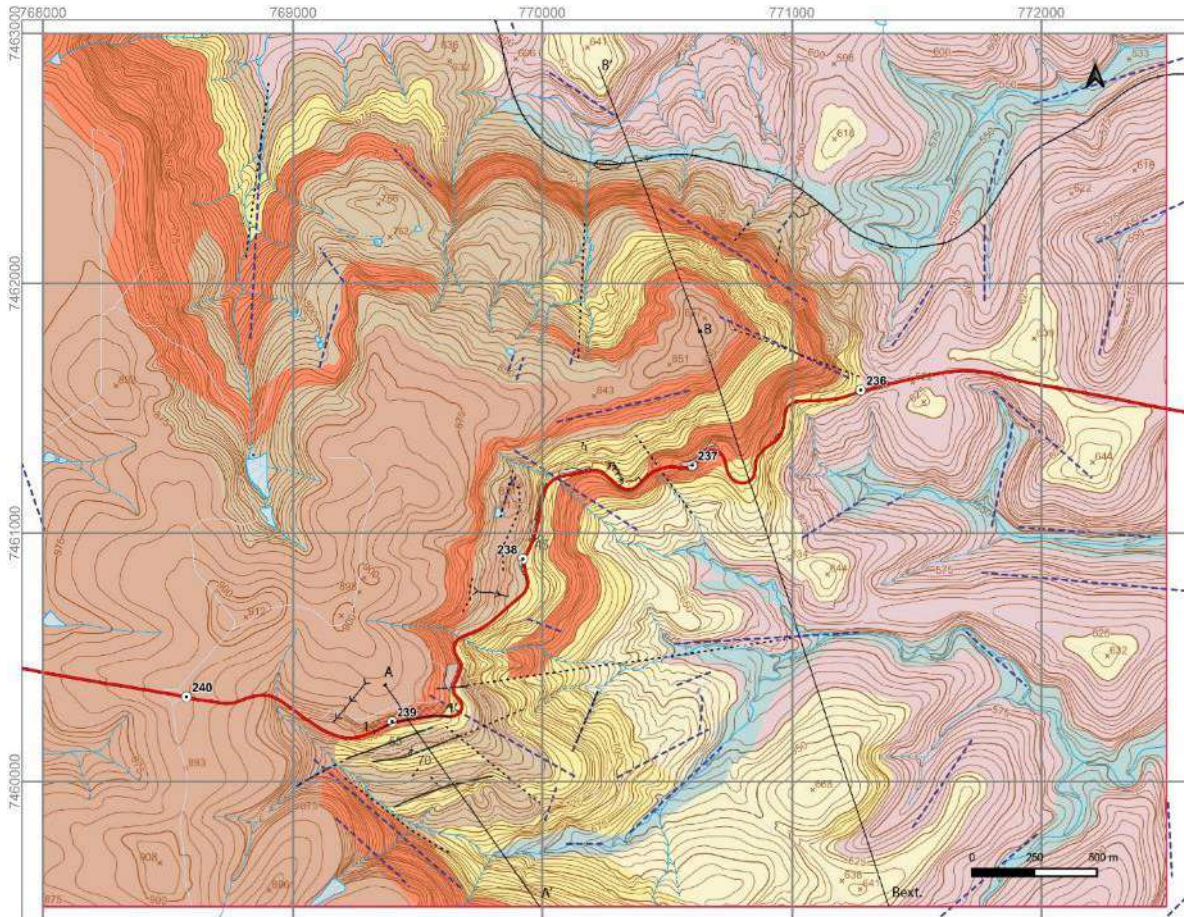


Figura 70 – Mapa geológico-geotécnico da região da Serra de Botucatu em escala 1:10.000 elaborado pela autora.

A base para elaboração do mapa geotécnico consiste em articulação das folhas topográficas levantadas no plano cartográfico do município de 1978 em escala 1:10.000, que apresenta espaçamento de 5 m entre as curvas topográficas.

O georreferenciamento destas folhas topográficas revelou, de modo geral, uma compatibilidade com as drenagens existentes e o devido refinamento das curvas nestes locais. Uma ressalva deve ser feita, porém, sobre a limitação decorrente da utilização desta base topográfica, constatada em campo, e que se refere à data dos levantamentos planialtimétricos que geraram as curvas topográfica, desatualizada em relação às modificações antropogênicas realizadas ao longo dos anos até o presente. Dentre os pontos principais onde observadas estas divergências encontram-se o próprio traçado da rodovia, na região do km 239 e km 237, locais onde o pavimento da pista antiga pode ser identificado abaixo do nível atual – a pista atual encontra-se sob ~5m de aterro.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Através dos mapeamentos realizados, foram identificados ao menos 4 derrames basálticos compondo o *trapp* basáltico na Serra de Botucatu, na região mapeada, com espessuras de 25 a 30m, ora alcançando espessuras contínuas de até 75m (contato direto entre derrames) sendo a sessão ao longo do traçado da rodovia SP-300, entre os quilômetros 239 e 236, essencial à observação de contatos inferior e superior entre derrames basálticos e seus arenitos *intertrapp*.

