UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

FERNANDO NADAL JUNQUEIRA VILLELA

ANÁLISE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO NO CONTATO PLANALTO ATLÂNTICO - DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA

Versão Revisada

São Paulo
2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Análise da Relação Relevo-Rocha-Solo no Contato Planalto Atlântico – Depressão Periférica Paulista

Versão Revisada

Fernando Nadal Junqueira Villela

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do Título de Doutor em Geografia Física.

Orientador: Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross

Exemplar original se encontra disponível no CAPH
da FFLCH (Centro de Apoio à Pesquisa Histórica)

São Paulo
2011

NOME: VILLELA, Fernando Nadal Junqueira
Título: Análise da Relação Relevo-Rocha-Solo no Contato Planalto Atlântico - Depressão Periférica Paulista

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do Título de Doutor em Geografia Física.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Titulares:

Prof. Dr. Jurandyr L. S. Ross
Julgamento: _____
Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

Profa. Dra. Sidneide Manfredini
Julgamento: _____
Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

Prof. Dr. Adilson Avansi de Abreu
Julgamento: _____
Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

Prof. Dr. Márcio Rossi
Julgamento: _____
Instituição: Instituto Florestal
Assinatura: _____

Dra. Lídia Keiko Tominaga
Julgamento: _____
Instituição: Instituto Geológico
Assinatura: _____

Suplentes:

Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola
Julgamento: _____
Instituição: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Assinatura: _____

Profa. Dra. Rosely P. Dias Ferreira
Julgamento: _____
Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

Profa. Dra. Sheila A. C. Furquim
Julgamento: _____
Instituição: Universidade Federal de São Paulo
Assinatura: _____

Prof. Dr. Edgard Santoro
Julgamento: _____
Instituição: Universidade de Mogi das Cruzes
Assinatura: _____

Profa. Dra. Marisa de Souto Matos Fierz
Julgamento: _____
Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

Aos alunos e colegas da Universidade Federal de São Carlos do Campus de Sorocaba – SP, pois esta tese é para e pelo nosso campus.

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta tese contou com a ajuda imprescindível de professores, colegas, alunos, amigos e familiares a quem prezo muito e que aqui procuro agradecer, embora não possa demonstrar tal ajuda em poucas linhas escritas.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Jurandyr Luciano S. Ross, todo respeito e admiração por uma orientação objetiva, de mais de doze anos, sempre me apoiando nas minhas decisões e maneiras de expressar meus pensamentos, e agradeço pela sinceridade e amizade com que me tratou ao longo destes anos.

À Profa. Dra. Sidneide Manfredini, que me co-orientou nesta tese sempre considerando as relações da pedologia com a geomorfologia. Pelo que me ensinou, não só em ciência, mas como pesquisador, professor e ser humano nas muitas atividades que realizamos juntos. Pela postura enérgica de acreditar em meu trabalho e me cobrar o melhor; pela participação ativa nos inúmeros trabalhos de campo, vitais para o desenvolvimento desta tese, e seu olhar clínico para a paisagem e os solos, enfim, por tudo, agradeço de coração.

À Profa. Dra. Marisa de Souto Matos Fierz, pelas incontáveis sugestões e revisões desta tese, além da qualificação, e por sempre estar atenta à conceituação e cartografia geomorfológica e pela paciência em me explicar nos mínimos detalhes. Pela amizade em nossos trabalhos de campo e por estar sempre disposta a me ajudar, meu sincero obrigado.

À Profa. Dra. Rosely Pacheco Dias Ferreira, pela participação nos levantamentos e valiosas sugestões para o desenvolvimento deste trabalho. Cabe ainda agradecer aqui por tudo que me ensinou na Geografia durante todos esses anos, e que procurei aplicar nesta tese.

Ao Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto, meu sincero obrigado por todas as conversas importantíssimas que tivemos sobre a relação pedogênese – geomorfologia, e por tudo que ensinou durante o meu período de pós-graduação nas disciplinas que ministrou, especialmente à minha introdução neste universo que é a análise estrutural da cobertura pedológica.

À Profa. Dra. Lylian Zulma Doris Coltrinari, pela ajuda indispensável quanto à cartografia geomorfológica, e pela contribuição bibliográfica importantíssima que me ajudou a desenvolver este trabalho. Como para a Profa. Rosely, meu sincero obrigado também por

tudo que me ensinou ao longo destes anos, e também pelas nossas conversas, em que não via o tempo passar.

À Profa. Dra. Sonia Maria Furian Dias, pelas contribuições às minhas indagações no início do desenvolvimento da tese.

Ao Prof. Msc. e doutorando João Carlos Christophe da Silva, pela contribuição que me deu ao conhecimento geológico de minha área de estudo, e pela paciência em me explicar desde o contexto geral até questões específicas vistas durante os levantamentos de campo.

À geóloga Letícia Constantino Vicente, a Polegar, pelo levantamento geológico vital que corresponde pelo menos a 1/3 do entendimento funcional dos aspectos trabalhados nesta tese. Obrigado por sua paciência, disposição e coragem em entender a complicada transição geológica cristalino-sedimentar que existe em Sorocaba, mesmo quando atacados por abelhas ou exaustos de andar no meio do mato atrás de afloramentos.

A todos os pós-graduandos do Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da USP: ao Marcos Roberto Pinheiro, pela ajuda nos trabalhos de campo e laboratório, com sua paciência enorme; à Grace Bungenstab Alves, pela ativa participação nos trabalhos de campo e pela disposição em me ajudar e aconselhar nas revisões; ao Andre Mateus Barreiros, pelos levantamentos de campo e ajuda na revisão de textos; ao Marcelo Reis Nakashima, pela disposição e interesse nos trabalhos de campo, levantando informações vitais para este trabalho. Ao Otavio Cardoso Cardona, também pela ajuda nos levantamentos de campo.

Aos graduandos em Geografia (turma 2007) da Universidade de São Paulo, pelo interesse em que trabalharam na minha área de estudo durante a disciplina de Solos Tropicais; em especial um brinde ao meu xará Fernando Kengy Taba, disposto a ajudar em campo e laboratório a hora que fosse. Um obrigado também ao Tobias Turcarelli, pela ajuda e boa vontade nos trabalhos.

Ao Geólogo da Votorantim S.A. Roberto Tadanobu Nakamura, pela ajuda no conhecimento do panorama geológico que existe na região em que foi efetuado este trabalho. Mesmo não podendo me ajudar com informações mais específicas por política da empresa, não hesitou em me atender e discutir alguns aspectos concernentes à tese.

A Ciro Koiti Matsukuma, Chefe da Seção de Manejo e Inventário Florestal do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, por me fornecer arquivos digitais da base cartográfica do município de Sorocaba e região.

Também ao Prof. Dr. Edgard Santoro meu agradecimento pela ajuda no entendimento da geologia de Sorocaba e seus aspectos estruturais.

Ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, agradeço pelo apoio financeiro às análises de Laboratório realizadas na ESALQ-USP. Ao Departamento de Ciência do Solo (Recepção de Amostras da ESALQ-USP), meu obrigado pelas análises, em especial à Elisangela Santos, que conseguiu ajustar os preços das análises à verba disponível. Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Antonio C. de Azevedo, mineralogista do solo da ESALQ-USP, cujo empenho e interesse em meu trabalho proporcionaram análises fundamentais para o entendimento da pedologia da área.

À Universidade Federal de São Carlos, instituição da qual sou professor, meu agradecimento por possibilitarem meu afastamento parcial para o desenvolvimento desta tese.

Ao Prof. Dr. José Salatiel Rodrigues Pires, ex-diretor do Campus UFSCar Sorocaba (gestão 2006-2010), um grande abraço e um sincero obrigado por tudo que se refere a esta tese: fornecimento de fotos aéreas, incentivo a desenvolvê-la em área de estudo tão complicada e principalmente pela confiança em meu trabalho e conhecimento da ciência geográfica.

Um grande abraço também em minhas amigas e colegas do Campus UFSCar Sorocaba, as Profas. Dras. e biólogas Maria Virgínia Urso-Guimarães, ex-coordenadora do curso de Biologia-Licenciatura, e Ingrid Koch, vice-coordenadora do curso de Biologia-Bacharelado, pelo apoio que me deram sempre e pelas risadas que me proporcionaram, ainda que na maioria das vezes o motivo da piada fosse eu.

Ao Prof. Dr. Marcelo Nivert Schlindwein, vice-diretor do Campus UFSCar Sorocaba (gestão 2010-2014), meu grande obrigado pela amizade e apoio para o desenvolvimento desta tese, que começou inclusive com nossas andanças de Santa Catarina a Sorocaba no Gurgel Berbigão.

Um obrigado à Profa. Dra. Janaína Braga do Carmo, agrônoma, que me ajudou a compreender o contexto pedológico da região com seus trabalhos.

Ao Prof. Dr. Marcos de Afonso Marins (in memoriam), à época assessor da reitoria da Universidade Federal de São Carlos, pela ajuda que me concedeu ao me passar livros de sua biblioteca particular para aproveitá-los na tese, contatos em Sorocaba, histórias da região, fotos, enfim, por tudo que fez agradeço imensamente.

À graduanda do curso de Engenharia Florestal Aparecida Juliana Martins Corrêa, agradeço por me ajudar a complementar meu trabalho com sua iniciação científica, em paralelo ao desenvolvimento desta tese. Aos alunos das turmas de Biologia, Agronomia com Ênfase em Agroecologia e Sistemas Rurais Sustentáveis, Geografia e Engenharia Florestal, obrigado por me fazerem sempre querer ser melhor como professor e pesquisador na aplicação dos conhecimentos adquiridos nas práticas didáticas do Campus. Um agradecimento especial aos graduandos da Engenharia Florestal Rafael Luis Leite Grillo e Raoni Xavier de Melo, por me ajudarem nos levantamentos climáticos. Vale o mesmo para o aluno do curso de Biologia Bacharelado Leandro Moraes, que redesenhou a figura da taxonomia do relevo. Também um sincero obrigado à secretária do curso de Agronomia Adriana Aguiar, que soube aproveitar o momento de obras de engenharia civil na Universidade e requerer as máquinas para a abertura de trincheiras no Campus.

Aos moradores da área de estudo, em especial ao Sr. Itagiba, da Fazenda Boa Vista, agradeço muito pela maneira amistosa que fui acolhido e pela confiança que depositaram em meu trabalho.

Ao meu pai, Rubens Junqueira Villela, e ao meu irmão, Franco Nadal Junqueira Villela, notáveis meteorologistas, um grande obrigado pelos auxílios na aquisição de dados climáticos e revisões de meus textos; à minha mãe, Marqueza Fonseca Nadal Villela, agradeço pelo apoio durante os anos de execução desta tese.

E, finalmente, agradeço imensamente à minha querida esposa Liz, Elisângela Trindade, o grande amor da minha vida, pelo seu apoio inigualável, por estar sempre presente nos momentos mais difíceis, me encorajando, ajudando e dando força para seguir em frente.

"(...) descendo o Tietê para oeste, e pelo planalto para o sul, atravessadas as mattas, se depararam os campos planos que marcam o inicio do affloramento do systema de Sta. Catharina. A sua orla mostrou condições de eleição sob o ponto de vista militar. Surgiram as velhas cidades de Sorocaba, Itú e Campinas, situadas todas em identica posição geologica, no contacto do systema de Sta. Catharina com as formações antigas. Mais tarde, uma influencia centripeda interveiu: o desenvolvimento da lavoura de café, oriunda do valle do Parahyba. Buscaram as terras mais proximas adequadas a essa cultura: as rochas granitisadas do norte, das zonas de Campinas e Bragança. Ampliando-se, a lavoura aproveitou os solos de alteração das eruptivas mesozoicas, que se revelaram superiores, mantendo, porém, a antiga linha de communicações com a capital, origem das linhas Ingleza e Paulista. E, verificou-se ser esse melhor caminho para vencer a escarpa da serie de S. Bento que a linha natural descendo o Tietê.

A penetração para o sul seguiu pelas terras altas, procurando Sorocaba. Para galgar a escarpa, como na outra margem do Tietê, foi adoptado um traçado elevado, ao largo desse rio. É a Estrada de Ferro Sorocabana, em sua linha tronco, symetrica do systema Ingleza-Paulista, outra arteria de penetração para o oeste."

Luiz Flores de Moraes Rego, 1932, *in* Notas Sobre a Geomorphologia de S. Paulo e Sua Genesis, São Paulo: Instituto Astronomico e Geographico de S. Paulo, 28 p.

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade estabelecer a abordagem integrada de fatores da paisagem segundo as formas de relevo, o substrato rochoso e os solos. Realiza-se uma compartimentação geomorfopedológica em escala de detalhe de uma área situada entre duas grandes unidades geomorfológicas, o Planalto Atlântico, escudo cristalino de modelado rugoso, e a Depressão Periférica Paulista, unidade de transição do Planalto para a Bacia Sedimentar do Paraná, com modelado colinoso esculpido sobre terrenos geralmente sedimentares. A transição destes dois domínios macro-compartimentados cria contrastes nas formas de relevo de acordo com a estrutura do substrato e os solos resultantes do intemperismo e da erosão. Modelados colinosos sustentados por litologias sedimentares alternam-se com colinas mais dissecadas sustentadas por litologias ígneas ou metamórficas, e Latossolos Vermelhos localizados em áreas de topos aplainados mudam para Cambissolos em áreas de ocorrência de colinas de baixo gradiente de relevo. Esta situação é comum na área de pesquisa considerada, que envolve uma pequena bacia hidrográfica e seu entorno, área rural do município de Sorocaba em franca expansão urbana. Para o entendimento da relação destes fatores supracitados visando o diagnóstico do meio físico em questão, fizeram-se necessários levantamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos na busca da relação relevo-rocha-solo para a área considerada. O trabalho resultou em compartimentos geomorfológicos e geomorfopedológicos e na melhor compreensão de algumas características funcionais do meio físico, tais como o condicionamento do modelado e do sistema de drenagem pela litoestrutura, a conjugação dos processos exógenos, morfologia das vertentes e variações litológicas na formação dos solos e o possível rebaixamento do relevo pela erosão geoquímica.

Palavras-Chave: Geomorfopedologia, Relação Relevo-Rocha-Solo, Diagnóstico do Meio Físico, Depressão Periférica, Erosão Geoquímica

ABSTRACT

This work aims to establish the integrated approach to landscape factors according to the landforms, bedrock and soils. A geomorphopedological compartmenting is made in a detailed scale of an area between two major geomorphologic units, one being the Atlantic Plateau, crystalline shield of rough landforms, and the other the Peripheral Depression of Sao Paulo, a transition unit from Plateau to the Sedimentary Basin of Parana, whose smooth landforms are generally sculpted over sedimentary terrains. The transitions of these two macro-compartment domains create contrasts of relief forms according to the basement structure and soils originating from weathering and erosion. Smooth landforms supported by sedimentary lithotypes alternate with small hills of more dissected slopes sustained by igneous or metamorphic rocks, and Red Oxisols located in areas of flat summits change to Inceptisols in areas of smooth hills. This is a common situation at the research area, a small hydrographic basin and its rural surroundings in Sorocaba, a county undergoing remarkable urban expansion. To reach an understanding of the above mentioned factors relationship, aiming at a diagnosis of the physical environment under research, it was necessary to carry out geological, geomorphological and pedological surveys in order to search for the relief-rock-soil relationship to the area considered. The work resulted in geomorphological and geomorphopedological compartments and the better understanding of some functional characteristics of the physical environment, such as the control of landforms and drainage system by lithostructure, the combination of exogenous processes, slope morphology and lithologic variations in forming soils and the possibility of relief being degraded by geochemical erosion.

Key-words: Geomorphopedology, Relief-Rock-Soil Relationship, Physical Environment Diagnosis, Peripheral Depression of São Paulo, Geochemical Erosion.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS..... v
RESUMO..... x
ABSTRACT..... xi
ÍNDICE..... xii

1. APRESENTAÇÃO..... 1
1.1 Área de Estudo..... 3
2. INTRODUÇÃO..... 7
3. PRESSUPOSTOS E OBJETIVOS DA PESQUISA..... 9
3.1 Objetivos..... 12
4. BASES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS..... 15
4.1 Suporte Técnico da Geomorfologia..... 15
4.1.1 Origens..... 15
4.1.2. Corrente Anglo-Saxônica e Corrente Centro Européia..... 16
4.1.3 A Teoria da Pediplanação..... 19
4.1.4 A Teoria da Etchplanação..... 22
4.1.5 As Superfícies de Aplainamento..... 27
4.1.6 As Superfícies de Aplainamento no Brasil e a Depressão Periférica..... 28
4.2 Suporte Teórico da Pedologia..... 35
4.2.1 Origens..... 35
4.2.2 Intemperismo..... 36
4.2.3 Classificações dos Solos..... 41
4.2.4 As Formações Superficiais..... 43
4.2.5 A Análise Estrutural da Cobertura Pedológica..... 44
4.3 A Metodologia na Perspectiva Geomorfológico-Pedológica..... 46
4.3.1 A Concepção da Paisagem..... 46
4.3.2 O Tratamento Geomorfológico, A Perspectiva Ecodinâmica e A Perspectiva Ecogeográfica..... 47
4.3.3 A Taxonomia do Relevo e o Mapeamento..... 55

4.3.4 A Compartimentação Geomorfopedológica..... 58

5. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS..... 63

5.1 Etapas de Trabalho..... 63

5.1.1 Escolha da Área de Estudo..... 63

5.1.2 Levantamento de Dados..... 63

5.1.3 Interpretação dos Resultados..... 65

5.1.4 Conclusões..... 65

5.2 Técnicas Operacionais..... 67

5.2.1 Levantamentos de Campo..... 67

5.2.2 Mapeamentos..... 68

5.2.3 Laboratório..... 72

5.3 Materiais..... 73

6. SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS ANTERIORES..... 76

6.1 Clima..... 76

6.2 Geologia..... 78

6.2.1 Grupo São Roque..... 79

6.2.2 Suíte Granítica..... 79

6.2.3 Sedimentos Paleozóicos..... 79

6.3 Geomorfologia..... 85

6.3.1 A Unidade Morfoestrutural do Planalto Atlântico..... 88

6.3.2 A Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná..... 89

6.3.3 A Unidade Morfoescultural da Depressão Periférica Paulista..... 90

6.3.4 Superfícies de Aplainamento..... 91

6.4 Pedologia..... 92

6.5 Uso da Terra..... 93

7. RESULTADO DOS LEVANTAMENTOS..... 96

7.1 Configuração Geral..... 96

7.2 Levantamento das Informações Geológicas..... 98

7.2.1 Levantamentos de Campo e Delimitação das Unidades Geológicas..... 98

7.2.2 Unidades Geológicas..... 111

7.2.2.1 Metassedimentos..... 111

7.2.2.2 Maciço Sorocaba..... 119

7.2.2.3 Sedimentos Paleozóicos..... 125

7.2.2.4 Depósitos Aluvionares..... 133

7.3 Levantamento das Informações Geomorfológicas..... 134

7.3.1 Contexto Geral..... 134

7.3.2 Levantamentos de Gabinete..... 136

7.3.2.1 Hidrografia..... 136

7.3.2.2 Hipsometria e Declividades..... 139

7.3.2.3 Aerofotointerpretação..... 144

7.3.3 Levantamentos de Campo..... 155

7.3.4 Unidades Geomorfológicas..... 160

7.4 Levantamento das Informações Pedológicas..... 163

7.4.1 Escolha dos Locais de Amostragem..... 163

7.4.2 Caracterização Morfológica, Física, Química e Mineralógica dos Solos..... 170

7.4.3 Conclusões Parciais das Análises de Solo..... 211

7.4.4 Unidades Pedológicas..... 214

8. SÍNTESE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO..... 222

8.1 Síntese da Relação Relevo-Rocha Solo..... 222

8.2 Interpretação dos Resultados..... 226

9. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 235

9.1 Conclusões..... 235

9.2 Considerações Finais..... 239

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 242

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais..... 101

Tabela 2. Características observadas no campo durante a coleta de amostras nos pontos escolhidos..... 170

Tabela 3. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR1, pelo método do densímetro..... 175

Tabela 4. Resultados da análise química para amostra coletada próxima ao ponto TR1. 175

Tabela 5. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR1..... 176

Tabela 6. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR2, pelo método do densímetro..... 180

Tabela 7. Resultados da análise química para amostra coletada próxima ao ponto TR2. 180

Tabela 8. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR2, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 181

Tabela 9. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR1, pelo método do densímetro..... 182

Tabela 10. Resultados da análise química para amostra coletada próxima ao ponto TR3..... 183

Tabela 11. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR3, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 184

Tabela 12. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR4, pelo método do densímetro..... 187

Tabela 13. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR4, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 187

Tabela 14. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR8, pelo método do densímetro..... 189

Tabela 15. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR8, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 189

Tabela 16. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR11, pelo método do densímetro..... 193

Tabela 17. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR11, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 193

Tabela 18. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR12, pelo método do densímetro..... 195

Tabela 19. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR12, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 195

Tabela 20. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR19, pelo método do densímetro..... 199

Tabela 21. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR19, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 199

Tabela 22. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR20, pelo método do densímetro..... 201

Tabela 23. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR20, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 201

Tabela 24. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR23, pelo método do densímetro..... 202

Tabela 25. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR23, pelo método da EMBRAPA (1999)..... 203

Tabela 26. Caracterização geral das 24 amostradas utilizadas para definição das unidades pedológicas e mapeamento..... 215

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo..... 4

Figura 2. Localização da área de estudo e limites da bacia hidrográfica do Rio Sorocaba – Médio Tietê, segundo IPT (2006)..... 5

Figura 3. Contrastes no conceito de ciclos de erosão propostos por KING (1956) e DAVIS (1899), apresentado em JAMES (1959)..... 20

Figura 4. Seção esquemática de etchplano no sul da Índia, mostrando a formação das duplas superfícies de aplainamento (a partir de BÜDEL, 1982)..... 24

Figura 5. Perfis esquemáticos mostrando a evolução diferente das vertentes, conforme MARTONNE (1944)..... 34

Figura 6. Profundidade relativa do intemperismo e seus produtos nos ambientes, de acordo com a temperatura e precipitação, do Equador às regiões polares (conforme THOMAS, 1994)..... 37

Figura 7. Esquema da decomposição dos silicatos em argilominerais (OLLIER, 1975)..... 39

Figura 8. Conteúdo relativo de óxidos pela temperatura média anual (PEDRO, 1969)..... 40

Figura 9. Distribuição dos processos de formação dos solos e atributos diagnósticos em uma paisagem hipotética (WAMBEKE, 1992)..... 41

Figura 10. Área de contato da Depressão Periférica Paulista com o Planalto Ocidental Paulista (TROPPMAIR, 1970)..... 51

Figura 11. Área de contato da Depressão Periférica Paulista com o Planalto Ocidental Paulista (TROPPMAIR, 1970)..... 52

Figura 12. Legenda das Figuras 10 e 11 (TROPPMAIR, 1970)..... 53

Figura 13. Taxonomia das formas de relevo (ROSS, 1992)..... 56

Figura 14. Fluxograma das Etapas de Trabalho..... 66

Figura 15. Caminhamentos de campo realizados na área de pesquisa..... 68

Figura 16. Climas segundo a classificação de Köppen para o município de Sorocaba e região (HAURWITZ & AUSTIN, 1944)..... 76

Figura 17. Unidades geológicas de acordo com ALMEIDA et al. (1981)..... 78

Figura 18. Coluna estratigráfica do poço IG/86 (IG, 2009)..... 83

Figura 19. Geologia da área de pesquisa segundo TEIXEIRA et al. (2009a; b)..... 84

Figura 20. Contexto geomorfológico da área de pesquisa e seu entorno, conforme ROSS & MOROZ (1997)..... 86

Figura 21. Divisão das três principais unidades morfoesculturais no Estado São Paulo, a partir de ROSS & MOROZ (1997)..... 87

Figura 22. Imagem SRTM demonstrando as diferenças de rugosidade da superfície..... 89

Figura 23. Classificação dos solos na área de estudo (em verde) e entorno segundo OLIVEIRA et al. (1999)..... 93

Figura 24. Uso da terra na área de estudo, baseado em IGC (1979a; b; c; d)..... 95

Figura 25. Uso da terra atual na área de estudo (2008)..... 97

Figura 26. Lineamentos regionais segundo a hidrografia, extraído da base topográfica do IBGE (1984a; b)..... 98

Figura 27. Lineamentos na área de estudo segundo aerofotointerpretação, extraído de BASE (1962a; b; c; d) e do processamento de imagem SRTM..... 99

Figura 28. Localização da mineração da Votorantim S.A. em relação à área de estudo.. 100

Figura 29. Pontos do levantamento geológico descritos na **Tabela 1**..... 109

Figura 30. Localização das fotos mostradas no levantamento geomorfológico..... 136

Figura 31. Área de estudo e topografia e hidrografia circundante, segundo base topográfica do IBGE (1984a; b)..... 137

Figura 32. Hierarquia fluvial do Córrego Utinga e demais nascentes na área de estudo.. 138

Figura 33. Limite das unidades morfoestruturais e morfoesculturais no contexto da área de pesquisa, de acordo com ROSS & MOROZ (1997)..... 142

Figura 34. Generalização dos limites das unidades morfológicas segundo a litologia, topografia, hipsometria e declividades, indicando a gênese do relevo (morfoestrutura) pelo substrato geológico e pelo nível de dissecação..... 143

Figura 35. Vista da sub-bacia do Córrego Utinga de oeste para leste em modelo 3D, processando-se fotografia aérea da BASE (1962b)..... 144

Figura 36. Curso principal do Córrego Utinga, destacando-se em azul o controle estrutural da drenagem com a formação de cotovelos..... 146

Figura 37. Depressão interfluvial na área de divisores aplainados..... 153

Figura 38. Ravinas em vertente lateral à Rodovia João Leme dos Santos (Fonte da Foto: BASE, 1962b)..... 156

Figura 39. Mesmo local da foto anterior, mostrando as ravinas com recomposição da mata ciliar (Fonte da Foto: AEROCARTA, 2006)..... 157

Figura 40. Vertentes escolhidas para as tradagens..... 165

Figura 41. Localização dos pontos de coleta de amostras de solo, com os priorizados para análise de laboratório em destaque e localização dos perfis de solo analisados..... 166

Figura 42. Perfil geológico A-A' cujo corte demonstra os locais de coleta das amostras dos pontos TR1, TR2 e TR3..... 168

Figura 43. Descrição morfológica de perfil no ponto TR1 (Latossolo Vermelho)..... 174
Figura 44. Resultado da difratometria para a amostra TR1..... 177
Figura 45. Descrição morfológica de perfil na área de estudo correspondente ao ponto TR2 (Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico)..... 179
Figura 46. Resultado da difratometria para a amostra TR2..... 181
Figura 47. Resultado da difratometria para a amostra TR3..... 185
Figura 48. Perfil geológico D-D' cuja seção demonstra os locais de coleta das amostras dos pontos TR4 e TR23..... 186
Figura 49. Resultado da difratometria para a amostra TR4..... 188
Figura 50. Perfil geológico E-E' assinalando o ponto de amostragem TR8..... 190
Figura 51. Resultado da difratometria para a amostra TR8..... 191
Figura 52. Perfil geológico B-B' cuja seção demonstra os locais dos pontos TR11 e TR12..... 192
Figura 53. Resultado da difratometria para a amostra TR11..... 194
Figura 54. Resultado da difratometria para a amostra TR12..... 196
Figura 55. Perfil geológico C-C' que demonstra a localização dos pontos TR19 e TR20. 198
Figura 56. Resultado da difratometria para a amostra TR19..... 200
Figura 57. Resultado da difratometria para a amostra TR20..... 202
Figura 58. Resultado da difratometria para a amostra TR23..... 203
Figura 59. Descrição morfológica de perfil de Argissolo na área de estudo..... 205
Figura 60. Localização dos pontos de amostragem de solos e classificação para a definição de unidades pedológicas e mapeamento..... 217
Figura 61. Localização de tradagens realizadas ao longo das estradas de terra na fotografia aérea (AEROCARTA, 2006)..... 219
Figura 62. Perfil geológico da Serra de São Francisco até a área de estudo..... 228

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Rocha moutonnée de Salto..... 80
Foto 2. Varvito de Itu..... 80
Foto 3. Ponto L28. Metarritmito alterado na superfície..... 112
Foto 4. Ponto L27. Afloramento muito alterado de filito fino, foliado e com estrutura subvertical..... 113
Foto 5. Ponto L49. Filito muito alterado, em área de ocorrência de filitos grafitosos..... 114
Foto 6. Ponto L47. Filito sericítico, de coloração cinza clara e foliação fina..... 115
Foto 7. Ponto L12. Afloramento alterado de quartzito muito fino, cinza..... 116
Foto 8. Ponto L9. Afloramento alterado de quartzito muito fino, pouco micáceo..... 117
Foto 9. Ponto L7. Afloramento alterado de quartzito muito fino, micáceo, com algumas

porções com aspecto xistoso..... 118

Foto 10. Mesmo afloramento da foto anterior (Ponto L7), sendo possível observar-se os veios de quartzo..... 119

Foto 11. Ponto L47. Filito sericítico, de coloração cinza clara e foliação fina, na base de vertente..... 119

Foto 12. Ponto L41. Matacão de biotita granito, porfirítico com matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato..... 121

Foto 13. Ponto L15. Matacão de biotita granito, porfirítico, com matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato..... 122

Foto 14. Ponto L55. Matacão de granito em área aplainada, sofrendo intenso ataque geoquímico pelo seu arredondamento e rebaixamento..... 122

Foto 15. Ponto L42. Perfil exposto em que na base há grande quantidade de material intemperizado, com características do granito..... 123

Foto 16. Ponto L56. Perfil alterado de granito, com porções alteradas brancas e porções mais amarelas e mais vermelhas..... 123

Foto 17. Ponto L16. Fragmento de quartzo leitoso próximo a matacão de granito..... 124

Foto 18. Ponto L15. Matacão com enclaves máficos de granulação fina..... 124

Foto 19. Ponto L52. Arenito fino, alaranjado, com estratificação cruzada bem desenvolvida ainda preservada..... 126

Foto 20. Ponto L19. Afloramento em cabeceira de drenagem no campus da UFSCar..... 127

Foto 21. Ponto L39. Arenito fino com estratificação cruzada na base de perfil..... 127

Foto 22. Ponto L1. Siltito argiloso, com estrutura maciça e empastilhado..... 128

Foto 23. Ponto L4. Siltito argiloso, com estrutura maciça e empastilhado, no contato com siltito maciço no fundo de drenagem intermitente..... 128

Foto 24. Ponto L38. Siltito argiloso com estratificação plano-paralela, laminado, intercalando lâminas mais claras e mais escuras..... 129

Foto 25. Ponto L46. Siltito argiloso, com estratificação plano-paralela, intercalando lâminas milimétricas mais claras e mais escuras, com marcas de onda..... 130

Foto 26. Ponto L54. Siltito com clastos cimentados de vários tamanhos e matriz fina a conglomerática..... 131

Foto 27. Ponto L54. Topo da estratigrafia de acordo com a topografia..... 132

Foto 28. Ponto L54. Detalhe da matriz fina a grossa da foto anterior..... 132

Foto 29. Ponto L19. Mistura de material argiloso (cinza) em meio ao siltito alterado (vermelho). Clastos arredondados e polidos como colúvios..... 133

Foto 30. Vista para vale assimétrico (rumo E), em área de cabeceira do Córrego Utinga. Cidade de Sorocaba ao fundo..... 145

Foto 31. Vista para colina mais dissecada a NE a partir de lago artificial no leito do Córrego Utinga..... 146

Foto 32. Planície fluvial em vale de fundo plano. Vista para W..... 147

Foto 33. Ruptura de declive convexa, com vista para SW..... 147

Foto 34. Ruptura de declive côncava, com vista para NW..... 148

Foto 35. Ruptura de declive retilínea, com vista para Sul. Serra de São Francisco ao fundo..... 148

Foto 36. Mudança de declive côncava, com vista para Sul..... 149

Foto 37. Mudança de declive convexa, com vista para Sul..... 149

Foto 38. Área de divisores aplainados. Vista para SW..... 151

Foto 39. Exemplo de setor de vertente amplo, de dimensão interfluvial grande e baixo gradiente de relevo. Vista para SW..... 152

Foto 40. Vertente dissecada, vista para Norte..... 152

Foto 41. Exemplo de vale fluvial com limite convexo (fundo da foto). Vista para NW..... 153

Foto 42. Erosão em setor côncavo de vertente. Vista para Sul..... 157

Foto 43. Terracetes formados pelo rastejo. Vista para NE..... 158

Foto 44. Sulcos de erosão causados por obras próximas ao local..... 158

Foto 45. Material coluvionar na base de vertente, com fragmentos de quartzo bem visíveis. Vista para SE..... 159

Foto 46. Vista aérea para sul com a localização dos pontos de amostragem de solos para análise de laboratório TR1, TR2 e TR3..... 167

Foto 47. Os patamares planos em áreas de topo levemente convexizados nas bordas são as áreas de ocorrência de Latossolos Vermelhos na área pesquisada..... 169

Foto 48. Latossolo Vermelho em área de topo aplainado, ponto TR1, muito intemperizado, com horizonte B latossólico..... 169

Foto 49. No terço médio da mesma vertente do ponto TR1 encontra-se Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico (ponto TR2), em menor altitude em relação ao ponto anterior..... 169

Foto 50. As obras de drenagem do campus UFSCar Sorocaba permitiram constatar a maior profundidade dos Latossolos Vermelhos na área de estudo, configurando uma mancha contínua relacionada às superfícies aplainadas do divisor topográfico principal.. 173

Foto 51. Torrão coletado a 60 cm de profundidade no ponto TR3..... 183

Foto 52. Material coletado por trado no ponto TR4 até 1,30 m de profundidade..... 187

Foto 53. Vista para NE a partir do ponto TR11, com perfil de alteração do material granítico exposto ao fundo..... 194

Foto 54. Localização dos pontos TR19 e 20 em colina dissecada sustentada por filitos.. 197

Foto 55. Amostra coletada no ponto TR19, que a partir de 80 cm de profundidade já apresenta material alterado do filito..... 200

Foto 56. Aspecto do perfil de Argissolo antes da limpeza para sua descrição morfológica, sendo possível notar a transição abrupta do horizonte superficial para o horizonte Bt abaixo..... 206

Foto 57. Detalhe da transição dos horizontes A, A11, A12 e E..... 207

Foto 58. Detalhe da transição abrupta e plana do horizonte A12 para o horizonte E..... 207

Foto 59. Argissolo no extremo SE da área de pesquisa..... 208

Foto 60. Detalhe da transição dos horizontes E e Bt..... 209

Foto 61. Vista da depressão interfluvial para NNE..... 210

Foto 62. Material coletado até 1 m de profundidade..... 210

Foto 63. Material de alteração coletado a 1,30 m de profundidade, 630 m a WNW do ponto TR4..... 218

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Precipitação, temperaturas máximas e temperaturas mínimas médias mensais para o município de Sorocaba, segundo INMET (2011). Período de 1978 a 1990..... 77

Gráfico 2. Precipitação, temperaturas máximas e temperaturas mínimas médias mensais para o município de Sorocaba, segundo INMET (2011). Período de 2002 a 2010..... 77

LISTA DE MAPAS

Mapa Base..... 6

Mapa Geológico..... 110

Mapa Hipsométrico..... 140

Mapa de Declividades..... 141

Mapa Morfológico..... 154

Mapa Geomorfológico..... 162

Mapa Pedológico..... 221

Mapa Geomorfopedológico..... 225

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bi horizonte B incipiente

Bw horizonte B latossólico

Cad Setores de Vertente Amplos a Dissecados

CPia Arenito Fino (Subgrupo Itararé)

CPib Siltito Argiloso (Subgrupo Itararé)

CX Cambissolo

CX Bw Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico

ЄSo Biotita Granito (Maciço Sorocaba)

DPP Depressão Periférica Paulista

ESALQ Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz

ETE Estação de Tratamento de Esgoto

FNJV Fernando Nadal Junqueira Villela

G Gleissolo

IAC Instituto Agronômico de Campinas

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IF Instituto Florestal

IG Instituto Geológico

IGC Instituto Geográfico e Cartográfico

GPS Global Positioning System

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LV Latossolo Vermelho

Org. Organização

Pf Planícies Fluviais

PSsF Filito (Grupo São Roque)

PSsQ Quartzito (Grupo São Roque)

PSsX Metarritmito (Grupo São Roque)

Qa Depósitos Aluvionares

S/A Silte/Argila

Tc Topos Convexos

Tp Divisores Aplainados

UGRHI Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

Vf Vales Fluviais

1. APRESENTAÇÃO

Procura-se aqui reconhecer aspectos abióticos relacionados na paisagem, baseando-se na ciência geomorfológica como suporte teórico-metodológico para o entendimento de um pequeno quadrante escolhido através de “sobrevôos” e levantamentos de campo, que culminaram em toda uma temática a ser investigada única e simplesmente pelas observações feitas e dúvidas constatadas.

A primeira constatação que levou ao entendimento de que a área de estudo teria aspectos interessantes de serem estudados, afora toda a literatura lida quando não se tinha em mente tal possibilidade, veio do cenário contrastante entre uma superfície rebaixada, colinosa e de materiais predominantemente sedimentares, com um circundante relevo serrano, maciço, e de características nitidamente cristalinas, marcando um evidente contraste topográfico. A transição observada despertava a curiosidade não só quanto às duas unidades contrastantes, como também quanto às relações funcionais entre ambas, até hoje não muito bem definidas no meio especializado.

A segunda constatação foi a variação de elementos visíveis na paisagem, como solos e geologia. A vegetação também chamava a atenção, mas estando esta muito alterada pela ação e ocupação antrópica, as diferenças encontradas em percursos curtos eram mais gritantes nos tipos de solos e rochas. Do topo de um interflúvio até seu fundo de vale podiam ser notadas três ou quatro variações, que pareciam acompanhadas pela superfície, pelos solos nem sempre profundos e pela litologia que se apresentava em condições frescas ou muito alteradas.

Estas constatações na verdade já foram percebidas por outros durante as incursões ao interior do país, logicamente melhor compreendidas somente no século XX. O contraste das serranias e dos terrenos rebaixados trata da transição de macro-unidades geológicas e geomorfológicas, que são o planalto cristalino, gerado no pré-cambriano e denominado como Planalto Atlântico, e a superfície rebaixada do limite oriental de uma bacia intracratônica fanerozóica, conhecida como Bacia Sedimentar do Paraná, cuja borda no Estado de São Paulo foi definida geomorfologicamente como Depressão Periférica Paulista.

Finalmente, a terceira e maior constatação foi percebida pelo dia a dia das atividades do autor desta tese no decorrer dos anos letivos. A instalação de um campus da Universidade Federal de São Carlos no limite sudoeste do município de Sorocaba trouxe à tona a necessidade de uma série de levantamentos de natureza didático-científica, aproveitando os levantamentos de campo nos limites da nova unidade da Universidade como recurso às aulas de geografia física ministradas por este pesquisador. Tal demanda se mostrou altamente enriquecedora nos conceitos abordados em sala de aula, e a variação geológica e morfopedológica uma ferramenta importante como instrumento de análise. Além disso, a

interação com outros professores/pesquisadores do campus possibilitou outras leituras da paisagem existente, inclusive ultrapassando para o caráter inter/multidisciplinar.

Feitos os alicerces da pesquisa (variações geológicas, geomorfológicas e pedológicas), esta passou a desenvolver-se através de um procedimento sistemático, nem sempre linear, para se entender como se processava o meio físico estudado. Os fatores abióticos permitem sua investigação pelo princípio inanimado, mas à medida que esta investigação avançava, fluxos de matéria e energia eram percebidos, nem sempre gerando testemunhos de processos muito claramente. De início, notou-se uma variação do *continuum* pedológico influenciado pela diversificação da litologia; o mapeamento do modelado de superfície comprovou este fato e permitiu a delimitação de alguns compartimentos-tipo. Entretanto, pouquíssimas foram as vezes em que as interações entre as formas de relevo, substrato geológico e cobertura pedológica permitiram desenhar no documento cartográfico um padrão de relações entre forma, rocha e solo interligados. Eram encontrados afloramentos de granito em meio a colinas teoricamente sustentadas por material sedimentar espesso; os solos observados não permitiam uma associação clara ao material de origem; a proximidade com zonas tectonicamente ativas no passado imprimia caráter complexo e variado às litologias presentes, dificultando muito o estabelecimento de limites em um documento tão estático como é um mapa.

Assim, as relações entre relevo-rocha-solo existiam, mas não seguiam um padrão facilmente perceptível, e levaram a tratar esta pesquisa como um diagnóstico com algumas considerações sobre a gênese e evolução das formas de relevo e solos, condicionados pelo aspecto litoestrutural. Neste sentido, imprime-se aqui o caráter de levantamento da tese, ou seja, não houve o estabelecimento de uma hipótese que foi testada e comprovada, mas sim questionamentos urgindo respostas e a tentativa da percepção geográfica nas relações dos fatores abióticos, com algumas constatações evolutivas sobre a paisagem envolvida.

É importante salientar que o levantamento executado não se tratou de mera descrição das formas e processos associados ao substrato geológico e à cobertura pedológica. Não se objetivou aqui um documento geométrico das superfícies do terreno e uma mera descrição dos tipos de rocha e solos relacionados, trabalho que teria também sua importância, é fato. Deve ser enfatizado, apenas, que a complexidade da área envolvida e do tema abordado impossibilita qualquer análise imediata dos fatores abordados, dada sua variação.