São descritas a seguir algumas das cotas nas quais foram observados contatos de base/topo de rochas basálticas com as rochas sedimentares da Serra:

1. 2 derrames basálticos em contato aproximado na cota 860m na região do km 239 da Rodovia SP-300; o contato inferior com arenitos é observado em curva fechada nesta mesma região, aproximadamente na cota 830m;
2. Na região do km 238, observa-se contato de basalto sobre arenito aproximadamente ao longo da cota 790m; forma pacote espesso de > 75m;
3. *Intertrapp* observado na cota 640m, de arenito sobre platô de basalto, próximo ao afloramento onde identificadas disjunções colunares em derrame espesso;
4. Ao longo dos cortes em rocha no alinhamento da estrada de ferro Sorocabana, verifica-se contato direto de basalto sobre arenitos esbranquiçados da Formação Pirambóia, ao longo aproximadamente da cota 600m;

Vale ressaltar que um dos pontos importantes dos mapeamentos realizados na Serra de Botucatu reside no fato de que embora observados pontos de contatos entre basalto e arenito ao longo de cotas de referência, apenas esta correlação por cota não se mostra eficiente, uma vez que a superfície dos contatos basalto/ arenito é irregular, tendo-se mostrado ondulada (com variação de cota) sugestiva de derrame sobre paleotopografia, e com variação de espessura. Estes contatos são interrompidos localmente pela presença interpretada de falhamentos ou 'recobrimentos' interpretados/ identificados em campo.

Em seção transversal ao km 239 da rodovia SP-300 verificou-se um padrão de patamares e escarpas com abatimentos sucessivos até a região de vale, interpretada

como devido a ocorrência de falhamentos normais que afetaram a escarpa original durante a evolução geomorfológica de serra de Botucatu.

Com relação aos contatos entre rochas basálticas e arenitos, observou-se que devido ao fraturamento do basalto logo acima do arenito, predominantemente com diaclasamento sub-horizontais (regiões de bases e topos de derrame) e subverticais a inclinados (fácies mais “maciça” / central dos derrames), a água superficial percola por entre estes planos preferenciais, se acumulando na superfície de contato e saturando o horizonte de topo do arenito eólico (*intertrapp*). Este último, por sua vez, perde coesão entre as partículas com maior facilidade, provavelmente devido a característica de boa seleção/ arredondamento dos grãos, resultando em horizontes pouco compactos a fofos nos contatos, sendo este um dos motivos possíveis para a observação de rupturas ao longo da Serra observadas nos cortes laterais da rodovia neste contexto.

Além destas superfícies de contato, os perfis de alteração dos distintos litotipos condicionam movimentos de massa distintos ao longo da área mapeada, dentre os principais observados estão escorregamentos, queda/ rolamento de blocos, sendo importante sua espacialização para a previsão de comportamentos distintos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A.N., 1954, A geomorfologia do Estado de São Paulo, *in* IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Aspectos geográficos da terra bandeirante: Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Geografia, p. 1-97.
- Affonseca, M.E.P., 2022, Lei nº 6.336, de 7 de junho de 2022, Anexo I – Zoneamento urbanístico.
- Almeida, F.F.M., 1954, Botucatu, um deserto triássico da América do Sul: Rio de Janeiro, DNPM, Notas Preliminares e estudos, v.86 (9), p.1-21.
- Almeida, F.F.M., 2018, Fundamentos geológicos do relevo Paulista: Revista do Instituto Geológico, v.39(3), p. 9-75, DOI: 10.33958/revig.v39i3.600.
- Almeida, F.F.M., Barbosa, O., 1953, Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo: Rio de Janeiro, Ministério da agricultura, DNPM - Departamento nacional da produção mineral, Divisão de geologia e mineralogia, Boletim nº143, 121p.
- Caetano-Chang, M.R., Wu, F.T., 1995, As Formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo: Boletim Resumos, Simpósio de Geologia do Sudeste, SBG, 4, p. 64.
- Caetano-Chang, M.R., 1997, A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo [Tese de Livre Docência]: São Paulo, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 196p.
- Caetano-Chang, M.R., Wu, F.T., 2003, Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no centro-leste paulista: Geociências, v. 22, nº especial, p. 33-39.
- Cardoso, J.P., 1907, Relatório apresentado ao Ex.mo. Sr. Carlos Botelho – Anno de 1906: São Paulo, Typographia Brazil de Rotschild & Cia, 35p.
- Carneiro, C.R., 2007, Viagem virtual ao Aquífero Guarani em Botucatu (SP): Formações Pirambóia e Botucatu, Bacia do Paraná: Terrae Didática, v. 3, p. 50–73, DOI: 10.20396/td.v3i1.8637476.
- Côrtes, A.R.P., 2013, Fácies e associação de fácies da Formação Pirambóia na região de Descalvado/SP [Trabalho de formatura]: São Paulo, Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 106p., DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v15i3-4p23-40.
- DER – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, 1991, Manual de geotecnia - Taludes de rodovias orientação para diagnóstico e soluções