O “disfarce” das superfícies existentes na área de estudo (como a pouca amplitude topográfica) revela nas formas das vertentes sensíveis diferenças; enquanto isso, a litologia encontra-se na maioria dos afloramentos em alterações expostas, e os solos, muito intemperizados, são mais evidentes em suas variações através das características morfológicas. Por isso, se nos trabalhos geomorfológicos são importantes as compartimentações, nesta pesquisa especificamente foi fundamental a confecção de um

documento que expressasse as relações entre os três fatores mencionados acima, que sem dúvida alguma respondem pela estrutura e forma da superfície existente. Portanto, o foco na *morfopedologia* e a tentativa de se construir uma *carta geomorfopedológica* a partir da análise geomorfológica foi extremamente pertinente no desenvolvimento deste trabalho.

A seguir é apresentada a área de estudo, e em seqüência o contexto desta pesquisa e o tema abordado, seguidos dos objetivos propostos (**Capítulos 2** e **3**). O embasamento teórico-metodológico utilizado é apresentado no **Capítulo 4**, para então serem descritos os procedimentos adotados e as técnicas operacionais utilizadas e executadas, além das etapas de trabalho (**Capítulo 5**). Após a descrição das etapas de trabalho, a área de estudo é detalhadamente caracterizada, primeiro pela apresentação de uma síntese dos conhecimentos anteriores já adquiridos (**Capítulo 6**), depois pelos resultados dos levantamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos (**Capítulo 7**). No **Capítulo 8**, a integração dos levantamentos apóia a síntese sobre a relação relevo-rocha-solo na área de estudo; o **Capítulo 9** encerra a tese com as conclusões do trabalho e as considerações finais sobre a tese, e no **Capítulo 10** são apresentadas as referências bibliográficas.

1.1 Área de Estudo

A área de estudo, ou área de pesquisa, localiza-se no setor sudeste do Estado de São Paulo, no sudeste do Brasil, entre as latitudes 23º 34’ 1’’ a 23º 36’ 4’’ S e longitudes 47º 32’ 3’’ a 47º 29’ 2’’ W. Corresponde a um quadrante de 25,07 Km^2, ou 2.507 ha, e situa-se a 87 Km a oeste da capital paulista. Compreende três municípios: Sorocaba ao norte e noroeste, Salto de Pirapora no centro-sul, oeste e sudeste e uma pequena parte de Votorantim a leste e nordeste (**Figura 1**).

O município de Sorocaba compreende o pólo da Região Administrativa, formada por 79 municípios que ocupam 41.077 km^2 ou 16,5% do território do estado paulista (SILVA & LANA, 2008). Desde o século XVII, a região foi ligação entre as partes mais próximas do litoral do Estado de São Paulo e o interior do país e mesmo do continente (SANTOS, 1950). Nas duas primeiras décadas do século XX, Sorocaba e algumas cidades, como Itu, Salto, Tatuí e Porto Feliz já se constituíam como importantes centros industriais, sob forte influência do setor têxtil. Com a inauguração da Rodovia Raposo Tavares, em 1954, a atividade industrial se diversificou, passando a produzir bens diversificados (SILVA & LANA, 2008).

Atualmente a região administrativa sofre intensa industrialização e adensamento populacional, especialmente nos municípios que compõem parte da área de estudo desta tese, caracterizando assim a área de pesquisa como potencial vetor de expansão urbana em área rural do município de Sorocaba e região.

Figura 1. Localização da área de estudo. Org.: FNJV, 2011.

O quadrante a que se refere à área de pesquisa contém cabeceiras de drenagem do Rio Tietê, correspondendo a interflúvio que separa os rios Ipaneminha e Pirapora, ambos afluentes do Rio Sorocaba (**Figura 2**). A área possui relevo variando de colinas a pequenos morros, com amplitudes topográficas de 100 m desde as áreas de topo até o fundo de vale, com altimetrias de 615 a 715 m. No extremo ENE do quadrante corre trecho da porção superior do Rio Ipaneminha, sendo alimentado em sua margem esquerda por três córregos: Jucurupava, Córrego do Barreiro e Córrego Utinga. Este último, com aproximadamente 6.100 m de extensão, nasce próximo à Rodovia João Leme dos Santos, na Fazenda Boa Vista, deságua no Rio Ipaneminha no trevo desta rodovia que se direciona ao município de Piedade e é o único que possui sua bacia hidrográfica inteiramente localizada nos domínios da área de pesquisa (vide **Mapa Base**, página 6).

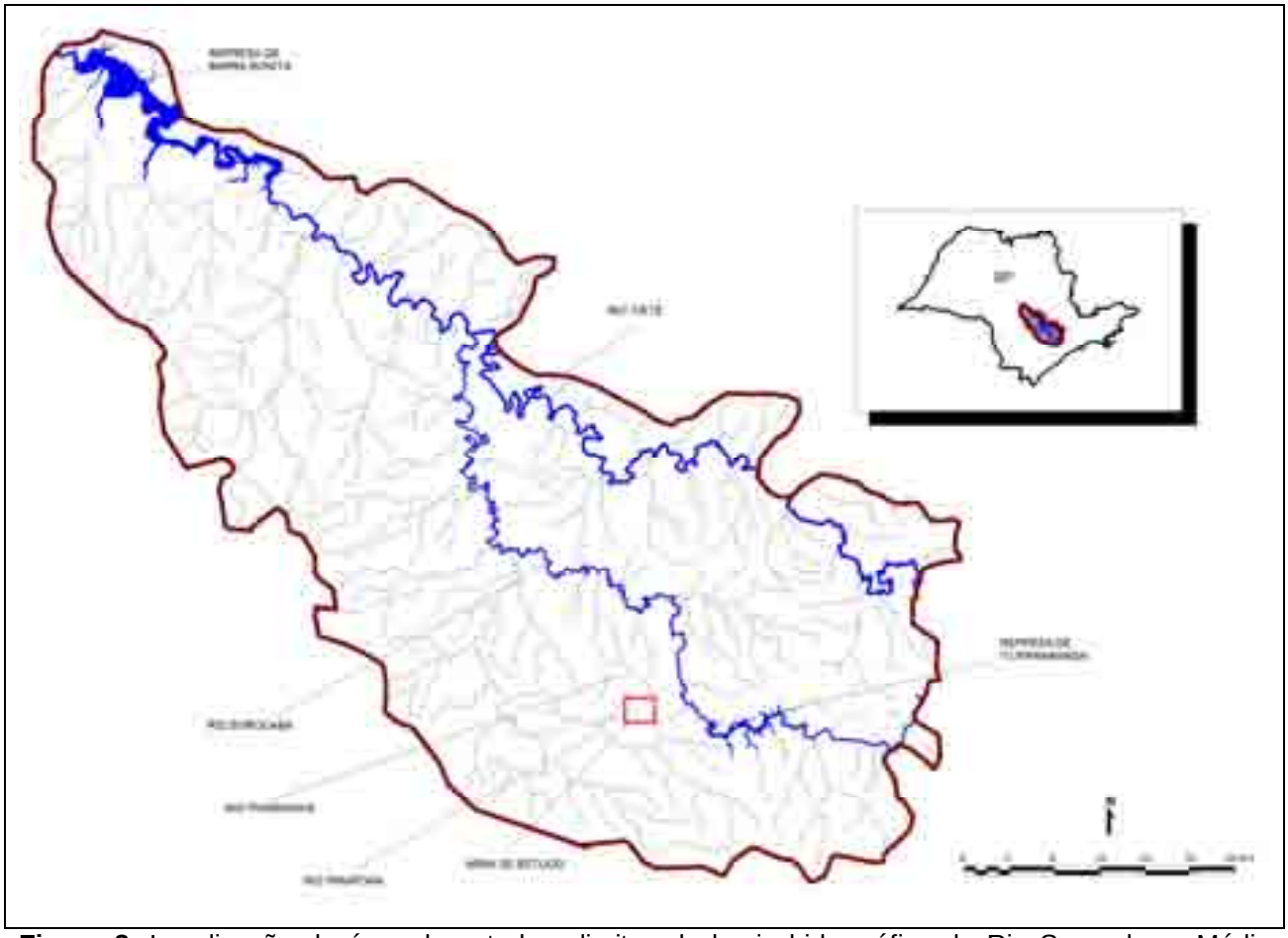
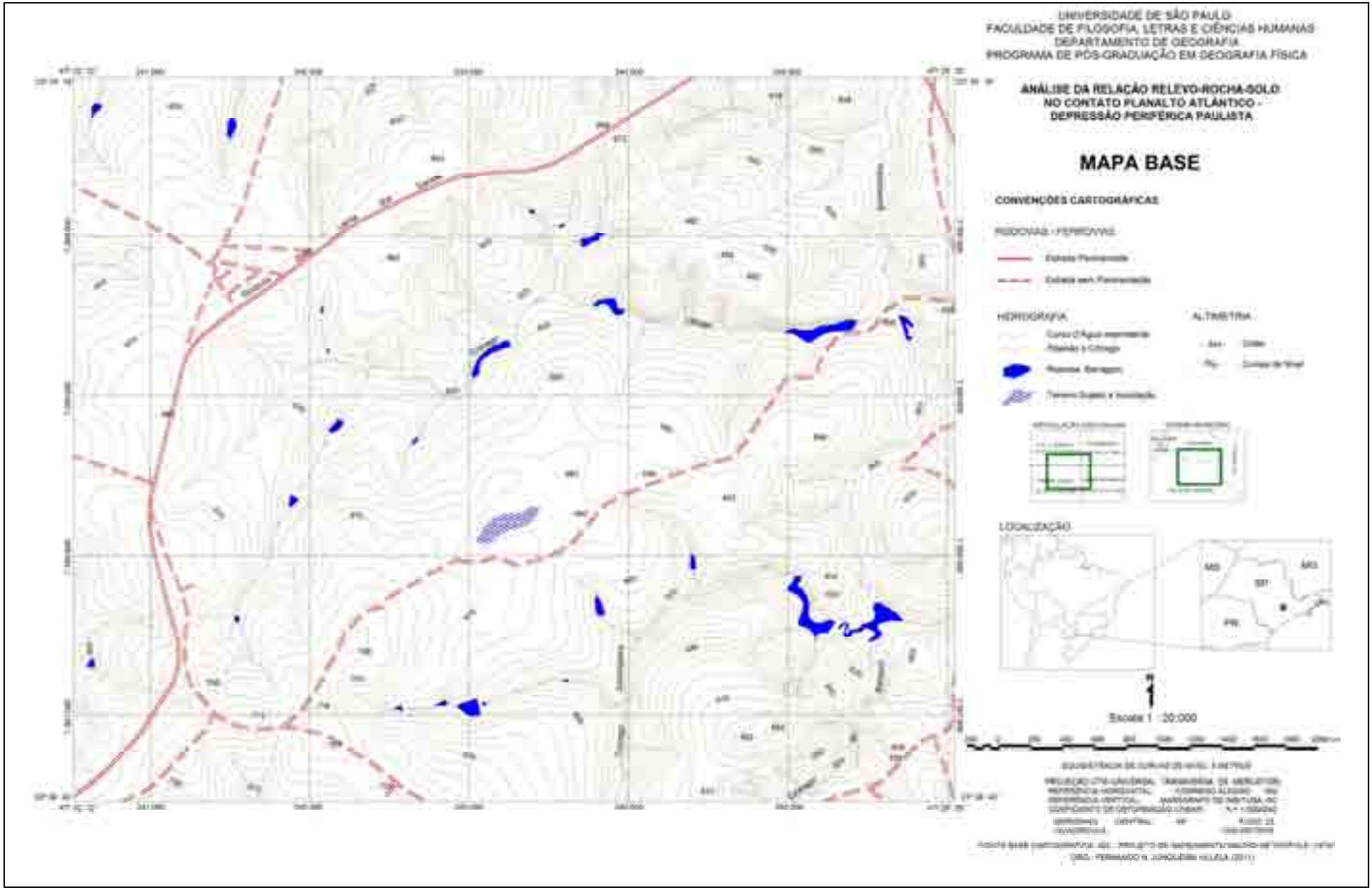


Figura 2. Localização da área de estudo e limites da bacia hidrográfica do Rio Sorocaba – Médio Tietê, segundo IPT (2006). Org.: FNJV, 2011.

Em termos geológico-geomorfológicos, a área localiza-se na transição do Planalto Atlântico para a Bacia Sedimentar do Paraná, no início da unidade geomorfológica conhecida como Depressão Periférica Paulista. É, portanto, uma área localizada em rebordo de maciço antigo. O tipo de relevo se alterna entre topos mais amplos e suavizados, sustentados por litologias sedimentares paleozóicas (arenitos e siltitos), a formas mais rugosas ligadas ao embasamento cristalino, como corpos graníticos e quartzíticos. Há a predominância de Latossolos Vermelhos, muito argilosos nas áreas de topo e argilosos nos setores de vertente inferiores, podendo mudar para Cambissolos ou Argissolos. A vegetação, atualmente muito modificada, reflete a transição da floresta ombrófila mista para mesófila, com indivíduos de porte arbóreo montano latifoliado que mudam para espécies lenhosas típicas de formações savânicas. O clima existente é do tipo tropical de altitude, em que as temperaturas médias ficam em torno de 22°C e as chuvas anuais superam os 1.500 mm.


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA
ANÁLISE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO
NO CONTATO PLANALTO ATLÂNTICO -
DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA
MAPA BASE
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
RODOVIAS - FERROVIAS
HIDROGRAFIA
ALTIMETRIA
LOCALIZAÇÃO
Escala 1 : 20.000

2. INTRODUÇÃO

Um cientista da paisagem sabe o quão rica é a experiência de observar fenômenos da Natureza e poder verificar se estes estão de acordo ou não com uma teoria da Ciência que o leva a pesquisar o ambiente natural. Muitas vezes, o questionamento daquilo que lhe foi ensinado por livros, professores, pesquisas passadas e outros trabalhos de referência, acontece na simples observação de um aspecto, freqüentemente sutil, delicado, ou até mesmo efêmero. Em outras instâncias, a associação de afirmações já consagradas no meio científico o leva a constatar um exemplo rico, *in situ*, que pode relacionar-se a outros fenômenos, numa eterna cadeia de relações e questionamentos daquilo que se compreende da Natureza através dos meios da Ciência.

À primeira vista, o reconhecimento de um terreno *in loco* pode tornar-se uma tarefa praticamente impossível. Percorrer o campo, aqui no sentido de ambiente externo do termo, não só pode levar a constatações enganosas, como também ao raciocínio viciado do "pensar com os olhos". Em geral, processos não são visíveis; ao mesmo tempo, resultados de processos podem ser observados, mas compõem um conjunto de fenômenos associados, evidentemente dificultando qualquer interpretação. Provas daquilo que se vê são então aparentemente descritas, levantadas, coletadas e testadas em laboratório, sem que todo esse procedimento necessariamente signifique êxito naquilo que cientificamente se busca conhecer ou interpretar.

Um reconhecimento do todo é, então, fundamental para se entender certo aspecto do meio físico ou abiótico enfocado. Esse todo pode ser interpretado como uma variação de escalas de observação traduzidas em um espaço delimitado e escolhido pelo observador. Quando este aborda a superfície do terreno, não pode entender o todo antes da tentativa de observar de cima, diminuindo a escala de aproximação, tentando quase que sobrevoar a área que lhe é de interesse a fim de reconhecê-la. Ao olhar "para baixo", buscará elementos que o possibilitem entender o conjunto, como este se associa em suas particularidades e como estas resultam naquilo que podemos identificar como "paisagem".

Alguns elementos desta paisagem são percebidos imediatamente, mas dois saltam aos olhos: as cores dadas pela superfície do terreno, que variam segundo aquilo que o cobre, como a vegetação, o uso da terra, os tipos de solos ou as rochas expostas, e também o relevo, que demonstrará ondulação constante. Este último, se bem destacado ao se tratar de uma imagem originada de um sensor remoto, possibilitará o acompanhamento de seus delineamentos e divisões de formas variadas, que associados comporão um conjunto apreciável. Já foi dito que a paisagem nada mais é do que "a parte emersa de um *iceberg*"; pois é possível dizer também que esta parte emersa se exprime pela fisionomia, dada pelas formas de relevo.

Se a paisagem pode ser expressa no aspecto abiótico através do relevo, ao menos uma das ciências que a estuda pode enfatizar a fisionomia da superfície; assim é a Geomorfologia, ciência de cunho geográfico por estudar as formas de relevo quanto à sua distribuição espacial e estrutura dos arranjos em dada paisagem. Na literatura especializada, principalmente nos dicionários técnicos e livros didáticos, a definição da Geomorfologia vem sempre acompanhada deste teor "paisagístico" (no sentido de reconhecimento de um território), ou seja, a de que se trata de uma ciência que estuda as paisagens e suas evoluções no tempo e no espaço.

TRICART (1977) entende que os processos nos quais a Geomorfologia trabalha na paisagem atuam em função de sua intensidade e equilíbrio (dinâmico), dependendo da interface atmosfera-litosfera. Tal interface aplica-se ao modelado do relevo e corresponde ao que GRIGORYEV (1968) denominou como estrato geográfico da Terra, a interação entre a litosfera, a baixa atmosfera (troposfera e parte da estratosfera), hidrosfera, regolito (entendido como o manto do solo), cobertura vegetal e o reino animal. No viés desta definição é possível entender a ligação intrínseca entre a Geomorfologia e a Pedologia: esta última é a ciência que estuda o manto intemperizado física, química e biologicamente, que recobre o modelado e tem papel importantíssimo na paisagem, pois organiza a manutenção da vida quando atua na interação dos organismos com a radiação solar e o ciclo hidrológico. A existência de solos e seus tipos diferenciados indicam condições diversas de instabilidade/estabilidade nos ambientes, atribuindo processos que geralmente são ligados também à esculturação das formas de relevo. Por assim dizer, relevo e solos caminham juntos na evolução da paisagem, grosso modo pelo balanço morfogênese/pedogênese.

Esta evolução também é marcada pelo condicionamento estrutural: o arcabouço geológico condiciona a escultura da superfície e seu desenvolvimento no tempo geológico, definindo através de suas estruturas compartimentos inter-relacionados que reportam uma história que nunca chega ao fim. A litoestrutura, portanto, relaciona-se aos tipos de relevo e de solos, fornecendo os alicerces para o primeiro e os minerais primários para o segundo.

A associação entre o substrato rochoso, o relevo e os solos indica o caráter interdisciplinar deste trabalho, que procura estabelecer um diagnóstico evolutivo da paisagem envolvida. Como aponta ROSS (1991), o entendimento do relevo passa pela compreensão de uma coisa maior que é a paisagem. Uma abordagem integrada de fatores da paisagem, tais como substrato rochoso, solos e formas de relevo, segundo suas inter-relações em termos de origem, estrutura e processos, permite melhor compreensão de seu funcionamento e comportamento frente aos processos, como os intemperismos físico-químicos.

3. PRESSUPOSTOS E OBJETIVOS DA PESQUISA

A relação entre o relevo, o substrato rochoso e os solos é uma abordagem integrada de fatores da paisagem em termos de origem, estrutura e processos, permitindo melhor entendê-la nas diversas dimensões têmporo-espaciais existentes. A compreensão dos fatores – o que são, quais suas dinâmicas envolvidas e quais são as características resultantes – permite entender a Natureza de uma maneira mais detalhada, comportamental, fisiológica, enquanto processo contínuo. A ligação com as atividades humanas, parte ativa na ocupação da superfície terrestre e que modifica os mosaicos da paisagem, pode ser também relacionada através da investigação retrospectiva, verificando-se até os diferentes usos da terra ao longo do tempo. Esta idéia central – o enfoque quadri-dimensional – três dimensões espaciais e uma temporal, como citado por CASTRO & SALOMÃO (2000), produz um diagnóstico mais completo do meio físico e de sua evolução.

A noção de evolução implica na modificação ao longo do tempo e processos e fatores modificantes. Na Natureza, fluxos de matéria e energia, regidos pelas leis da física e da química, definem esses processos e fatores, havendo consumo, transformação e produção de matéria e energia, que regulam a estabilidade/instabilidade de um meio. No princípio evolutivo voltado a um enfoque geográfico, a única maneira de compreensão destes fluxos que regulam as modificações é voltar o olhar à paisagem. Embasado pela Teoria Geral de Sistemas, BERTRAND (1971) concebe à paisagem funcionalidade sistêmica dentro de uma concepção dinâmica e natural, definindo-a como “resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, tendo sua análise dependência da escala têmporo-espacial”. Se a Geomorfologia é “um estudo evolutivo das paisagens”, se faz necessário o levantamento de seus processos e fatores.

MILLER (1966), em uma tentativa de entender a Geomorfologia eminentemente como uma ciência evolutiva e o geógrafo como seu principal estudioso, comparou a paisagem a uma sinfonia cujos elementos, subitamente interligados, se combinam para afinar as melodias e reproduzi-las em alto e bom som aos sentidos do espectador. Tanto o som como as formas de relevo, aparecendo aos sentidos pela audição e visão respectivamente, podem ser representados num pedaço de papel de forma sistemática e através da convenção de sinais; mas para aproveitar ao máximo as harmonias e ritmos de uma orquestra o espectador deve ouvir a sinfonia em todo seu conjunto, e para entender todos os atributos existentes na paisagem o mesmo ocorre com o geógrafo. O necessário estudo cuidadoso das partes até haver entendimento do conjunto deve ser temperado pela concentração nos fatores independentemente, até que a composição possa ser iniciada e o conjunto, então, construído.

Esta construção, na presente proposta, se deu no enfoque do aspecto “natural” da paisagem voltado basicamente à caracterização do meio físico nos aspectos primeira e

principalmente geomorfológicos, e também nos aspectos geológicos e pedológicos. A Geomorfologia nasceu das exigências das ciências conexas (PENTEADO, 1983), e estas conexões podem quase que obrigatoriamente serem feitas à Geologia e Pedologia. Quando William Morris Davis introduziu, no final do século XIX, a análise cíclica das paisagens através de seu Ciclo Geográfico, deu às formas de relevo estágios relacionados à tectônica e erosão fluvial que apontaram o nascimento da ciência geomorfológica como investigadora da evolução da paisagem. Seu caráter analítico e sintético foi já em seu fundamento postulado, oferecendo a possibilidade interativa com outros ramos das geociências: à Geologia, foi dada uma relação antagônica, seja pela oposição dos processos endógenos *x* processos exógenos, seja pela visão de examinar testemunhos do passado com vistas ao entendimento do presente, ao invés de verificar o presente para se entender o passado (método atribuído à Geologia); à Pedologia, na relação morfogênese *x* pedogênese, extensamente trabalhada na literatura consagrada e nem por isso finalizada como objeto de estudo.

Estes três fatores da paisagem (relevo-rocha-solo) carregam forte conotação interativa, pois respondem, afetam e originam uma série de processos na paisagem, enquanto que ao mesmo tempo dependem um do outro. ROSS & MOROZ (1997) já apontaram esta relação e outras mais, dizendo que “o primeiro fato de suma importância é ter-se claro que o relevo é apenas um dos componentes da litosfera e que está intrinsecamente relacionado com as rochas que o sustentam e com os solos que o recobrem. É também de absoluta importância ter-se como noção básica que as formas diferenciadas de relevo decorrem, portanto, da atuação simultânea e desigual das atividades climáticas de um lado e da estrutura da litosfera de outro, bem como a clareza de que tanto o clima quanto a estrutura não se comportam sempre iguais, ou seja, ao longo do tempo e do espaço ambos continuamente se modificam. Estes elementos nos permite considerar que o relevo, como os demais componentes da natureza, são dinâmicos e portanto em constante estado de evolução”.

O levantamento de dados geomorfológicos, geológicos e pedológicos possibilita conhecimento da estrutura, composição e dinâmica da paisagem existente. Este estudo pode ser definido como uma busca pela compreensão destes atributos na relação relevo-rocha-solo. Ao serem entendidas as características do terreno e do substrato, e os fluxos físico-químicos de matéria que resultam em diversos processos e como se dá a setorização de suas relações (quando há delimitação possível para mapeamento), compreende-se o meio em uma visão mais acurada, estruturada, e até mesmo hierarquizada. Na aplicação para fins variados, a cartografia de síntese confere um documento que serve de orientação para a conservação das condições naturais por meio das atividades humanas, proporcionando uma estratégia imediata e futura para o assentamento urbano ou rural. Ao compreenderem-se as características de um espaço, evidenciam-se problemas e soluções pertinentes à paisagem envolvida, na verdade sempre a sofredora de quaisquer modificações.

Estas associações não são novidade dentro do âmbito atingido pela Geografia, pois se sabe que a configuração de qualquer paisagem atual existe em função do meio natural, da atividade antrópica e das necessidades econômicas da sociedade. A compreensão do processo de transformação da paisagem pelo Homem requer noção retrospectiva, onde haja dimensões têmporo-espaciais estabelecendo escalas de abordagem, além das conexões interdisciplinares. Estas necessidades são encontradas na ciência geográfica e mais precisamente na Geomorfologia e Pedologia, muito em razão da existência das técnicas e concepções de mapeamento e dos componentes visíveis e/ou mensuráveis da paisagem.

O território do Estado de São Paulo possibilita a observação de uma série de mosaicos morfologicamente diferenciados à primeira vista, que indicam superposições, continuidades e características extremamente curiosas em relação ao meio físico. Particularmente, os municípios de Sorocaba, Salto de Pirapora e Votorantim, instalados na Depressão Periférica Paulista, possuem uma originalidade geográfica interessante, pois situam-se na transição de macro-unidades geomorfológicas que refletem um passado geológico diferenciado em milhões de anos; enquanto que na porção sul-sudeste desses municípios existe uma região embasada por um arcabouço geológico cristalino, pré-cambriano, ligado à gênese do Planalto Atlântico, nas demais partes afloram rochas sedimentares, ligadas à progradação fanerozóica da Bacia do Paraná, numa superfície rebaixada que caracteriza uma faixa de transição da história da Plataforma Continental Sul-Americana. A transição destes dois domínios macro-compartimentados cria contrastes nas formas de terrenos, substratos, solos, e também no clima e na vegetação, onde as faixas transicionais são marcadas por processos de superfície e subsuperfície peculiares, sem, entretanto, estabelecer grandes marcas de rupturas topográficas bruscas.

Para a topografia e os solos, existe um contraste nem sempre nítido nesta transição e em suas devidas características, refletida também de maneira “camuflada” pela fitogeografia remanescente, atualmente muito alterada pela atuação antrópica. Modelados colinosos alternam-se com pequenos morros de encostas mais inclinadas, e solos muito vermelhos, oxidados, podem mudar subitamente para cores esbranquiçadas, indicando perda de material por reações químicas e meio redutor. Esta situação é comum no quadrante considerado como área de pesquisa, que envolve uma pequena bacia hidrográfica e seu entorno, um verdadeiro laboratório a céu aberto das transições aqui referidas.

Como participante da recente implantação de uma nova unidade da Universidade Federal de São Carlos no município de Sorocaba (Campus UFSCar Sorocaba), iniciada em 2008, houve uma demanda importante de conhecimentos locais da paisagem existente, cujos resultados obtidos poderiam auxiliar desde disciplinas e pesquisas voltadas à ecologia e botânica quanto às disciplinas e pesquisas de cunho geográfico. Do ponto de vista discente, vários aprendizados que fazem do conhecimento uma evolução inteligível das apreensões em

gabinete, campo e laboratório, integrando componentes naturais, são possíveis de relacionarem-se à área em questão. Sendo assim, foi natural dirigir a pesquisa à paisagem próxima e às demandas necessárias para que o enfoque desta tese se voltasse ao tema abordado, pertinente ao meio.

Além da configuração do meio natural, a realidade da área em questão coloca em pauta o andamento das atividades humanas, sobretudo aquelas voltadas ao vetor de expansão urbana conhecido pela ligação, através da Rodovia João Leme dos Santos, entre o município de Sorocaba e Salto de Pirapora. Embora em área predominantemente rural, o entorno da principal bacia hidrográfica considerada nesta pesquisa (Córrego Utinga, de 4ª ordem na hierarquia fluvial) já sofre um processo acentuado de urbanização, com a implantação de condomínios e vilas universitárias. A falta de planejamento é visível, quer seja pela falta de condições adequadas de abastecimento público e saneamento, quer seja pelo estado da rodovia em questão que não oferece segurança à população residente e circulante. No quadrante considerado como a área de estudo total, a demanda crescente devido à entrada massiva do referido fluxo populacional cria uma série de necessidades urgentes, e nesse meio tempo a superfície testemunha uma gama de processos. Toneladas de solo são revolvidas para implantação de edificações, tubulações, sistemas de drenagem e vias asfaltadas. O modelado é constantemente alterado e os processos superficiais e subsuperficiais acabam por intensificar-se, como, por exemplo, no descarrego excedente de sedimentos aos talvegues dos pequenos córregos existentes, ou então por meio da perceptível atuação do intemperismo químico que promove a lixiviação de bases da superfície desnudada em conseqüência da atividade antrópica.

O principal apoio teórico-metodológico, obtido através da Geomorfologia e da Pedologia, adota como parâmetros básicos na presente proposta as abordagens de TRICART (1965, 1977) e TRICART & KILIAN (1982), além de BÜDEL (1982) para os processos de etchplanação; as propostas de ROSS (1991, 1992, 1994 e 1998), resultando em cartografia detalhada; e adota as orientações de SALOMÃO (1994) e CASTRO & SALOMÃO (2000) para as necessárias investigações dos sistemas pedológicos e suas compartimentações quando atrelados às formas de relevo e ao substrato rochoso, ainda que não sejam seguidos todos os passos roteirizados pelos autores citados.

3.1 Objetivos

Com base no que foi exposto anteriormente, a relação relevo-rocha-solo na área de estudo pode ser enfocada considerando-se dois aspectos: 1) Os três fatores que configuram o mosaico da superfície são predominantemente sujeitos à alteração química promovida pelos processos exógenos na interação da superfície com a baixa atmosfera; 2) as relações dos três

fatores podem ser espacializadas, ainda que em condições limitadas, através da cartografia geomorfológica e da metodologia morfopedológica, considerando o controle estrutural do substrato geológico.

Sendo a área de pesquisa uma superfície aplainada, com solos intemperizados e variações litoestruturais, é possível levantar como questão central se os fenômenos de erosão geoquímica são responsáveis pelo rebaixamento das formas de relevo e se os solos resultantes da variação litológica (entre outros fatores e processos) respondem pelo testemunho destas transformações. As formas de relevo da área de estudo são caracterizadas por colinas de topos amplos e suaves, sustentados por litologias sedimentares paleozóicas, que por vezes tornam-se mais dissecadas, sustentadas por litologias granítico-metamórficas. Visto que existem solos muito intemperizados nas áreas de topos amplos e materiais em estado de alteração avançado a solos de transição nas áreas mais dissecadas, além de haver a exposição do embasamento e o rebaixamento de suas exposições na superfície, intui-se a atuação predominante do intemperismo químico e rebaixamento simultâneo como agentes modeladores da paisagem envolvida. Em outras palavras, *pode uma antiga superfície de aplainamento, constatada pela literatura como neogênica, estar sendo rebaixada por processos análogos à etchplanação juntamente com a atuação antagônica do condicionamento litoestrutural existente, resultando em relações de interdependência do relevo, dos solos e do substrato geológico, e, neste contexto, quais os processos? E ainda, é possível compartimentar esta relação?*

Portanto, neste trabalho foram enfatizados levantamentos geomorfológicos, geológicos e pedológicos do quadrante definido como área de pesquisa, relacionando as características do terreno com o substrato e os solos; por isso, também foi objetivo desta investigação a análise das relações funcionais (comportamentais) entre estes fatores. Como questão, colocou-se a possibilidade da estrutura geológica condicionar o modelado e seus materiais constituintes, para serem entendidas as relações do substrato geológico com a cobertura pedológica, quando analisadas na perspectiva dos compartimentos morfológicos.

Para atingir os objetivos, foram necessários levantamentos de campo e gabinete das relações relevo-rocha-solo e análises de laboratório que indicassem os tipos e graus de intemperismo dos solos, além de documentos cartográficos em escala de detalhe. A escala de trabalho adotada foi de 1:10.000; entretanto, para que a leitura dos mapas fosse facilitada, estes são apresentados em escala 1:20.000. Um dos documentos cartográficos mais importantes é o mapa geomorfológico, que por meio da classificação taxonômica dos fatos geomórficos, indica os compartimentos e os processos. A combinação deste e de outros mapas temáticos, levantamentos de campo, análises de gabinete e análises de laboratório resultou também em uma compartimentação geomorfopedológica. Para tal, abordaram-se fatores relacionados à altimetria do relevo, declividade das vertentes, características

morfológicas do modelado (formas e elementos de relevo na superfície), geologia, e pedologia. O mapa geomorfológico e o mapa geomorfopedológico funcionaram como análise integrada destes fatores, permitindo em última instância um diagnóstico do meio físico envolvido. O mapeamento configurou instrumento básico da pesquisa e um recurso à compreensão da paisagem investigada do ponto de vista abiótico.

Assim, por meio de levantamentos sistemáticos de campo e estudos realizados em gabinete e laboratório, pretendeu-se chegar aos seguintes resultados:

- Entendimento analítico da relação relevo-rocha-solo e seus reflexos no contexto da paisagem natural;

- Abordagem da atuação da erosão geoquímica no rebaixamento da superfície, de acordo com as formações dos solos ou materiais de alteração expostos na superfície;

- Confecção da carta geomorfológica: como um dos produtos finais, em escala de detalhe (1:20.000), taxonomicamente hierarquizado em ordens de grandeza, caracterizando as formas de relevo e sua relação com o substrato rochoso, a cobertura pedológica e os processos de superfície;

- Confecção da carta geomorfopedológica: produto síntese final em escala de detalhe (1:20.000), considerando características geológicas e geomorfológicas, associadas à cobertura pedológica;

- Interpretação dos resultados: decorrente da cartografia associada às análises de campo, gabinete e laboratório;

- Analisar se a adoção da metodologia utilizada foi satisfatória na compreensão da relação relevo-rocha-solo (compartimentações e processos envolvidos), e se foi possível constatar a atuação da erosão geoquímica como agente do rebaixamento da superfície na área de estudo.

4. BASES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS

Neste capítulo exploram-se os conhecimentos teóricos utilizados como base conceitual no desenvolvimento desta tese e as metodologias aplicadas à pesquisa para atingirem-se os objetivos. Primeiro são mostrados os suportes teóricos da Geomorfologia e Pedologia, e em seguida a metodologia adotada na perspectiva geomorfológico-pedológica.

4.1 Suporte Teórico da Geomorfologia

4.1.1 Origens

Ciência intermediária entre a Geografia e as Geociências, a Geomorfologia tem um traçado histórico marcado por uma constante intuição sobre os fenômenos da Natureza e uma produção não-linear dos trabalhos reconhecidamente voltados à sua área de atuação, que em geral pode ser identificada como a fisionomia natural das diversas paisagens existentes em nosso planeta, identificadas pelas formas de relevo. Atualmente, o fator antrópico tem ganhado foco devido aos diversos problemas urbanos associados às ocupações humanas, sem nunca haver uma dissociação dos fenômenos naturais envolvidos no desencadeamento dos processos.

Apesar de oficialmente reconhecer-se o início do pensamento geomorfológico sistemático através da publicação do trabalho de DAVIS (1899), percebe-se que a associação das formas de relevo ao substrato geológico e à vegetação já era um fato observável desde o século XVIII pelo menos. Na Inglaterra, por exemplo, a busca por recursos naturais no pré-surgimento da Revolução Industrial aguçou o interesse pelos recursos minerais e conseqüentemente pelo entendimento da superfície como indicadora de jazidas. William Smith, topógrafo que fazia levantamentos de jazidas de carvão e abertura de canais de drenagem para a produção das minas, já citava em suas observações possíveis depósitos carboníferos de acordo com o perfil das montanhas, ausência de vegetação e camadas geológicas associadas, quando do alto dos morros tentava adivinhar o local das jazidas. Aliás, este foi considerado precursor da geologia inglesa, pois publicou o primeiro mapa geológico conhecido, em 1815, associando inclusive as camadas geológicas aos registros fossilíferos, além de utilizar cores e técnicas que evidenciassem a mudança topográfica junto com a litologia (WINCHESTER, 2004).

Contemporaneamente, os trabalhos de James Hutton no final do século XVIII ("Theory of The Earth") e mais tarde de Charles Lyell ("Principles of Geology") no século XIX também fizeram algumas conjecturas sobre o relevo, embora não fosse objeto de estudo na época a evolução das formas na superfície. Entretanto, a base destes conhecimentos adquiridos até

então forneceu a Charles Darwin e outros consistente material para as teorias evolucionistas, que permitiram pensar na Natureza como dinâmica e sofredora de grandes modificações seletivas, graduais e incessantes.

Para ter-se uma noção mais satisfatória da evolução do pensamento geomorfológico, ainda que breve, é conveniente bipolarizá-la em dois blocos originais. De maneira esquemática temos duas linhagens epistemológicas balizando a definição do campo de interesse da teoria e do método de investigação em geomorfologia: uma de raízes norte-americanas e incorporando o grosso da produção em língua inglesa e francesa até a II Guerra Mundial, e outra de raízes germânicas, exprimindo-se basicamente de início em alemão, mas que incorpora também, posteriormente, grande parte da produção publicada em russo e polonês (ABREU, 1982).

4.1.2. Corrente Anglo-Saxônica e Corrente Centro Européia

Nas raízes americanas ou anglo-americanas, o maior exemplo conhecido na formação de uma ciência eminentemente geomorfológica pode ser atribuído a William Morris Davis (SACK, 2002), há muito considerado o fundador da geomorfologia. Este formulou sua teoria sobre os ciclos erosivos da paisagem priorizando o papel fluvial no entalhamento do modelado do relevo, sob um olhar paradoxalmente pragmático e teórico. Pragmático, porque seguia uma evolução ao longo do tempo, com fases bem definidas, de concepção finalista e didática; teórico, porque não tratava de qualquer lugar em especial e sim de um modelo idealizado, com começo, meio e fim. Tal enfoque refletia o pensamento corrente na época (último quarto do século XIX) dado por geólogos e engenheiros americanos à visão dedutivista que tinham dos processos de superfície, no objetivo de conhecimento territorial a que se voltava a produção científica vigente até então na América.

O modelo evolutivo que resultou na composição do Ciclo Geográfico (DAVIS, 1899) trazia à tona o aspecto puramente fisiográfico da paisagem associado aos processos fluviais como modeladores da superfície terrestre. Para este autor, as formas de relevo são esculpidas pela erosão provocada pelos rios, não antes de sofrerem ação da tectônica e serem previamente soerguidas e deformadas. A estrutura geológica, comandada principalmente pela resistência rochosa e altura a que foi levantada seria então erodida em função do tempo indefinido, dividido em quatro momentos: 1) uma região de qualquer estrutura e qualquer forma é primeiramente soerguida; 2) os mecanismos destrutivos dos processos de superfície começam a agir iniciando a denudação e as amplitudes topográficas, numa *fase jovem* de entalhe fluvial conseqüente e, subordinadamente, subseqüente e inseqüente, com rápidos e cachoeiras; 3) a topografia tende lenta e progressivamente ao aplainamento, numa *fase madura* de ajuste do relevo ao nível de base; 4) cada vez mais

lentamente, o aplainamento da superfície chega a seu nível máximo na *fase senil*, onde o que é erodido a montante é depositado a jusante; há evolução para uma extensa superfície plana, identificada como *peneplano*. Em um ciclo posterior, esta superfície poderia sofrer um novo entalhe fluvial significativo, iniciando uma fase identificada por *rejuvenescimento*.

Davis era um atento observador da paisagem, e as formas de relevo já despertavam seu interesse desde os 20 anos de idade. Com formação em geologia, o americano possuía uma forte base de conhecimento que o levou ao interesse para com a geografia física e a meteorologia, tendo sido inclusive diretor do Observatório Meteorológico de Mendoza na Argentina (MONTEIRO, 2001). Também foi professor de geografia física em Harvard e produziu extensamente sobre o oeste americano (terras além-Apalaches), influenciando com seus modelos teóricos muitos outros geomorfólogos tais como Emmanuel de Martonne. Mas sua grande importância foi acrescentar o geográfico no geológico, como o diz MONTEIRO (2001). Além disso, sua contribuição principal foi propor um ciclo evolutivo da paisagem e um modelo sistemático da evolução das formas de relevo, ou melhor dizendo, uma linha do tempo inteligível à atuação da erosão, razão pela qual suas teorias ficaram conhecidas, erroneamente para alguns, como *Ciclo de Erosão Normal*.

Entretanto, na porção centro-oriental da Europa, figurava outro caráter de observação dos fenômenos da natureza e conseqüentemente das formas de relevo da superfície terrestre. O início do pensamento geomorfológico, como de resto a própria geologia, vai ser profundamente marcado de um lado pela conquista do oeste americano e de outro pelos fatos que vieram no bojo da Revolução Industrial, entre os quais, além daqueles vinculados à definição dos impérios coloniais, emerge uma profunda mudança no pensamento científico europeu, decorrentes das pesquisas vinculadas à prospecção mineral (ABREU, 1983).

A base geomorfológica centro-leste européia fundamentava-se nas observações de campo e nas possibilidades da mineração para sua construção teórica. Se do lado anglo-americano Davis tinha em sua retaguarda geólogos como G. K. Gilbert e J. W. Powell, que trabalharam insistentemente com conceitos como epirogenia e nível de base, na Europa oriental figuravam naturalistas a exemplo de Alexander Von Humboldt. ABREU (1982) discorre que enquanto o modelo davisiano trata de uma proposição teorizante, a primeira obra considerada de caráter geomorfológico na Alemanha vem de Von Richthofen em 1886 e trata mais de um guia para observações que um manual didático; logo em seguida, também foi publicada outra obra importante de Albrecht Penck em 1894 que enaltecia a observação de campo em lugar das deduções. Assim era a raiz germânica da geomorfologia: empírico-naturalista, embora também territorialista, apenas em um caráter mais ingênuo, voltado às observações de formas, camadas geológicas, fósseis e muito mais, sem necessariamente priorizar alguma particularidade passível de aplicação e exploração de recursos.

É importante citar que o contato de Davis com os pesquisadores da Europa centro-oriental não foi dos melhores. Em especial, os pesquisadores alemães já atribuíam ao clima um papel importante na investigação da superfície terrestre e a falta deste fator nas obras de Davis lhe rendeu severas críticas. Somam-se a este fato as publicações de V. Dokuchayev sobre os solos chernozens da Rússia e de W. Köppen sobre os climas da Terra, obras de estreita relação entre as paisagens e o clima (ABREU, 1982; 1983).

Desse modo, é digna de nota a obra de Walther Penck em 1924, que foi traduzida do alemão para o inglês quase trinta anos depois. W. Penck era austríaco, e desde cedo se interessou pelas paisagens, possivelmente por influência paterna (filho de A. Penck). Era, inclusive, montanhista, e recebeu ótimo treinamento de ciência natural na escola. Acompanhando o pai em uma viagem de palestras, chegou aos Estados Unidos e teve contato com G. K. Gilbert, tendo a oportunidade de acompanhá-lo a um levantamento na Falha de São Francisco. O retorno de viagem via Havaí e o interesse em vulcanismo o influenciou a seguir a carreira de geólogo, curso que iniciou em Heidelberg, não antes de passar pelo Japão, China e Sibéria. Ao se formar, trabalhou com mineração na Argentina e foi professor universitário em Leipzig e Istambul. Mapeou grande parte dos locais que morou, adquirindo senso incomum da superfície terrestre. Morreu de câncer aos 35 anos, e sua obra principal foi escrita durante os últimos anos de vida.

Em seu último trabalho (PENCK, 1953), o autor relacionou a forma de relevo a um produto-síntese da atuação dos movimentos crustais, endogenéticos, e processos oriundos da atmosfera (exogenéticos). Os processos endogenéticos eram reconhecidos pelo efeito que produziam, sem pistas evidentes sobre a intensidade e distribuição das forças que conturbavam as rochas; mas certamente, para Penck, agiam em oposição, como estrutura, à moldagem executada pelos processos exogenéticos, dependentes do clima e definidores do curso e distribuição dos materiais mobilizados. O autor, além disso, admitia ser o resultado geomorfológico final na paisagem o peneplano, embora acreditasse que os movimentos crustais e os processos denudacionais, ou a variação de forças endo e exogenéticas, atuariam ao mesmo tempo sem haver uniformidade quanto à intensidade. Completando, PENCK (1953) também postulava que “nenhuma parte de qualquer superfície na Terra, não importa quanto a denudação trabalhe sobre ela, pode em algum momento tornar-se um conjunto unicamente íngreme; pode apenas tornar-se mais aplainado, pois a lei mais importante seguida durante o desenvolvimento das formas denudacionais é este princípio do aplainamento”. O nível de base destas superfícies aplainadas seria indicado pelas rupturas de declive ou o aparecimento de blocos rochosos, e a denudação poderia produzir infinitos níveis de base locais.

Penck acreditava que o resultado visível das influências endo e exogenéticas seriam as formas de denudação e os depósitos correlativos formados simultaneamente. A Terra

configuraria um campo reativo entre esta oposição, gerando detalhes na esculturação subordinada por conta de particularidades regionais. Caminharia assim a paisagem para uma superfície aplainada nos moldes peneplanizados, embora este aplainamento acontecesse remontantemente. As vertentes seriam as últimas feições definidas na paisagem, geradas por uma série de detritos acumulados na base das superfícies erodidas ("*ledges*") que, cimentadas com o tempo, tornar-se-iam acúmulos de piemonte ou pedimentos ("*piedmont treppen*"), coalescendo com o tempo em sentido retrogressivo culminando assim num *recuo paralelo das vertentes* e numa superfície cada vez mais aplainada e de menor contraste topográfico.

A proposta penckiana influenciou muitos cientistas geográficos, entre eles geomorfólogos russos como I. P. Gerasimov e J. P. Mescerjakov, que compõem algumas das bases conceituais (morfoestrutura e morfoescultura) desta tese, exploradas mais adiante. Mesmo nos Estados Unidos, onde Penck foi muito criticado, com a versão inglesa de seu trabalho houve a revisão conceitual por parte dos norte-americanos interessados no estudo das vertentes, revendo suas opiniões em relação à proposta apresentada pelo autor (ABREU, 1982).

Há que se chamar a atenção que as duas correntes guardam uma diferença fundamental: o quadro de posturas precursoras e nomes em evidência. Enquanto que na corrente anglo-americana Davis figura quase que sozinho no pedestal intelectual da geografia física americana do final do século XIX à primeira metade do século XX, na corrente européia centro-oriental há uma maior pluralidade, um aspecto mais coletivo de várias obras que fundem o conhecimento adquirido, embora à luz de interesses e proposições diferenciadas (ABREU, 1982). Parece, portanto, que houve um "desprendimento" da geomorfologia na geografia americana, quiçá uma aproximação com a geologia e a engenharia, enquanto que na corrente citada da Europa a integração com outros ramos da geografia física foi mais intensa. Por outro lado, nota-se uma clara resistência européia às idéias anglo-americanas, por si só criticadas, provavelmente devido aos sistemas de governo e modelos políticos vigentes na época, que inclusive culminaram na Segunda Grande Guerra.

4.1.3 A Teoria da Pediplanação

Um exemplo de atualização no pensamento evolutivo das paisagens do ponto de vista geomorfológico pode ser atribuído a Lester C. King. Geólogo neozelandês, King procurou refinar a visão sistêmica da geomorfologia transpondo as considerações do modelo davisiano, buscando apoio nas idéias já expostas por Walther Penck, especialmente aos processos de pedimentação expostos em 1924 traduzidos para o inglês somente na década de 1950.

King trabalhou intensamente na África, observando as paisagens aplainadas e os morros testemunho e bornhardts isolados nos cenários (mais tarde, suas observações seriam incrementadas com um vasto levantamento no Brasil). O autor acreditava que todas as formas na superfície eram sujeitas às ações da física e dos comportamentos moleculares, em que a água exercia papel moldador fundamental como força hidráulica, admitindo inclusive os modelos hortonianos. Embora criticasse veementemente a peneplanização do Ciclo Geográfico, como o modelo de 1899 o autor admitia ser a paisagem sujeita à incisão fluvial e ao aumento das amplitudes topográficas, seguida da redução dos interflúvios e das amplitudes até o aplainamento; os movimentos crustais, muito refletidos pelas compensações isostáticas entre o manto e a crosta, participariam do processo de maneira intermitente. Entretanto, em sua concepção o resultado das superfícies aplainadas seria muito mais complexo e diversificado do que W. M. Davis propôs em seus trabalhos (vide **Figura 3**).

Para entender os processos denudacionais, King setorizou primeiramente a vertente. Dividiu-a em quatro partes: crista ("*waxing slope*"), de forma convexa e na área de topo, onde os processos são controlados pelo rastejo e o intemperismo é mais acentuado; escarpa ("*free face*"), onde há afloramento da rocha exposta na parte superior da vertente, ocorrendo com mais força a erosão remontante; vertente retilínea com detritos ("*detritus*"), logo abaixo da escarpa e caracterizando uma superfície de acúmulo de materiais vindos do topo e da escarpa; e o pedimento ("*pediment*"), configurando uma rampa côncava que se estenderia até a planície fluvial de curso principal. Dependendo das amplitudes topográficas, no caso diminuídas, não haveria escarpa estando a vertente em uma suave coalescência da crista convexa com os pedimentos majoritariamente côncavos.

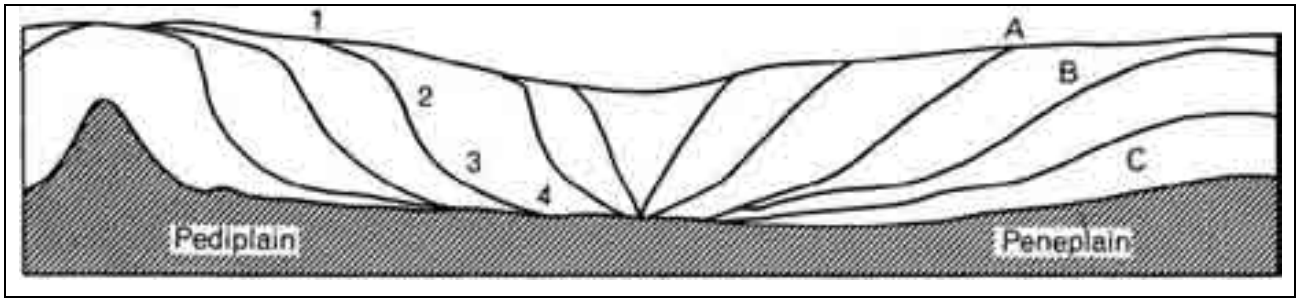


Figura 3. Contrastes no conceito de ciclos de erosão propostos por KING (1956) à esquerda (Pediplano ou Pediplain) e DAVIS (1899) à direita (Peneplano ou Peneplain), apresentado em JAMES (1959). 1) vertente convexa (waxing slope); 2) escarpa (free face); 3) acumulação de detritos (detritus); 4) pedimento (pediment); A) juventude; B) maturidade; C) senilidade. Org.: FNJV, 2011.

É importante salientar que o modelo descrito não se assemelha às vertentes elaboradas em bacias de drenagem desenvolvidas em rochas não-estratificadas ou em rochas cristalinas, como no Brasil oriental (CHRISTOFOLETTI, 1974). Os setores de vertente apresentados no parágrafo anterior se encaixam para regiões de rochas estratificadas, com

escarpamentos de gênese erosiva, geralmente em bacias sedimentares. No entanto, a concepção encaixa-se completamente no que DYLIK (1968) designou à vertente, isto é, sua função dinâmica de conectar o topo do interflúvio ao fundo do vale e ser testemunha dos processos modeladores do relevo.

A coalescência das partes altas e baixas da superfície deu base a todo seu modelo evolutivo, acreditando então que as superfícies aplainadas sofriam um processo de pedimentos coalescidos o qual deu o nome de pediplanação. Diz o autor: “qualquer superfície pediplanada irá retroceder em direção à escarpa, diminuindo a área de topo e aumentando a área do pedimento de maneira uniforme, mantendo as mesmas formas à declividade constante” (KING, 1967). Ressaltava King que a regressão seria uniforme caso houvesse um ângulo estável das vertentes, possibilidade existente apenas se as vertentes e as escarpas retrocedessem paralelamente entre si. Assim, em seu modelo de evolução o autor postulava que deveria haver um recuo paralelo das vertentes, dependente somente das forças que agiriam sobre estas; fatores como topografia, estrutura rochosa ou tectônica fariam diferença no mosaico, mas não no resultado da superfície aplainada.

Assimilando as idéias de Davis e Penck por ele reconhecidas, King elaborou então um modelo evolutivo de sua pediplanação:

- Fase Jovem: soerguimento da superfície, incisão dos canais d’água cortando vales e moldando vertentes até um ângulo estável; ajustes às condições das camadas rochosas e desenvolvimento de canais inseqüentes configurando dissecação de textura fina;

- Fase Madura: atividades erosivas concentram-se nas vertentes, retrocedendo, ao passo que os vales se abrem e os pedimentos são elaborados, dependendo também das camadas rochosas (justaposição e resistência); nos canais, em ambos os lados os pedimentos se estendem lateralmente e por coalescência formam os pediplanos, à medida que a declividade cada vez mais diminui;

- Fase Senil: os pedimentos coalescidos formam uma ampla superfície multi-côncava e rebaixada, podendo haver testemunhos proeminentes na paisagem; drenagens são submetidas a um único e amplo nível de base.

As fases poderiam ter seu tempo variado, mas geralmente a primeira significaria menos tempo enquanto que as demais poderiam imperar por longos períodos. A pediplanação também ocorreria em todos os domínios geográficos e climáticos, acreditando KING (1967) ser o clima um fator secundário na definição das formas, participando dos processos exógenos em contraposição às propriedades e dinâmicas da crosta.

Esta ênfase que o autor dava ao modelado dependente da crosta o levava a aceitar inclusive a teoria da tectônica de placas. Influenciado por estudiosos da deriva continental como Alexander Du Toit e Alfred Wegener, King aceitava a idéia correlativa entre as litologias da África e da América do Sul e abraçou veementemente a idéia do supercontinente de Gondwana. As evidências similares entre os continentes eram o que mais lhe chamavam a atenção, como as escarpas de linhas de falha, platôs erodidos com drenagens reversas e mesma litologia, seqüências estratigráficas e mesmos indicativos de passado geológico.

Observando tais semelhanças entre os continentes, KING (1967) acabou por assimilá-las ao contexto de seus estudos. Assim, o autor expôs uma seqüência aos ciclos denudacionais que moldam as paisagens no mundo: primeiro há o desenvolvimento de pediplanos, que agem em conjunto com os movimentos intermitentes da crosta; após o Meso-Mesozóico há ciclos denudacionais, mas são de pequena proporção comparados ao passado; a sincronicidade dos maiores eventos denudacionais são demonstráveis em diferentes áreas de estudo; as variações locais em formas menores devem-se a fatores específicos como tectônica local, heterogeneidade do substrato, mudanças climáticas e assim por diante.

O esquema de KING (1967) para as ciclos erosivos africanos foi aplicado para a parte oriental do Brasil (Estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e parte de São Paulo), resultando em algumas diferenças (KING, 1956; 1967). Basicamente as formas foram divididas em ciclos erosivos separados por escarpas em superfícies semelhantes a níveis escalonados. Uma aproximação mais detalhada será conferida mais à frente.

4.1.4 A Teoria da Etchplanação

O papel do clima na escultura do relevo sempre fora enfatizado pelos geomorfólogos europeus, mesmo pelos franceses que se aproximavam mais das linhas científicas inglesas.

O primeiro a exprimir publicamente esta hipótese parece ser WAYLAND (1933), juntamente com Bailey Willis, ao trabalharem na África Oriental nos anos de 1930 (GOUDIE, 2004). Percebendo existir uma superfície mais recente de menor altitude em meio a superfícies mais antigas identificadas como peneplanos, Wayland e Willis identificaram um processo erosivo diferente da erosão mecânica no entalhe da superfície aplainada, marcada pela exposição da rocha alterada e metros de material intemperizado. Designando o nome de "*etching*", no sentido de corrosão ou superfície corroída ao processo observado, WAYLAND (1933) caracterizou a ação de um clima sazonal, cujos gradientes baixos da superfície resultante predominavam movimentos verticais da água e a alteração dos materiais, com o aparecimento de saprolitos que eram então submetidos a processos denudativos subseqüentes. O autor ainda enfatizou a ausência de qualquer relevo mais proeminente na superfície, visto ser o processo agressivo, em uma evolução descontínua que gradualmente

aplainava e rebaixava as formas de relevo em superfícies planas corroídas ou gravadas ("*etched plains*").

O conceito de etchplanação foi consolidado por D. L. Linton e J. Büdel, o primeiro com pesquisas sobre os *tors* da Grã Bretanha e da Europa ocidental, destacando o papel da umidade subsuperficial na modelagem de afloramentos graníticos, e o segundo formulando, mais elaboradamente, o conceito das superfícies duplas de aplainamento (COLTRINARI, 2003). A Büdel, inclusive, deve-se a sistematização das formas de relevo segundo os climas, em uma relação genética.

Geógrafo alemão e aluno da A. Penck, Büdel iniciou um trabalho que se dividiu entre a África e a Índia, estabelecendo as relações das superfícies aplainadas quimicamente em meios tropicais. Também em contraposição fez inúmeros trabalhos em áreas polares do Hemisfério Norte, percebendo o papel diferenciado do intemperismo químico como modelador da superfície em diversas partes do globo.

Na década de 1950, o autor percebeu a contradição entre os ambientes tropicais e não tropicais, ao se deparar com superfícies aplainadas e inselbergs esparsos na África. Estas superfícies planas dominavam paisagens denudacionais nos trópicos enquanto que eram vistas nos ambientes não tropicais em áreas predominantemente deposicionais (BÜDEL, 1957). O geógrafo considerou que a combinação de estabilidade tectônica, intemperismo e escoamento fluvial poderia originar uma superfície de aplainamento sob a qual desenvolver-se-ia uma camada de material intemperizado (COLTRINARI, 2003), que posteriormente seria erodido. Mais tarde, trabalhando no sul da Índia, Büdel percebeu que uma grande superfície aplainada era resultado dos mecanismos erosivos da etchplanação, com superfícies diferenciadas no nível de decomposição e sobrepostas uma à outra (BÜDEL, 1965). Entretanto, somente na década de 1980 é que o alemão realmente seria inserido nos pilares da Geomorfologia Contemporânea, conceituando a Geomorfologia Climática e a Geomorfologia Climato-Genética (ABREU, 2006).

Na análise climato-genética proposta por BÜDEL (1982), as superfícies de aplainamento em sua maioria seriam comandadas pelo intemperismo químico, e não pela erosão mecânica, a exemplo dos modelos propostos por PENCK (1953) ou KING (1956; 1967). Ao longo da superfície intemperizada, a decomposição trabalharia incessantemente para baixo, enquanto que nos períodos de chuva o material fino seria ao mesmo tempo removido pelo fluxo laminar. Este mecanismo, que originaria duplas superfícies de aplainamento sobrepostas, caracterizaria o processo responsável pela criação dos etchplanos, divididos entre a superfície superior, lavada ("*wash surface*"), e a superfície inferior, basal e intemperizada ("*basal weathering surface*") (**Figura 4**). A erosão fluvial apenas acentuaria a profundidade dos vales, carregando mecanicamente o material transportado pela corrente; mas nos trópicos, especialmente nas áreas planas, a decomposição seria mais

intensa, permitindo o ataque químico na superfície subjacente. Este processo dominaria as zonas peritropicais, marcadas por aplainamento excessivo (BÜDEL, 1982).

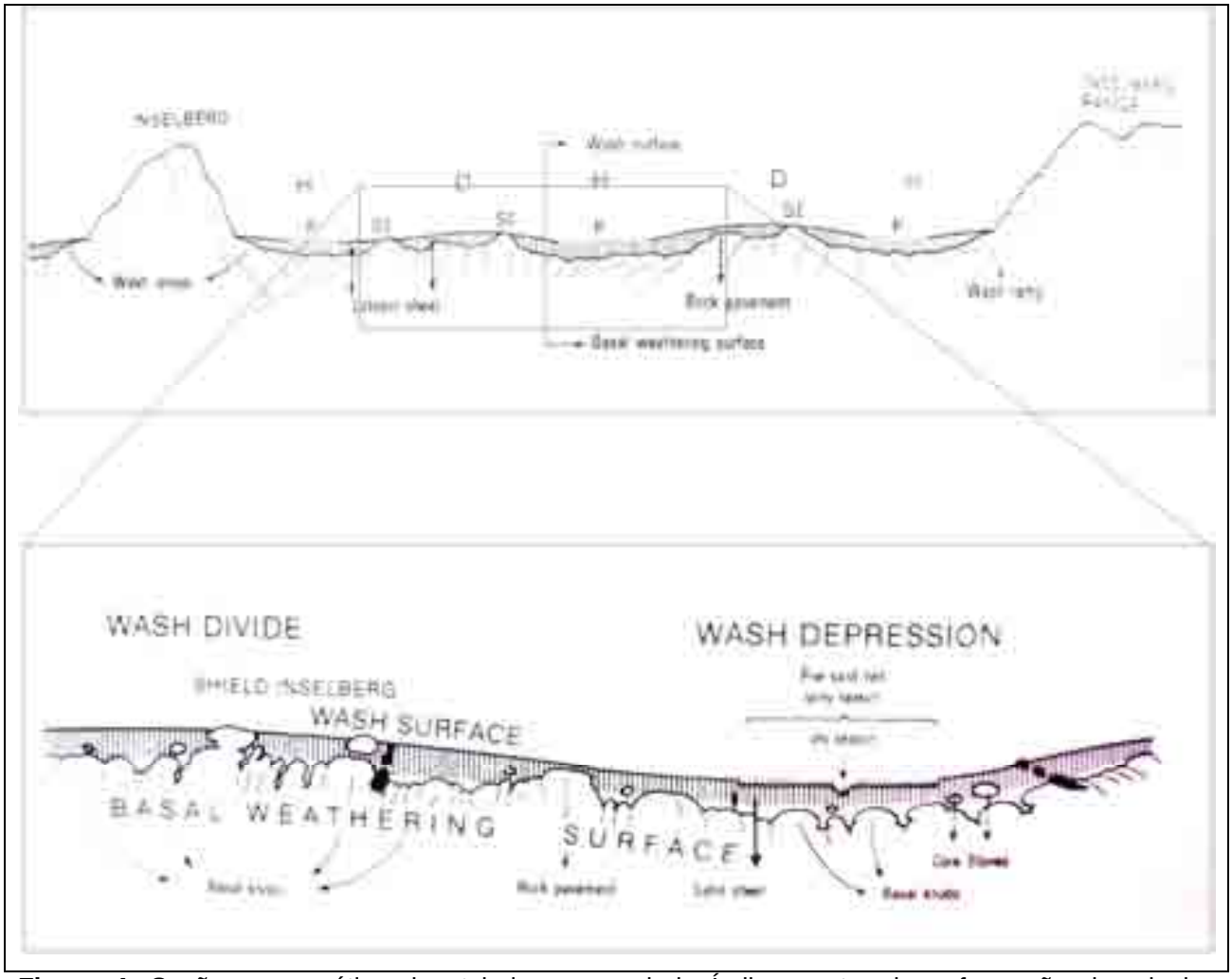


Figura 4. Seção esquemática de etchplano no sul da Índia, mostrando a formação das duplas superfícies de aplainamento (a partir de BÜDEL, 1982). Visão geral e aproximação do detalhe. A infiltração da água promove o desenvolvimento de latossolos, enquanto que a rocha fresca é alcançada pela superfície de intemperismo basal ("basal weathering surface"); o pavimento rochoso ("rock pavement") é coberto pelo solo e regolito, que configuram a superfície de lavagem ("wash surface"); o sistema de juntas controla a infiltração de água na rocha e, uma vez exumada, esta fica acima da superfície lavada e o intemperismo e o rebaixamento da superfície acontecem apenas abaixo de seu afloramento. H: depressões de lavagem ("wash depressions"); D: divisores de lavagem ("wash divides"); SI: inselbergs-escudo ("shield inselbergs"); F: areia fina no leito do rio na estação chuvosa ("fine sand in the rainy season riverbed"). Org.: FNJV, 2011.

O autor admitiu a oposição de processos exógenos e endógenos na produção do relevo, mas ressaltou que as formas existentes atualmente seriam resultados de processos causados pelo clima atual. Os elementos mais antigos do modelado seriam oriundos de sucessivos tipos de clima ao longo da história do ambiente, podendo assim haver tantos climas e tantos relevos originados de suas ações intempéricas e erosivas, embora climas

secos ou movimentos crustais locais possam ocorrer durante os processos. Ainda, Büdel acreditava ser possível dividir a estrutura da Terra em “envelopes”, em que a litosfera e a atmosfera fariam contato pela *relevosfera* e *pedosfera*. O ciclo hidrológico e a erosão e intemperismo seriam os agentes escultores da superfície, ao mesmo tempo em que originariam a *hidrosfera terrestre* e a *decomposfera*, respectivamente. A interação dos “envelopes” ou da energia presente nas diversas esferas resultaria, então, na *biosfera*, assentada sobre a relevosfera.

O movimento da hidrosfera terrestre é geralmente acompanhado da solução química, a qual toma lugar no escoamento superficial, no solo, e na decomposfera. As soluções têm papel particularmente importante nos trópicos úmidos, devido às altas temperaturas e à acidez da água do solo. Em razão da espessura das coberturas de solo nos trópicos, os rios carregam muita matéria dissolvida derivada das soluções próximas da superfície, transportando uma grande quantidade de carga suspensa durante os períodos mais torrenciais.

Decorrentes dos “envelopes” da Terra, BÜDEL (1982) acreditava que os continentes possuíam formas variadas de acordo com os climas dominantes ao longo da história do planeta, na qual o papel do Holoceno seria o de menor efeito; a maioria das formas herdaria suas feições de tempos passados.

Como os processos escultores pretéritos não poderiam ser observados ou medidos nos dias atuais, a solução seria a procura de pistas que indicassem os mecanismos de formação. A mais importante delas estaria na atual assembléia de formas acomodadas sobre o substrato, provando a existência de longos períodos de estabilidade climática anteriores. Outras pistas importantes consistiriam em paleossolos, cascalheiras, pisolitos, concreções ferruginosas, ventifactos e assim por diante, remanescentes da pedosfera e da decomposfera passadas. Por fim, uma terceira pista poderia ser indicada nos sedimentos correlatos, que possuiriam registros fósseis ou não. Uma vez adquiridas, as pistas poderiam levar aos tratamentos básicos através do espaço e do tempo (designada como *comparação crono-geográfica*); a padronização das formas comparadas a outras levaria ao zoneamento morfoclimático a que o relevo investigado pertenceria (BÜDEL, 1982).

Dessa forma, o geógrafo alemão dividiu seis zonas morfoclimáticas principais, em que a unidade peritropical cobriria aproximadamente 80% dos trópicos úmidos. Nesta, o autor afirmou serem os mecanismos esculturais de aplainamento muito agressivos, criando superfícies etchplanadas com inselbergs em um processo contínuo há pelo menos dez milhões de anos, exceto durante as glaciações pleistocênicas. Outra afirmação importante é que, em sua opinião, a unidade morfoclimática de aplainamento excessivo se estenderia até as zonas polares durante o começo do Terciário, fazendo com que as formas de relevo mais antigas derivassem deste tempo.

Entretanto, o modelo da etchplanação e a visão da Geomorfologia Climato-Genética não pode ser cegamente aceito. BÜDEL (1957; 1965; 1982) assumiu uma seqüência no tempo do rebaixamento dos etchplanos, na interação da “relevosfera” e da “decomposfera”. No início há o intemperismo, e em um segundo tempo há o rebaixamento da superfície pela erosão notadamente geoquímica e mecânica. BÜDEL (1982, p. 159) chega a afirmar: “quanto mais plano o terreno, (...) mais intenso o intemperismo e o ataque sobre o substrato” (“*the flatter the terrain, (...) the greater the intensive weathering and attack upon the bedrock*”), em contraposição ao senso comum de “quanto mais íngreme a vertente, mais eficaz a erosão” (“the steeper *the slope, the more effective the erosion*”). OLLIER & PAIN (1996, p. 93) afirmam ser verdade tal assunção onde encostas de maior declividade configuram rochas expostas, mais resistentes à erosão que o regolito; contudo, em áreas de vertentes íngremes intemperizadas nos trópicos úmidos, leis da física e mecânica do solo permanecem as mesmas e as vertentes erodem mais rapidamente que as superfícies aplainadas.

Outra questão necessária de ser explanada é a diferença de tempo entre os processos que levam ao aplainamento pelos mecanismos das duplas superfícies de aplainamento. Na superfície de lavagem, domínio da decomposfera, BÜDEL (1982) entende o ataque químico do material alterado em vários graus de argilominerais, enquanto que a superfície de intemperismo basal seria atacada em um segundo momento. *A primeira superfície de aplainamento, assim, prepararia o material da segunda superfície para então haver o rebaixamento de ambas*; no entanto, isto não é comprovado no meio tropical úmido, pois o intemperismo químico pode transformar todo o manto em um material que *ao mesmo tempo em que sofre as reações geoquímicas e erosões mecânicas, sofre o rebaixamento do relevo.*

Trabalhos no Brasil colocam em evidência o desenvolvimento do aplainamento do relevo concomitante com a erosão geoquímica e o desgaste mecânico (físico). Outros, pelo contrário, vão de encontro à predisposição intempérica do material do regolito aos processos de erosão. Ao que parece, nos trabalhos na região sudeste do país, é difícil separar as modificações físico-químicas e o aplainamento; na região centro-oeste, em contraposição, a morfogênese atual predominantemente mecânica indica fases descontínuas.

Ao estudar as relações entre a pedogênese e a evolução do relevo na região de Marília-SP, CARVALHO (1976) recorreu à hipótese evolutiva dos horizontes latossólicos do solo em conjunto com a alteração do substrato, devido aos climas quentes e úmidos e à formação das superfícies de erosão. A porosidade alta dos latossolos promoveria a alteração pronunciada e a argiluviação do material nas superfícies de relevo mais plano, em conseqüência da deposição de sedimentos finos e pedogênese destes. Também na região de Marília, QUEIROZ NETO et al. (1977) propuseram fases de pedogênese, erosão e coluvionamento para explicar a evolução das vertentes e a formação de solos, em um processo contínuo no tempo.

ROSS (1998) apontou a importância dos processos esculturais químicos como um dos principais responsáveis pela morfogênese exógena do leste paulista, onde a dificuldade de atuação química da água em decompor os minerais dependeria da composição da rocha e resultaria no aplainamento ou destacamento da superfície. Os processos de desgaste (erosão e transporte) por alteração química e atuação mecânica não teriam diferença no início do tempo de atuação, erodindo e corroendo ao mesmo tempo, sobrando “resíduos” na paisagem desta ação simultânea.

VITTE (1998) utilizou os princípios da etchplanação na procura de relações entre a evolução dos materiais e o modelado do relevo no Vale do Ribeira-SP. Apontando que os sedimentos incorporados na etchplanação não seriam somente agentes, mas também elementos na formação das superfícies etchplanadas, o autor ponderou ser a teoria dos etchplanos uma importante ferramenta para a análise do relevo, mas que esta deveria ser progressivamente desenvolvida, em razão das características ambientais das regiões tropicais.

Por outro lado, projetos como o Radambrasil (BRASIL, 1973; 1981) atribuem fases distintas na formação das superfícies de erosão durante o Terciário, com a formação de pediplanos nos períodos mais secos e o aparecimento de coberturas detrito-lateríticas nos períodos mais úmidos. Acrescentando, NOVAES PINTO (1987) apontou o papel do intemperismo diferencial físico-químico tropical como agente da formação das chapadas do Brasil Central, com base em processos de etchplanação, pela corrosão e denudação lenta e gradual dos materiais alterados. Os relevos aplainados teriam sido formados em clima tropical, com predomínio de intemperismo químico, modelados por corrosão e denudação na retirada dos materiais intemperizados.

O pensamento da Geomorfologia Climática foi de grande aceitação nas áreas tropicais úmidas, visto que estas possuem nitidamente um grande ajuste da superfície ao manto de intemperismo. Um exemplo foi Aziz N. Ab’Sáber, que entre as décadas de 1960 e 1970 (AB’SÁBER, 1969a; 1970), sob influência européia, estabeleceu uma proposta de entendimento do relevo brasileiro em Domínios Morfoclimáticos, uma interpretação calcada na influência da zonalidade climática (ROSS, 1991). Começava-se, a partir daí, a se perceber a esculturação de acordo com os processos exógenos e o papel do intemperismo correlato, pois no ambiente seco havia conservação das formas de relevo sob a atuação predominante de processos mecânicos, enquanto que no ambiente úmido as formas eram gradativamente destruídas, com mantos de alteração muito espessos.

4.1.5 As Superfícies de Aplainamento

A origem das superfícies de aplainamento é bastante controvertida, não existindo um mecanismo amplamente aceito que explique satisfatoriamente sua gênese e evolução (BIGARELLA et al., 2003).

Estas superfícies, por vezes chamadas de superfícies de erosão, são testemunhos importantíssimos da evolução não só do relevo, como também das paisagens em sua totalidade. Significam áreas extensas e aplainadas, com toda uma caracterização particular de formas de relevo remanescentes, que varia de região para região, sendo atacadas por períodos sucessivos de processos predominantemente erosivos que as esculpem, retirando ou depositando materiais de acordo com as fases erosivas, enterrando ou exumando superfícies mais antigas conforme sua posição topográfica, resistência do substrato, e assim por diante. Há certo consenso de que estas superfícies venham sendo erodidas e agradadas desde o final do Cretáceo, variando muito entre os autores a cronologia dos episódios descritos desde então.

O embasamento teórico das superfícies de aplainamento, como já descrito, reside nas obras de DAVIS (1899), PENCK (1953) e KING (1967), e portanto podem ser descritas como superfícies denudativas decorrentes de fases de erosão e movimentos da crosta, tendendo o relevo necessariamente ao aplainamento. Mais tarde, baseado na geomorfologia climato-genética, BÜDEL (1982) apresentaria outro conceito de superfície aplainada, desta vez por intemperismo químico dependente de climas sazonais, recebendo, como já dito, o nome de etchplano. No Brasil, a elaboração das superfícies de erosão esteve freqüentemente sujeita a variações paleoclimáticas, as quais influenciaram de forma alternada os sucessivos processos erosivos (PASSOS & BIGARELLA, 1998). Estas variações, como atualmente, estariam limitadas às zonalidades climáticas vigentes a cada tempo geológico, podendo inclusive haver predominância do intemperismo sobre a dissecação vertical em períodos com maior disponibilidade de água, ou seja, se faria presente o intemperismo químico (e conseqüentemente a pedogênese) como modelador da superfície terrestre. Entretanto, percebe-se na literatura uma afirmação mais segura quanto aos pedimentos e pediplanos no país, estando os etchplanos discorridos em menor número de trabalhos e os peneplanos muito menos, talvez pela inatualidade (do ponto de vista geológico) já apontada por TRICART & CAILLEUX (1961).

4.1.6 As Superfícies de Aplainamento no Brasil e a Depressão Periférica

Os quadros morfológicos brasileiros são caracterizados por maciços antigos que se apresentam sob a forma de planaltos cristalinos situados em dorsais de escudo, postados entre grandes bacias paleomesozóicas ou mesozóicas, que se destacam localmente como cristas rejuvenescidas ou áreas de relevo enérgico, levado uma ou mais vezes ao estágio de

dissecação clássica de maturidade (AB'SÁBER, 1964). Mais tarde, haveria a compreensão que os mosaicos caracterizados em cenários diversos confeririam à paisagem relações dos fatores geopedológicos e fitogeográficos ao regime hídrico e às regiões climato-botânicas resultantes (AB'SÁBER, 1970), embora nem sempre os mosaicos confiram na realidade estas divisões.

Para o Estado de São Paulo, MORAES REGO (1932) assinalava que o Estado se colocava sobre um Planalto, entendendo este como um complexo orográfico nivelado e ondulado, sulcado por vales. Pertencendo esta estrutura à constituição geológica do Brasil Meridional, o autor apontou sua divisão em rochas de um complexo granitizado, mais antigo, e um conjunto de rochas metamórficas, dominando a Série São Roque. Identificou também os sedimentos marinhos do Devoniano e aqueles derivados da Terra de Gondwana, atribuindo inclusive seu conteúdo fossilífero, nomeando-os como Série Itararé - Tubarão e Passa-Dois. Tais formações geológicas eram relacionadas neste trabalho ao Sistema Santa Catarina elaborado por I. C. White em 1906.

O que o Luiz Flores de Moraes Rego percebia é que o início do aparecimento dos sedimentos neopaleozóicos conjugava-se concomitantemente com uma superfície aplainada, dissecada e ondulada, mesmo sendo de baixa amplitude topográfica; esta foi chamada por ele de "*depressão periférica*", por estar na borda (leste) da Bacia Sedimentar do Paraná e do planalto cristalino, em área nitidamente depressionada. Mais tarde, inclusive, em outros trabalhos se conheceriam os efeitos de subsidência da bacia e de soerguimento do planalto, que mudam até mesmo as características climáticas de um local ou região. ROSS (1987) aponta que ao ocorrerem modificações do relevo por interferência das forças endógenas, resultando em áreas elevadas ou deprimidas, pode haver implicação na modificação do clima (de acordo com a extensão de ocorrência), que por sua vez interferirá na hidrodinâmica, possibilitando mudanças no comportamento dos solos, na cobertura vegetal e até na distribuição dos animais.

Para MORAES REGO (1932) o relevo desta área depressionada era produto de uma fase erosiva pliocênica, conseqüente de movimentos epirogenéticos. Os soerguimentos teriam obrigado a drenagem a se ajustar a um novo nível de base, muito abaixo dos anteriores, sulcando o relevo da depressão periférica e originando as colinas que, coalescidas com o tempo, imprimiram as superfícies de aplainamento que se conhecem atualmente nesta porção do Estado.

MARTONNE (1943) foi um dos primeiros a estabelecer uma cronologia das referidas superfícies. Para o autor, é no interior do continente sul-americano onde dominam rochas menos metamorfizadas de resistência mais desigual que se pode constatar com mais facilidade a distinção entre os relevos tectônicos e os relevos de adaptação a estrutura, como os relevos "apalachianos" mais característicos; estes se configuram em cristas monoclinais

com vertentes simétricas, em que a altitude sofre variações fracas mas repetidas pelo desenvolvimento de colos de flanco. São “lombadas arredondadas entalhando camadas mais duras que representam testemunhos evidentes de superfícies de erosão” (MARTONNE, 1943). Tais superfícies seriam do Terciário pela sua extensão e homogeneidade, alinhadas à drenagem e intuindo condições de estabilidade durante os ciclos de erosão. A distinção ficaria por conta de duas superfícies antigamente formadas: uma de altimetrias mais elevadas, em que sobreviveram à erosão apenas topos mais pronunciados de cristas apalachianas, de *idade paleógena*, e uma mais rebaixada e de relevo mais monótono, de *idade neogênica*. Ainda, relevos de idade plio-pleistocênica corresponderiam aos ajustes da drenagem que desaguam no oceano.

No trabalho desenvolvido na faixa oriental do Brasil na década de 1950, Lester C. King procurou estabelecer a cronologia das superfícies de erosão e seus depósitos correlativos através de dados altimétricos, geológicos, estratigráficos e tectônicos, que o levaram a interpretar a paisagem desta parte do Brasil como um produto das fases de pediplanação alternadas aos movimentos da crosta de caráter epirogenético.

KING (1956) acabou por distinguir na região de Itu superfícies ligadas aos seus chamados ciclos de erosão Sul-Americana (Terciário Inferior) e Velhas (Terciário Superior). Reconheceu inclusive que a superfície de glaciação do Carbonífero superior era semelhante ao sistema Karroo na África do Sul e à formação gonduânica da Índia, todas de característica continental. Esta relação serviria de pano de fundo a seu entendimento da tectônica de placas e da deriva continental (KING, 1967).

Para Lester King haveria também um soerguimento mais recente no Pleistoceno que introduziria o ciclo de erosão Paraguaçu, além dos ciclos mais antigos cretáceos de Gondwana e Pós-Gondwana (JAMES, 1959). De modo geral, é possível resumir os ciclos de erosão de KING (1967) para o Brasil da seguinte forma:

- Jurássico: paisagem “Gondwana” de aplainamento extremo e ampla distribuição anterior;

- Fim do Jurássico – Eo-Cretáceo: arenitos vermelhos continentais sobre áreas restritas no interior;

- Eo-Cretáceo – Meso-Cretáceo: paisagem “Pós-Gondwana” nas terras altas arqueadas, sem haver avanço do aplainamento;

- Meso-Cretáceo: distúrbios meso-cretáceos;

- Neo-Cretáceo – Eoceno: generalização dos arenitos vermelhos (Bauru) no interior com fósseis de répteis;

- Eoceno – Oligoceno: Superfície Sul-Americana de aplainamento extremo, embora a dissecação posterior seja quase que a superfície fundamental dos cenários esculpidos do Brasil;

- Meso-Terciário: soerguimento amplo e uniforme;

- Mioceno: ciclo de denudação “Velhas”, alcançando as cabeceiras dos vales; deposição de areias continentais brancas e vermelhas no interior, acompanhadas de silcretes e calcários acamados sobre as Chapadas;

- Mio-Plioceno: soerguimento continental irregular;

- Plioceno: segunda fase de denudação com incisão fluvial e abertura de vales no fim do Terciário;

- Plio-Pleistoceno: epirogênese no padrão anterior de deformação;

- Quaternário: ciclo “Paraguaçu” de denudação com incisão profunda de vales com duas fases de terraço no interior do litoral; areias costeiras da Formação Barreiras;

- Recente: presença de restingas afogando os cursos baixos dos rios; decantação de materiais finos.

Especificamente para a área de estudo deste trabalho, acredita-se que a segunda fase de denudação iniciada durante o Plioceno esteja mais relacionada, correspondendo assim ao final do ciclo de erosão Velhas do Terciário Superior. Também aqui se encaixa a alusão da superfície neogênica de MARTONNE (1943; 1944).

Influenciados por estas idéias, outros autores passaram a reconhecer vestígios dos processos de pediplanação, como depósitos rudáceos, paleossolos, paleopavimentos detríticos, ocorrência de espécies vegetais relictuais, enfim, uma série de eventos que testemunham as atividades morfogenéticas de paleoclimas (ROSS, 1991). BIGARELLA et al. (1961b) e BIGARELLA et al. (1965b) propuseram um modelo para a interpretação da evolução dos relevos das zonas tropicais brasileiras, baseado nas sucessões entre climas mais secos e úmidos do Terciário ao Quaternário. No final do Terciário e início do Quaternário, em climas

mais secos, teriam sido elaborados vastos pediplanos, que ocupariam hoje as partes mais elevadas dos relevos. Durante o Quaternário teriam sido elaborados pedimentos embutidos ao longo dos vales, com materiais correlativos sob a forma de terraços (QUEIROZ NETO, 2010).

Na Depressão Periférica, os materiais correlativos seriam de baixa ocorrência quando ainda próximos ao Planalto Atlântico, por caracterizar uma área de passagem como identificou MODENESI (1971; 1974).