de seus problemas [coordenação de Carvalho, P.A.S.]: São Paulo, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (publicação IPT número 1843), 388p.

Donatti, L.M., Sawakuchi, A.O., Giannini, P.C.F., Fernandes, L.A., 2001, The Pirambóia-Botucatu Sucession (Late Permian-Early Cretaceous, Paraná Basin, São Paulo and Paraná States): two contrasting eolian systems: Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.73(3), p. 465, DOI: 10.1590/S0001-37652001000300020.

Fernandes, F.M., Cerri, L.E., 2008, Carta geotécnica de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial do trecho km 215 ao 249 da rodovia Marechal Rondon - SP-300 [Dissertação de mestrado]: São Paulo, Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, 200p.

Fernandes, A.J.F., Maldaner, C., Wahnfried, I., Ferreira, L.M.R., Pressinoti, M.M.N., Iritani, M.A., Hirata, R., 2006, Modelo conceitual preliminar de circulação de água subterrânea no Aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, SP: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 16p.

Fulfaro V.J., Gama Junior E., Soares P.C. 1980, Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná: São Paulo, Paulipetro, 167p.

Giannini, P.C.F., Sawakuchi, A.O., Fernandes, L.A., Donatti, L.M., 2004, Paleoventos e paleocorrentes subaquosas do sistema deposicional Pirambóia nos Estados de São Paulo e Paraná, Bacia do Paraná: Estudo baseado em análise estatística de dados azimutais: Revista Brasileira de Geociências, v.34(2), p. 282-292, DOI: 10.25249/0375-7536.2004342282292.

Governo do Estado de São Paulo - Secretaria de Economia e Planejamento - Teoria de ação regional divisão de Geografia, 1978, Plano cartográfico do estado de São Paulo, folha 077/ 077 - Fazenda Segrede – SF-22-Z-B-VI-3-SO-D, escala 1:10.000.

Governo do Estado de São Paulo - Secretaria de Economia e Planejamento - Teoria de ação regional divisão de Geografia, 1978, Plano cartográfico do estado de São Paulo, folha 077/ 078 - Fazenda Nova América I – SF-22-Z-B-VI-3-SE-C, escala 1:10.000.