A principal questão adequada à área deste trabalho reside na distinção da superfície como de idade paleógena ou neogênica, já que as superfícies esculturadas no Cretáceo em geral possuem altitude superior a 900 m. As fases ativas de pediplanação estariam ligadas às variações climáticas típicas das áreas intertropicais (degradação lenta em climas semi-áridos e mais intensa em climas mais úmidos, com fases agressivas de erosão dos solos), estimuladas ou não pela epirogênese positiva que teria elaborado o Planalto Brasileiro durante o Terciário (AB´SÁBER, 1965; 1969b; 1972). Para o autor, a Depressão Periférica seria um resultado da pediplanação interplanáltica neogênica decorrente das conseqüências desta dupla série de processos erosivos, fato também observado por CHRISTOFOLETTI (1968) para a morfogênese da região de Campinas.

Para AB´SÁBER (1949; 1965; 1972), as depressões periféricas representam calhas de desnudação marginal do Escudo Brasileiro, e configuram testemunhos de prolongados processos erosivos de arranjo circular e semi-circular que, sob diferentes modalidades de sistemas morfoclimáticos intertropicais, elaboraram a superfície das depressões por processos de escavação (sic) e aplainamento. A elaboração das depressões produziria as silhuetas características no afeiçoamento eminentemente neogênico, configurando áreas de pediplanação intertropicais e extensas superfícies aplainadas, que no caso da Depressão Periférica Paulista teria a vasta superfície pediplanada quebrada em seu padrão de formas apenas pelo Domo de Araçoiaba (AB´SÁBER, 1965; 1972). Quatro tipos de depressões teriam em suas formações entalhado o Planalto Brasileiro: 1) depressões periféricas subseqüentes, situadas em torno de bacias sedimentares ou circundando núcleos cristalinos, a exemplo da Depressão Periférica Paulista; 2) depressões monoclinais em áreas de cuestas e reversos de cuestas; 3) depressões marginais, em áreas de antigas depressões periféricas subseqüentes ou zonas de "*boutonnières*"; 4) depressões marginais com eversão, com a formação de bacias detríticas modernas como a do Pantanal.

O autor citado discorre que tais depressões seriam resultantes da pediplanação intertropical, e estariam intrinsecamente ligadas às superfícies de aplainamento terciárias. O padrão de colinas na Depressão Periférica Paulista seria, assim, herdado da fisiografia terciária, sujeita a aplainamentos em razão do zoneamento climático regional e perenidade dos corpos d'água. As fases úmidas dos aplainamentos parecem ter encorpado os mantos de

decomposição, com redução de grandes massas de rocha e formação de solos, culminando nas fases de pediplanação regional (AB´SÁBER, 1972).

Nos atuais compartimentos deprimidos do Planalto Brasileiro, é provável que tenham se alternado, no decorrer do Terciário, processos morfoclimáticos de degradação lenta e fraca, com processos erosivos particularmente agressivos e dotados de grande capacidade de remodelação de quadros da paisagem. Se nas regiões mais elevadas as ações mais fortes da erosão se fizeram sentir durante as fases de transição de climas secos para climas mais úmidos, nas depressões periféricas dotadas de fraca amplitude de relevo a ação remodeladora foi particularmente sensível nas transições de climas úmidos para climas secos (AB´SÁBER, 1965; 1972).

Embora o autor acima não cite, o baixo gradiente do relevo implicaria no Quaternário na degradação química da superfície, excluídas as glaciações pleistocênicas. Nesse sentido se faz um aparte aqui de que sem dúvida a superfície aplainada da borda da Bacia Sedimentar do Paraná é de idade neogênica como afirmou MARTONNE (1943) e outros anteriormente citados; no entanto, vê-se neste trabalho que o rebaixamento da superfície pode ter ocorrido também nos moldes dos etchplanos, visto o relevo colinoso, a presença de rochas de metamorfismo de baixo grau e rochas ígneas expostas e intemperizadas, a presença de rochas sedimentares tenras e a espessura avançada dos solos sobrepostos a estas.

As observações de MARTONNE (1944) no sudeste do Brasil podem ser relacionadas às superfícies geoquimicamente desenvolvidas em duplas superfícies de aplainamento dos modelos de etchplanação de WAYLAND (1933) e BÜDEL (1957, 1965, 1982). O francês, ao perceber o ataque químico ao embasamento e a alteração do gradiente das vertentes no Vale do Paraíba, pela decomposição química do material, se indagou se não estaria testemunhando um *ciclo de erosão do clima tropical úmido* (vide **Figura 5**).

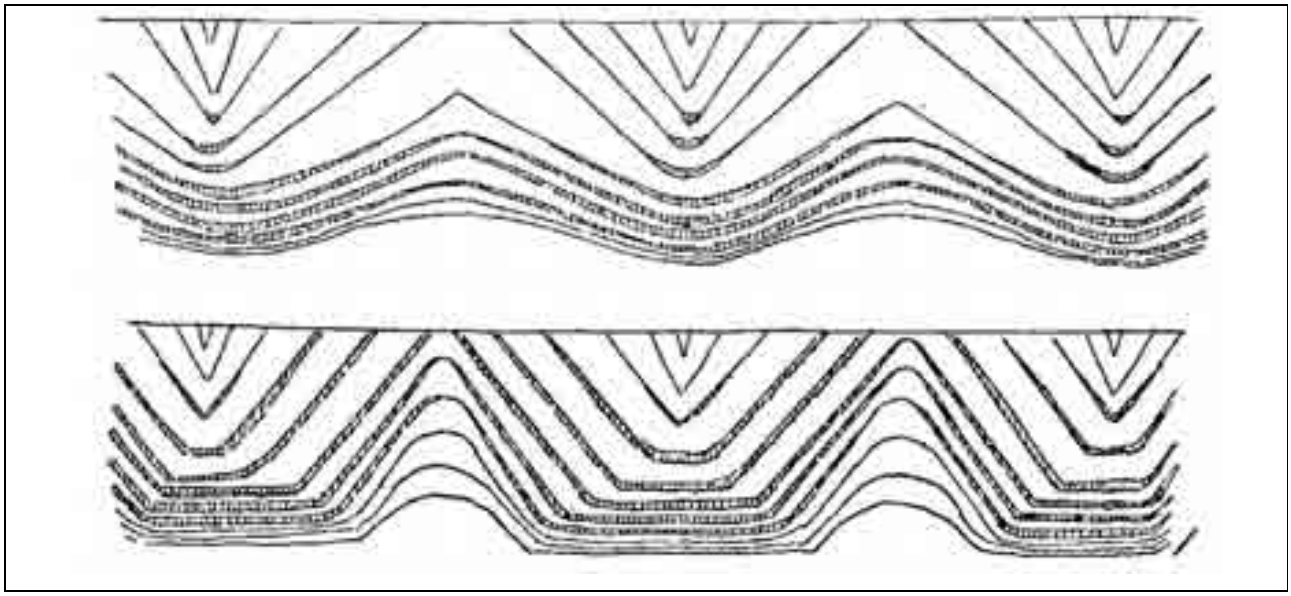


Figura 5. Perfis esquemáticos mostrando a evolução diferente das vertentes, conforme MARTONNE (1944). Em cima, o ciclo de erosão normal (DAVIS, 1899). Abaixo, o ciclo de erosão em país tropical úmido, apontando o papel importante da dissolução e alargamento dos vales. Org.: FNJV, 2011.

No sudeste do Brasil, embasadas pela teoria da etchplanação, FILIZOLA (1993) e COLTRINARI (2003, 2011), entre outros, puderam apontar novos modelos evolutivos da paisagem quando observados os processos de alteração e pedogênese na criação de duas paleosuperfícies de ocorrência regional no Planalto de São José dos Campos - SP. Para estas autoras, não seria possível explicar a evolução da paisagem no Vale do Paraíba considerando apenas fases de clima úmido/clima seco do Terciário Superior, devido à estabilidade climática do Quaternário e à ação ininterrupta da pedogênese, além da falta de evidências geomorfológicas e pedológicas de aplainamento puramente mecânico (ao contrário das evidências de etchplanação).

COLTRINARI (2011), sintetizando as evidências dos trabalhos anteriores, indica provas da evolução geoquímica do modelado no platô de São José dos Campos:

- Presença regional de feições pseudo-cársticas;

- Interações endo e exogenéticas no modelado, percebidas nos aerofotolevantamentos;

- Rebaixamento progressivo dos interflúvios em razão do ajuste do nível de base regional;

- Predominância de processos geoquímicos que indicam as condições tropicais úmidas ao menos desde o Terciário Superior;

- Considerações sobre a exportação geoquímica e perda de material, urgindo a necessidade de um novo modelo evolutivo das paisagens pesquisadas;

- Não-coerência total com o modelo proposto por BÜDEL (1957) e a implicação de deduções que seguem o rumo do exposto por MARTONNE (1943; 1944).

Tais concepções ajudaram a entender os processos químicos como modificadores da paisagem, e, logicamente, das formas na superfície quando atacadas quimicamente pela água e somadas às condições já destrutivas protagonizadas pela erosão. Tomando estudos realizados em vários continentes nos trópicos, THOMAS (1979) estabeleceu uma base de pesquisa das formas de relevo tropicais a partir do intemperismo químico, movimentos de massa e escoamento superficial. Para THOMAS (1979; 1994), o manto de intemperismo em áreas tectonicamente inativas, a exemplo da África e do Brasil, é extremamente espesso, pois possui alta disponibilidade de água e temperaturas médias anuais elevadas. As zonas de formação de argilominerais seriam altamente profundas nas áreas de florestas tropicais e de menor profundidade nas savanas (vide **Figura 6**).

Esta propensão à formação de um grande e rico manto de intemperismo obviamente acaba por desenvolver solos igualmente espessos, embora muitas vezes os processos ativos acabem por não fornecer variações muito grandes nos horizontes (de fato, nem sempre é possível se observar o horizonte C, pois solos muito intemperizados deixam um aspecto contínuo, homogêneo e profundo no perfil). Faz-se aqui necessário, então, um aparte à Pedologia, pois os solos certamente acompanham as formas de relevo, e são o exemplo máximo do intemperismo químico em estabilidade dinâmica.

4.2 Suporte Teórico da Pedologia

4.2.1 Origens

A Pedologia surgiu no último quarto do século XIX a partir dos trabalhos de V. V. Dokuchayev. Físico e matemático, Dokuchayev trabalhava para a Rússia czarista e foi convidado a participar de uma comissão de investigação de uma grave seca nas estepes russas, em meados da década de 1870. Estudando detalhadamente os solos da região, pôde compará-los anos mais tarde aos solos observados por ele na região de Gorki, a leste de Moscou, em levantamento semelhante ao realizado na Ucrânia e outras regiões. Verificando as diferenças entre os solos dessas regiões, percebeu, além de características próprias dos perfis observados, como horizontes e uma estrutura organizada, a relação com o tipo de

clima. Aparentemente, os solos tinham suas características individualizadas segundo o clima de cada região, além da ação conjunta de outros fatores (LEPSCH, 2002).

Dokuchayev propôs a distribuição dos solos segundo uma zonalidade predominantemente climática, além de estabelecer as relações de interdependência entre o reino mineral e a natureza viva. Contudo, o reconhecimento atual da ação de paleoclimas (por vezes muito diversos dos atuais), com ocorrência de pedogêneses múltiplas e paleossolos, contribui para minimizar a importância da zonalidade climática. No mundo intertropical, em que muitas superfícies (e solos correlatos) podem ser muito antigas, isso ganha ainda maior proporção (ESPÍNDOLA, 2008).

O desenvolvimento da literatura sobre pedologia e sua disseminação como ciência foi lenta e gradual, sobretudo por conta da barreira da língua. Em 1914, K. D. Glinka traduziu trabalhos de Dokuchayev para o alemão, e, em 1931, traduziu seus próprios trabalhos para o inglês (ESPÍNDOLA, 2008). Estando a barreira da língua ultrapassada, outros pesquisadores oriundos da disseminação da pedologia européia oriental surgiram à frente, com classificações e modelos sobre o solo.

Estes modelos subentendiam o solo como um ambiente de perda, transporte e adição de matéria, através de processos físicos, químicos e biológicos; principalmente aos processos físico-químicos, a Pedologia desenvolveu-se em paralelo ao conhecimento do intemperismo. Como já indicado, o intemperismo químico atua diretamente na solubilização dos materiais e no rebaixamento das vertentes, encaminhando a paisagem para um aplainamento generalizado. Por isso, a seguir, mostram-se alguns fatores do intemperismo químico para a compreensão dos processos que originam os solos e além disso moldam as formas de relevo.

4.2.2 Intemperismo

TARDY[1] (1969, *in* DOUGLAS, 1978) calcula que nos climas tropicais úmidos são necessários aproximadamente 30.000 anos para transformar 1 m^3 de granito em caulinita. Este processo de decomposição é o intemperismo.

O intemperismo, ou meteorização, refere-se aos processos que coletivamente são responsáveis pela repartição ou alteração dos materiais próximos ou sobre a superfície terrestre (DIXON, 2004). O intemperismo químico responde pelas reações químicas exotérmicas como a oxidação, carbonatação, hidrólise, troca de bases e quelação, ao passo que o intemperismo físico trata do alívio de pressão nas superfícies, do crescimento de cristais estranhos dentro da rocha ou das amplitudes térmicas que causam a contração e expansão dos minerais (BLOOM, 2000).

[1] TARDY, Y. **Géochimies dês Altérations: Étude dês Arénes et dês Eaux de Quelques Massifs Cristallins d'Europe et d'Afrique.** Mem. Serv. Carte géol. Alsace et Lorraine 31, 199 pp.

Especificamente, o intemperismo químico é muito mais acentuado nos trópicos que nas regiões temperadas ou periglaciais em razão das altas temperaturas e da alta umidade (**Figura 6**), tendo o intemperismo físico papel importante mas secundário nas baixas latitudes.

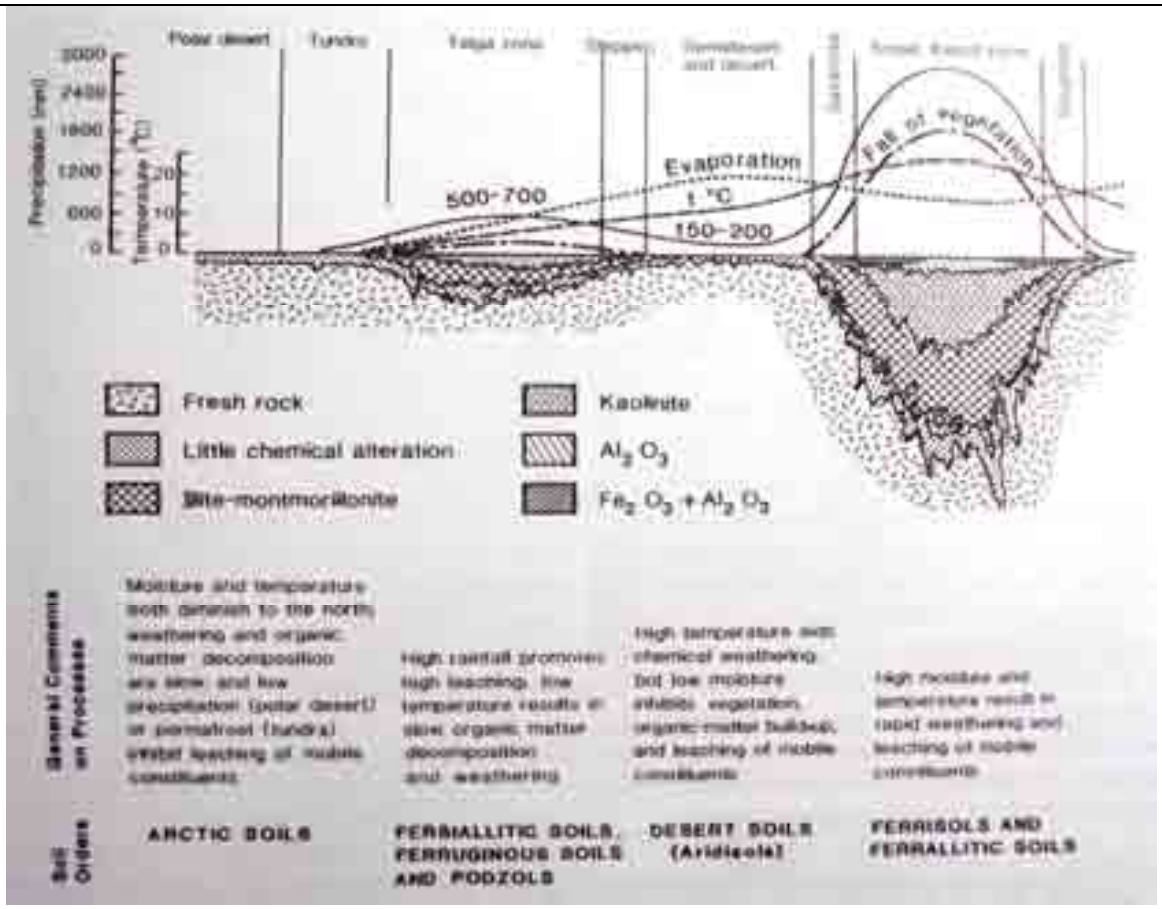


Figura 6. Profundidade relativa do intemperismo e seus produtos nos ambientes, de acordo com a temperatura e precipitação, do Equador às regiões polares (conforme THOMAS, 1994). Org.: FNJV, 2011.

O intemperismo químico age através da alteração da estrutura cristalina dos minerais, podendo variar na decomposição e reações de acordo com a superfície atacada, especialmente no tocante às rochas aflorantes na superfície ou aquelas na subsuperfície. Isso significa que o intemperismo faz parte dos processos exógenos que entre outros fatores esculpem as formas de relevo, enaltecendo sua importância dentro da investigação geomorfológica.

Os produtos do intemperismo químico basicamente respondem pela reação dos minerais primários das rochas ígneas e metamórficas, de tamanhos relativamente grandes (areia e silte); a síntese de minerais secundários acontece com as partículas no tamanho coloidal (argilas e óxidos). A água também tem ação solvente nos sais dos elementos alcalinos e alcalino-terrosos, como os cloretos, sulfatos e carbonatos, transformando os carbonatos de cálcio e magnésio em bicarbonatos (FASSBENDER, 1975). Os carbonatos (e

as bases) podem ser carregados pela remoção de matéria em solução ao longo de um perfil de alteração ou de um solo, através do processo de lixiviação.

Na reação com a água, sobretudo para os minerais silicatados, a hidrólise é a principal meteorização (**Figura 7**). Na hidrólise total, os minerais são inteiramente dissolvidos, como a reação entre o ortoclásio (feldspato potássico) e a água, possibilitando a concentração de hidróxidos de alumínio e o processo de *alitização*. Quando a hidrólise é parcial, ou os minerais silicatados não são inteiramente eliminados, há a formação de caulinita, argilo-mineral originado da decomposição do feldspato, com relação sílica-alumínio 1:1 (*monossialitização*). Em terceiro lugar, quando a hidrólise é mais parcial ainda, isto é, os minerais silicatados e as bases não são inteiramente eliminados, há a formação de argilominerais com relação sílica-alumínio 2:1, determinando o processo de *bissialitização*. Na **Figura 6**, mostra-se que as profundidades do manto de intemperismo no meio tropical úmido são as maiores, de cima para baixo correspondendo às zonas de alitização (Al_2O_3 e Fe_2O_3+Al_2O_3), monossialitização (Kaolinite) e bissialitização (illite-montmorillonite). A rocha pouco alterada e a rocha fresca são determinadas pelas duas camadas mais abaixo, respectivamente.

Desde o século XIX, houve por parte dos naturalistas um interesse especial nos indicadores da paisagem que evidenciassem alterações químicas das superfícies, inclusive pela utilização dos materiais resultantes como recurso econômico. Evidências como as lateritas, investigadas por cientistas como G. D. Glinka (um dos alunos sucessores de Dokuchayev) ou H. Harrassowitz (um dos precursores da geoquímica), no início do século XX, mostraram claramente serem os produtos das reações químicas ótimos testemunhos de condições ambientais pretéritas que influenciam demasiadamente a paisagem atual. Nos trabalhos de J. B. Harrison na Guiana Inglesa, por exemplo, a análise dos materiais de alteração comprovou um comportamento antagônico entre a sílica e a alumina, componentes das argilas e dos minerais silicatados alterados das rochas; a remoção de sílica e das bases alcalinas e alcalino-terrosas resultava em um resíduo alumino-limonítico que era identificado como laterita primária. Quando aumentava a quantidade de SiO_2, diminuía a quantidade de Al_2O_3, indicando ressilicatização e a formação de laterita secundária (HARRISON[2], 1934, *in* QUEIROZ NETO, 2007).

[2] HARRISON, J. B. **Katmorphism of Igneous Rocks Under Humid Tropical Conditions.** I.S.S.S., Rothamsted, England.

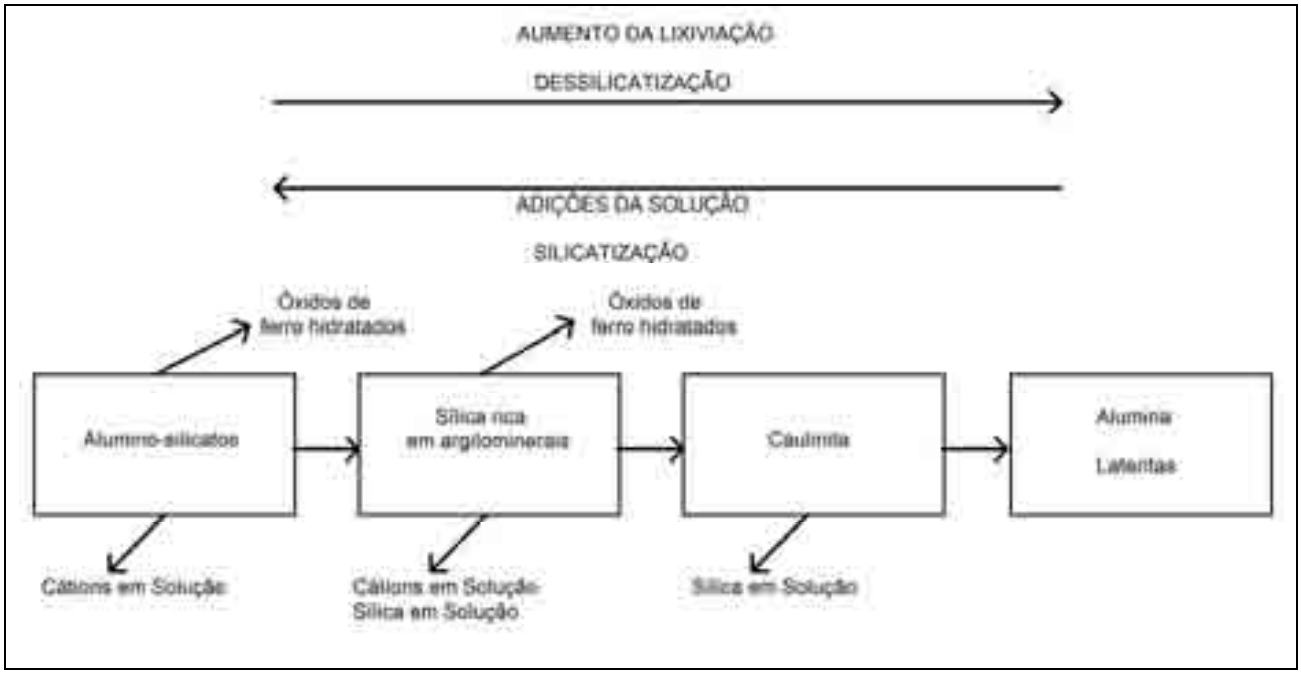


Figura 7. Esquema da decomposição dos silicatos em argilominerais. As bases são carregadas em solução e o ferro é oxidado, permanecendo com as argilas na forma de oxi-hidróxidos. Quando a lixiviação é intensa, ocorre a dessilicatização e a formação de alumina e lateritas. O caminho inverso resulta em alumino-silicatos (OLLIER, 1975). Org.: FNJV, 2011.

HARRASSOWITZ (1926) utilizou esta relação entre a sílica e a alumina para definir os produtos de alteração e os tipos de intemperismo químico. O autor propôs empregar a relação molar SiO_2 / Al_2O_3 (relação sílica-alumina), ou relação Ki, levando em conta que para a caulinita essa relação seria 2. Os valores abaixo de 2 indicariam níveis altos de intemperismo (gibbsíticos), enquanto que valores maiores do que 2 indicariam materiais menos atacados quimicamente. Ligada à relação Ki, haveria uma relação Kr (SiO_2/ Al_2O_3+ Fe_2O_3, ou relação sílica-sesquióxido), demonstrando a influência dos óxidos de ferro na alteração, que, combinada a Ki, avaliariam o grau de intemperismo dos solos.

Mais tarde, o geoquímico russo B. B. Polinov propôs uma seqüência de solubilidade dos principais elementos químicos presentes nos minerais e nas rochas, afirmando ser o produto gerado pelo intemperismo do substrato sempre o mesmo independente do tipo litológico e do ambiente, em fases que culminariam nos resíduos de ferro e alumínio quando os minerais estivessem completamente lixiviados. Do mais solúvel aos mais resistentes, a série proposta ficou como Cl-SO_4-Ca-Na-Mg-K-Si-Fe-Al (POLINOV[3], 1937, *in* MICHELON, 2006). Um ano depois, GOLDICH (1938) apresentou uma série seqüencial de estabilidade dos minerais ao serem atacados pela lixiviação. Listando os minerais máficos e feldspatóides de acordo com sua estabilidade crescente, propôs depois do quartzo serem os hidróxidos de alumínio como a gibbsita e os óxidos de ferro como a hematita os mais estáveis.

[3] POLINOV, J. B. **The Cycle of Weathering.** Londres: Th. Murby, 1937, 220p.

Ao elaborar um quadro geral dos fenômenos de alteração na superfície do globo, PEDRO (1969) percebeu ser o comportamento do alumínio um fator essencial na compreensão da dinâmica de alteração, pois a sílica poderia ser mobilizada quaisquer que fossem as condições físico-químicas do meio. Utilizando a relação Ki, o pedólogo estabeleceu quatro grandes tipos geoquímicos de alteração das rochas de acordo com o conteúdo relativo em óxidos pela temperatura média anual, mostrando que os fenômenos de alteração se repartiam por latitude. Em regime mais seco e mais frio, haveria a podzolização, em condições acidificantes e com sílica livre no horizonte residual; conforme se aumentasse a quantidade de água e temperatura ocorreria a hidrólise e a sialitização, podendo ser parcial (formação de argila 1:1 ou monossialitização e/ou argila 2:1 ou bissialitização), ou total (alitização); esta última ocorreria quando os minerais estivessem extremamente alterados pela lixiviação, com a formação de lateritas, restando apenas hidróxidos de alumínio como a gibbsita (**Figura 8**).

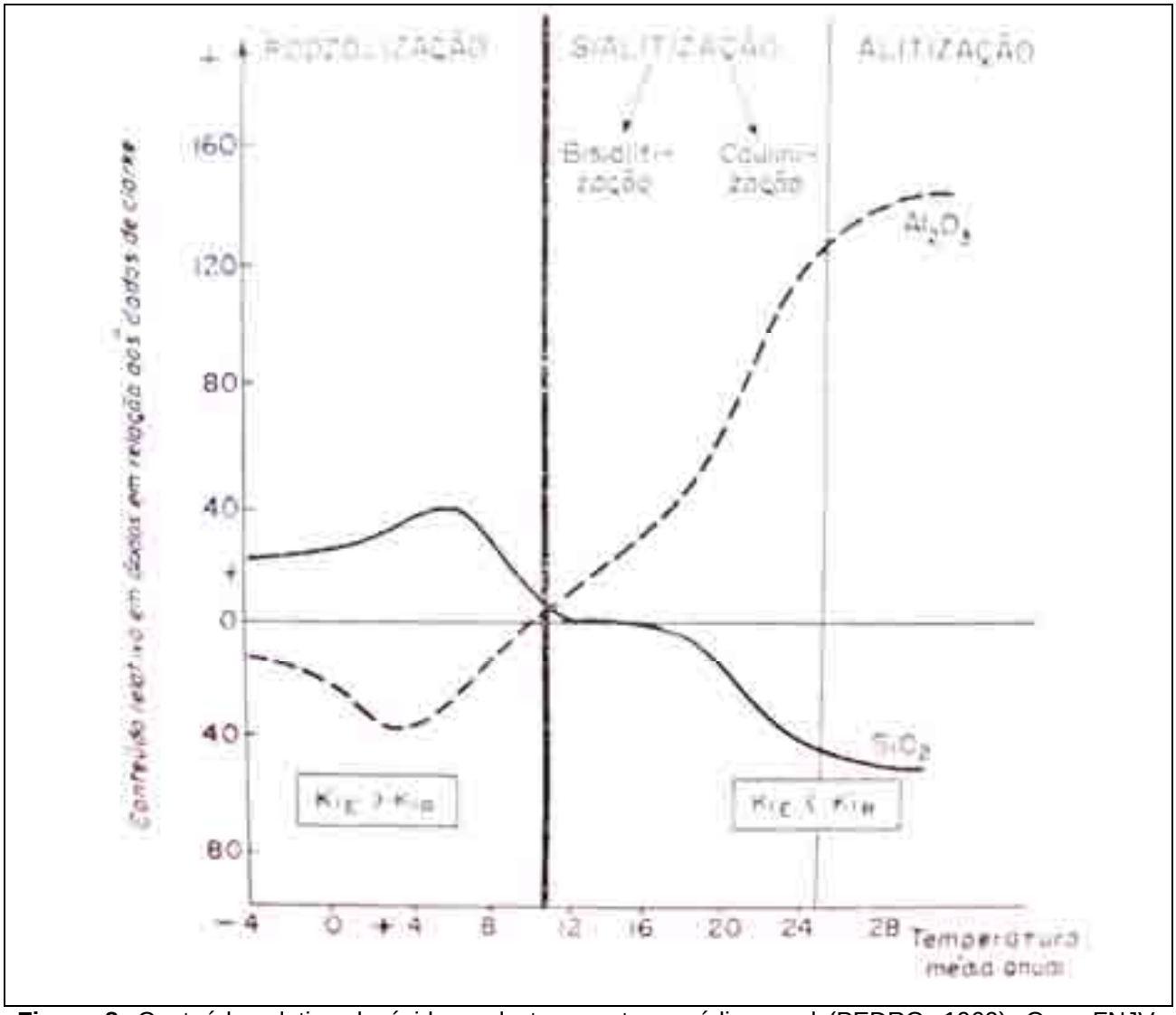


Figura 8. Conteúdo relativo de óxidos pela temperatura média anual (PEDRO, 1969). Org.: FNJV, 2011.

4.2.3 Classificações dos Solos

O norte-americano H. Jenny publicou um trabalho em 1941 relacionando os fatores de formação do solo, afirmando ser este um resultado de variáveis como clima, organismos vivos, topografia, material de origem rochosa, tempo e também da influência humana. Este trabalho, mesmo sendo criticado pela visão cartesiana e estática da conceituação de solo, deixou clara a existência de uma relação entre os solos e o relevo inclusive, embora não existisse (ainda) uma visão clara na literatura entre a Geomorfologia e a Pedologia.

A partir da década de 1970, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos criou um sistema de referência para a identificação dos solos conhecido como Taxonomia dos Solos ("*Soil Taxonomy*") do S. S. S. ou *Soil Survey Staff* (WAMBEKE, 1992). Tal classificação leva em conta o zoneamento dos tipos de solo segundo seus respectivos *pedoclimas*, embasados por critérios de umidade, temperatura e vegetação nas diversas partes do globo (**Figura 9**).

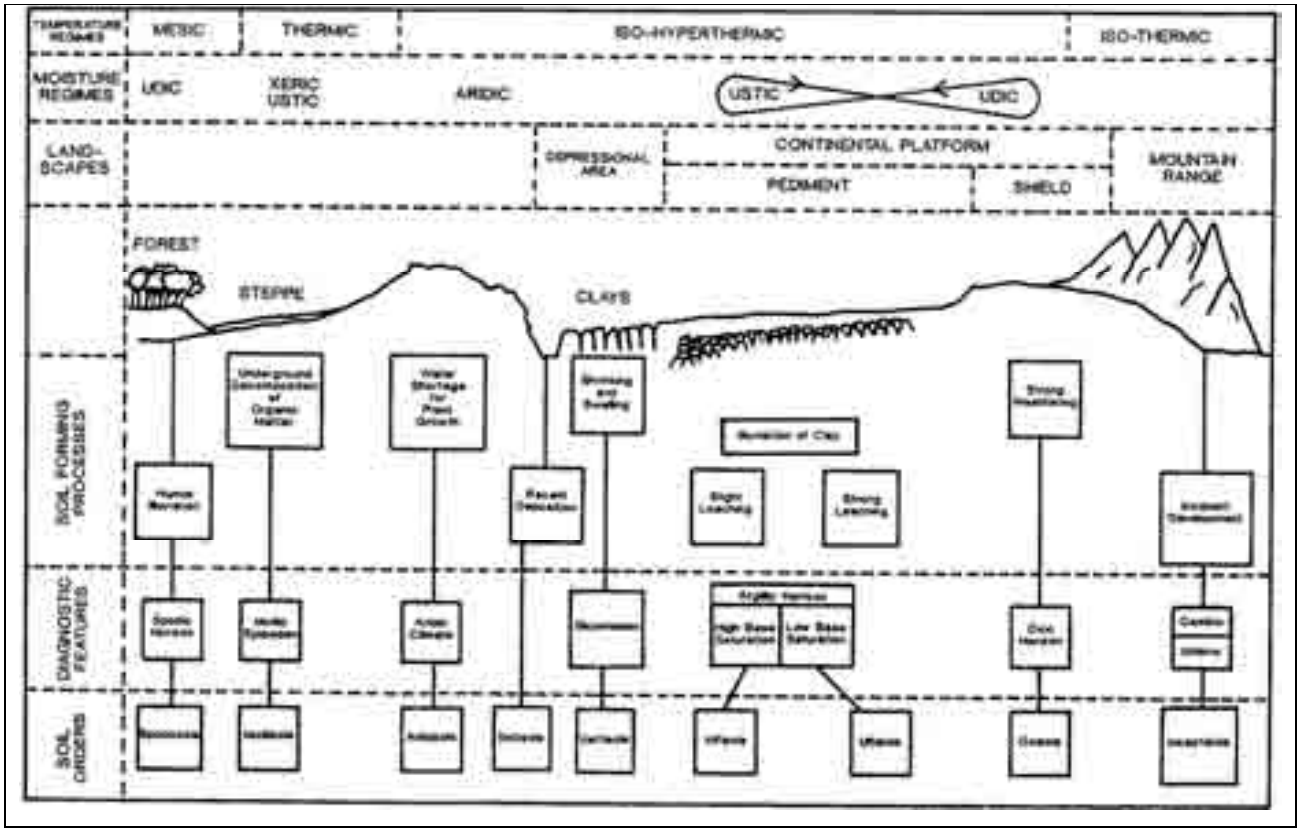


Figura 9. Distribuição dos processos de formação dos solos e atributos diagnósticos em uma paisagem hipotética (WAMBEKE, 1992). De cima para baixo, há seis níveis na coluna da esquerda: o 1º e 2º níveis representam os critérios de temperatura e umidade; o 3º nível caracteriza a origem do material parental de acordo com a paisagem; o 4º nível mostra os processos de formação dos solos, implicando nos atributos diagnósticos (5º nível); as ordens de solo fazem parte do 6º e último nível. Na primeira e segunda linhas as classificações dos climas, aqui não detalhados. Org.: FNJV, 2011.

As classificações dos solos podem ser divididas sob a perspectiva genética e a perspectiva quantitativa. Na primeira, fizeram parte as escolas russa e francesa, sendo prioritariamente esquemáticas, com utilização de topossequências e ausência de informações para manejo. Já o segundo tipo de classificação figurou nos Estados Unidos desde o início das aproximações norte-americanas e acabou sendo utilizada pelas instituições brasileiras (MANFREDINI[4], 2010, por informação verbal; ESPÍNDOLA, 2008).

A classificação quantitativa utiliza parâmetros químicos, físicos, mineralógicos e principalmente morfológicos na sua interpretação. Todo o levantamento foi criado para o controle do sistema produtivo agrícola, ou seja, não se volta à gênese da paisagem e sim aos objetivos agronômicos. Tal sistema resulta em categorias hierárquicas que tem início pela ordem e prosseguem pela sub-ordem, grande grupo, subgrupo, família e série (EMBRAPA, 2009). Os parâmetros utilizados para a descrição resultam em atributos diagnósticos e horizontes diagnósticos, que definem a rigor a ordem e a sub-ordem dos solos observados. Os atributos são mais bem caracterizados após as análises de laboratório, que irão definir os parâmetros químicos, físicos, mineralógicos e a classificação decorrente dos grandes grupos, subgrupos, famílias e séries (EMBRAPA, 2009).

No Brasil, pioneiros da pedologia trabalharam com discípulos diretos de Dokuchayev, alguns chamados a trabalhar no Instituto Agronômico de Campinas, em meados das décadas de 1930 e 1940. Entretanto, a classificação taxonômica dos solos surgiu em publicação apenas na década de 1960, sob forte influência da escola norte-americana, naquele momento já muito bem alicerçada em seu método. A partir da criação de uma Comissão de Solos, foi mapeado o Estado de São Paulo inteiro, aparecendo quatro grandes categorias: a) solos com horizonte B textural; b) solos com horizonte B latossólico; c) solos hidromórficos; d) solos poucos desenvolvidos (QUEIROZ NETO, 1964; ESPÍNDOLA, 2008).

A pedologia dentro da ciência agronômica em geral evoluiu paralelamente ao desenvolvimento da geoquímica, da física e biologia do solo e enfatizou as pesquisas relacionadas à nutrição de plantas, não apenas no Brasil, mas também em outras partes do globo. Dados físicos como a relação silte/argila possibilitaram estabelecer valores para o grau de intemperismo do solo e sua idade, a exemplo do que é executado pela FAO-Unesco (WAMBEKE, 1992); a composição química dos solos e suas relações argilominerais com a rocha parental permitiram conhecer melhor as propriedades dos solos tropicais (FASSBENDER, 1975); e a melhor compreensão de processos geoquímicos permitiram situar as formações dos solos dentro do espaço e do tempo, como as estimativas de tempo necessárias à formação ou degradação dos solos segundo sua diversidade zonal (ESWARAN et al., 1992).

[4] Informação fornecida por Sidneide Manfredini em out./2010.

Em paralelo, o avanço na microscopia ótica e eletrônica levou ao entendimento dos processos nas partículas, ao permitir, por exemplo, conhecerem-se os grupos dos argilo-minerais precipitados nos perfis de solo pela difração dos raios-X incididos sobre amostras (MOORE & REYNOLDS, 1997).

Tais classificações acabaram por ser desenvolvidas mais detalhadamente, e o quadro mais generalizado do mapa da Comissão de Solos de 1960 veio a ficar detalhado nas publicações subseqüentes e mais atuais, como a de OLIVEIRA et al. (1999) e da EMBRAPA (2009), com nomenclatura das ordens muito alteradas em relação às originais (a exemplo dos solos podzólicos que foram nomeados como argissolos).

Tomando a pedologia dentro da ciência geográfica, o vínculo evolutivo com a paisagem ou a relação com a geomorfologia não pôde ser ainda totalmente esclarecido como demonstrado inicialmente por BENNEMA et al. (1962), ainda mais se observado sob o senso dinâmico da vertente estabelecido por BIGARELLA et al. (1965a) ou DYLIK (1968). Estes trabalhos consideram a vertente uma feição representativa da conexão funcional entre o topo do interflúvio e o fundo de vale, decorrente de alternâncias de períodos climáticos e processos geomorfológicos de aplainamento (ótica morfodinâmica e morfogenética), onde logicamente as mudanças de solos acompanham as transições existentes.

4.2.4 As Formações Superficiais

Embora as formações superficiais não sejam mais utilizadas como objeto de estudo, levantamento e mapeamento, traz-se neste trabalho um pouco de sua produção em decorrência do tema deste trabalho, em que se procura trabalhar na Pedologia através de suas relações com o relevo e o substrato geológico. Segundo QUEIROZ NETO (2001), formações superficiais são materiais que recobrem a parte emersa da crosta, provenientes da alteração das rochas por intemperismo e que podem ter sido remanejadas e/ou retrabalhadas sobre vertentes, superfícies de erosão ou planícies fluviais, testemunhando processos pedogenéticos e morfogenéticos responsáveis pela evolução e dinâmica da superfície terrestre. Nas pesquisas francesas, estas formações eram interpretadas como depósitos de natureza sedimentar que testemunhavam processos de evolução do relevo, e os materiais de origem definidos no campo tinham suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas definidas em laboratório. Esses procedimentos buscavam definir a autoctonia e aloctonia dos materiais, principalmente em relação ao substrato geológico.

Inúmeros foram os trabalhos relacionados ao tema no Estado de São Paulo (QUEIROZ NETO, 1970; QUEIROZ NETO, 1974; QUEIROZ NETO et al., 1977; COUTARD et al., 1978a; COUTARD et al., 1978b), mas o fato é que a relação com o substrato e sobretudo com as formas de relevo – tendo a vertente como principal elemento do modelado – fazia com que

emergisse uma importância maior no entendimento do solo como um corpo contínuo e tridimensional em vez de um simples polígono originado de um zoneamento, sem realidade compatível com levantamentos de campo. Além disso, a cartografia das formações superficiais fornecia um ótimo instrumento de análise, visto que combinava informações sobre modelado, gênese e as condições climáticas em que as formas foram elaboradas (JOURNAUX, 1973). Podem ser citadas também as contribuições de MODENESI (1971, 1974) mais especificamente para a área de estudo da presente pesquisa, que culminaram em uma interpretação evolutiva das superfícies de aplainamento, relacionando os níveis altimétricos e os ciclos de erosão/deposição.