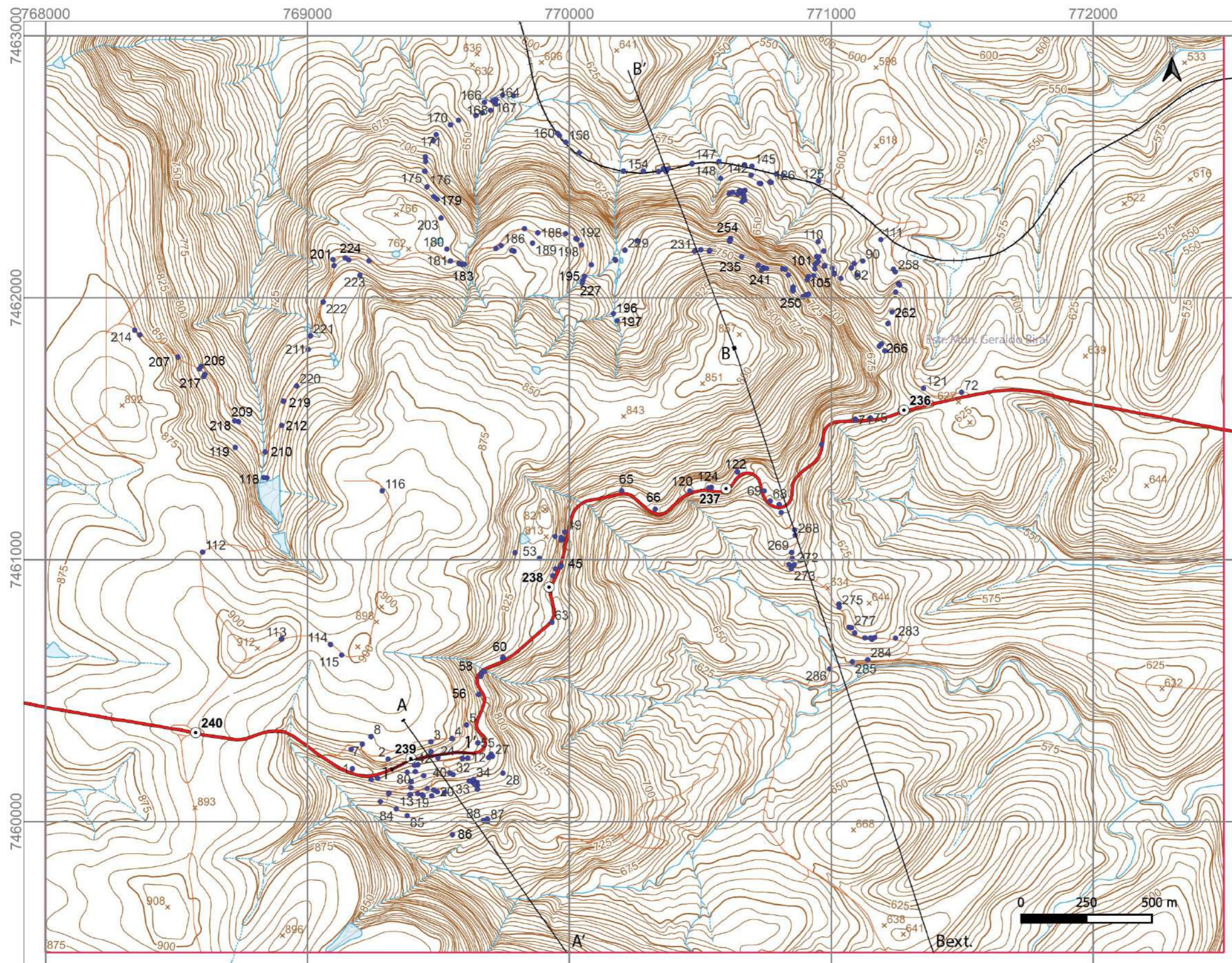
Guidicini, G., Campos, J. de O., 1968, Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos: Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 17, p. 15–28.

- IBGE - Instituto brasileiro de Geografia e estatística, 2009, Manual técnico de geomorfologia [coordenação de Monteiro Filho, C.J.]: Rio de Janeiro, Manuais técnicos em Geociências número 5, 175p.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, Relatório nº 33369 - carta de risco de erosão da área urbana de Botucatu, SP: SCTDE - Secretaria da ciência tecnologia e desenvolvimento econômico, Patem - programa de assistência técnica aos municípios, a prefeitura municipal de Botucatu, 100p.
- Janasi, V.A., Freitas, V.A., Heaman, L.H., 2011, The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: A precise U-Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters*, 302(1-2): 147-153, DOI: 10.1016/j.epsl.2010.12.005.
- Landim, P.M.B., 1984, Mapa geológico do Estado de São Paulo – Folha Bauru – SF-22-Z-B, escala 1:250.000.
- Leinz, V., 1949, Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil: Universidade de São Paulo - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas., 1–79 p., DOI: 10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1949.121703.
- Long, P.E., Wood, B.J., 1986, Structures, textures and cooling histories of Columbia River basalts flows: *Geological Society of America Bulletin*, v.97, p.1144-1155, DOI: 10.1130/0016-7606(1986)97<1144:STACHO>2.0.CO;2.
- Macdougall, J.D., 1988, *Continental Flood Basalts*: Springer, 341p.
- Marconato, A., Turra, B.B., Salvador, E.D., Chieregati, L.A., D'Agostino, L.Z., Perrotta, M.M., Lopes, R. C., 2006, Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000, Breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no estado de São Paulo: São Paulo, CPRM - Serviço geológico do Brasil, Programa Geologia do Brasil, 195p.
- Martonne, E., 1943, Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, 5 (4), p. 523-550.
- Massoli, M.M., 1980, Geologia da Folha de Santa Rita do Passa Quatro: *Revista do Instituto Geológico*, v.1(1), p. 7-14, DOI: 10.5935/0100-929X.19800002.
- Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B, 2007, Bacia do Paraná: Rio de Janeiro, Petrobras, *Boletim de Geociências*, v. 15, n. 2, p. 265-287.
- Moraes Rego, L.F., 1932, Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua gênese. Instituto Astronômico e Geofísico, São Paulo, 28 p.