As interpretações das formações superficiais eram baseadas na teoria bio-resistásica de H. Erhart, em que a evolução do relevo era indicada através dos depósitos, creditando aos períodos de paleoclima úmido com vegetação florestal o predomínio de intemperismo químico na formação dos solos, e nos períodos de resistasia, paleoclima seco com baixa densidade de vegetação promovendo ações mecânicas da erosão (BIGARELLA et al., 1961b; BIGARELLA et al.,1965a; BIGARELLA et al.,1965b). Este modelo cíclico alternante determinaria o aparecimento de superfícies de erosão como pedimentos, depósitos correlativos e pediplanos, produtos decorrentes da atuação antagônica da pedogênese e da morfogênese.

Entretanto, este viés metodológico não explicava muito bem, por exemplo, os etchplanos, comprovadamente existentes no meio tropical úmido. Além disso, a ligação da Pedologia com a Geomorfologia do Quaternário se fazia necessária no entendimento evolutivo do modelado das paisagens tropicais úmidas, em que o objeto de estudo comum era a vertente.

4.2.5 A Análise Estrutural da Cobertura Pedológica

Com a introdução, a partir da década de 1980, de novo procedimento de estudo dos solos (análise estrutural da cobertura pedológica), buscou-se observar o solo como um meio contínuo e estruturado ao longo das vertentes, dando prioridade às transformações químicas e sua relação com o modelado.

Isso permitiu rever as interpretações da autoctonia e aloctonia dos materiais de origem dos solos, da gênese e da evolução de seus horizontes, além de ajudar a compreender melhor questões como bandas onduladas e o papel das térmitas na origem das linhas de pedra. Tal procedimento permitiu também verificar a importância da erosão geoquímica e avaliar o significado da presença de couraças e concreções ferruginosas na alteração das rochas e formação dos solos.

O pedólogo francês Renée Boulet foi quem propôs o método investigativo da análise estrutural, entendendo que além dos componentes verticais do solo, haviam também

componentes horizontais organizados principalmente em função da circulação lateral da água. Depois da introdução do método proposto por Boulet, Alain Ruellan foi o principal divulgador. Suas experiências em trabalhos na África e no Brasil levaram estes pesquisadores a perceber a complexidade da cobertura pedológica (o continuum do solo ao longo das vertentes) nas regiões intertropicais, desenvolvidas predominantemente à luz de processos remontantes. Dessa forma, a cobertura pedológica possuiria quatro dimensões, diziam; três seriam espaciais e uma seria temporal (RUELLAN & DOSSO, 1993).

Como conseqüências da análise estrutural, RUELLAN & DOSSO (1993) enfatizam a importância do estudo das topossequências, que seriam as transformações verticais e laterais da cobertura do solo desde o topo até o sopé da vertente. Estas só podem ser demonstradas a partir de cartografia detalhada, que indique as diferenciações laterais, o fator histórico dos solos na paisagem (fator tempo), as relações da topossequência com a bacia hidrográfica envolvida, a percepção dos mecanismos propriamente pedológicos existentes (dissoluções, transferência de matéria, agregação dos constituintes, ação biológica, mecanismos da porosidade, etc) e o refinamento das pesquisas através de extrações de dados mensuráveis do funcionamento atual dos solos e de sua organização micromorfológica.

No estudo das topossequências, as características dos solos se modificam em função da rocha (seus constituintes e sua alterabilidade), do relevo, da idade da superfície (e dos solos) e em função da ocupação atual da terra. Logo, as topossequências possuem suas variações laterais ligadas aos relevos e compreendem a forma das vertentes e a posição do local de investigação sobre as mesmas. A isto se soma o papel essencial da água, condicionado pela topografia em sua circulação sobre e sob os solos, transformando os materiais, precipitando outros e carregando os mais solúveis, lateral e verticalmente. A circulação hídrica interna seria importantíssima na dinâmica das vertentes, inclusive participando da evolução da superfície como o mostra DIAS FERREIRA (1997).

São exemplos de trabalhos da análise estrutural e melhor conhecimento dos sistemas de transformação lateral as pesquisas desenvolvidas por LEPSCH & BUOL (1974), BOULET et al. (1984), FERNANDES BARROS et al. (1983), PELLERIN & QUEIROZ NETO (1992), QUEIROZ NETO & PELLERIN (1994), QUEIROZ NETO (2000) e QUEIROZ NETO (2002), entre muitos outros.

Embora os levantamentos sejam extremamente complexos e envolvam técnicas demasiadamente trabalhosas, que não são contempladas no presente trabalho, a análise estrutural tem o mérito de enfatizar a interpretação baseada, antes de tudo, no levantamento e observação de campo. Isto significa um entendimento através dos constituintes morfológicos do perfil de solo, em completa sintonia com os levantamentos realizados nesta pesquisa e demonstrados mais para frente. Assim, o que pode ser aproveitado desta concepção funcional descrita acima neste trabalho é a relação dos solos como elemento da paisagem e sobretudo

da vertente, incrementando inclusive as interpretações geomorfológicas baseadas nas superfícies de aplainamento.

4.3 A Metodologia na Perspectiva Geomorfológico-Pedológica

4.3.1 A Concepção da Paisagem

Está nas tipologias do relevo um dos mais importantes condicionadores dos arranjos espaciais terrestres da humanidade, e é certamente por isso que a Geomorfologia tem-se firmado como uma disciplina de amplo espectro geográfico (ROSS, 2001). Tal referência tem ganhado muita força, sobretudo neste início do século, nos chamados estudos ambientais, onde cada vez mais se entende a paisagem como um todo indissociável e único.

BERTRAND (1971) define *Paisagem* como o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, tendo sua análise dependência da escala têmporo-espacial. Esta noção, em princípio verticalizadora, concebe funcionalidade sistêmica e interdependência, remontando ao estudo sistemático e à concepção da dinâmica natural. Sua delimitação em unidades hierarquizadas depende dos elementos constituintes serem mais ou menos sempre os mesmos, com diversas ordens de fenômenos em “inícios de manifestação” ou de “extinção” (BERTRAND, 1971). O ponto central, para a cartografação na definição da unidade elementar da paisagem, pode ser feito em função da homogeneidade escalar.

Na conotação territorial atribuída à Paisagem, existem atributos estruturais que permitem entendê-la em diversos componentes que devem, para seu entendimento total, ser individualizados de acordo com determinada escala de abordagem e responder, no caso do mapeamento e entendimento dos processos do relevo, à compartimentação daquilo que é possível se observar e descrever.

SOCTCHAVA (1978) sistematizou esferas de abordagem geográfica dos elementos visíveis na paisagem, com o intuito de estabelecer classes de tipos fisionômicos. Sua aproximação caracterizou-se por discutir os princípios de classificação do meio natural, dentro de uma concepção geossistêmica, isto é, calcada nas relações e dinâmicas através da entrada/saída de matéria/energia. Tal conceito provém da Teoria Geral de Sistemas e é utilizada pela ciência geográfica pela sua aplicabilidade ao reconhecimento dos elementos da paisagem, procurando níveis hierárquicos que levem à espacialidade dos fenômenos. Adaptada ao contexto geográfico, o sistema resultaria no *Geossistema*, em que o indício topológico e sua generalização destacar-se-iam em especificidades estruturais.

Para a classificação dos elementos na abordagem citada, o princípio seria marcado pela bilateralidade de se entender as estruturas perceptivas, sendo o “homogêneo” as estruturas semelhantes (“*geômeros*”) e o “diferenciado” as estruturas heterogêneas

(“*geócoros*”). O dimensionamento das estruturas semelhantes e diferenciadas possibilitaria, sempre através da percepção do visível, a identificação das menores unidades discerníveis na paisagem (“*geótopo*”), aumentando o nível de detalhamento dos levantamentos (SOCTCHAVA, 1978).

A importância de se situar a área observada no contexto geográfico mínimo é fundamental, pois os elementos não-visíveis na Paisagem podem condicionar completamente os arranjos espaciais, tais como a umidade e a energia térmica. KLINK (1981) procurou compreender a conexão do que designou como *geofatores* para entender as relações funcionais dos processos que dominam a paisagem envolvida. Daí a necessidade de uma eficiente regionalização e hierarquização natural que sintetize o meio nas grandezas e escalas têmporo-espaciais, a exemplo da análise integrada do relevo, litologia, solos e uso da terra, ou a inserção geral do meio pesquisado nas zonas, domínios ou regiões geográficas, além das subseqüentes aplicações à Geomorfologia como o entendimento da morfoestrutura e morfoescultura, vistos adiante.

Há também um ponto importante a ser abordado que é o fator ecológico da paisagem abordada/envolvida nos estudos de hierarquização taxonômica de característica escalar. É a interação dos seres vivos, mutuamente dependentes uns dos outros e do meio ambiente no qual vivem; esta interação se dá pelo *Ecossistema* (TANSLEY[5], *in* DELPOUX, 1974), e que muitas vezes engloba várias unidades da paisagem. Se o *Geossistema* é um agrupamento de estruturas homogêneas e estruturas diferenciadas, baseadas no reconhecimento de áreas elementares inicialmente observadas visualmente (SOCTCHAVA, 1978), o *Ecossistema* seria em essência um conjunto de objetos junto com as relações entre esses objetos e seus atributos. Assim, o dimensionamento do meio físico e a interação deste com o meio biótico do ponto de vista potencial-dinâmico necessitaria de uma abordagem que encarasse a relação Geossistema *x* Ecossistema, abordando na totalidade os atributos existentes nas trocas de matéria e energia.

4.3.2 O Tratamento Geomorfológico, A Perspectiva Ecodinâmica e A Perspectiva Ecogeográfica

Na tentativa de aplicar este conceito ao planejamento ambiental, TRICART (1977) criou as Unidades Ecodinâmicas, setores mapeáveis em que a estabilidade e a instabilidade da superfície derivam da sensibilidade de determinado ambiente ao balanço morfogênese/pedogênese, classificando os meios segundo sua morfodinâmica (fluxos superficiais e subsuperficiais delineadores da superfície, que respondem pelas situações de estabilidade/instabilidade no balanço morfogênese-pedogênese).

[5] TANSLEY, A. G. **Elements of Plant Biology.** Londres: G. Allen & Unwin, 1935, 389p.

Sob a ótica ecodinâmica, o autor anteriormente citado classificou os meios morfodinâmicos em três grandes tipos, em função da intensidade dos processos atuais, sendo que a estabilidade refere-se à interface atmosfera-litosfera e seu equilíbrio dinâmico:

- Meios Estáveis: nesse meio o modelado evolui lentamente, tendo os processos mecânicos atuação lenta e mínima; o fluxo de matéria e energia tem sua relação em equilíbrio dinâmico. A pedogênese predomina sobre a morfogênese, e o balanço ecodinâmico então é positivo;

- Meios Intergrades: existe a interferência morfogênese-pedogênese sobre um mesmo espaço. São meios suscetíveis à instabilidade geodinâmica e representam um estágio intermediário entre o Meio Estável e o Meio Instável, ocorrendo balanço ecodinâmico próximo da unidade;

- Meios Instáveis: a morfogênese é predominante na geodinâmica destes meios, havendo a presença de fenômenos catastróficos e evidência da interrupção da pedogênese e seus efeitos pelos fenômenos morfogênicos. Presença definitiva de ação antrópica e de estados de desequilíbrio dinâmico, sendo o balanço ecodinâmico negativo.

Estas relações entre atributos têm a função de denotar ao ambiente uma tipologia e funcionamento dos componentes referidos na paisagem. Ao referir-se aos sistemas, pensa-se na funcionalidade de seus atributos, determinando a estrutura do objeto de estudo assim como sua dinâmica e processos correlatos.

AB'SÁBER (1969c) entende esta funcionalidade como uma *fisiologia da paisagem*, partindo-se da forma (através da identificação fisionômica e compartimentação), estrutura superficial (caracterização dos materiais) e o entendimento dos processo e dinâmica da paisagem. Acredita ser a estrutura superficial da paisagem o objeto de estudo, voltado primeiramente ao entendimento da evolução recente (Quaternária) das formas e compartimentos controlados pela observação de campo. A litologia seria uma ossatura da paisagem, enquanto que o modelamento é o resultado dos processos morfoclimáticos que criam feições próprias no relevo. A funcionalidade do tempo e os processos naturais (habituais ou não) definiriam a chamada fisiologia da paisagem, numa sucessão de etapas que compreenderiam três níveis de tratamento:

- Compartimentação topográfica e conseqüente caracterização e descrição das formas de relevo compartimentadas;

- Obtenção de informações sistemáticas das estruturas superficiais da paisagem (como observações geológicas dos depósitos, observação das feições antigas e recentes do relevo, etc), principalmente para o entendimento da evolução das formas;

- Entendimento dos processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais, procurando compreender globalmente a fisiologia da paisagem.

O estudo das paisagens, junto com os processos escultores das formas de relevo, constitui, em essência, a ciência da Geomorfologia. ABREU (1983) demonstra, ao longo do tempo, como a ciência geomorfológica evoluiu segundo as diferentes regiões; enquanto que nos países de língua inglesa predominou-se um caráter teórico-quantitativo, voltado para as soluções técnicas, nos países do leste europeu consolidou-se um caráter empírico, de observação sistemática dos fenômenos.

Tais conceitos que envolvem a paisagem correspondem às proposições desta pesquisa. Aqui, os trabalhos de TRICART (1965, 1977), KLIMASZEWSKI (1982) e TRICART & KILIAN (1982) têm importância fundamental, porque tratam justamente da espacialização destes conceitos discutidos, no Brasil desenvolvidos por ROSS (1991,1992,1994, 1995, 1996; ROSS & MOROZ, 1997). Sobretudo, as proposições destes autores voltam-se para os mapeamentos executados em escala de detalhe, escala abordada na presente pesquisa.

Para TRICART (1965), o mapa geomorfológico de detalhe deve fornecer uma descrição de todos os elementos do relevo de determinada região, possuindo classificações bem detalhadas. Em primeiro lugar, deve mostrar as relações no espaço e no tempo das unidades mapeadas, e isso é possível apenas considerando-se quatro naturezas distintas: a morfometria, a morfografia, a morfogênese e a morfocronologia. Em segundo lugar, deve haver no mapa geomorfológico um fundo topográfico, notadamente as curvas de nível. E finalmente em terceiro lugar devem existir elementos de ordem estrutural: litologia e relação da disposição das camadas com a morfologia. Para todas estas representações o autor faz ressalvas em relação à utilização de cores, representação de símbolos gráficos, sombreamentos e hachuras. Basicamente o que coloca em seu método (CGA-Tricart) é que as cores devem demonstrar a gênese e a idade das formas enquanto que os símbolos gráficos devem representar os processos (TRICART, 1965).

KLIMASZEWSKI (1982) diferencia a utilização das cores para a gênese e para as idades: enquanto que a gênese deve ser representada por manchas de cores variadas, os matizes destas devem indicar as superfícies mais jovens, nos matizes mais escuros, e as superfícies mais antigas devem ser evidenciadas nos matizes mais claros. Para os processos a utilização dos símbolos também deve ser distinta: símbolos pontuais para formas de acumulação e símbolos lineares para formas erosivas. A utilização de letras aparece como

alternativa mais barata para indicação da idade das formas, seguindo-se nomenclatura geológica internacional.

Existem distinções importantes na representação das formas de relevo mapeadas e a simbologia utilizada. Em primeiro lugar, deve-se pensar nas questões do que é possível ser mapeado nas escalas adotadas e em segundo lugar na prioridade daquilo que se representa (TROPPMAIR & MNICH, 1969). A forma sempre vem em primeiro lugar, mas a gênese e a cronologia destas devem ser ao menos generalizadas e representadas secundariamente.

Outra chave necessária é separarem-se as formas de relevo e os elementos morfológicos existentes (TROPPMAIR, 1970). A forma responde por aquilo que participa da morfografia, isto é, responde pela morfologia e pela morfometria compartimentados, tais como a individualização de topos, agrupamento de sistemas de morros e colinas e delimitação de vales, básicos em um mapa geomorfológico e evidentemente prioritários na sua visualização inicial. Os elementos morfológicos respondem pelo modelado (tipificação dos vales, vertentes, mudanças e rupturas de declive, por exemplo) e denotam o emprego de símbolos pontuais ou lineares (**Figuras 10**, **11** e **12**).

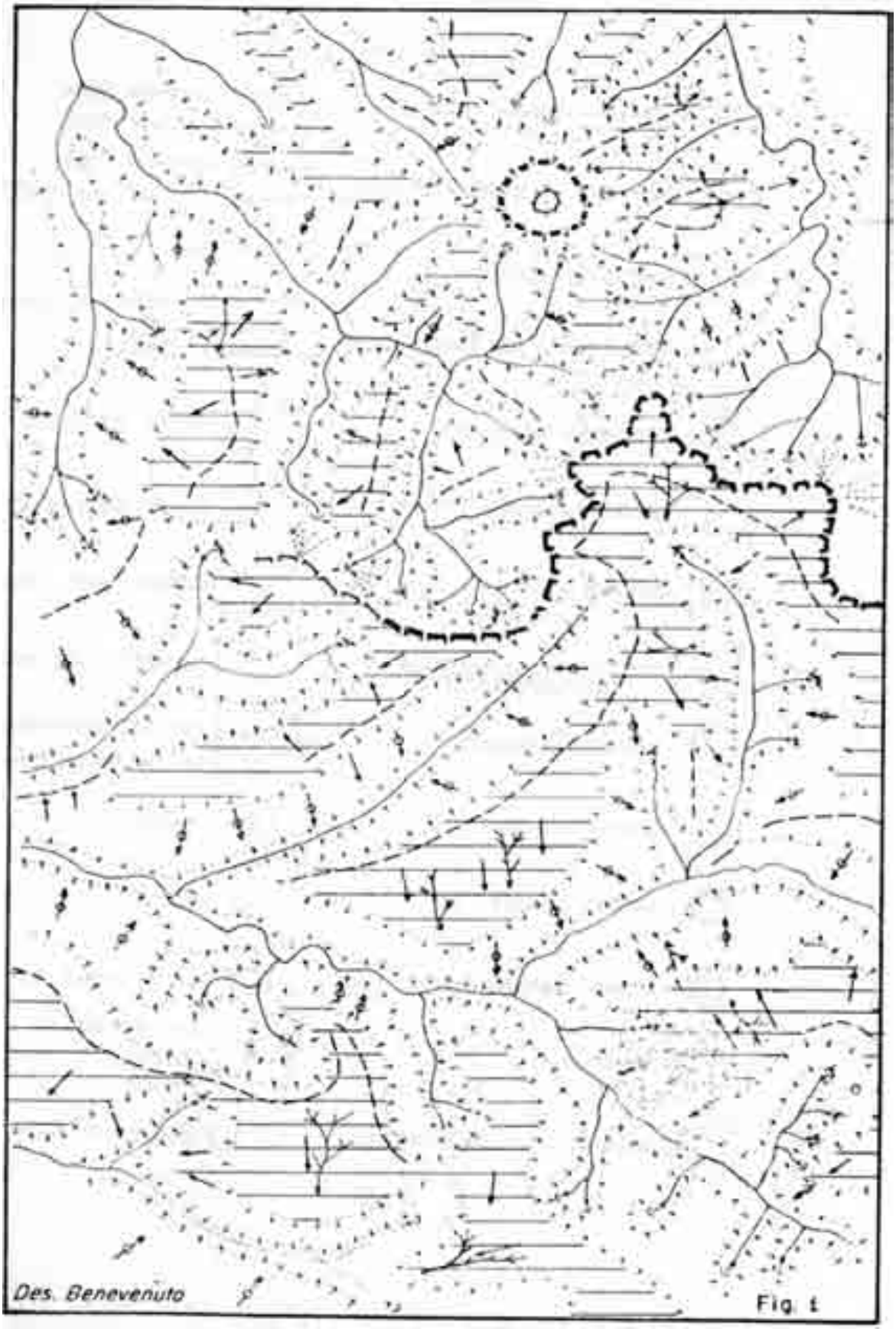


Figura 10. Área de contato da Depressão Periférica Paulista com o Planalto Ocidental Paulista. Restituição de fotos aéreas primando pelos elementos morfológicos (TROPPMAIR, 1970). Org.: FNJV, 2011.

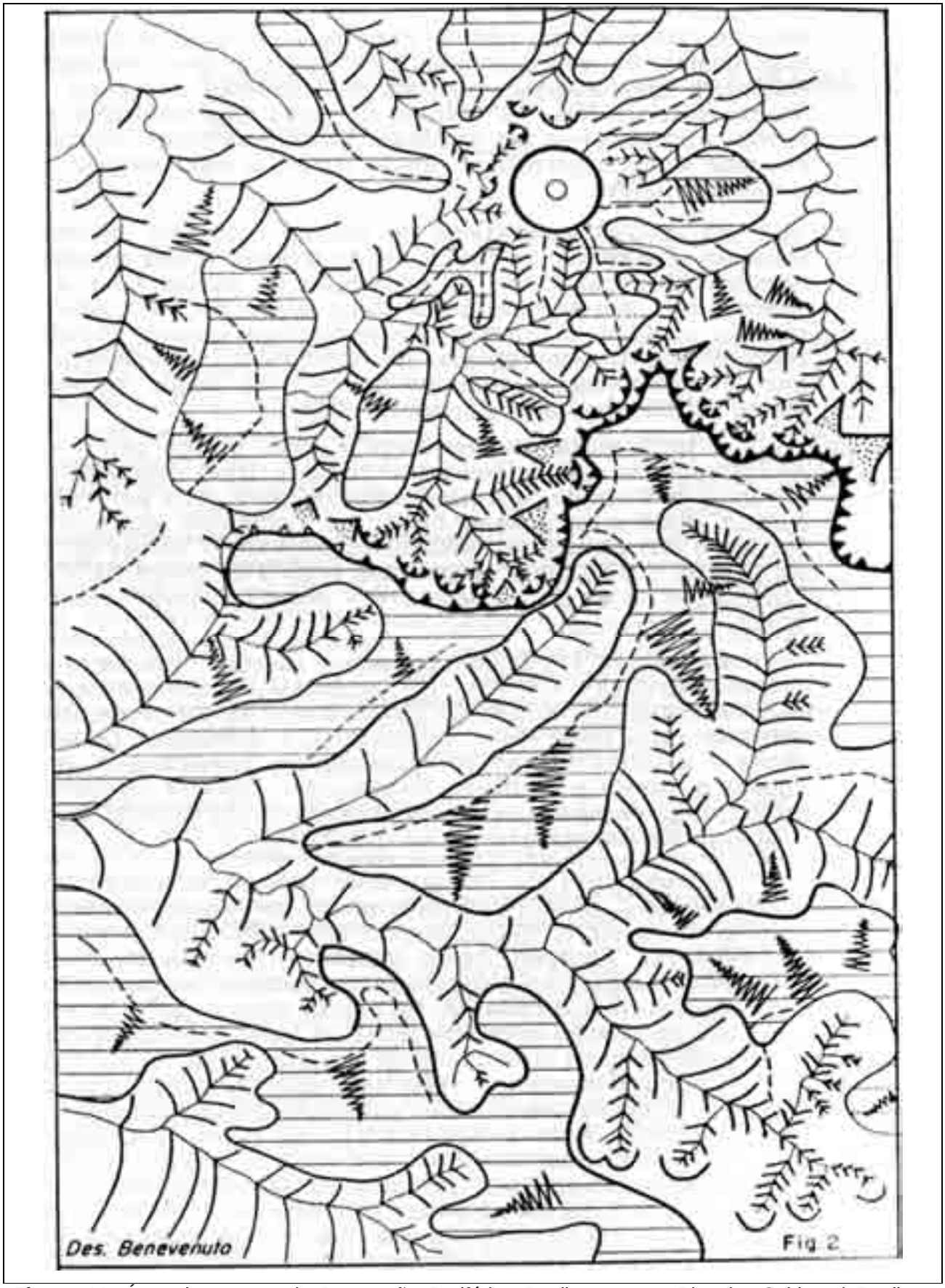


Figura 11. Área de contato da Depressão Periférica Paulista com o Planalto Ocidental Paulista. Restituição de fotos aéreas primando pela compartimentação das formas (TROPPMAIR, 1970). Org.: FNJV, 2011.

Figura 12. Legenda das Figuras 10 e 11 (TROPPMAIR, 1970). Org.: FNJV, 2011.

Nesta pesquisa, procurou-se representar tanto as formas, delimitadas em compartimentos ou polígonos, como os elementos, através de símbolos notadamente lineares. As representações destes símbolos basearam-se nas proposições de TRICART (1965), SAVIGEAR (1965) e DOORNKAMP & KING (1971), sofrendo adaptações (vide **Capítulo 7**).

TRICART & KILIAN (1982) entendem que a pesquisa geomorfológica deve orientar-se na investigação ecogeográfica. A Ecogeografia possui forte influência agronômico-ambiental e coloca as sociedades humanas como agentes modificadores constantes da paisagem, objetivando enfim reconhecer de maneira racional as potencialidades dos recursos ecológicos. Resumidamente, define três níveis de organização: a Matéria, caracterizada pelo arranjo das partículas que as compõe, a Vida, envolvendo a tendência para a reprodução, acompanhada pelo incremento e organização de seus conjuntos, e a Sociedade, baseada na organização social e econômica a partir de uma base cultural. Na prática, um estudo ecogeográfico capacita demandas de uso racional da terra começando pelo entendimento físico da

intervenção humana sobre a sensibilidade do ambiente envolvido. Para isso, apontam alguns pontos a serem seguidos:

- Distinguir do ponto de vista espaço-temporal os fenômenos, que se apresentam localizados ou concentrados e generalizados ou areolares;

- Levar em conta a freqüência e intensidade dos fenômenos, considerando-os em níveis hierárquicos ou taxonômicos de acordo com cada componente do meio natural (que em resumo são os modelados, os substratos geológicos, a vegetação, os solos, o clima e o meio biótico);

- Conter as seguintes informações no mapa geomorfológico: geometria das formas de relevo (dados morfográficos e morfométricos); natureza das formas de relevo (relação entre formas, processos e materiais); idade das formas de relevo (levando em consideração as oscilações climáticas); e natureza do material, formações superficiais e substrato próximo do afloramento. Inúmeras vezes as associações das informações geomorfológicas e de outro tipo podem resultar em unidades taxonômicas diversas, como unidades caracterizadas pela relação morfogênese/pedogênese;

- A pesquisa geomorfológica deve ter um fim, como a conservação de águas e terras ou proteção contra fenômenos naturais.

Estes pontos mostram que na concepção ecogeográfica também se definem as bases de pesquisa: identificação das fisionomias (formas, ou o quê for perceptível); entendimento das estruturas e funcionalidades dinâmicas, transpondo para o nível estático e sistemático; e o entendimento da suscetibilidade para as intervenções humanas, atuais e futuras (ROSS, 2001). As concepções da Ecogeografia ainda descartam as separações entre pesquisa pura e aplicada.

Em seu trabalho de Geomorfologia Aplicada, TRICART (1978) coloca que as oposições entre as pesquisas de base e as pesquisas aplicadas são tão sem sentido quanto as divisões artificiais das ciências. A Geografia e a Ecologia, para ele ciências básicas no entendimento do espaço natural, repousam necessariamente sobre a dialética, e as interações e paradigmas são inevitáveis. Nesta visão, a pesquisa aplicada promove uma reflexão metodológica de alto nível, pois assimila uma série de métodos de disciplinas tradicionais, além de tornar o resultado da pesquisa bem mais amplo que o esforço isolado de uma única concepção. Somente a aproximação sistêmica e interdisciplinar pode produzir um progresso metodológico eficaz e uma abordagem prática, satisfatória com a realidade.

AB'SÁBER (1969c) também observa estas questões, dizendo ser imprescindível a relação entre forma, material e processo. Enquanto que as formas deveriam ser exaustivamente descritas pela compartimentação, para o autor as correlações só podem ser feitas quando entender-se a observação dos materiais como uma leitura da estrutura superficial da paisagem e a dinâmica dos processos como um caráter fisiológico da evolução da mesma.

Nesse sentido, fica necessária nos mapeamentos geomorfológicos de perspectivas ecológicas uma abordagem que não fique encerrada no caráter prático de suas exposições. Na presente pesquisa, o levantamento fisionômico obtido pelas fotografias aéreas foi fundamental e inevitável, mas houve uma tentativa de aproximação com a abordagem sistêmico-dinâmica através da visão taxonômica e a relação com as unidades pedológicas.

4.3.3 A Taxonomia do Relevo e o Mapeamento

A proposta taxonômica de ROSS (1985, 1991, 1992) tem suas raízes nas fundamentações teóricas concebidas por I. P. Gerasimov e Walther Penck, além das contribuições de MESCERJAKOV (1968). PENCK (1953) definiu as formas de relevo terrestre como produto de forças geradas do interior da crosta terrestre e das forças impulsionadas pela ação climática atual e pretérita (definidos como processos endógenos e exógenos). GERASIMOV[6] (1959, *in* MESCERJAKOV, 1968) colocou que os fatores endógenos (como os movimentos tectônicos) produzem as formas de relevo de ordem de grandeza superior e se relacionam à morfoestrutura, enquanto que os fatores exógenos produzem as formas de relevo de ordem de grandeza inferior e se relacionam à morfoescultura; dessa forma, o relevo é produto da ação contraditória destes dois fatores. A unidade morfoestrutural acaba por ser produto também da interação das forças endo e exogenéticas (GERASIMOV & MESCHERIKOV, 1968), podendo ter mais de uma unidade morfoescultural, pois esta reflete a resistência e o arranjo da litologia face à estrutura na qual foi esculpida.

A cartografação geomorfológica e a classificação do relevo elaborada por ROSS (1985; 1991; 1992) têm então base no aspecto fisionômico, embora considere fundamental a gênese e a idade das formas. Para classificar desde a macroestrutura até os processos que definem formas pontuais no relevo, a representação da proposta taxonômica tem a seguinte ordenação (**Figura 13**):

[6] GERASIMOV, I. P. **Structural Features of The Earth's Surface Relief in The Territory of Soviet Union and Their Origin.** Akad. Nauk. SSSR, 1959 (in Russian).

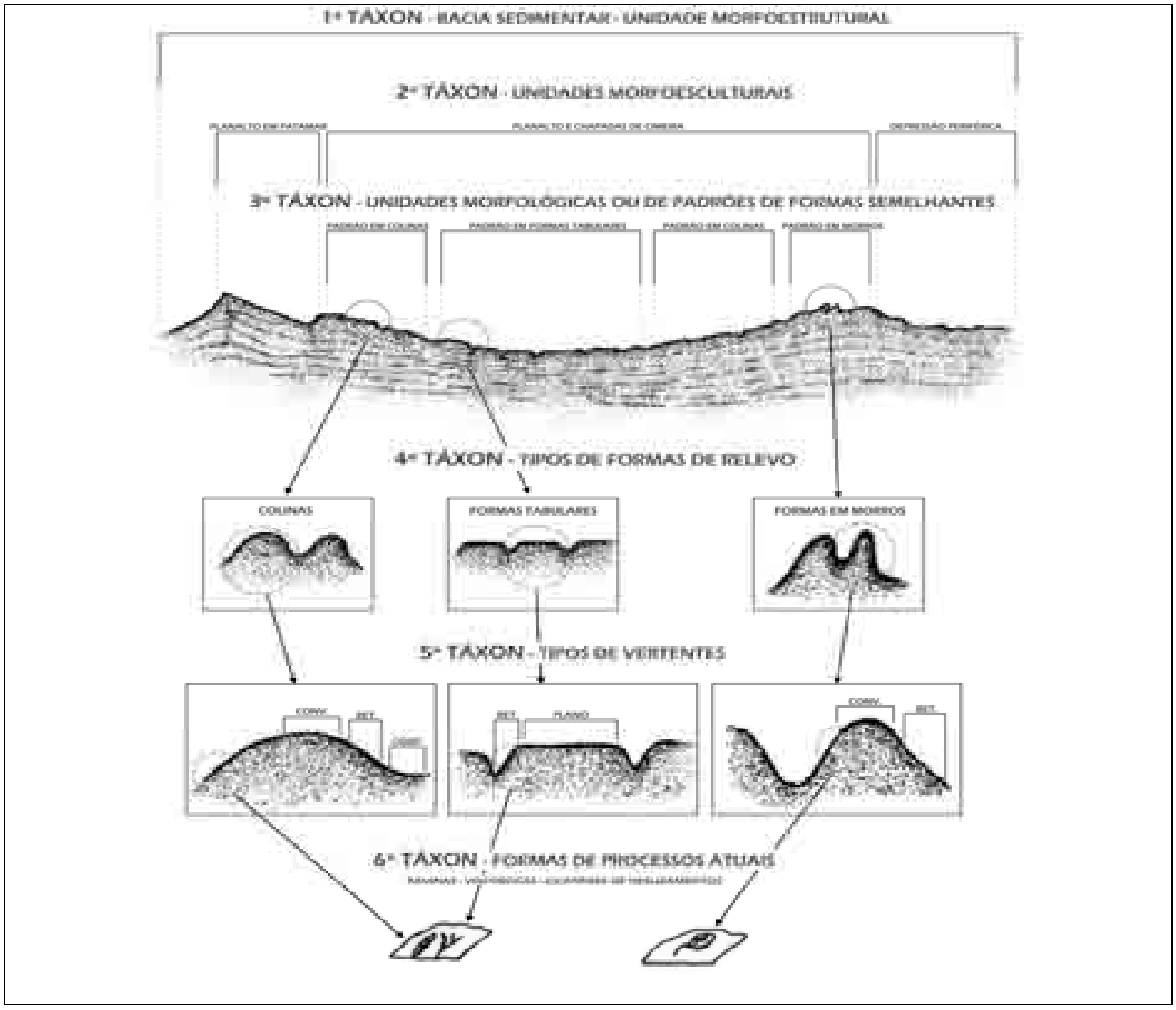


Figura 13. Taxonomia das formas de relevo (ROSS, 1992). Org.: Leandro J. C. L. Moraes, 2011.

- 1º Táxon (Unidades Morfoestruturais): corresponde às macroestruturas do relevo;

- 2º Táxon (Unidades Morfoesculturais): corresponde aos compartimentos e subcompartimentos pertencentes a determinada morfoestrutura;

- 3º Táxon (Unidades Morfológicas): corresponde aos Padrões de Formas Semelhantes, contidos nas Unidades Morfoesculturais, sendo definidos pelo agrupamento das formas de agradação (relevos de acumulação), e formas de denudação (relevos de dissecação); nesta unidade se estabelecem as dimensões interfluviais médias e os graus de entalhamento dos vales;

- 4º Táxon: corresponde aos tipos de forma do modelado, podendo este ser aguçado, convexo, tabular ou aplainado nos relevos de denudação, e correspondendo a planícies fluviais e flúvio-lacustres nos relevos de agradação, entre outros. São as formas

individualizadas indicadas em seu conjunto; podem ser colinas, formas tabulares ou morros, com determinadas características de tamanho, inclinação de vertentes e gênese;

- 5º Táxon: corresponde às partes das formas de relevo representadas pelas vertentes. Estas são identificadas segundo seus setores, que variam de escarpados a topos planos;

- 6º Táxon: corresponde aos tipos de processos erosivos ou acumulativos atuais, indicando pequenas formas de relevo, tais como ravinas, voçorocas e cicatrizes de deslizamento.

Tal taxonomia definida por ROSS (1992) reflete as ordens de grandeza colocadas antes por TRICART (1965), DEMEK (1972, 1977) e KLIMASZEWSKI (1980). Estes definiram superfícies homogêneas baseadas igualmente no tipo de forma, gênese e idade, embora suas delimitações correspondessem também ao alcance espacial das formas de relevo, variando de milhões de Km^2 a milímetros. Cabe colocar aqui que a quantificação espacial das unidades taxonômicas não é aceita neste trabalho, em função da variabilidade natural não ser meramente dedutiva.

Como a escala de trabalho neste estudo é de detalhe, a taxonomia indicada na **Figura 13** teve de ser adaptada. Mantiveram-se o primeiro e segundo táxons definidos por ROSS & MOROZ (1997) para a Bacia Sedimentar do Paraná e a Depressão Periférica; no entanto, o 1º táxon foi dividido quanto à gênese em razão da litologia cristalina e sedimentar existente na área de pesquisa. O 3º táxon correspondeu às formas de relevo e o 4º táxon ao tipo de modelado, representados por polígonos e símbolos respectivamente. O 5º táxon tratou da altimetria, declividade e distinções de tipos de solo e litologia. Restou ao 6º táxon a distinção de processos, tanto acumulativos quanto denudacionais.

ROSS (1994) aponta que é possível compartimentar a superfície terrestre através da combinação de uma série de elementos cartografáveis, inclusive no sentido de acometer a vulnerabilidade dos ambientes existentes (fragilidades dos ambientes naturais e antropizados); tais unidades resultantes da combinação temática devem ser avaliadas quando pretende-se aplicá-las ao planejamento ambiental, baseando-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizadas por TRICART (1977) como já citado.

O conceito de Unidades Ecodinâmicas fundamenta-se na conceituação de Ecossistema. Numa Unidade Ecodinâmica existe o funcionamento do ecossistema e a adaptação mútua dos vários componentes, respondendo à dinâmica de um ambiente. Um exemplo prático e simples seria a interação entre o material rochoso, os processos morfodinâmicos e a biocenose. Uma Unidade Ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica

do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses (TRICART, 1977).

Tais conceitos ecodinâmicos foram utilizados por ROSS (1991), que inseriu novos critérios para a classificação das unidades. As Unidades Ecodinâmicas Instáveis foram definidas como aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas econômicas diversas, enquanto que as Unidades Ecodinâmicas Estáveis configuraram-se como as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se portanto em seu estado natural, como por exemplo um bosque de vegetação natural (ROSS, 1994).

Na adequação das classificações para o planejamento ambiental, ROSS (1994) definiu que as Unidades Ecodinâmicas tanto estáveis quanto instáveis possuíam vários graus de instabilidade, variando desde o grau de instabilidade mais fraca até o grau de instabilidade mais forte. Estes graus de instabilidade seriam emergentes nas Unidades Ecodinâmicas Instáveis e potenciais nas Unidades Ecodinâmicas Estáveis, já que apesar do equilíbrio dinâmico existe sempre uma instabilidade previsível em razão das próprias características naturais e da possível alteração do meio pela sociedade humana. Na verdade, o enfoque da Ecodinâmica e sua identificação em unidades voltam-se para corrigir aspectos desfavoráveis do meio e facilitar a exploração dos recursos ecológicos, por sempre haver a evidência do "antinomismo" chamado por TRICART (*in* ROSS, 2001): a cobertura vegetal, que constitui os produtores primários e a base do ecossistema, e oposição à morfodinâmica, que é o fator limitante do ecossistema.

Desse modo, a análise do quadrante considerado seguiu a proposta de ROSS (1991, 1994), ampliada do conceito de Unidades Ecodinâmicas de TRICART (1977) para a combinação das informações cartografáveis levantadas, embora não tenha sido confeccionada nenhuma carta de fragilidade. Para que ocorresse a análise, exigiram-se estudos básicos do relevo, do sub-solo, do solo, do uso da terra e do clima, a exemplo da necessidade prevista por ROSS (1994). Estes levantamentos facilitaram o entendimento da paisagem pesquisada por compartimentos, para resultar no arranjo hierárquico dos diversos fatos e processos.

4.3.4 A Compartimentação Geomorfopedológica

Os solos referem-se às modificações intempéricas das rochas ou de material transportado que agem como testemunhos de processos na superfície terrestre, sejam eles atuais ou passados. Fornecem elementos pedológicos para o entendimento de ações morfogenéticas e cronologia do modelado, com ligação estreita entre os compartimentos de relevo e a cobertura pedológica (QUEIROZ NETO, 2001). Podem traduzir-se em solos

propriamente ditos ou em materiais inconsolidados recobrindo a superfície (formações superficiais), resultantes do intemperismo das rochas.

A compreensão da conexão destes atributos permite o entendimento fisiológico da paisagem, tal como já citado anteriormente por AB'SÁBER (1969c) ou BERTRAND (1971), numa hierarquia que obrigatoriamente constitui uma funcionalidade com determinada estrutura e distribuição (visão anatômica), assim como dinâmica própria e processos correlatos (visão comportamental). A abordagem morfopedológica há muito se volta para a compreensão interdisciplinar dos fatores envolvidos na escultura das paisagens, preconizadas por TRICART (1977) e TRICART & KILIAN (1982), e já são consagradas como documento eficiente em estudos de detalhe e semi-detalhe (CASTRO & SALOMÃO, 2000).

TRICART & KILIAN (1982) propuseram que o cruzamento de dados do substrato geológico com os do relevo e dos solos resultaria em documento síntese das dinâmicas envolvidas que modelam a paisagem. A sobreposição de mapas temáticos específicos, delimitando unidades menores, concederia informações pertinentes inclusive no balanço morfogênese-pedogênese.

Segundo CASTRO & SALOMÃO (2000) pode-se compreender e caracterizar os compartimentos morfopedológicos ou unidades morfopedológicas como fisionomias (externalidade) do meio físico biótico e abiótico que revelam um tipo reconhecível e delimitável de modelado do relevo suportado por organizações/estruturas litológicas e pedológicas (internalidade). Os seus atributos e funcionamentos revelam consonância histórico-evolutiva, no tempo e no espaço, e são passíveis de observação relativamente direta através de procedimentos de compartimentação do modelado em escala de detalhe e semi-detalhe, bem como de representação nessas mesmas escalas, e nas quais o uso e ocupação são capazes de induzir mudanças de formas, materiais e processos, de modo continuado ou rápido e intenso, induzindo mudanças no seu funcionamento e conseqüentemente na sua fisionomia. Os autores ainda colocam que, na ausência de informações cartográficas, especialmente geológicas, há a possibilidade de superposição cartográfica para uma interpretação temática precedente, aliada à confecção de uma carta hipsométrica e uma carta morfológica, mediante fotointerpretação e controle de campo.