- Miranda, J.G., 2005, Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade a erosão na bacia do Ribeirão ponte de Pedra (MT), escala 1:100.000 [Tese de doutoramento]: São Carlos, Universidade de São Paulo, escola de engenharia de São Carlos, 269p.
- Pacheco, J., 1927, Relatório elucidativo do esboço geológico da região compreendida entre o meridiano 4°, Rio Itararé, e os paralelos 23°34' e 24°38' in Exploração da região compreendida pelas folhas topographicas Sorocaba, Itapetininga, Bury, Faxina, Itaporanga, Sete Barras, Capão Bonito, Ribeirão Branco e Itararé: São Paulo, Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo: São Paulo, Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, p. 9-12.
- Perrota, M.M., Salvador, E.D., Lopes, R.C., D'Agostino, L.Z., Peruffo, N., Gomes, S.D., Sachs, L.L.B., Meira, V.T., Garcia, M.G.M., Lacerda Filhos, J.V., 2005, Mapa geológico do Estado de São Paulo: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750.000.
- Ross, J.L.S., 1992, O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo: Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP, v.6, p. 17-29.
- Sadowski, G.R., 2012, A short review on the importance of colonnades, entablatures and "fault joints" for the excavation of basaltic rocks: Soils and Rocks, v. 35, p. 297–302, DOI: 10.28927/SR.353297.
- Sanford, R.M., Lange, F.W., 1960, Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, v. 44, p. 1316–1370, DOI: 10.1306/0BDA61AF-16BD-11D7-8645000102C1865D.
- Soares, P.C., 1973, O Mesozóico Gonduânico no Estado de São Paulo [Tese de doutoramento]: São Paulo, Departamento de Geologia e Mineralogia da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, 152p.
- Soares, P.C., 1975, Divisão estratigráfica do Mesozoico no Estado de São Paulo: Revista Brasileira de Geociências, v.5, 22p.
- Tandel, R.Y., 1993, Caracterização do arenito Pirambóia da fazenda São João em Analândia, SP, e sua utilização industrial [Dissertação de mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, instituto de Geociências, programa de pós-graduação em recursos minerais e hidrogeologia, 91p, DOI: 10.11606/D.44.1994.tde-22102015-100511.

- Thiede, D.S., Vasconcelos, P.M., 2010, Parana flood basalts: Rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results: *Geology*, v.38(8), p.747-750, DOI: 10.1130/G30919.1.
- Unesco, IAEG - International Association of Engineering geology, 1976, *Engineering geological maps – a guide to their preparation*: Paris, The Unesco Press, Commission on Engineering Geological Maps, 78p.
- Vaz, L.F., 1996, Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais: *Solos e Rochas*, v.19 (2), p.117-136.
- Washburne, C.W, 1930, *Petroleum Geology of the State of São Paulo – Brasil*: São Paulo, Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, boletim n°22, 282p.
- Washburne, C.W, 1939, *Geologia do petróleo do estado de São Paulo* [tradução de Pacheco, J.: Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, departamento nacional de produção mineral (DNPM), Oficinas Gráficas do Serviço de Publicidade Agrícola, 228p.
- Waters, A.C., 1960, Determining direction of flow in basalts: *American Journal of Science*, Bradley Volume, v. 258A, p. 350–366.
- Zuquette, L., Gandolfi, N., 2004, *Cartografia geotécnica*: São Paulo, Oficina de Textos, 192p.