CASTRO & SALOMÃO (2000) propõem ainda um roteiro metodológico para o estudo dos compartimentos morfopedológicos e suas aplicações. Estes se iniciam por hierarquias superiores e passam para hierarquias inferiores (de maior especificidade), até se alcançar uma generalização necessária para a elaboração de documentos que levem ao planejamento do uso e ocupação do solo:

- 1º nível, correspondente à compartimentação propriamente dita, caracteriza-se por estudo analítico e integrado dos atributos do meio físico na área de estudo, podendo haver a

superposição de mapas temáticos e a delimitação de unidades morfopedológicas homogêneas;

- 2º nível trata dos sistemas pedológicos em cada compartimento, através do levantamento por meio de topossequências (*continuum* bidimensional dos horizontes pedológicos em relação à topografia, segundo atribuição de BOULET, 1988), e análises laboratoriais e micromorfológicas, além da interpretação das relações espaciais;

- 3º nível trata do estudo do comportamento físico-hídrico nos sistemas pedológicos já identificados, com ensaios, monitoramentos e correlações em escala topológica;

- 4º nível representa a sistematização destes resultados e as relações dos processos nos sistemas pedológicos, identificando seu significado espacial na unidade morfopedológica através de mapas de restrição ao uso e ocupação do solo, tais como cartas geotécnicas;

- 5º nível corresponde ao planejamento da área considerada e o elenco de medidas para cada compartimento morfopedológico estabelecido.

Outro ponto enfatizado por CASTRO & SALOMÃO (2000) é a abordagem escalar, que deve ser uniforme entre os documentos confeccionados, utilizando controles rígidos quando as informações pré-existentes basearem-se em produtos de menor escala do que os detalhes tratados na compartimentação morfopedológica. A ciência da geomorfologia verifica a freqüência, magnitude e intensidade dos fenômenos que esculturam a superfície, e situa estes fatores em níveis hierárquicos ou taxonômicos. Como já dito, ROSS (1991) propôs uma divisão taxonômica de hierarquização das formas, que situa o nível de detalhe tratado na compartimentação morfopedológica, estabelecendo uma ordem de grandeza em que estes compartimentos estariam entre o 4º e o 5º táxon, tal como citaram CASTRO & SALOMÃO (2000). O 4º táxon é voltado ao tipo de forma dos modelados (que indicadas em seu conjunto podem ser colinas, formas tabulares, morros, etc), e o 5º táxon indica os setores de vertentes (variando segundo sua geometria, sendo assim côncavos, convexos, retilíneos, etc). Estes níveis hierárquicos trabalham com compartimentos e com o ambiente de circulação dos sistemas pedológicos, as vertentes, e definem a abordagem da escala de detalhe necessária neste tipo de estudo.

Evidenciado em inúmeros trabalhos que utilizaram a morfopedologia como instrumento diagnóstico, o procedimento básico para entendimento da relação relevo-rocha-solo é a compartimentação do meio físico. A esta compartimentação seguem-se relações com o substrato geológico, com o relevo ou rugosidades da superfície vistas numa escala maior

(modelado da superfície), e os solos. O estudo das paisagens, que englobam os processos escultores das formas de relevo e os fatores formadores dos solos, constitui a visão central para o entendimento da superfície do ponto de vista morfopedológico.

SALOMÃO (1994), seguindo as idéias de AB'SÁBER (1969c), adaptou-as ao estudo das feições lineares no município de Bauru (SP) e desenvolveu um quarto nível de pesquisa, relacionado à generalização cartográfica, o que possibilitou a geração de mapas indicadores das áreas restritas aos diversos usos e ocupações dos solos, garantindo assim um enfoque instrumental básico de planejamento à carta morfopedológica. No 1º nível, SALOMÃO (1994) compilou mapas de escalas inferiores, realizou fotointerpretação e controle de campo; foram definidas chaves de interpretação que permitiram o estabelecimento de áreas homogêneas quanto aos aspectos do meio físico (mapa morfopedológico) e à suscetibilidade das mesmas aos processos erosivos. No 2º nível, a caracterização das coberturas pedológicas em cada compartimento identificou a sucessão vertical e lateral dos horizontes em relação à topografia, com a realização de topossequências. O 3º nível culminou nas medidas físico-hídricas dos solos, caracterizando o comportamento e funcionamento hídrico atual dos fluxos superficiais e subsuperficiais, que ajudaram a explicar a maior ou menor suscetibilidade de certos compartimentos morfopedológicos à erosão linear, notadamente maior nos sistemas pedológicos constituídos por latossolos nos topos e argissolos nas vertentes. Finalmente, o 4º nível expressou tais funcionalidades do ponto de vista cartográfico, culminando nas restrições espaciais ao uso do solo urbano e rural no município de Bauru.

As obtenções de informações sistemáticas da estrutura da paisagem, através do levantamento dos sistemas pedológicos, sempre resultam em restrições detalhadas ao uso e ocupação do solo. CUNHA (1996), observando o comportamento físico-hídrico de duas topossequências em Umuarama (PR), pôde observar que a estrutura dos sistemas pedológicos, tanto no nível macro quanto microscópico apresentavam suscetibilidades aos processos erosivos, diferenciados segundo os compartimentos geomorfológicos que estavam inseridos; NAKASHIMA (1999), elaborando um mapa dos sistemas pedológicos no noroeste do Paraná, associou a hipsometria aos solos da região e obteve uma compartimentação que posteriormente foi validada em sua delimitação pelas características dos sistemas pedológicos, avaliados em topossequências. Igualmente, FURQUIM (2002), na região de São Pedro, e LOPES (2001) e LOPES & CASTRO (2004), investigando os fatores rocha-solo-relevo nos arredores de Goiânia (GO), diagnosticaram a suscetibilidade erosiva dos solos e o uso potencial da terra através da compartimentação morfopedológica.

Na presente pesquisa, não há intenção de elaborarem-se diagnósticos de suscetibilidade erosiva; mesmo assim, a chave do mapeamento para a elaboração e diagnóstico dos compartimentos geomorfopedológicos constitui instrumento fundamental desta tese, pois sintetiza os levantamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos. O

resultado, em uma carta que adiciona o prefixo “geo” à compartimentação da morfologia e pedologia associadas, parte do pressuposto de que na área de estudo desta tese o controle litoestrutural acaba por designar as unidades de relevo e conseqüentemente dos solos. Para tal investigação se faz necessário assim o levantamento geológico, e não apenas uma adequação da geologia demonstrada na literatura consagrada à escala de trabalho adotada.

Por configurar documento síntese, os compartimentos geomorfopedológicos resultam, grosso modo, da combinação dos **Mapas Geomorfológico** e **Pedológico** (vide **Capítulo 7**). O mapeamento geomorfológico seguiu as explicações anteriormente descritas. O mapeamento pedológico constituiu-se em caráter de *reconhecimento* como classificado pelo IBGE (2007). Os mapas pedológicos de reconhecimento baseiam-se em uma densidade de observações das características do solo por prospecção de 0,04 a 2,00 observações/Km^2, e incluem amostragens e análises de perfis para fins de classificação à aptidão agrícola. No entanto, o levantamento executado nesta pesquisa adaptou-se aos objetivos e características propostos, voltados à classificação para o amarramento com a geomorfologia e geologia, sendo assim um pouco diferentes do padrão estabelecido pelo IBGE (2007), como, por exemplo, na falta de realização de topossequências e levantamentos de dados morfológicos e analíticos de perfis completos. Foram realizadas análises morfológicas de apenas três perfis e análises físicas, químicas e mineralógicas de dez amostras coletadas em pontos estrategicamente escolhidos, conforme relatado no **Capítulo 7**. De qualquer forma, no plano geral os dados levantados puderam ter seus resultados voltados aos objetivos deste estudo.

5. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS

São descritos neste capítulo os procedimentos adotados para se atingirem os objetivos propostos. As etapas de trabalho, mostradas na **Figura 14** no final do item 5.1, nortearam todas as fases da pesquisa, servindo como direcionadoras das atividades.

5.1 Etapas de Trabalho

Dentre as etapas de trabalho estão a escolha da área de estudo, os levantamentos de dados, a produção cartográfica básica, intermediária e final, as interpretações dos resultados e a integração das informações e interpretações para as conclusões e considerações finais.

5.1.1 Escolha da Área de Estudo

Com a região previamente escolhida (vide **Capítulos 1** e **2**), a área de estudo inicialmente seria apenas a bacia hidrográfica de 4ª ordem do Córrego Utinga. Entretanto, levantamentos de reconhecimento mostraram a necessidade de ampliarem-se os limites (compatíveis com a escala de trabalho de 1:10.000) para o alcance dos pressupostos da pesquisa, pois a variação litológica evidenciava o controle estrutural que excedia os limites da bacia. Portanto, foi definido um quadrante que envolvesse a referida bacia e o entorno, no total de 25 Km^2.

5.1.2 Levantamento de Dados

Podem ser consideradas três fases:

- Escolha e vetorização da base cartográfica: existente na escala de 1:10.000 (IGC, 1979a; b; c; d), além de ser utilizada base do IBGE (1984a; b) na escala 1:50.000. Adquiridas as folhas topográficas de ambas as instituições, partiu-se para a vetorização das folhas do IGC; a base do IBGE foi fornecida no formato digital pelo Instituto Florestal; a base do IGC (curvas de nível, cotas altimétricas, hidrografia e vias de circulação) foi vetorizada no software MapInfo;

- Obtenção de dados e pesquisa bibliográfica, para embasamento teórico-metodológico, caracterização da área de estudo e obtenção de dados em levantamentos de campo, considerando-se o seguinte ordenamento:

a) Embasamento teórico-metodológico: considerou principalmente a bibliografia consagrada e mais recente no tocante à Geomorfologia e Pedologia, de acordo com o apresentado no **Capítulo 4**. Foram revistas as principais teorias de evolução e caracterização da paisagem tendo as formas de relevo e os solos como testemunhos. A leitura bibliográfica no tocante à Geologia se restringiu a conceitos gerais de técnicas de mapeamento e observações de campo;

b) Caracterização inicial da área de estudo: contou com uma extensa pesquisa bibliográfica inicial, que atendessem as escalas pequenas, médias e de detalhe sobre a área de pesquisa, nos aspectos geomorfológicos, geológicos e pedológicos, incluindo trabalhos de instituições, publicações em revistas científicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado e livre docência. Foram fundamentais os documentos cartográficos levantados para maior entendimento da geologia-geomorfologia regional e a caracterização pedológica geral dos municípios de Sorocaba, Salto de Pirapora e Votorantim; além destes, as fotografias aéreas na escala 1:25.000 (BASE 1962a; b; c; d) ajudaram a entender, por meio de fotointerpretação, a distribuição e arranjo dos elementos e atributos visíveis e mensuráveis para a relação relevo-rocha-solo, culminando junto com o processamento da base digital nos mapas temáticos básicos, intermediários e finais. Quando entendidas melhor as características da área de pesquisa e definidos os compartimentos principais quanto às formas de relevo, litologia e tipos de solo, procedeu-se à análise de perfis de solo em trincheiras e coleta de amostras para análises de laboratório (granulometria, química e mineralogia);

c) Levantamentos de campo: contaram com reconhecimentos iniciais, onde foram registrados dados topológicos de solos e geologia, inclusive para se ter noção de acesso aos locais (facilidade de trânsito e conhecimento dos moradores). Durante a caracterização da área de estudo, incursões a pontos específicos onde havia dúvidas de gabinete tiveram o objetivo de esclarecê-las, e estes foram caracterizados principalmente pelo levantamento geomorfológico, quando aspectos do terreno atribuíam alguma característica particular do material das vertentes; o esclarecimento ou não da questão apresentada obviamente já complementava as informações pedológicas e geológicas. Os levantamentos de campo específicos para a obtenção de dados geológicos, geomorfológicos e pedológicos são descritos em detalhe no **Capítulo 7**.

- Caracterização da área de estudo em gabinete: refere-se aos mapeamentos e interpretação dos dados levantados em gabinete, campo e laboratório, e ocorreu durante todas as fases da pesquisa, podendo ser apresentado da seguinte maneira:

a) As informações bibliográficas pertinentes à área de pesquisa eram compiladas, às vezes espacializadas e relacionadas;

b) Houve compilação dos levantamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, nesta ordem preferencial mas que muitas vezes complementavam as informações entre si, discorridas no **Capítulo 7**;

c) Mapas temáticos básicos foram confeccionados durante os reconhecimentos e caracterização inicial da área de pesquisa, notadamente durante o levantamento geológico e geomorfológico: **Mapa Base**, que orientou todos os limites dos demais mapeamentos; **Mapa Hipsométrico**, confeccionado logo após a vetorização da base cartográfica, a fim de serem estabelecidos compartimentos iniciais; **Mapa de Declividades**, no mesmo tempo que o anterior e com o mesmo objetivo; **Mapa Morfológico**, confeccionado no início da pesquisa com a aquisição das fotografias aéreas, mas definido em seus limites e símbolos apenas no final do levantamento geomorfológico em virtude das correções de campo. Mapas temáticos básicos de geologia também foram feitos, através das referências bibliográficas disponíveis, apenas para direcionar o levantamento deste fator mais tarde, resultando no **Mapa Geológico**;

d) A produção de mapas temáticos intermediários, em que os levantamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos foram a fonte de informações, resultou nos **Mapas Geomorfológico** e **Pedológico**. Este último contou com as análises de laboratório, cujas amostras foram coletadas em locais a partir das informações prévias de dados de campo dos solos e da confecção do mapa geomorfológico.

5.1.3 Interpretação dos Resultados

Síntese das relações relevo-rocha-solo, baseadas nas informações obtidas e nas interpretações prévias de cada um dos fatores. Como mapa temático final da expressão desta síntese, foi confeccionado o **Mapa Geomorfopedológico**.

5.1.4 Conclusões

Conclusões e considerações finais acerca das interpretações para a relação relevo-rocha-solo na área de estudo, além da avaliação sobre a metodologia adotada e a abordagem escolhida e algumas questões levantadas durante o decorrer da pesquisa.

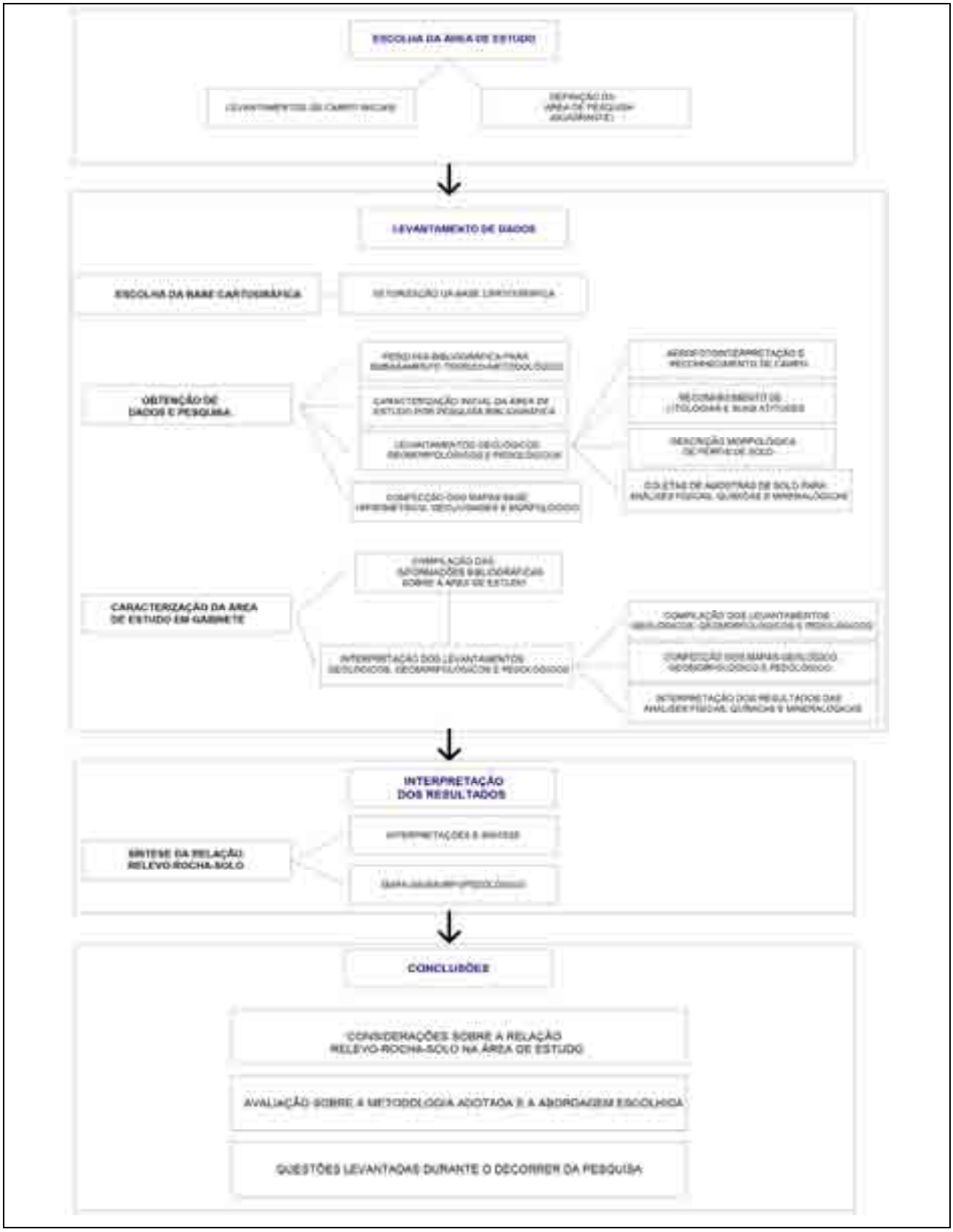


Figura 14. Fluxograma das Etapas de Trabalho. Org.: FNJV, 2011.

5.2 Técnicas Operacionais

São relatadas aqui as técnicas utilizadas durante a confecção desta tese, sem ter sido o pesquisador a executar as análises de laboratório.

5.2.1 Levantamentos de Campo

Os levantamentos diferenciaram-se quanto ao:

a) Reconhecimento: trataram dos caminhamentos pela área de estudo, visando conhecer sua configuração geral (**Figura 15**); foram anotados todos os caminhos possíveis de serem feitos por automóvel, além de incursões a pé em que se conheciam os moradores e acessos existentes nas propriedades rurais; esta fase de reconhecimento também serviu como atualização do uso da terra da área de pesquisa;

b) Levantamento geomorfológico: incluiu o reconhecimento de aspectos visíveis da paisagem levantados durante a aerofotointerpretação, principalmente quanto às mudanças/rupturas de declive, afloramentos de rochas (notadamente matacões de granitos) e materiais transportados (colúvios) e depositados (depósitos ou materiais de alteração expostos na superfície), além da notação de feições e processos erosivos (basicamente ravinas ou exposições do solo por atividade antrópica);

c) Levantamento geológico: localização, identificação e medidas estruturais de afloramentos de rocha, em condições frescas (válidas para os matacões de granito e alguns afloramentos de siltito/arenito e filito) ou alteradas (rochas sedimentares, metamórficas e alguns afloramentos de granito);

d) Levantamento pedológico: através de mudanças na coloração da superfície foram feitas tradagens expeditas, até pelo menos a profundidade de 1,20 m, e quando definidos os compartimentos morfológicos e litounidades estes tornaram-se mais seletivos; quando definidas a carta geomorfológica e o traçado dos perfis geológicos, contou-se com a tradagem e coleta de amostras de solo de 24 pontos (vide **Capítulo 7**) em que apenas 10 amostras foram encaminhadas para análises físicas, químicas e mineralógicas. Além disso, foram analisados três

perfis de solo abertos em trincheiras ou aproveitando talude de corte, com descrições morfológicas que seguiram as proposições de SANTOS et al. (2005).

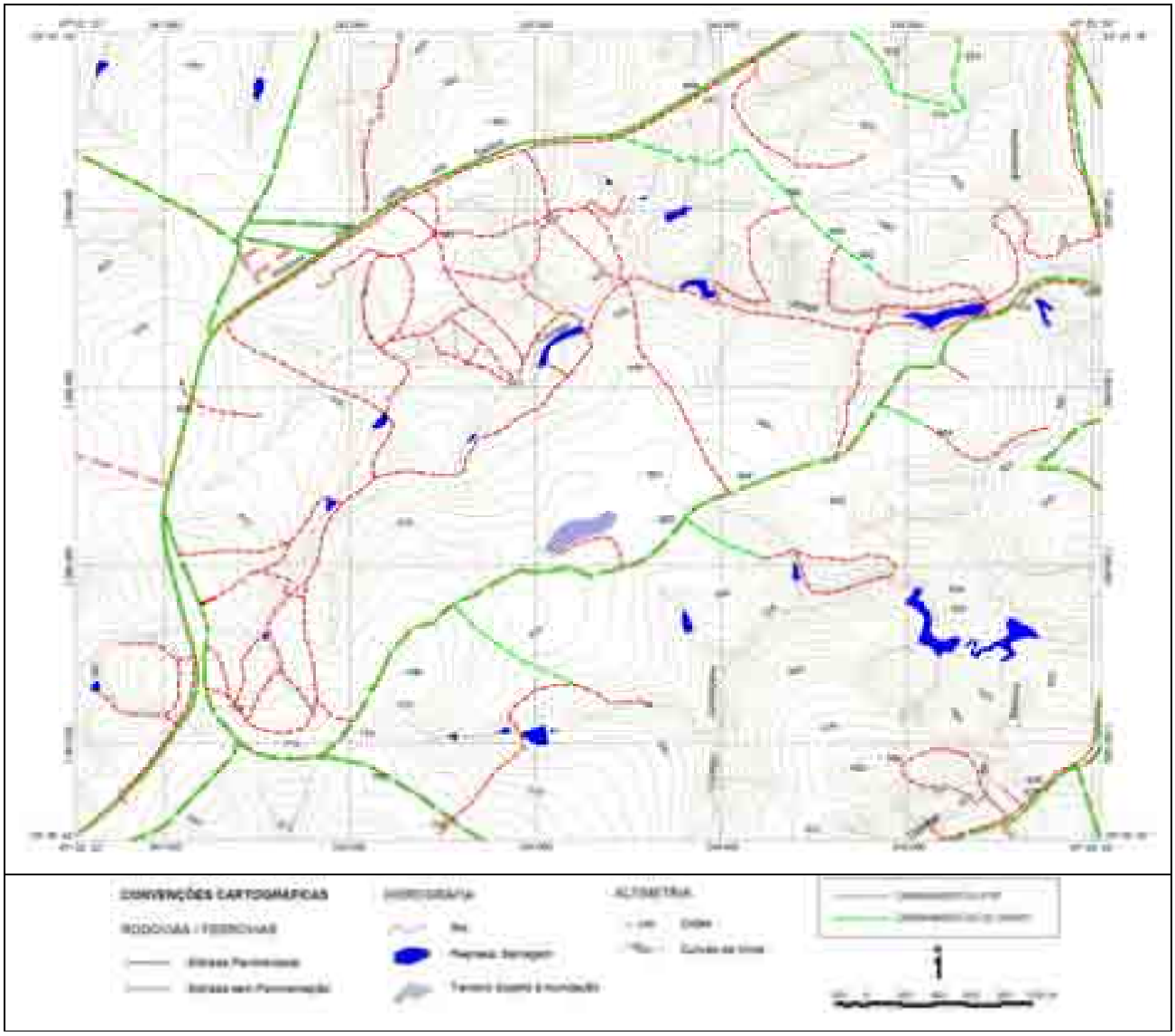


Figura 15. Caminhamentos de campo realizados na área de pesquisa. Org.: FNJV, 2011.

5.2.2 Mapeamentos

Os mapeamentos contaram com a utilização das seguintes técnicas:

a) Vetorização: foram escaneadas as cartas topográficas do IGC em escala 1:10.000 (IGC, 1979a; b; c; d) e georreferenciadas no software MapInfo, tendo curvas de nível, cotas altimétricas, hidrografia e vias de circulação vetorizadas no mesmo software. Tal atividade resultou no **Mapa Base**, que orientou todas as outras delimitações;

b) Delimitação das unidades: as cartas da base cartográfica, hipsometria, declividades, morfologia geologia, geomorfologia, pedologia e geomorfopedologia tiveram suas unidades (polígonos) delimitadas manualmente no software MapInfo, sem qualquer processo automático envolvido. As técnicas utilizadas diferenciaram-se por mapa:

i. No **Mapa Base** optou-se por mostrar os elementos vetorizados e a legenda seguindo o padrão original das cartas topográficas do IGC (1979a; b; c; d), ainda demonstrando a articulação das mesmas, a divisão municipal pertinente e a localização da área de estudo no âmbito nacional e estadual. A fim de facilitar a leitura, preferiu-se a apresentação na escala 1:20.000 e mantiveram-se, no final do mapa, informações relativas à projeção cartográfica, eqüidistância das curvas de nível (5 m), fonte da base cartográfica e autoria, além de na parte de cima do mapa serem inseridos dados da universidade e título da pesquisa. Os demais mapas seguiram igualmente este padrão de apresentação salvo as legendas adicionais;

ii. O **Mapa Hipsométrico** foi delimitado pela preferência dos intervalos altimétricos que melhor representassem a oscilação da topografia, com legenda de cores “frias” para intervalos de altitude mais baixos e cores “quentes” para intervalos de altitude mais elevados, seguindo uma graduação de cores do verde, amarelo, laranja, vermelho e marrom de acordo com a proposta de LIBAULT (1975);

iii. O **Mapa de Declividades** foi confeccionado plotando-se uma carta base em escala 1:10.000 e, utilizando-se um ábaco de declividades, foi seguida a proposta de DE BIASI (1992) para a delimitação das declividades. Foram definidas classes de 0 a 6%, 6 a 12%, 12 a 20%, 20 a 30% e acima de 30% em graduação das cores “frias” para declividades mais baixas e cores “quentes” para declividades mais altas, seguindo uma graduação de cores do verde, amarelo, laranja, vermelho e marrom de acordo com a proposta de LIBAULT (1975);

iv. O **Mapa Morfológico** contou com a delimitação das formas e elementos morfológicos através de aerofotointerpretação e ajuste às curvas de nível e hidrografia vetorizadas. As formas foram elaboradas segundo as características morfológicas contínuas da área de estudo, resultando na delimitação de polígonos de planícies fluviais, vales fluviais, setores de vertente amplos a dissecados, área contínua de

divisores aplainados e topos convexos. Já para a indicação de elementos morfológicos, os símbolos da legenda escolhidos corresponderam a adaptações das proposições de TRICART (1965), SAVIGEAR (1965) e DOORNKAMP & KING (1971), utilizando-se, também, a lógica sistematizada por SOARES & FIORI (1976). Estabelecendo-se que a área de estudo possuía seis tipos de elementos discerníveis na foto aérea (limites dos vales fluviais, vales, mudanças de declive, rupturas de declive, elementos em divisores topográficos e vertentes), foram então preferidos símbolos lineares marrons para os limites dos vales, mudanças e rupturas de declive convexas, símbolos lineares verdes para limites dos vales, mudanças e rupturas de declive côncavas e símbolos lineares vermelhos para limites dos vales, mudanças e rupturas de declive retilíneas. Para os vales, sempre com os símbolos voltados com a base para montante a fim de indicar-se o processo remontante, preferiu-se o símbolo gráfico de “gaivotas voando” com a diferenciação da forma das vertentes em ambas as margens da hidrografia quando convexas, côncavas e assimétricas, além de correspondências auto-explicativas para vales de fundo plano, em “U” ou em “V”. A acentuação ou diminuição dos gradientes dos vales foi indicada pelo fechamento ou abertura dos símbolos, respectivamente. Colos, cristas simétricas e assimétricas e vertentes foram indicadas por símbolos lineares-padrões na literatura citada, com adaptações em virtude dos recursos digitais disponíveis. Após a aerofotointerpretação, ocorreu ajuste do overlay à base vetorizada (escaneamento e vetorização), sendo então os símbolos inclusos na base digital;

v. O **Mapa Geológico** contou com a delimitação das litounidades, sendo que a legenda respeitou o tempo geológico e a estratigrafia. As descrições da litologia seguiram as características encontradas nos levantamentos de campo, e a nomenclatura foi adaptada às indicações, grupos e formações geológicas apresentadas por ALMEIDA et al. (1981). Antes dos levantamentos de campo, foi feito um aerofotolevantamento dos lineamentos na região e na área de estudo, de acordo com critérios estabelecidos por SOARES & FIORI (1976). Na legenda de convenções cartográficas foram indicadas as diferenciações das atitudes medidas (mergulhos e direções), se foliação ou estratificação (onde no mapa podem ser vistos os valores

dos mergulhos e seus rumos), além dos lineamentos estabelecidos por aerofotointerpretação. As cores da legenda foram adaptadas das indicações de ALMEIDA et al. (1981) e TEIXEIRA et al. (2009a; b);

vi. O **Mapa Geomorfológico** foi resultado de uma combinação entre o mapa morfológico e geológico, com legenda adaptada às proposições de ROSS (1991; 1992). Foram estabelecidos 6 táxons situando o contexto geomorfológico da área de estudo da macro para a microescala: unidade morfoestrutural, com diferenciação da gênese segundo a litologia (1º táxon), unidade morfoescultural (2º táxon), formas do relevo discernidas em sua ocorrência pela divisão genética da morfoestrutura (3º táxon), elementos morfológicos que compõem o modelado (4º táxon), intervalos altimétricos, declividades, tipos de solo e unidades litológicas (5º táxon), e processos de superfície que indicassem as feições erosivas, processos predominantes de acumulação ou denudação e depósitos ou materiais de alteração expostos na superfície (6 táxon). No mapa foram desenvolvidos também 5 perfis geológicos (NW-SE, SW-NE, WNW-ESE, WSW-ENE e NNW-SSE), ajustados aos alinhamentos das coletas de solo preteridas para análise laboratorial (vide **Capítulo 7**), em escala vertical de 1:5.000 e escala horizontal de 1:20.000. Os símbolos dos elementos morfológicos seguem com legenda idêntica à do mapa morfológico. Quatro pequenos mapas foram inseridos para demonstrar as compartimentações quanto à gênese da morfoestrutura, morfologia, hipsometria e declividades. Na legenda das convenções padronizadas, há indicações dos dados geológicos e da localização dos pontos de amostras de solo que foram encaminhadas ao laboratório, também indicadas em sua localização nos perfis geológicos. Seguem no mapa também algumas notas explicativas;

vii. O **Mapa Pedológico** correspondeu à delimitação das unidades de solo estabelecidas de acordo com os resultados das análises de laboratório e os levantamentos de campo (tradagens e análises morfológicas de perfis). Foram delimitadas unidades de Latossolo Vermelho, Cambissolo com horizonte B latossólico, Cambissolo e Gleissolo, que seguiram a distribuição dos pontos amostrados e o delineamento das curvas de nível por estas indicarem também alguns limites morfológicos e geológicos. As cores da legenda foram adaptadas das indicações de IBGE (2007), assim como a nomenclatura;

viii. O **Mapa Geomorfopedológico** correspondeu a uma síntese do mapa geológico, geomorfológico e pedológico, indicando em suas unidades as formas de relevo, os tipos de solo e o substrato geológico para cada uma das unidades; nestas, há a representação de uma vertente tipo com os solos e litologias associados, para cada uma das unidades (quatro no total).

5.2.3 Laboratório

As técnicas de Laboratório corresponderam às análises físicas, químicas e mineralógicas executadas nos Laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) e às análises químicas realizadas no Laboratório do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), a seguir descritas:

a) Análise física (ESALQ): correspondeu à análise granulométrica pelo método do densímetro, compreendendo as areias muito grossa, grossa, média, fina e muito fina, além do silte e da argila, segundo procedimento contido em DANE & TOPP (2002). As classes de diâmetro consideradas foram: areia total (AT) = 2 a 0,05 mm; silte = 0,05 a 0,002 mm (S); e argila total com dispersante (A) < 0,002 mm. As classes de textura consideradas foram: argila (com dispersante) até 149 g/kg = arenosa (ar); de 150 a 249 g/kg = média arenosa (md-ar); de 250 a 349 g/kg = média argilosa (md-arg); de 350 a 599 g/kg = argilosa (arg); de 600 g/kg ou superior - muito argilosa (m-arg);

b) Análise química (IAC): correspondeu à análise de fertilidade, baseada nos métodos expostos por CAMARGO et al. (2009). Foi feita análise de pH, complexo sortivo, fósforo, acidez potencial, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e matéria orgânica, descritos nas seguintes unidades e designações: MO – matéria orgânica (em g/dm³); pH H_2O – pH do solo em água; P em mg/dm³; K^+ em mmolc/dm³; Ca^{2+} em mmolc/dm³; Mg^{2+} em mmolc/dm³; Al^{3+} em mmolc/dm³; B em mg/dm³; Cu em mg/dm³; Fe em mg/dm³; Mn em mg/dm³; Zn^{+2} em mg/dm³; H+Al – acidez potencial em mmolc/dm³; SB – soma de bases em mmolc/dm³; CTC – capacidade de troca catiônica em mmolc/dm³; V% - saturação por bases em %;

c) Análise química (ESALQ): correspondeu à extração de óxidos de Si, Al, Ti, Fe e Mn com valores em %, além dos cálculos da relação sílica-alumina (relação Ki) e

sílica-sesquióxido (Kr), de valores adimensionais. A sílica foi extraída por solução $NaOH_2O$ determinada por gravimetria; a alumina foi determinada por complexometria pelo EDTA (ácido etilenodiaminotetracético); Ti foi determinado pela oxidação da matéria orgânica e colorimetria; e o Fe e Mn foram extraídos pelo ataque sulfúrico (H_2SO_4 a 50%), segundo métodos determinados pelo referido laboratório;

d) Análise mineralógica: correspondeu à identificação dos principais constituintes mineralógicos da fração argila (<2µm), por difração dos raios X. A preparação das amostras seguiu as recomendações de JACKSON (1973), BRINDLEY & BROWN (1984), KUNZE & DIXON (1986) e MOORE & REYNOLDS (1997), e a identificação das fases foi feita com base nas tabelas fornecidas em BRINDLEY & BROWN (1984) e RESENDE et al. (2005). Foram fornecidos ao pesquisador interpretações expeditas e comentários dos difratogramas pelo laboratório, além de arquivos com os resultados da difratometria. As difrações foram reproduzidas em gráficos indicando os picos de intensidade relativa (identificada por "Intensity", em unidade arbitrária, ou "Arbitrary Unit – A.U.") no eixo vertical y, e a posição da onda de acordo com o ângulo 2ɵ, no eixo horizontal x. Nos difratogramas mostrados no **Capítulo 7**, os argilominerais foram indicados de acordo com o tratamento utilizado para as amostras (expansivos – Mg+G e Mg25 e de aquecimento – k25, k300 e k500), e os espaçamentos foram inseridos no tratamento intermediário k25 com a unidade por nanômetro – nm (equivalente a 10^{-9} m ou 10 Angstrons).

5.3 Materiais

São descritos abaixo os materiais utilizados durante as etapas de trabalho descritas a partir da página 63.

- Base cartográfica:

a) Cartas topográficas em escala 1:10.000 (IGC 1979a; b; c; d);

b) Imagem SRTM;

c) Fotografias aéreas (BASE 1962a; b, c; d; AEROCARTA, 2006).

- Equipamentos:

  a) Trado holandês, luvas e cabos de emenda;

  b) Martelos (geológicos e pedológicos);

  c) Facas;

  d) Trenas;

  e) Imã;

  f) Lupa;

  g) Tabela de Cor Munsell;

  h) Saquinhos zip para coleta de amostras;

  i) Bússolas geológicas (modelos Brunton e Klar);

  j) Microscópio ótico;

  k) Estereoscópios de bolso e de espelho;

  l) GPS;

  m) Pá;

  n) Enxada;

  o) Automóvel;

  p) Trator;

  q) Difratômetro de bancada com monocromador de grafite, sistema Rigaku Miniflex II.

- Base de dados:

    a) Dados de temperatura e pluviometria do município de Sorocaba (INMET, 2011);

    b) Dados de análises granulométricas de amostras de solo (ESALQ);

    c) Dados de análises químicas de amostras de solo (ESALQ e IAC);

    d) Dados de análises mineralógicas de amostras de solo (ESALQ).

- Apoio bibliográfico:

    a) Bibliografia teórico-metodológica;

    b) Bibliografia sobre a área de estudo.

6. SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS ANTERIORES

Apresenta-se a seguir uma caracterização geral do meio físico em que se insere a área de estudo, baseada na bibliografia pesquisada, para então ser relatada no **Capítulo 7** sua caracterização específica segundo o escopo deste trabalho.

6.1 Clima

O município de Sorocaba e seu entorno são inicialmente protegidos pelo Planalto Atlântico das chuvas originadas dos sistemas frontais, embora ainda concentrem o período chuvoso como na maior parte do Estado (de outubro a março) e o regime seja controlado por massas equatoriais e tropicais (MONTEIRO, 1973), com precipitações médias anuais de 1.500 a 1.600 mm. O período mais seco se distribui de junho a agosto, e a temperatura média anual se mantém em torno de 22ºC (MONTEIRO,1973). Tais características conferem uma área de transição à referida região, podendo os climas ser do tipo Cwa (clima com chuva de verão e verão quente), Af (clima tropical chuvoso de floresta) ou Cfa (clima úmido em todas as estações com verão quente) de acordo com a classificação de Köppen (**Figura 16**).

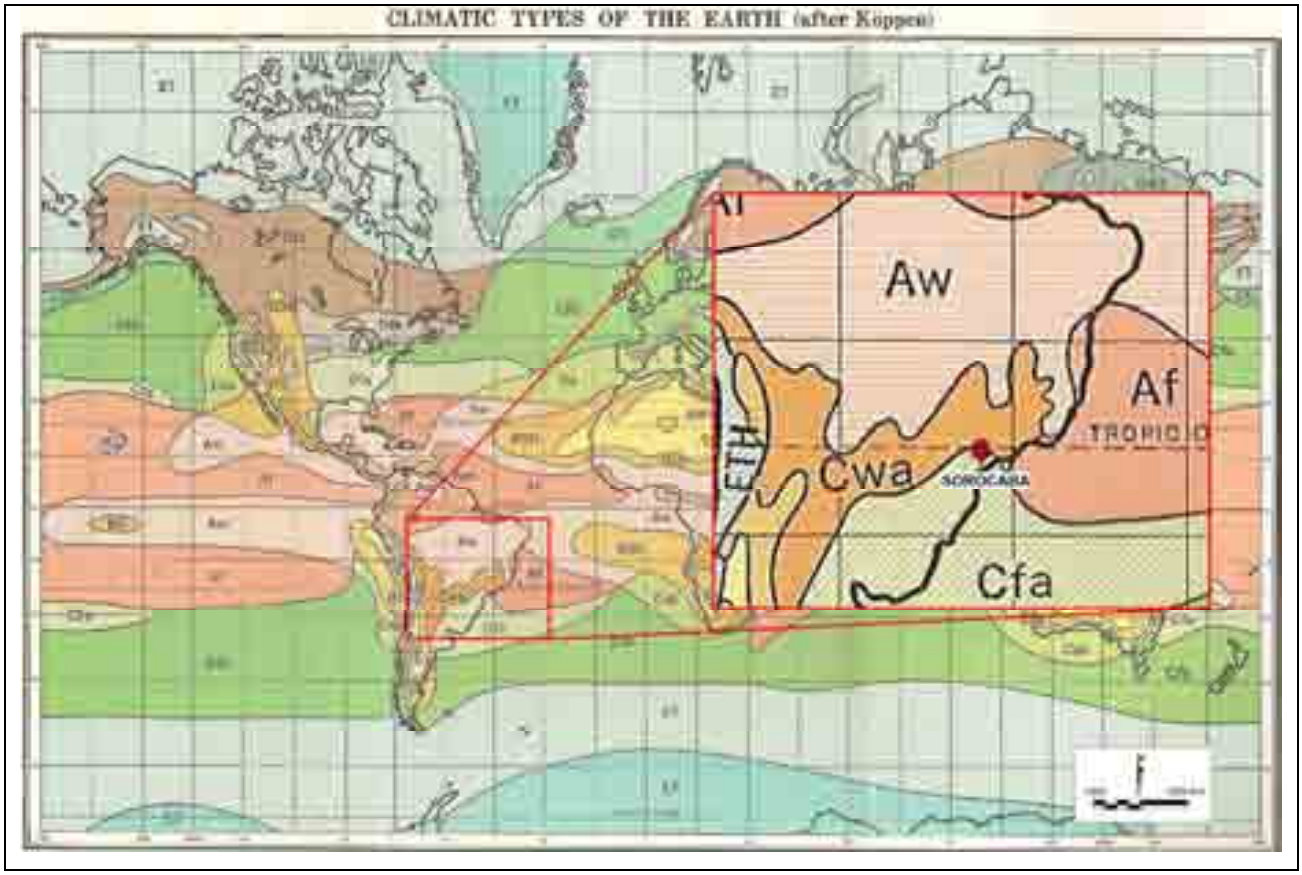


Figura 16. Climas segundo a classificação de Köppen para o município de Sorocaba e região (HAURWITZ & AUSTIN, 1944). Org.: FNJV, 2011.

Segundo os dados do INMET (2011), disponíveis sem interrupção apenas nos períodos de 1978 a 1990 e 2002 a 2010, há um período de menor pluviosidade que se inicia em abril e persiste até agosto ou setembro, com os menores volumes de chuva nos meses de junho a agosto. As temperaturas máximas se mantém acima de 28ºC no verão e as temperaturas mínimas se mantém abaixo dos 13ºC no inverno. Pelos **Gráficos 1** e **2** nota-se que na última década a pluviosidade aumentou no verão e as temperaturas máximas e mínimas tiveram ascensão tanto no verão quanto no inverno.

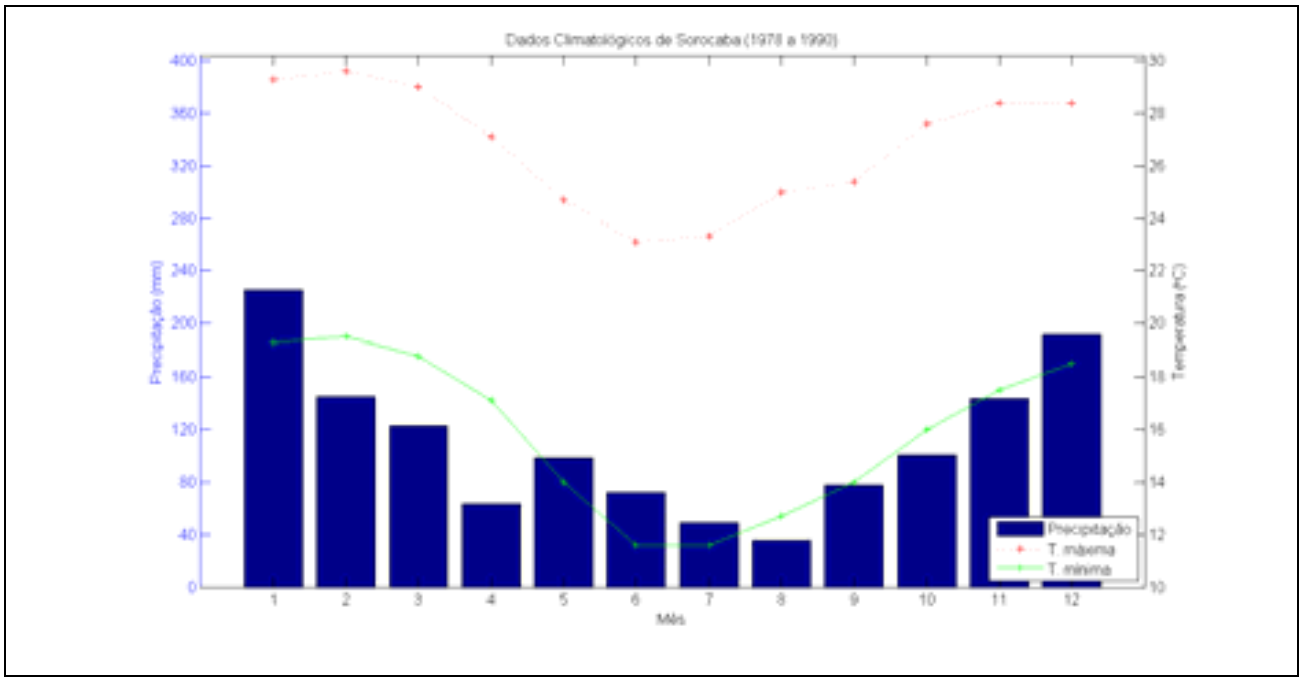


Gráfico 1. Precipitação, temperaturas máximas e temperaturas mínimas médias mensais para o município de Sorocaba, segundo INMET (2011). Período de 1978 a 1990. Org.: FNJV, 2011.

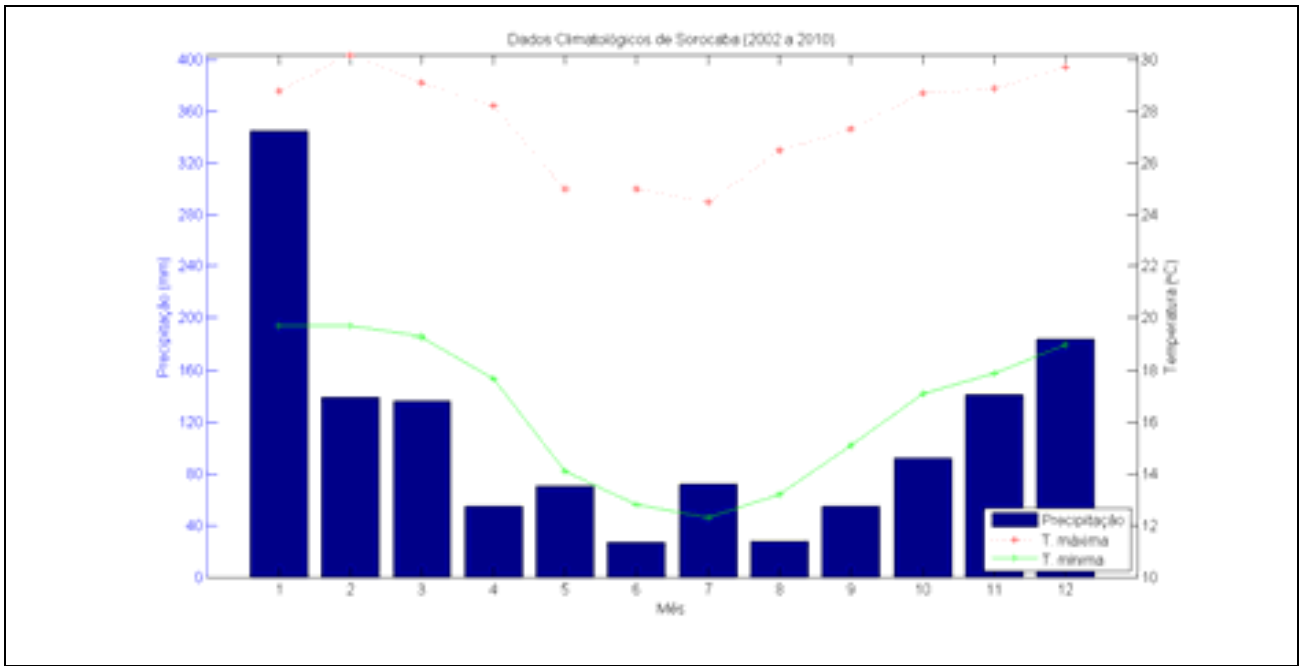


Gráfico 2. Precipitação, temperaturas máximas e temperaturas mínimas médias mensais para o município de Sorocaba, segundo INMET (2011). Período de 2002 a 2010. Org.: FNJV, 2011.

6.2 Geologia

ALMEIDA et al. (1981) delimitam três unidades geológicas para a área de pesquisa e arredores (**Figura 17**), da mais antiga para a mais recente:

- Metassedimentos do Grupo São Roque: quartzitos, quartzitos feldspáticos com metarcósios e metagrauvacas subordinadas;

- Suítes Graníticas Sintectônicas da Fácies Cantareira: Corpos para-autóctones e alóctones, foliados, granulação fina a média, textura porfirítica frequente; contatos parcialmente concordantes e composição granodiorítica a granítica;

- Sedimentos do Grupo Tubarão, Formação Itararé: depósitos glaciais continentais, glácio-marinhos, fluviais, deltaicos, lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, com raras camadas de carvão.

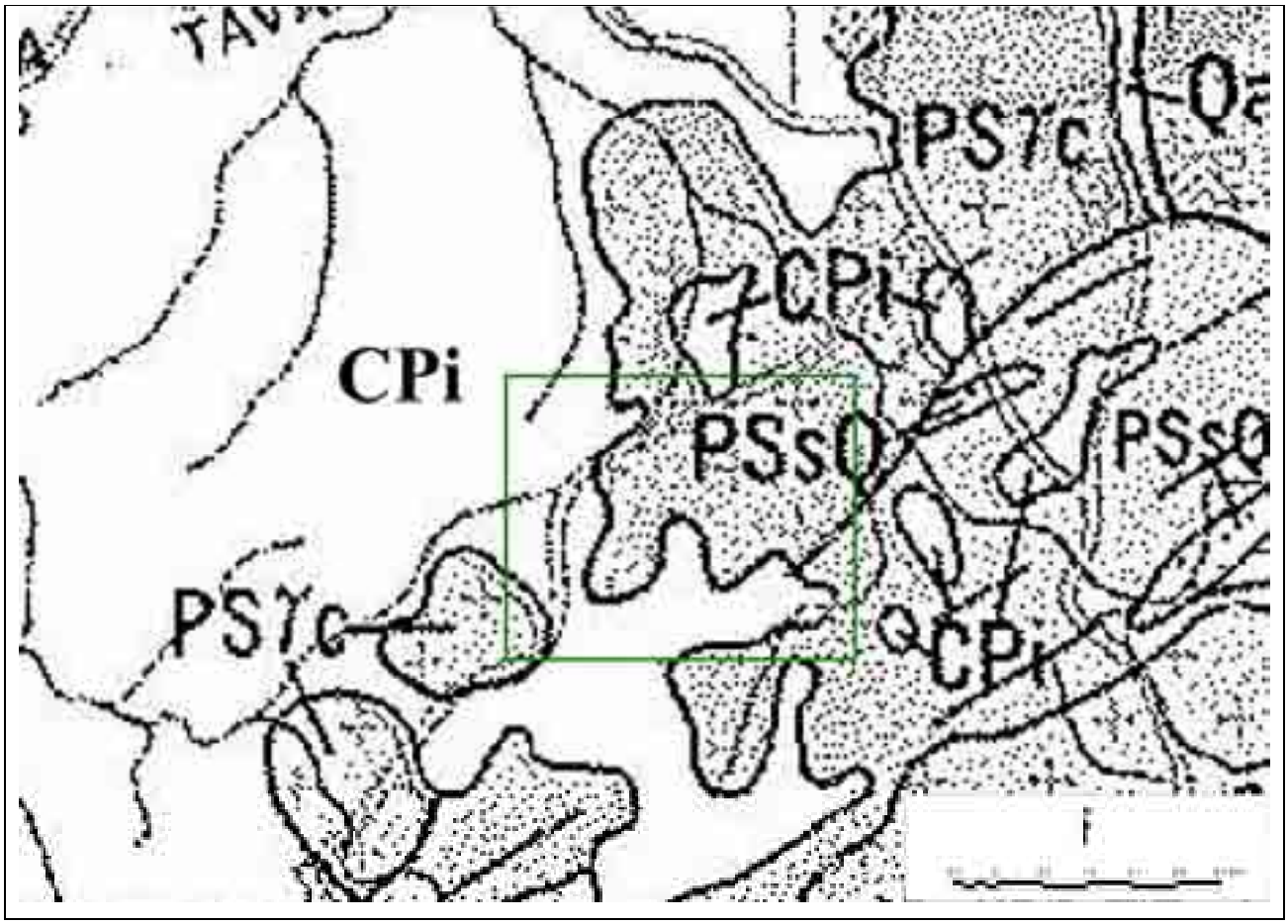


Figura 17. Unidade geológicas de acordo com ALMEIDA et al. (1981). Legenda: PSsQ: Grupo São Roque; PSYc: Suíte Granítica; CPi: Sedimentos Paleozóicos. Org.: FNJV, 2011.

6.2.1 Grupo São Roque

Por ser área de transição do embasamento cristalino para a cobertura sedimentar, a base da estratigrafia é preenchida pelos metassedimentos neoproterozóicos do Grupo São Roque (ALMEIDA et al., 1981), compostos por metarritmitos de granulação fina e foliação bem desenvolvida, quartzitos de granulação fina a média de estrutura maciça e filitos grafitosos de foliação desenvolvida. Tais unidades sofreram metamorfismo regional de baixo grau (SILVA, 1997; TEIXEIRA et al., 2009a; b) e possuem estrutura geralmente subvertical, condicionando o sistema de drenagem através de falhas ou zonas de cisalhamento oriundos da tectônica dúctil-rúptil, que posiciona muitas vezes os lineamentos em planos ortogonais.

6.2.2 Suíte Granítica

A suíte granítica da Fácies Cantareira constitui a maior representatividade do Pré-Cambriano, apesar do quadro geocronológico poder situar os processos brasilianos no fim do Proterozóico Superior ao Cambro-Ordoviciano (ALMEIDA et al., 1981). De fato, o granito Sorocaba compõe um batólito de idade cambriana e atualmente é caracterizado como *maciço*.

A primeira referência ao granito de Sorocaba foi feita por Guilherme Florence em 1907, quando integrante da Comissão Geográfica e Geológica da Província de São Paulo, que o nomeou como “Granito Varejão” (GODOY, 1989). Mais tarde, trabalhos nas décadas de 1940 e 1950 na Serra de São Francisco (7 Km ao sul da área de estudo) e arredores caracterizaram o granito Sorocaba como um *maciço* porfirítico anfibolítico, descrevendo veios de quartzo e identificando minerais como cassiterita, molibdenita e pirita. Trabalhos posteriores, principalmente de Yociteru Hasui, designaram definitivamente os corpos ocorrentes como granitos, compostos predominantemente de feldspato potássico (microclínio), plagioclásio albítico, quartzo e minerais máficos como a biotita. Outros acessórios comuns são a muscovita, fluorita, sericita, apatita, epídoto, pirita e zircão (GODOY, 1989).

O Maciço Sorocaba apresenta formas alongadas segundo a orientação geral dos dobramentos das rochas encaixantes e caracteriza núcleos antiformes. Em geral, são concordantes com as rochas encaixantes do Grupo São Roque (GODOY, 1989).

6.2.3 Sedimentos Paleozóicos

Quanto aos depósitos glaciais paleozóicos, a área de estudo se encontra na borda da Bacia Sedimentar do Paraná, uma das maiores bacias fanerozóicas brasileiras e que melhor retrata os processos acontecidos durante a existência do supercontinente de Gondwana

(BIGARELLA et al., 1967). Por se encontrar em uma zona de deposição que teve significativa sedimentação continental glacial durante os períodos Carbonífero e Permiano (AB'SÁBER, 1948; 1964; RICH, 1951; MAACK, 1961; BIGARELLA et al., 1961a; SALAMUNI, 1961; MARTIN, 1964; AMARAL, 1965; MAACK, 1966; SALAMUNI et al., 1966; BIGARELLA & SALAMUNI, 1967; FRAKES & FIGUEIREDO FILHO, 1967; ROCHA-CAMPOS, 1967; FRAKES & CROWELL, 1972; ROCHA-CAMPOS, 2000a, b; CASTRO, 2004), a área pesquisada possui no topo de sua estratigrafia uma cobertura silto-argilosa resultante do movimento indireto de geleiras, com diversas fácies devido à seqüência de eventos que caracterizaram o clima polar gondwânico. Estudos de diversos autores em relação à rocha moutonnée de Salto e aos afloramentos nos cortes de estrada (ALMEIDA[7], 1948; ALMEIDA[8], 1953 *in* CASTRO, 2004; ROCHA-CAMPOS, 2000b) mostram que os movimentos das geleiras continentais permo-carboníferas de Gondwana seguiam orientação SE-NW, cujo material proveniente da ação do gelo/degelo recobriu as colinas da região com material de granulometria variada, com argilosidade crescente para cima (**Fotos 1** e **2**).

Fotos 1 e **2.** A rocha moutonnée de Salto (esquerda) e o varvito de Itu (direita) são os principais testemunhos das glaciações permo-carboníferas que atingiram a borda da bacia do Paraná. No primeiro, estrias, marcas em crescente e depósitos estratificados mal selecionados (tilitos) indicam a ação durante o movimento das geleiras; no segundo, a estratificação indica um ambiente glácio-lacustre, com alternância de camadas mais grossas e mais claras e mais finas e mais escuras em razão do congelamento e degelo da superfície do antigo lago durante invernos e verões neopaleozóicos. Notar tilito na **Foto 2** gerando discordância no acamamento. Fotos: FNJV, 09/02/07.

[7] ALMEIDA, F. F. M. **A "Roche Moutonnée" de Salto.** São Paulo: Esc. Politécnica/USP, *Geologia e Metalurgia* n. 5, 1948, p. 112-118.

[8] ALMEIDA, F. F. M. **Deformações Causadas Pelos Gelos na Série Tubarão em S. Paulo.** Rio de Janeiro: DNPM-DGM, Notas Prel. e Estudos n. 64, 5p.

A Bacia Sedimentar do Paraná é a maior bacia gondwânica da América, situando-se nos Estados do sul do Brasil, bem como às Repúblicas vizinhas do Uruguai, Paraguai, Argentina e Bolívia. É classificada por ALMEIDA (1964) como intracratônica, um autogeossinclíneo alojado nas estruturas pré-cambrianas cujas orientações devem ter influído em sua configuração original e interferiram nos processos diastróficos que a afetaram. Sua sedimentação foi predominantemente continental do Carbonífero ao Triássico, tendo possuído ambiente marcadamente marinho no Devoniano (AB'SÁBER, 1964; ALMEIDA & CARNEIRO, 2004), que regrediu no Devoniano Médio após recobrir área aplainada por superfície de erosão muito evoluída. A individualização da Bacia, com progressivo confinamento, tomou limites mais definidos a partir do Carbonífero, cuja sedimentação neopaleozóica foi quase que unicamente detrítica e atestou episódios glaciais e transgressões marinhas locais. O máximo confinamento aconteceu no Permiano Superior, quando a Bacia assistiu a deposição de dolomitos e folhelhos betuminosos. A partir daí, a Bacia deixou de funcionar como entidade autônoma, e no Triássico a deposição já excedia seus limites (ALMEIDA, 1964).

O Subgrupo ou Formação Itararé (que, apesar dos diferentes posicionamentos de sua unidade litoestratigráfica na literatura, o posicionam como pertencente ao Grupo Tubarão), corresponde à fase de deposição neopaleozóica da Bacia do Paraná, e se estende desde o Estado de Santa Catarina até o Estado de Minas Gerais, passando pelo Paraná e São Paulo (CANUTO et al., 2001). É composta por arenitos de matriz fina e cimentada contendo diamictitos polidos, alternados a camadas com seixos maiores e estratificação cruzada bem desenvolvida; acima destes encontra-se siltito argiloso, empastilhado e de estrutura maciça, com estratificação plano-paralela e níveis de areia fina, algumas vezes podendo aparecer marcas de onda.

Não existem perfurações de poços que possam comprovar uma seqüência bem definida da cobertura sedimentar no quadrante considerado nesta pesquisa. Segundo informações, os sedimentos paleozóicos entre os municípios de Salto de Pirapora e Sorocaba possuem uma espessura média de 40 m, com conteúdos por vezes carbonáticos. Um levantamento realizado pelo IG (2009) mostra uma perfuração 9 km a NW da área de estudo (distrito de Jundiaquara, município de Araçoiaba da Serra), em que a profundidade atingida foi de 212 m, até atingir o granito róseo do embasamento. Nesta perfuração, foram consideradas seis sucessões litológicas, as quais a partir da base são: a) tilito, passando gradativamente para arenitos e clásticos mais finos; b) seção inferior de sedimentos finos; c) seção inferior de intercalações de diamictitos com sedimentos finos; d) seção média de sedimentos finos; e) seção superior de intercalações de diamictitos e sedimentos finos; f) sedimentos finos de topo.

Nas seqüências mais superiores, de (c) a (e), IG (2009) aponta que as sucessões representariam avanços glaciais que não chegariam a produzir depósitos originados diretamente pelo gelo, mas provocariam aumento da carga detrítica carregada pela água do

degelo. Os depósitos finos da sucessão (d) representariam novo recuo glacial e condições de sedimentação semelhantes às que originaram os depósitos da sucessão (b). A presença de fósseis marinhos nos depósitos finos aflorantes na rodovia Raposo Tavares levaram à conclusão de que a sucessão (f) tratava-se de clásticos finos (siltitos) depositados sob condições marinhas.

Na **Figura 18** é possível observar que os siltitos e ritmitos compõem o topo da estratigrafia. Entretanto, o levantamento realizado pelo IG (2009) indica que pela topografia, acima da cota altimétrica em que houve a perfuração (620 m), há uma sobreposição de diamictitos de matriz mais arenosa a partir de 670 m até 690 m, isto é, a seqüência estratigráfica pela posição topográfica é encimada por diamictitos e matriz mais grosseira.

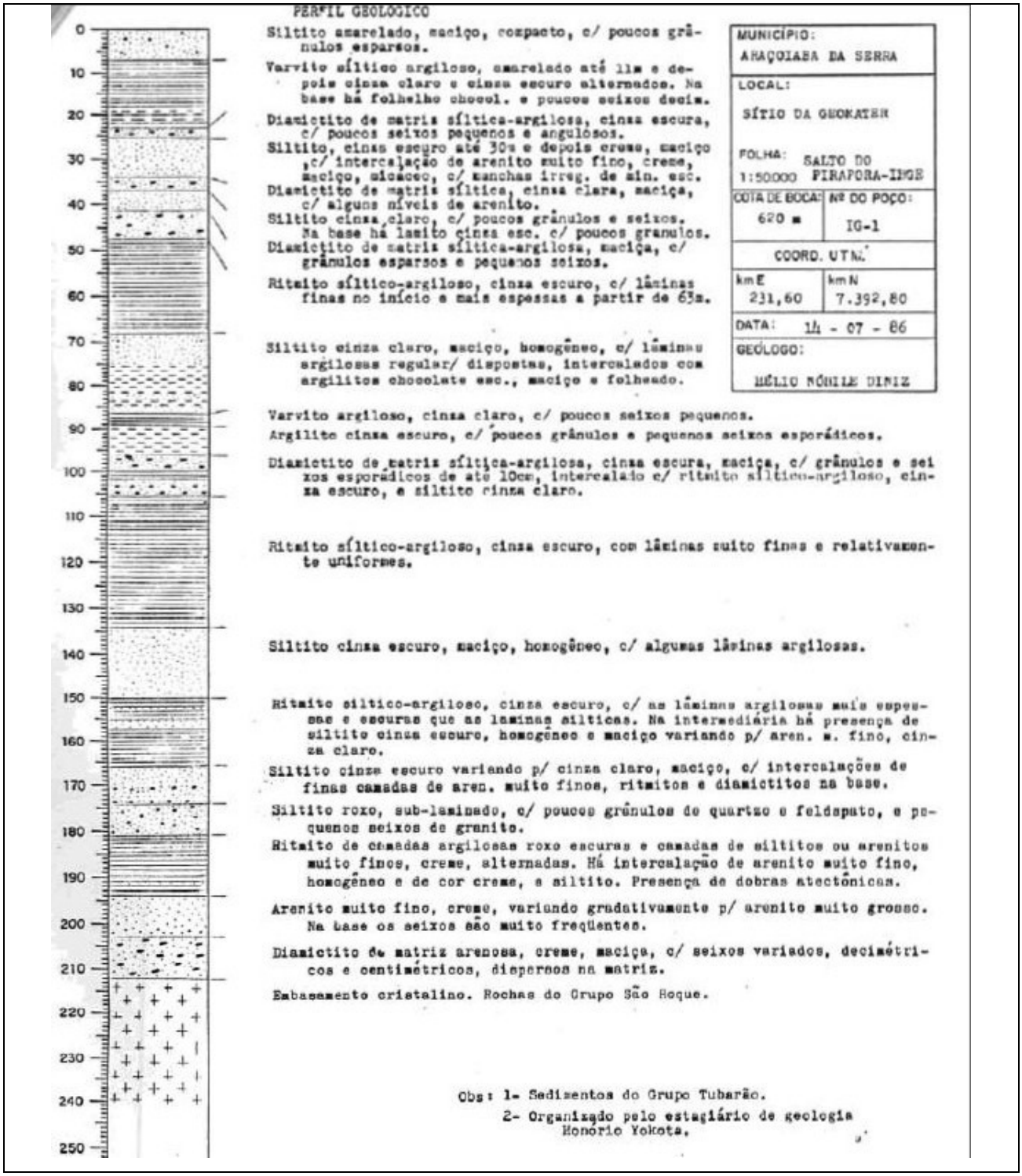


Figura 18. Coluna estratigráfica do poço IG/86 (IG, 2009), cuja perfuração foi realizada em 1986 a 9 km a NW da área de pesquisa. Org.: FNJV, 2011.

Como fica evidente, a geologia do quadrante delimitado neste trabalho e seus arredores é extremamente complexa, devido à variação e paleoambientes diferenciados. A seguir, apresenta-se o levantamento feito por TEIXEIRA et al. (2009a; b) que engloba a área considerada, originalmente em escala 1:50.000 (**Figura 19**). Como este mesmo assim não satisfez a escala de trabalho (1:10.000), o **Mapa Geológico** da área de estudo se faz presente no **Capítulo 7**, juntamente com o levantamento geológico.

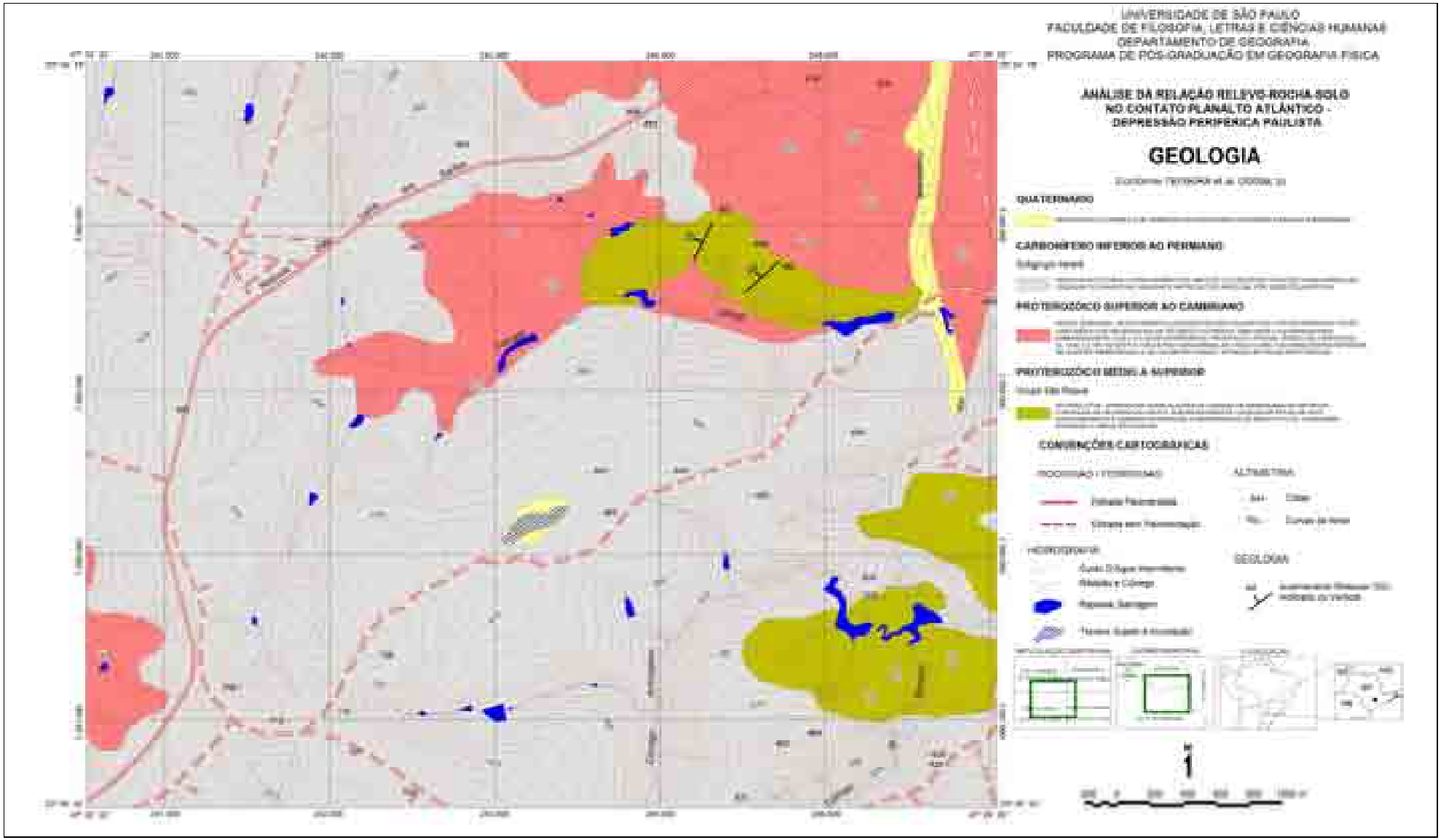


Figura 19. Geologia da área de pesquisa segundo TEIXEIRA et al. (2009a; b). Org.: FNJV, 2011.

6.3 Geomorfologia

A área de pesquisa encontra-se inserida na Depressão Periférica Paulista, esculturada a partir da borda leste da Bacia do Paraná, tendo início por uma ruptura de declive de aproximadamente 200 m que separa tal unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, surgido através da tecto-orogênese pré-cambriana que afetou a Plataforma Brasileira até pelo menos o Eopaleozóico (ALMEIDA, 1967; CORDANI, 2004). A Depressão estende-se por uma faixa de orientação SW-NE, alcançando extensão de mais de 100 Km até deparar-se com seu limite a NW, que são as frentes de *cuesta* sustentadas pelos derrames vulcânicos mesozóicos. AB´SÁBER (1949) identifica a Depressão como "um processo de formação de patamares de erosão, deprimidos e periféricos, na borda de bacias sedimentares". Como o autor cita, o nível de base da unidade é causado pela "circundesnudação", em que a deposição perde predominância para os processos denudacionais que *a priori* ajustam-se à hidrografia regional. Não é coincidência, assim, que a área considerada nesta pesquisa localize-se na Depressão do Médio Tietê (ROSS & MOROZ, 1997, **Figuras 20** e **21**), em que o Rio Tietê ajustou-se aos últimos acomodamentos da tectônica cenozóica e permitiu a configuração de um padrão de drenagem dendrítico a paralelo que ajudou a entalhar o modelado colinoso e de topos amplos da Depressão Periférica Paulista (DPP). Esta corresponde ainda à faixa de ocorrência das seqüências sedimentares infrabasálticas paleozóicas e mesozóicas do Estado de São Paulo, incluindo ainda corpos intrusivos de diabásio e pequenas áreas de rochas pré-cambrianas (MELO & PONÇANO, 1983).

É importante citar que, embora a unidade morfoescultural da DPP marque uma acentuada mudança nos padrões de relevo das grandes unidades adjacentes, quer em movimentação, arranjo da drenagem ou mesmo em amplitudes topográficas - por exemplo, as altitudes na Depressão geralmente estão entre 500 e 700 m, e no Planalto Atlântico a sudeste ultrapassam os 1.000 m - não há um acompanhamento entre modelado e litologia. O relevo colinoso não está diretamente vinculado às litologias sedimentares, pois transgride seus limites e avança sobre rochas graníticas, metamórficas e migmatíticas do embasamento (PONÇANO et al., 1981). CHRISTOFOLETTI (1968) também ressalta que a passagem das formas de relevo do Planalto Atlântico para a Depressão Periférica não é prontamente perceptível. A transição entre o modelado sustentado pelo arcabouço ígneo e metamórfico do escudo cristalino e o modelado sustentado pelas litologias sedimentares da Bacia do Paraná não se apresenta bem definida, sendo em muitas ocasiões dificílimo estabelecer os limites do início de um deles e o término do outro.

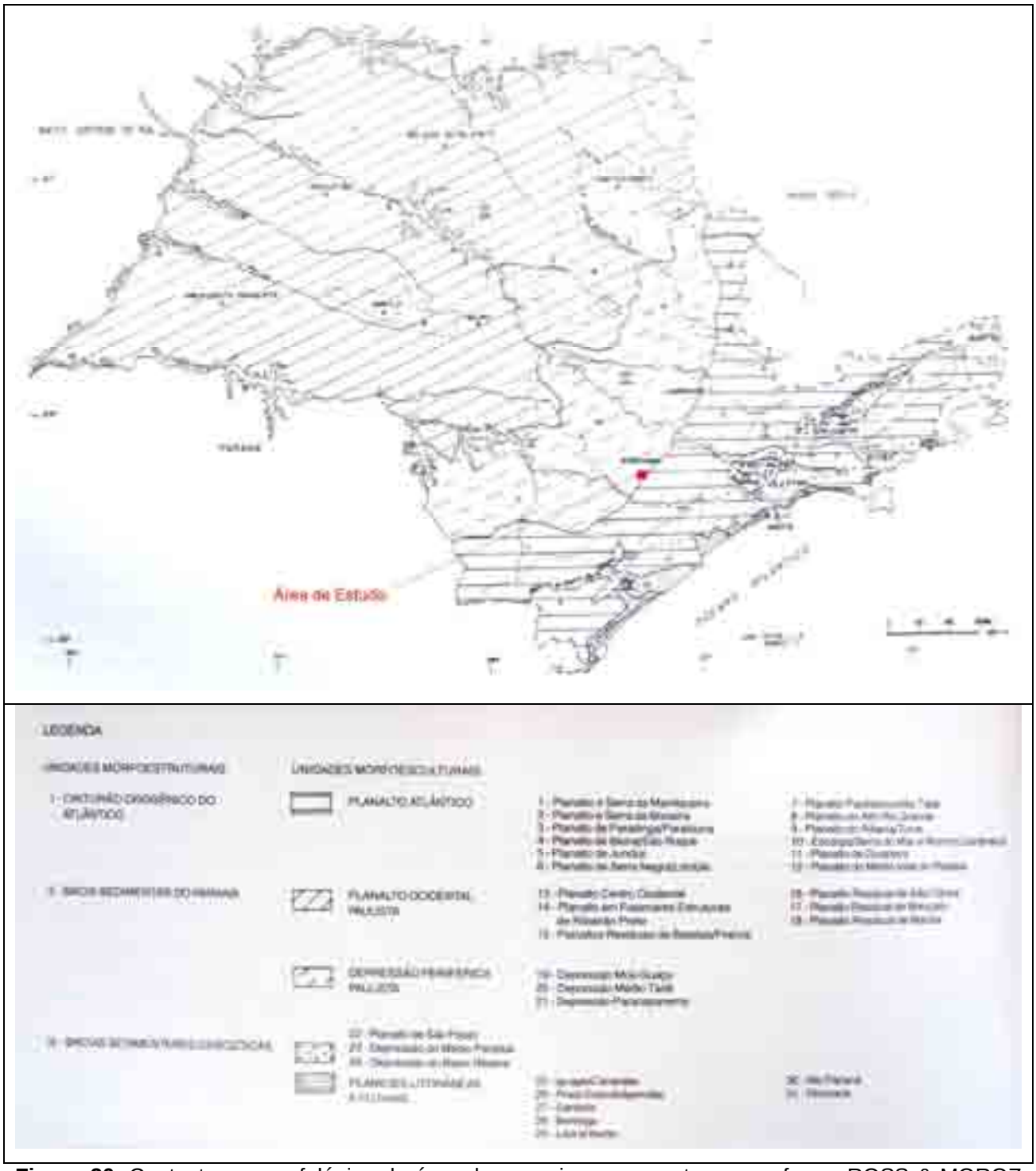


Figura 20. Contexto geomorfológico da área de pesquisa e seu entorno, conforme ROSS & MOROZ (1997). Pela legenda, o quadrante se situa na Unidade Morfoestrutural II – Bacia Sedimentar do Paraná, e na Unidade Morfoescultural da Depressão Periférica Paulista, Sub-Unidade 20 – Depressão do Médio Tietê. Org.: FNJV, 2011.

As formas de relevo da Depressão Periférica são pouco onduladas, configurando colinas de topos amplos e muitas vezes aplainados. O nível de base regional é o trecho médio do Rio Tietê, que flui conseqüentemente pelas camadas paleozóicas, cortando em seus trechos e afluentes mais torrenciais o embasamento granítico.

A macro-compartimentação atual de todo o país se deu a partir do Cretáceo e perdurou por todo o Cenozóico. É fato incontestável que a partir do processo de soerguimento da Plataforma e epirogênese pós-cretácea que os processos circundenudacionais desenvolveram-se (AB´SÁBER, 1969b); ao mesmo tempo em que ocorreu o soerguimento do continente sul-americano, as atividades erosivas rebaixaram os terrenos que foram sendo mais expostos (ROSS & MOROZ, 1997). Em função da maior ou menor intensidade da atuação da neotectônica, dos diferentes graus de resistência das litologias, dos diversos arranjos estruturais e da maior ou menor agressividade climática em função das alternâncias ao longo do Terciário e Quaternário entre ciclos semi-áridos e ciclos úmidos, gerou-se uma rica diversidade de fisionomias geomorfopedológicas (ROSS & MOROZ, 1997).

Tal mosaico, iniciado no Cretáceo, sofreu a ação de uma série de paleoclimas até resultar nas áreas extensas e gradativamente aplainadas que cortam os escudos brasileiros até as unidades das bacias sedimentares, identificadas como superfícies de aplainamento, que representam a esculturação do interior do Estado de São Paulo a partir da unidade do Planalto Atlântico rumo à unidade da Depressão Periférica Paulista (vide **Figuras 21** e **22**).

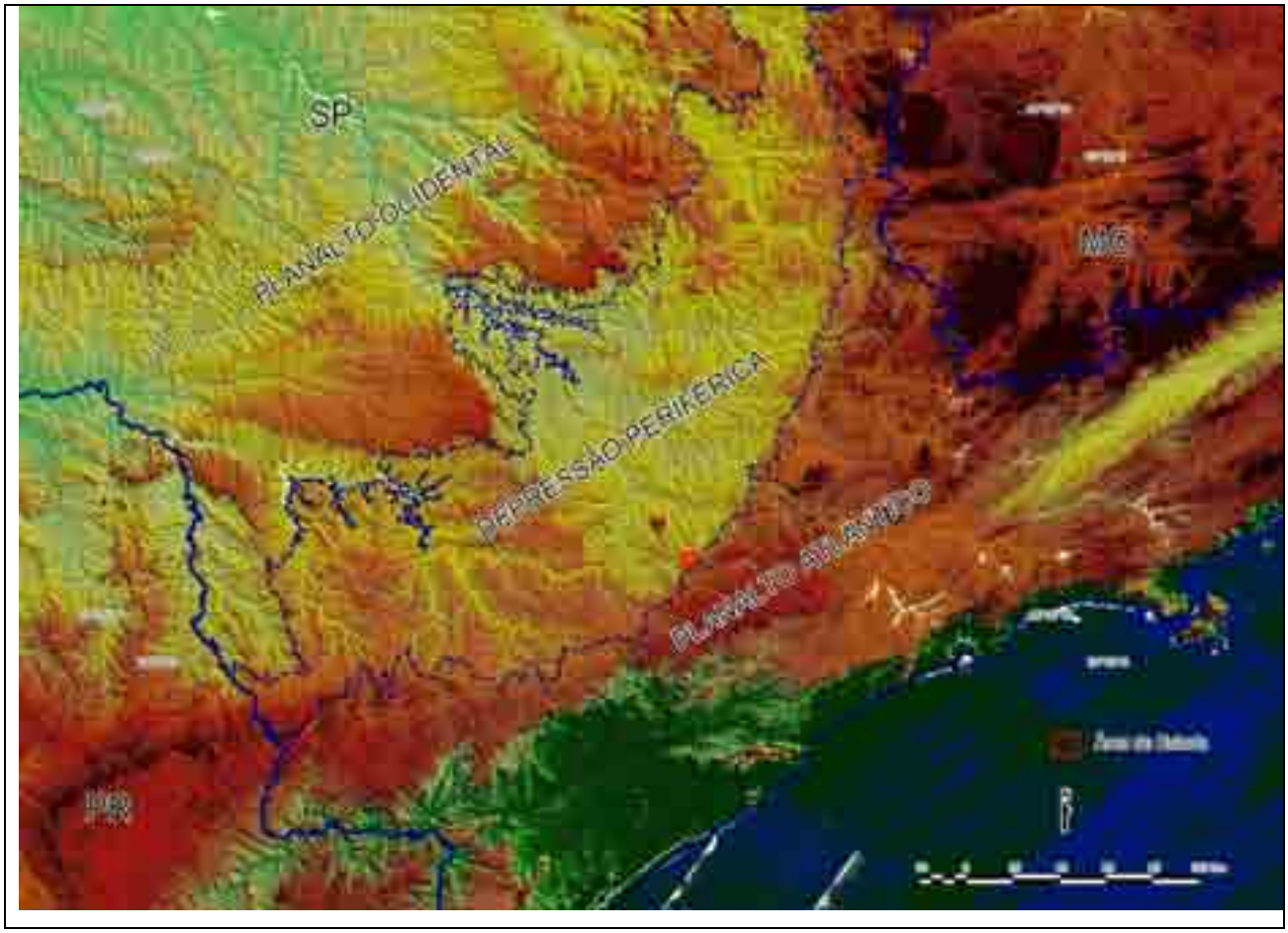


Figura 21. Divisão das três principais unidades morfoesculturais no Estado São Paulo, a partir de ROSS & MOROZ (1997). Fonte: Imagem SRTM. Org.: FNJV, 2011.

6.3.1 A Unidade Morfoestrutural do Planalto Atlântico

Embora o Planalto Atlântico de fato esteja a alguns quilômetros da área de estudo deste trabalho, sua proximidade deixa influência inegável sobre os processos existentes no quadrante mapeado. Região de terras altas, é constituído predominantemente por rochas cristalinas pré-cambrianas e cambro-ordovicianas, cortadas por intrusivas básicas e alcalinas mesozóico-terciárias, além de coberturas de bacias sedimentares (PONÇANO et al., 1981).

Para ROSS & MOROZ (1997) o Cinturão Orogênico do Atlântico é a unidade morfoestrutural pré-cambriana em que o Planalto Atlântico insere-se como unidade morfoescultural de três níveis topográficos (acima de 900 m, entre 800 e 900 m e entre 700 e 800 m). Entre o nível mais alto e o intermediário, situam-se o Planalto de Jundiaí e o Planalto de Ibiúna/São Roque, unidades cristalinas mais próximas à área de estudo cujo modelado denudacional é representado por morros altos de topos aguçados e convexos e por vezes colinas, com declividades médias de 20 a 30% e acima de 30%, embasados por granitos, gnaisses, quartzitos e migmatitos. O grau de dissecação destes planaltos é variado, mas se mantém de médio a forte, com alta densidade de drenagem e possibilidade de processos erosivos agressivos. A denudação do Planalto de Ibiúna/São Roque exerce maior influência sobre a área de estudo.