APÊNDICE I - MAPA DE PONTOS



Escala
1: 10.000

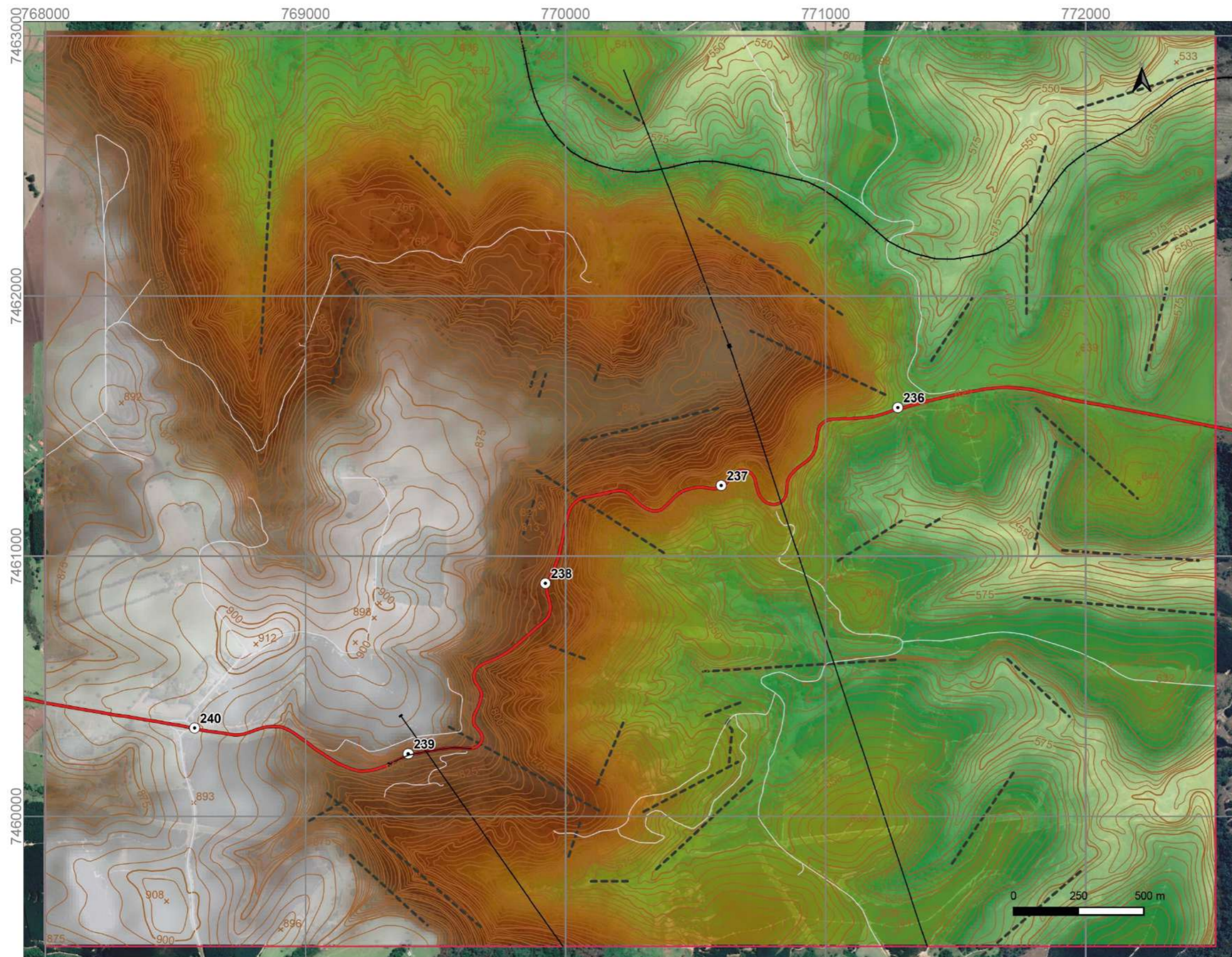
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ⊙ Quilometragem
- ▭ Área de projeto
- + Ferrovias Sorocabana
- Rodovia SP-300
- Estradas municipais e acessos locais

- Curvas topográficas
- Mestras (a cada 25m)
- Intermediárias (a cada 5m)
- × Pontos cotados
- ▭ Lagos artificiais/perenes
- Drenagens intermitentes
- Canais de drenagens existentes
- Pontos levantados
- Seções geológicas elaboradas

Sistema de Projeção UTM - Datum de referência SIRGAS 2000 - Hemisfério Sul - Zona 22
Base topográfica de articulação das folhas Fazenda Segrede e Fazenda Nova América I

APÊNDICE II - MAPA HIPSOMÉTRICO

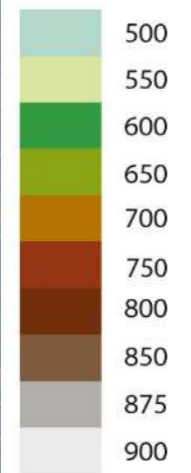


Escala
1: 10.000

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

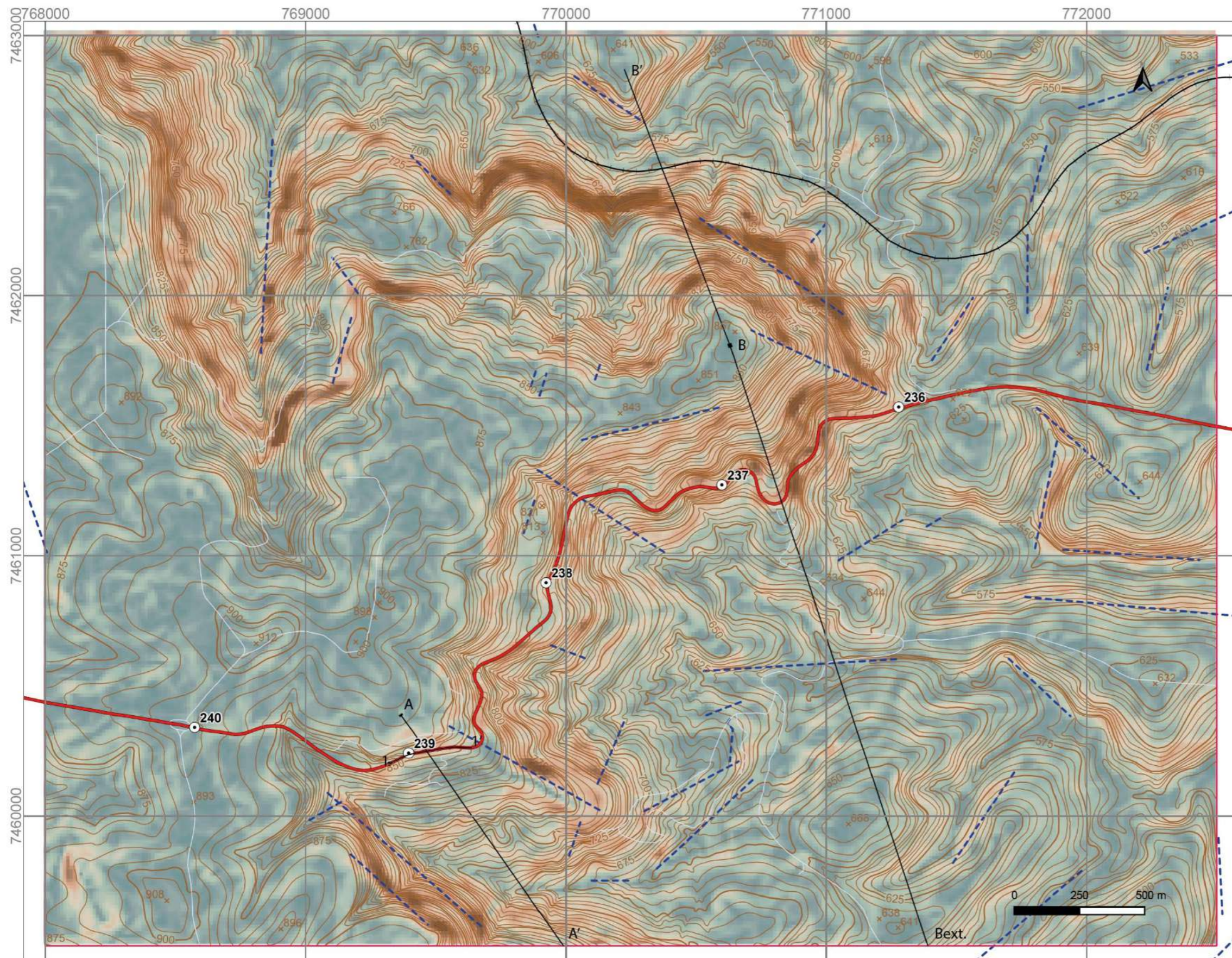
- ⊙ Quilometragem
- Área de projeto
- + Ferrovias Sorocabana
- Rodovia SP-300
- Estradas municipais e acessos locais
- Curvas topográficas
 - Mestras (a cada 25m)
 - Intermediárias (a cada 5m)
 - × Pontos cotados
 - Seções geológicas elaboradas
 - Lineamentos interpretados

Categorias de elevação (m)



Sistema de Projeção UTM - Datum de referência SIRGAS 2000 - Hemisfério Sul - Zona 22
Modelo digital de elevação AP_27773_PLR_F6730_RT1_dem - Sentinel 1 - ESA

APÊNDICE III - MAPA DE DECLIVIDADES



Escala
1: 10.000

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ⊙ Quilometragem
- Área de projeto
- Ferrovia Sorocabana
- Rodovia SP-300
- Estradas municipais e acessos locais

Curvas topográficas

- Mestras (a cada 25m)
- Intermediárias (a cada 5m)
- × Pontos cotados
- Seções geológicas elaboradas

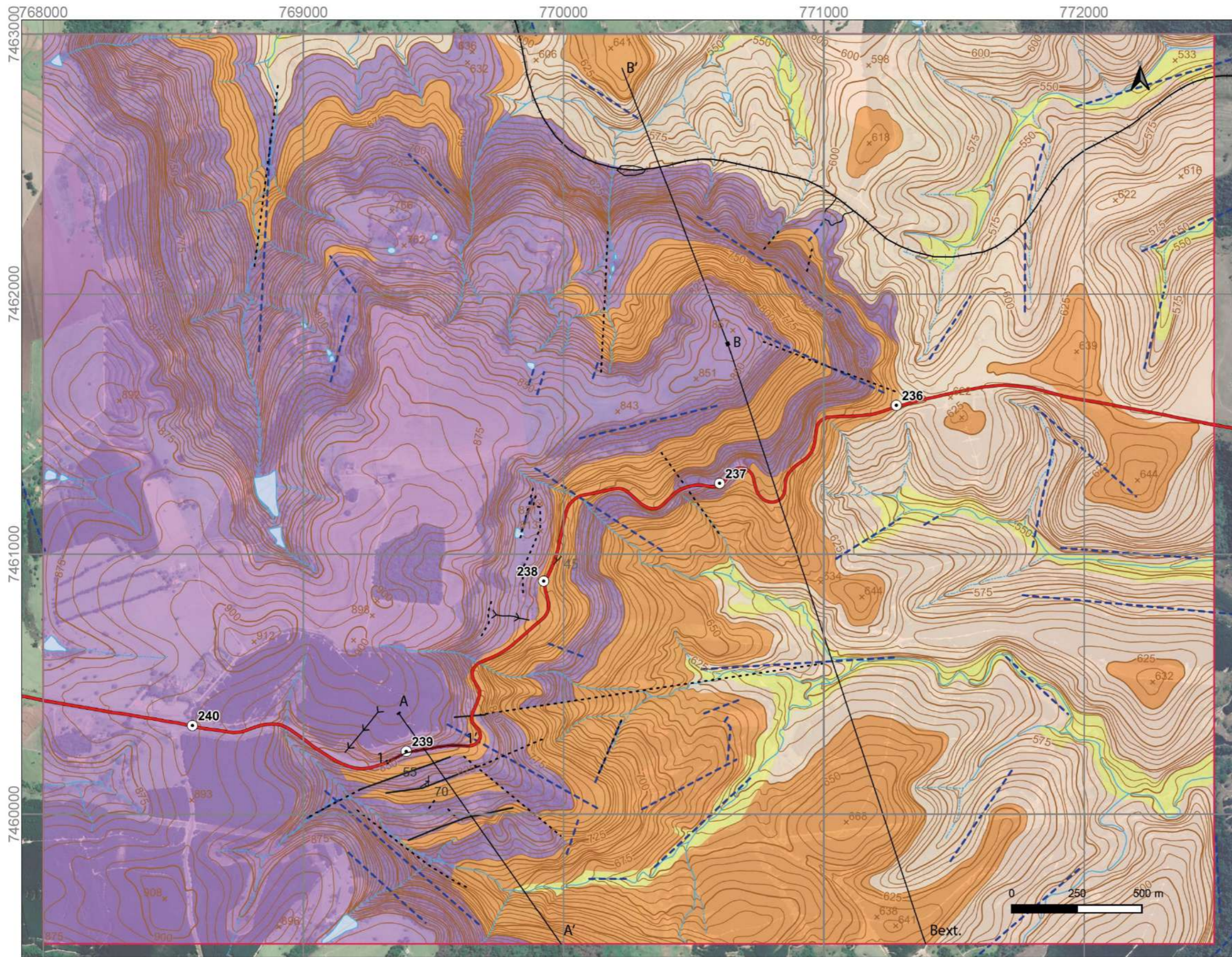
— Lineamentos interpretados

Categorias de declividade adotadas (m)

Dark Green	<5%
Medium Green	5 a 10%
Light Green	10 a 20%
Yellow-Green	20 a 30%
Orange	30 a 40%
Dark Orange	>40%

Sistema de Projeção UTM - Datum de referência SIRGAS 2000 - Hemisfério Sul - Zona 22
Modelo digital de elevação AP_27773_PLR_F6730_RT1_dem - Sentinel 1 - ESA

APÊNDICE IV - MAPA GEOLÓGICO



- Escala
1: 10.000
- CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**
- ⊙ Quilometragem
 - Área de projeto
 - Ferrovias Sorocabana
 - Rodovia SP-300
 - Estradas municipais e acessos locais
- Curvas topográficas**
- Mestras (a cada 25m)
 - Intermediárias (a cada 5m)
 - × Pontos cotados
- Seções geológicas elaboradas**
- Seções geológicas elaboradas
- CONVENÇÕES GEOLÓGICAS**
- - - Lineamentos interpretados
 - · - · - Possíveis falhamentos interpretados
 - Falhamentos identificados
 - ⊥ Medidas pontuais de descontinuidades
 - ↘ Vossorocas identificadas
- Unidades geológicas**
- Depósitos aluvionares
 - Depósitos coluvionares
 - Rochas basálticas da Formação Serra Geral
 - Arenitos eólicos intertrapp e da Formação Botucatu
 - Arenitos e siltitos subordinados da Formação Pirambóia

Sistema de Projeção UTM - Datum de referência SIRGAS 2000 - Hemisfério Sul - Zona 22

APÊNDICE V - MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