O Planalto de Ibiúna é um planalto cristalino topograficamente bem individualizado e dissecado, com serras que podem ultrapassar os 1.100 m de altitude, sustentadas por rochas graníticas e gnáissicas, ocorrendo também metassedimentos de ampla ocorrência geográfica (PONÇANO et al., 1981). Os sistemas de juntas têm acentuado controle no traçado da rede de drenagem, entre outros controles estruturais como falhas, planos de foliação e xistosidade. A Serra de São Francisco, à jusante da Represa de Itupararanga, representa relevo de morros sustentados por soleira granítica profundamente atravessada pelo Rio Sorocaba, em vale extremamente entalhado, formando um verdadeiro cânion nos granitos rosados aflorantes. Em virtude de sua posição, constitui a principal área-fonte de sedimentos da área de pesquisa.

Os vales do Planalto de Ibiúna geralmente localizam-se em altitudes entre 700 e 800 m, mas os rios que deixam este sistema de serras situam-se em altitudes inferiores ao correrem para a Depressão Periférica ou para outras zonas serranas. Seu limite com a Depressão Periférica a oeste é marcado por morros alongados paralelos que evoluem para colinas ao passar para a referida borda da Bacia Sedimentar do Paraná (PONÇANO et al., 1981, **Figura 22**).

Figura 22. Imagem SRTM demonstrando as diferenças de rugosidade da superfície. Área de estudo em verde. A transição do Planalto Atlântico para a Bacia Sedimentar do Paraná/Depressão Periférica Paulista é marcada pelas vertentes escarpadas da Serra de São Francisco ao sul e sudeste da área de pesquisa. O relevo mais aplainado da Depressão Periférica é interrompido apenas pelos vales fluviais mais aprofundados e pelo Domo de Araçoiaba. Org.: FNJV, 2011.

6.3.2 A Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná

A Bacia Sedimentar do Paraná representa a grande morfoestrutura em que está inserida a área de pesquisa. Trata de uma complexa fossa tectônica de forma elipsoidal encravada no escudo pré-cambriano em vários estados e países, preenchida por sedimentos na maior parte continentais e alguns marinhos, desde o Siluriano (não aflorante no Estado de São Paulo). A principal feição tectônica da Bacia do Paraná é o vasto sistema monoclinal, ligeiramente arqueado, cuja inclinação é dirigida, nos dois lados da bacia, para a zona central (LOCZY & LADEIRA, 1976). ROSS & MOROZ (1997) apontam a Depressão Periférica como sua unidade morfoescultural, e como PONÇANO et al. (1981), identificam as formas escavadas pelo curso médio do Rio Tietê como uma sub-unidade. Esta possui formas denudacionais, de modelado colinoso de topos amplos como dominante, em altitudes entre 500 e 650 m, com declividades médias de 10 a 20% e dissecação fraca a média. A rede de drenagem é bem organizada, destacando-se o Rio Tietê e afluentes como o Rio Sorocaba. A densidade de drenagem é de média a alta, com padrão geralmente dendrítico, mas muitas vezes os cursos podem ser delineados pelo encaixe estrutural do substrato (ROSS & MOROZ, 1997).

6.3.3 A Unidade Morfoescultural da Depressão Periférica Paulista

Os níveis em patamares com superfícies planas e aplainadas, esculpidos em estruturas sedimentares com alternância de litologias tenras e rígidas são encontrados basicamente nas bordas da Bacia Sedimentar do Paraná, esculpidas por processos erosivos circundenudacionais, ou ainda, nas áreas interiorizadas das bacias, posicionados entre os divisores de água. Estes patamares são encontrados nas escarpas produzidas pelo recuo erosivo tanto nas bordas de bacias quanto nos morros, testemunhos comumente encontrados nas proximidades ou ao longo dos interflúvios interiorizados (ROSS & MOROZ, 1997). Estas regiões de borda de bacias sedimentares são identificadas por depressões periféricas, regiões sensivelmente rebaixadas pela erosão, sendo que na porção paulista configura um relevo arrasado entre as serras interioranas mais altas do Planalto Atlântico e as frentes de cuesta basáltica cortadas pelo baixo curso do Rio Tietê.

Para MORAES REGO (1932), a larga depressão aberta no Estado de São Paulo entre a escarpa do Planalto Ocidental e as estruturas da série de São Roque no Planalto Atlântico foi realizada logo depois do Eoceno e reiterada no início do Quaternário, com retirada das camadas terciárias. Este novo delineamento da drenagem adquiriu orientações para oeste por cursos d'água conseqüentes, escavando camadas cretáceas mais tenras e modernas enquanto que os corpos basálticos protegiam o edifício tabular. Com a evolução deste sistema, a leste das erupções mesozóicas se formou uma depressão, desnudando os sedimentos gonduânicos e permitindo a formação de morros testemunhos entre os rios Piracicaba e Tietê. No fim do Terciário e início do Quaternário (?), houve novo ciclo erosivo que aprofundou ainda mais a superfície. As formas criadas na primeira fase erosiva, que atingiu as camadas inferiores do Sistema Santa Catarina (atual Grupo Tubarão), foram completamente refeitas na fase pós-pliocênica, para depois sofrerem ligeiro remanejamento (MORAES REGO, 1932).

AB´SÁBER (1956) identificou a Depressão Periférica Paulista como uma unidade morfológica caracterizada por colinas tabuliformes, em que fica claro a característica monoclinal do mergulho das camadas que a preenchem. SANTOS (1950; 1952) entende a Depressão como um conjunto suavizado, em que o Domo de Araçoiaba, 20 km a NNW da área de estudo, constitui exceção na paisagem, enquanto que ao sul apenas o aspecto apalachiano da topografia mais proeminente da Serra de São Francisco é que se destaca. Para a autora, há também uma zona de relevo tabular dominada por espigões areníticos de topo plano, sustentados pelos sedimentos Itararé.

Para melhor esclarecer as relações entre relevo e estrutura, SANTOS (1950) divide um conjunto de unidades geomórficas na região de Sorocaba, assim delimitadas: a) 1º nível, de 900 m em média, em que se encontram as serras cristalinas como a Serra de São Francisco

ao sul, as serras de Inhaíba e Piragibu a leste e nordeste e a Serra de Araçoiaba (na verdade a estrutura dômica em que está a Fazenda Ipanema); b) 2º nível, de 650 a 750 m, que se estende nos sopés da Serra de São Francisco e representa morros de formas variadas esculpidos sobre rochas xistosas do Grupo São Roque e que a autora citada dá o nome à morfologia de “amorreado”; c) 3º nível, entre 600 a 650 m de altitude, que engloba a zona de relevo tabular típica da Depressão Periférica, que inclusive circunda a Serra de Araçoiaba; d) 4º nível, entre 500 e 550 m, correspondendo às várzeas (sic) do rio Sorocaba e seus afluentes.

6.3.4 Superfícies de Aplainamento

As superfícies aplainadas foram conjugadas segundo a evolução geológica dos planaltos e bacias sedimentares brasileiras, estando dispostas contínua ou isoladamente de acordo com o substrato ou o embasamento e as formas de relevo originadas a partir dos processos endógenos e exógenos. AB´SÁBER (1960) difere quatro tipos de superfícies no país, segundo sua posição: de cumeada ou de cimeira, de larga distribuição nos relevos dos planaltos cristalinos; intermontanas, interplanálticas ou embutidas, localizadas nas depressões periféricas subseqüentes; superfícies fósseis em exumação, de área reduzida, localizadas nas bordas de bacias sedimentares soerguidas e circundesnudadas; e as superfícies de eversão, relativamente modernas e talhadas nos escudos cristalinos próximas às superfícies fósseis exumadas. A área de estudo corresponde à terceira enumerada pelo autor, fazendo parte, portanto, dos ciclos de aplainamento do relevo na transição do embasamento cristalino para a Bacia Sedimentar do Paraná, de idade neogênica ou paleogênica como identificou MARTONNE (1943) ou como analisou KING (1956, 1967).

Para BARTORELLI (2004), a geomorfologia da Bacia Sedimentar do Paraná é conseqüência de sua compartimentação e limites estruturais, cujos reflexos na organização da drenagem foram delineados essencialmente durante o Quaternário, além de períodos de evolução durante o Cretáceo e o Terciário. No Cretáceo, a maior prova consiste nos sedimentos do Grupo Bauru que recobrem os derrames basálticos de idade juro-cretácea, sob condições de clima tropical semi-árido (tempo Bauru); já no Terciário, haveria dois tempos de organização da drenagem. No Paleógeno, a subsidência da Bacia teria facilitado o desenvolvimento de drenagens conseqüentes sobre a cobertura, e a reativação tectônica (tafrogênese) terciária afetaria a superfície de aplainamento do Japi entre o intervalo plio-oligocênico (BARTORELLI, 2004). O entalhe da drenagem seria conseqüente, com esculpimento de relevo caracterizado pela presença da Depressão Periférica e cuestas (MORAES REGO, 1932). Uma reorganização neogênica da drenagem, aparentemente associada a uma atividade neotectônica bastante intensificada (VIEIRA, 1982), promoveu uma

mudança brusca do escoamento para sudoeste, buscando nível de base ainda na região Chaco-Pampeana e conformando o grande vale fluvial do Rio Paraná (BARTORELLI, 2004).

ROSS & MOROZ (1997) apontam que a tectônica cenozóica, promovedora da reativação de falhas antigas e basculamento de blocos que resultaram no aparecimento das Serras do Mar e Mantiqueira, são contemporâneos ao aparecimento da Cordilheira Andina, e, portanto, os diversos degraus altimétricos presentes nos cinturões orogênicos do sudeste do Brasil não correspondem obrigatoriamente às diferentes fases erosivas e sim aos efeitos tectonogenéticos cenozóicos. Em decorrência disto, várias superfícies de aplainamento podem possuir a mesma idade e sua proeminência topográfica corresponder à mesma fase erosiva, em que a tectônica ao longo do Terciário e Quaternário tratou de deformar. Ainda ROSS (1998) chama a atenção para o fato de haver no Quaternário o papel importante do intemperismo e da erosão geoquímica como fatores de rebaixamento da superfície no leste paulista, sendo portanto muito difícil identificar superfícies fósseis apenas pelas diferenças altimétricas da topografia.

6.4 Pedologia

Os documentos disponíveis não permitem uma divisão dos solos pertinente à escala de trabalho da pesquisa, dada as escalas médias ou pequenas com que foram feitos os mapeamentos das instituições. Basicamente se discorre que os solos da região de Sorocaba são tipos associados a relevos suavemente ondulados (topografia pouco movimentada constituída por colinas com elevações de 50 a 100m e declividades de 8 a 20%) a ondulados (topografia pouco movimentada de colinas ou outeiros de declives de 8 a 20%), distróficos, de horizonte A moderado e textura argilosa, pertencendo à ordem dos Latossolos, subordem Vermelho, ou LV42 (OLIVEIRA et al., 1999). Para sudeste, nos limites com o Planalto Atlântico, haveria uma transição para Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA55 (distróficos, de textura argilosa e média argilosa fase não rochosa e rochosa de relevo forte ondulado) com associações de Latossolos Vermelho-Amarelos (distróficos, de textura argilosa, em relevo forte ondulado e montanhoso ambos de horizonte A moderado), mostrados na **Figura 23**. De fato, no limite SE da área de pesquisa há transição para Argissolos Vermelho-Amarelos, mas existem associações de Latossolos Vermelhos e Cambissolos não delimitadas, assim como ocorrências de Cambissolos que não se fazem presentes em OLIVEIRA et al. (1999) em razão da escala utilizada no mapeamento (1:500.000). Uma delimitação mais detalhada das unidades de solo pode ser conferida no **Capítulo 7** deste trabalho.

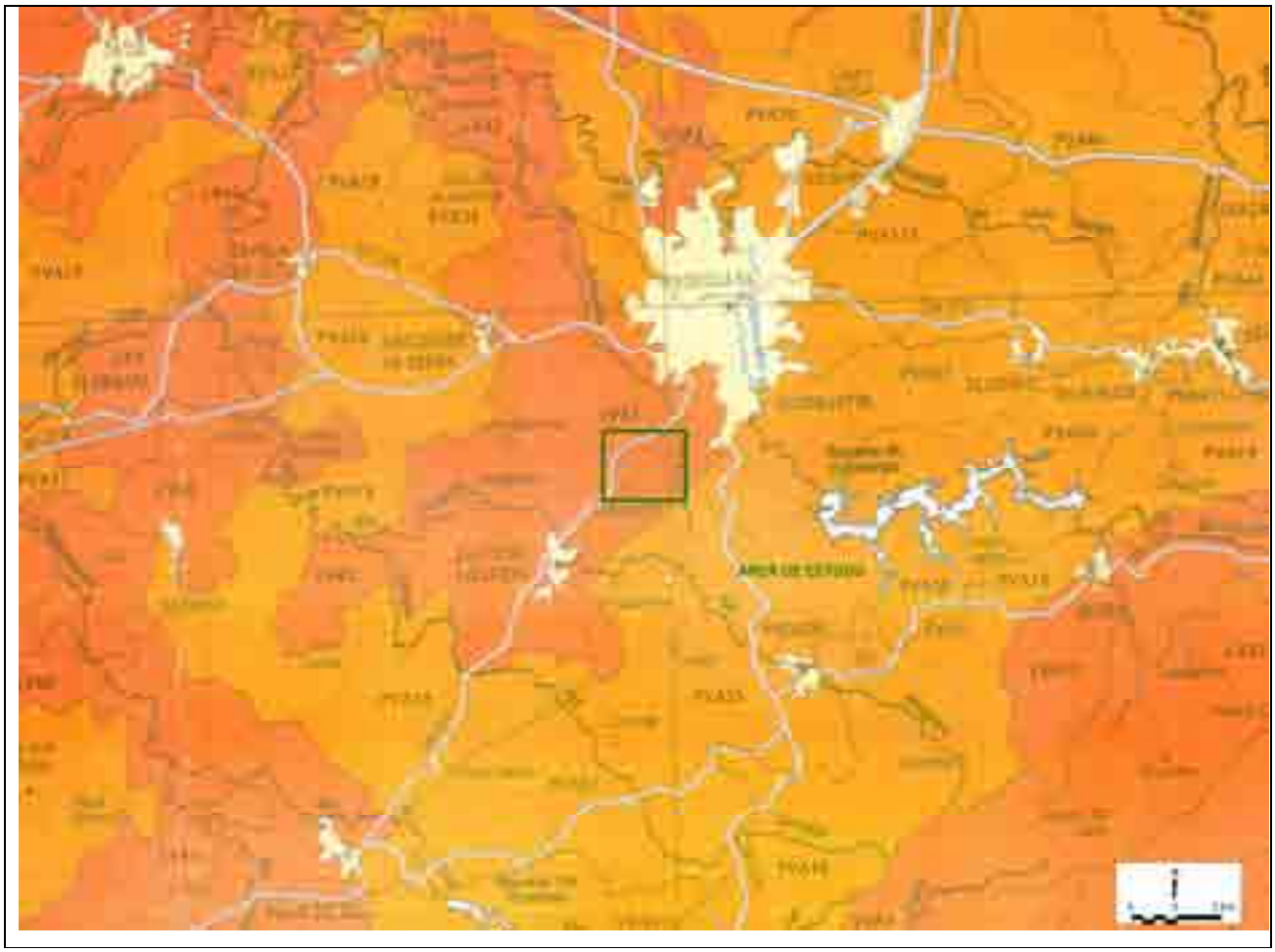


Figura 23. Classificação dos solos na área de estudo (em verde) e entorno segundo OLIVEIRA et al. (1999). Org.: FNJV, 2011.

6.5 Uso da Terra

A cobertura vegetal da área de estudo é caracterizada por fragmentos remanescentes de cerrado, típico de formações de fisionomias savânicas, que representam transição da mata atlântica para o referido bioma, o que implica nas tensões ecológicas existentes nessa parte do interior do Estado. A utilização intensa da terra para a agricultura também gerou uma série de fitofisionomias secundárias, como capoeiras, compostas principalmente por indivíduos lenhosos, e espécies exóticas, que invadiram áreas desmatadas e possuem porte atual variável. Ainda conservadas, existem também algumas matas (galerias ou ciliares), dominadas por árvores com alta densidade de indivíduos e copas fechadas nos estratos superiores, com ervas e arbustos nos estratos inferiores. A vegetação dos vales fluviais é de composição variável dependendo da proximidade com os corpos d'água, com caráter muito alterado pela ocupação humana.

A seguir, apresenta-se um mapa de uso da terra do ano de 1979, baseado nas informações levantadas pelo IGC (1979a; b; c; d).

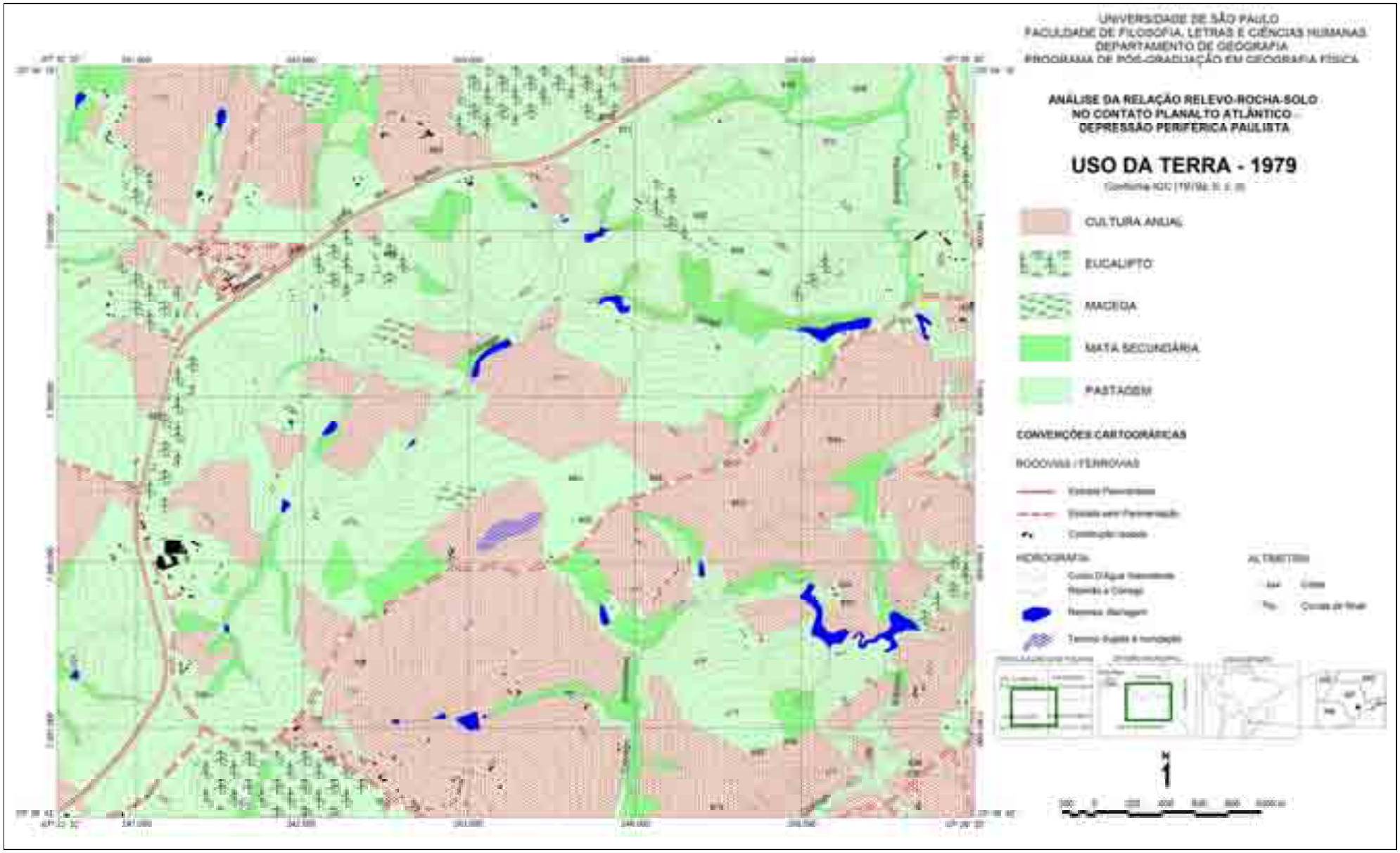


Figura 24. Uso da terra na área de estudo, baseado em IGC (1979a; b; c; d). Org.: FNJV, 2011.

7. RESULTADO DOS LEVANTAMENTOS

Este capítulo apresenta as informações levantadas pelo pesquisador durante levantamentos de gabinete (aerofotointerpretação, leitura de cartas topográficas, visualização de arquivos fotográficos, leitura de dados) e levantamentos de campo geológicos, geomorfológicos e pedológicos. Aqui se mostra também uma breve configuração geral da área de estudo baseada na atualização do uso da terra identificado pelo IGC (1979a; b; c; d).

7.1 Configuração Geral

A área de pesquisa situa-se próxima a um dos principais eixos de ligação do litoral e interior do país na região de Sorocaba, a aproximadamente 6 Km da Rodovia Raposo Tavares. Esta se conecta ao quadrante por meio da SP-264, a Rodovia João Leme dos Santos. Há um intenso fluxo de transportes que passa pela área de pesquisa considerada, mostrando o incremento das atividades de um meio rural em transição para a urbanização. A abertura de condomínios e vilas se faz paralelamente à SP-264, aproveitando a superfície naturalmente aplainada dos divisores topográficos mais elevados. Este também é o caso do sítio geográfico em que foi implantado o campus da Universidade Federal de São Carlos, em patamar plano do divisor principal por onde passa a rodovia.

As atividades de mineração ajudam a aumentar estes fluxos, configurando o caráter antagônico de pequenas propriedades rurais em meio a glebas de mineração ou processamento de minérios voltados para a fabricação de cimento, como é o caso da Votorantim S.A. e da Minercal. A primeira se encontra ao sul a 6 Km da área de estudo, no município de Salto de Pirapora, e extrai calcário dolomítico, calcítico e silicático, possuindo dentro da área pesquisada gleba de reflorestamento no extremo sudoeste; a segunda se encontra no limite nordeste da área de pesquisa, na fronteira entre os municípios de Sorocaba e Votorantim, fazendo parte deste último município.

Muitos destes transportes, especialmente os voltados para escoamento da produção da mineração, aproveitam as estradas de terra vicinais existentes. A principal delas, que passa pela área de pesquisa de SW para NE e corresponde à estrada do bairro Jucurupava, é o principal acesso aos locais que ainda persistem no caráter mais rural, havendo em suas laterais fazendas, sítios e casas de fim-de-semana. A mesma situação pode ser observada na área sudeste do quadrante de pesquisa, onde há, próximo à estrada de terra na bacia do Córrego do Barreiro, a presença de bairro rural residencial (Capuavinha) e propriedades particulares rurais (haras). Nas margens direita e esquerda da Rodovia SP-264 também existem bairros residenciais, estabelecimentos de comércio e hotéis fazenda (vide **Figura 25**).

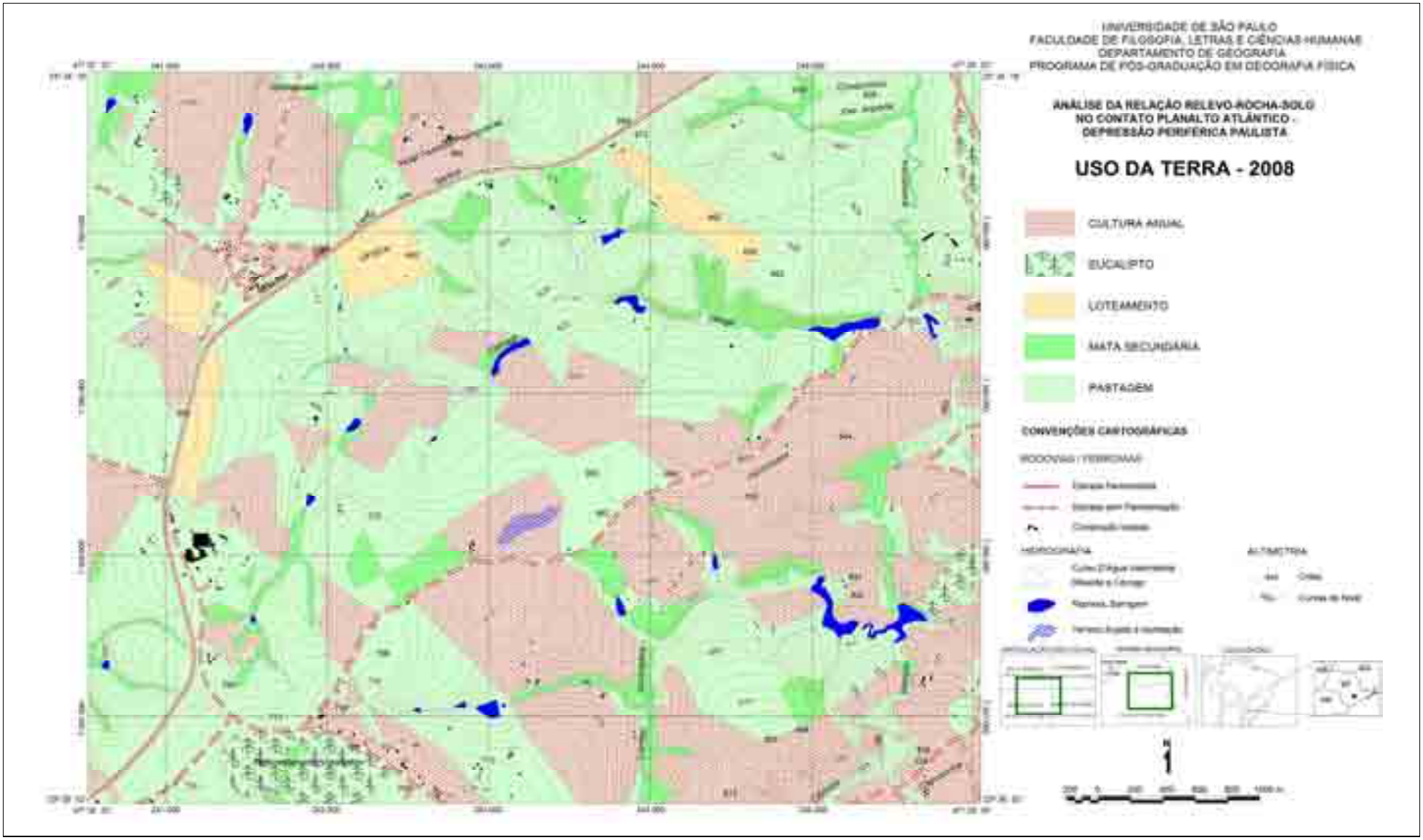


Figura 25. Uso da terra atual na área de estudo (2008). Org.: FNJV, 2011.

7.2 Levantamento das Informações Geológicas

7.2.1 Levantamentos de Campo e Delimitação das Unidades Geológicas

Os levantamentos de campo com fins de reconhecimento geológico envolveram a participação da geóloga Letícia Vicente para que fossem comprovados os tipos de afloramentos encontrados na área bem como a medida de suas atitudes (direção e mergulho), sobretudo no tocante aos metassedimentos de variação muitas vezes métrica. O reconhecimento foi dificultado não só pela variação complexa da litologia como também pela pouca ocorrência de afloramentos de rocha conservada que pudessem ajudar a delimitar as unidades geológicas. Por essa razão, apesar do **Mapa Geológico** apresentado servir de referência durante qualquer caminhamento de campo, pode não corresponder totalmente aos limites de cada unidade representada e à litoestrutura vigente.

Antes das incursões a campo, foi feito um aerofotolevantamento geológico expedito para organizar as mesmas. Há um nítido padrão ortogonal dos lineamentos, não só na área de estudo como também na região, que pode ser observado em função da escala (**Figuras 26** e **27**).

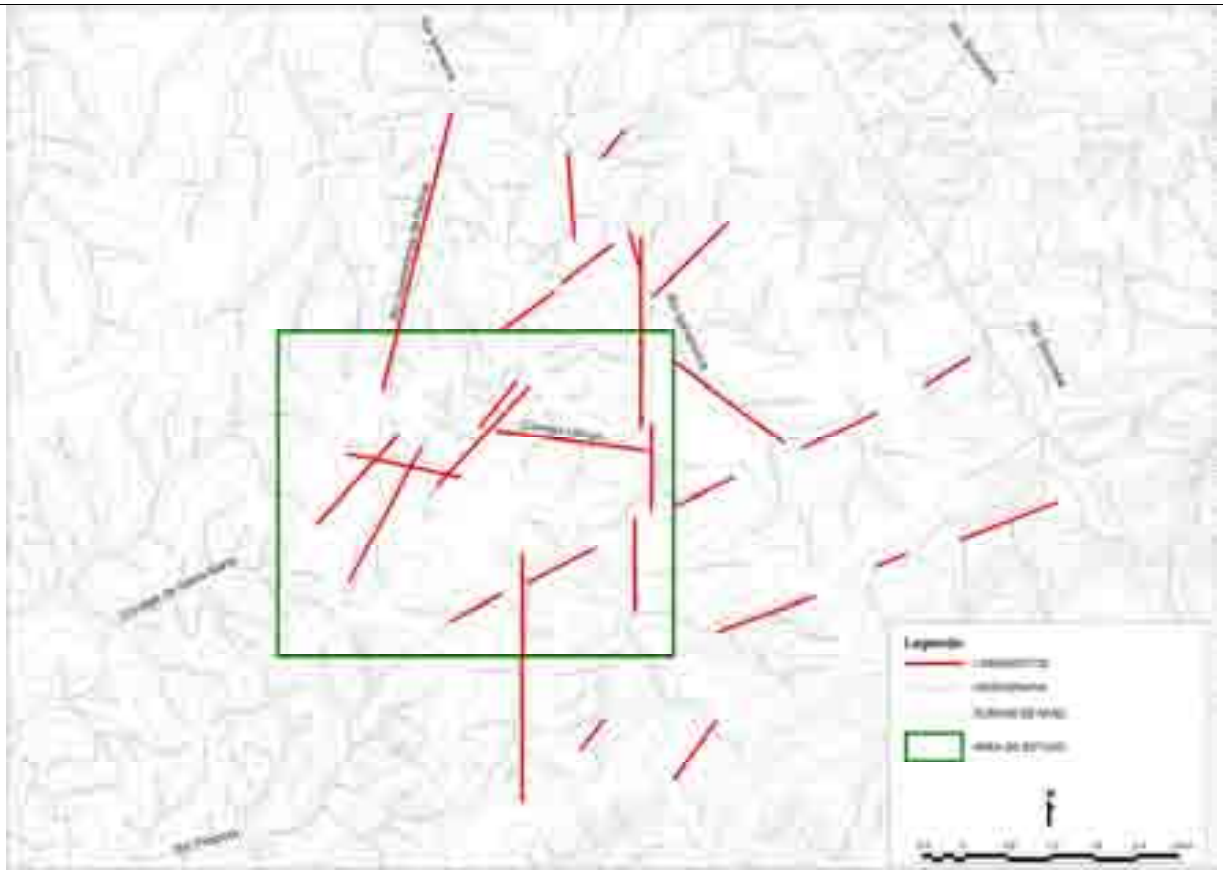


Figura 26. Lineamentos regionais segundo a hidrografia, extraído da base topográfica do IBGE (1984a; b), em escala original de 1:50.000. Org.: FNJV, 2011.

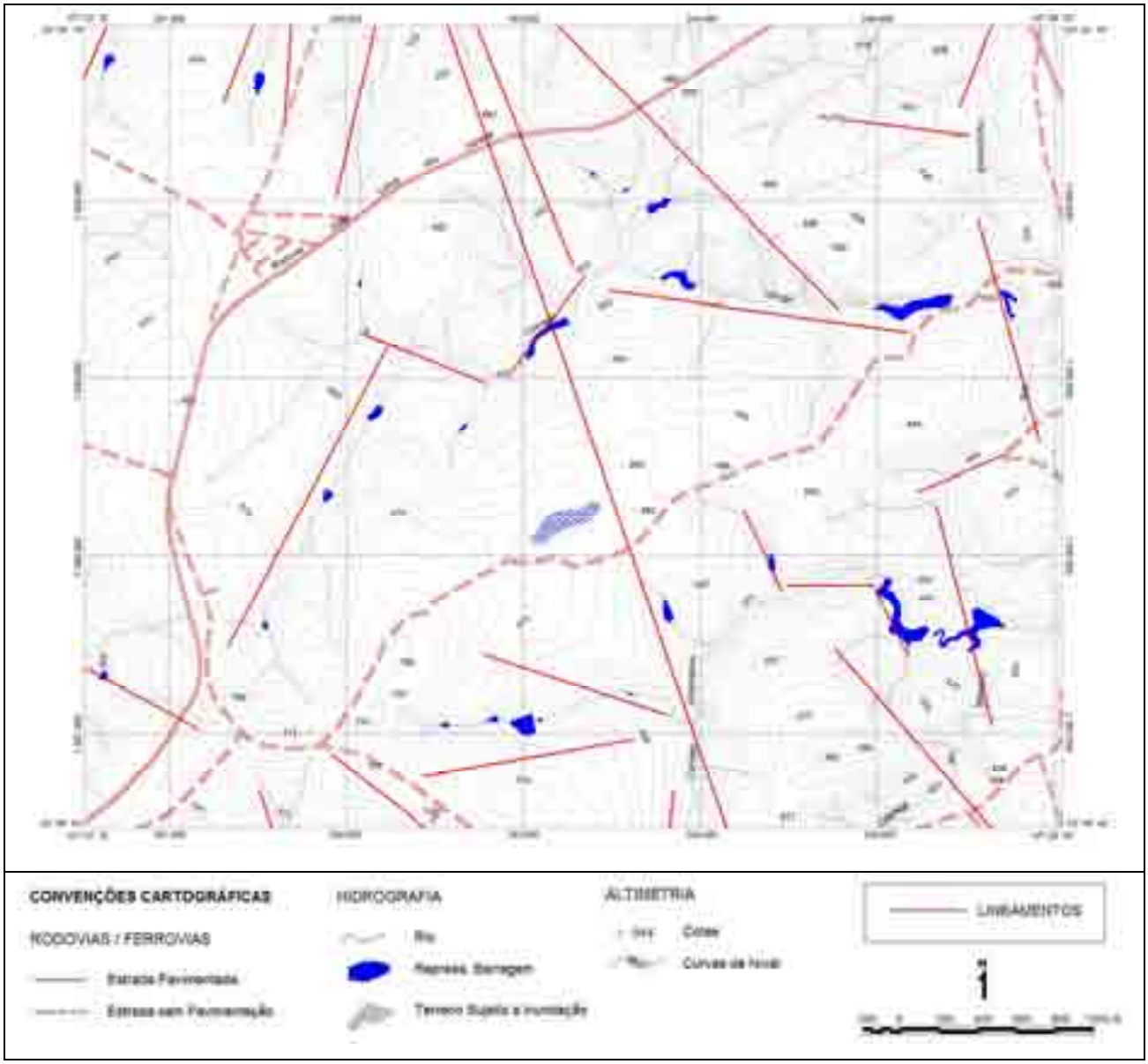


Figura 27. Lineamentos na área de estudo segundo aerofotointerpretação, extraído de BASE (1962a; b; c; d) e do processamento de imagem SRTM. Org.: FNJV, 2011.

O ajuste da drenagem aos lineamentos e a ocorrência de inúmeros cotovelos fez com que se percebesse o evidente controle estrutural, implicando no padrão sub-retangular dominante.

Outro ponto importante é o fato de a menos de 10 Km da área de estudo haver extração de calcário para a fabricação de cimento por parte da Votorantim S.A. Tal atividade implica em uma grande jazida, associada à geologia metamórfica regional. Segundo Roberto Nakamura, geólogo da empresa, aproveita-se para a extração do minério juntas de cisalhamento e tração que seguem o trend da Falha de Taxaquara, havendo jazidas de calcário dolomítico, silicático e calcítico nos filitos silexíticos do Grupo São Roque (informação pessoal)[9].

[9] Informação fornecida por Roberto Nakamura em palestra proferida na Votorantim S.A. em Salto de Pirapora, em 30/03/10.

Os limites da mineração se fazem quando os metassedimentos do referido Grupo dão lugar aos sedimentos do Subgrupo Itararé ou ao batólito do Maciço Sorocaba, não havendo jazidas, assim, rumo ao norte da mina de Salto de Pirapora (**Figura 28**). Na área de ocorrência da mineração, o Grupo São Roque possui estrutura sinclinal simétrica em dobra (Sinclinório de Pirapora), com plano axial orientado próximo a Norte-Sul e o eixo caindo para norte em valores variáveis. Em seus limites são observadas feições estruturais pontuais e apontadas falhas de diversos tipos, especialmente as transcorrentes (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2007).

Dados de sondagem indicam que a espessura dos sedimentos paleozóicos sobre os metassedimentos é de 30 a 40 m; os alcances do Maciço Sorocaba são variados, pois em muitas áreas este aflora e em outras é também recoberto pela litologia sedimentar.

Figura 28. Localização da mineração da Votorantim S.A. em relação à área de estudo. Org.: FNJV, 2011.

A seguir, mostra-se a descrição dos pontos do levantamento geológico de campo (**Tabela 1**), a localização e classificação destes segundo o litotipo (**Figura 29**) e o **Mapa Geológico**, para em seguida haver o detalhamento das unidades discorridas, com algumas fotos e descrições adicionais.

Tabela 1. Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L1	241.443	7.387.186	700	Siltito argiloso, com estrutura maciça, empastilhado. Ocorrem blocos soltos mais próximos da drenagem	Siltito maciço	22	Fraturas - 235/70
L2	241.597	7.387.428	676	Siltito argiloso, com estrutura maciça, empastilhado	Siltito maciço	-	-
L3	241.639	7.387.413	676	Siltito	Siltito	-	-
L4	241.640	7.387.462	724	Região de contato entre siltito maciço no fundo da drenagem e siltito na porção superior	Siltito maciço	23	-
L5	241.591	7.387.647	671	Siltito argiloso, com estratificação plano-paralela (espaçada de ~0,5cm), laminado, intercalando porções de coloração bege, e porções mais avermelhadas. Localmente, a laminação parece estar cruzada	Siltito estratificado	-	Estratificação - 250/08; 130/14
L6	241.326	7.387.380	696	Fazenda - informação do proprietário - perfuração de poço atingiu rocha dura a ~20m de profundidade	Siltito maciço	-	-
L7	243.143	7.389.452	626	ETE - Afloramento alterado de quartzito muito fino, micáceo, com algumas porções com aspecto xistoso. Há grande quantidade de veios de quartzo de espessura métrica	Quartzito máfico	9 e 10	Fraturas - 00/86; 120/82 ; Foliação - 20/80
L8	243.294	7.389.322	626	Afloramento alterado de quartzito muito fino, cinza, provavelmente com maior quantidade de minerais máficos, aparentemente maciço	Quartzito máfico	-	-

Tabela 1 (continuação). Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L9	244.005	7.389.520	610	Afloramento alterado de quartzito muito fino, pouco micáceo, com algumas porções com aspecto xistoso	Quartzito máfico	8	Fraturas - 55/68
L10	242.697	7.388.717	630	Fragmentos no colúvio (Quartzo?)	-	-	-
L11	243.280	7.389.322	619	Afloramento alterado de quartzito muito fino, cinza, provavelmente com maior quantidade de minerais máficos, aparentemente maciço	Quartzito máfico	-	-
L12	243.032	7.389.206	640	Afloramento alterado de quartzito muito fino, cinza, provavelmente com maior quantidade de minerais máficos, aparentemente maciço.	Quartzito máfico	7	Fraturas - 50/80
L13	243.440	7.389.688	618	Bloco decimétrico de quartzito equigranular, de granulação média a grossa, com textura granoblástica e foliação incipiente. Apresenta um pouco de feldspato e mica em sua composição	Quartzito grosso	-	-
L14	243.419	7.389.658	618	Matacão de biotita granito, porfirítico, matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato	Granito	-	-
L15	243.466	7.389.782	628	Matacão de biotita granito, porfirítico, matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato. Nota-se a existência de enclaves máficos de granulação fina	Granito	13 e 18	-

Tabela 1 (continuação). Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L16	243.500	7.389.756	632	Matacão de biotita granito, porfirítico, matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato	Granito	17	-
L17	243.505	7.389.657	612	Bloco de quartzito de granulação média a grossa, provavelmente com maior quantidade de minerais máficos, aparentemente maciço	Quartzito grosso	-	-
L18	243.241	7.389.382	617	Afloramento alterado de quartzito muito fino, cinza, provavelmente com maior quantidade de minerais máficos, aparentemente maciço	Quartzito máfico	-	-
L19	242.111	7.389.627	640	Afloramento no fundo da drenagem de siltito argiloso, estratificado, muito alterado na porção superior, em contato com arenito fino, alaranjado, com estratificação cruzada na porção inferior. Há lentes de siltito no arenito estratificado	Siltito estratificado/Arenito estratificado	20 e 29	Contato - 65/25
L20	243.995	7.389.608	624	Afloramento muito alterado de filito, muito fino, foliado	Filito	-	Foliação - 10/90
L21	244.085	7.389.525	614	Blocos de quartzito de granulação média a grossa, com grãos arredondados, provavelmente com maior quantidade de minerais máficos, aparentemente maciço	Quartzito grosso	-	-

Tabela 1 (continuação). Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L22	244.119	7.389.547	575	Quartzito equigranular, de granulação média a grossa, com grãos arredondados, aparentemente maciço. Apresenta um pouco de feldspato e mica em sua composição. Poucos metros a leste há blocos de filito fino, com foliação bem desenvolvida	Filito acinzentado/Quartzito Grosso	-	Foliação - 37/90
L23	244.148	7.389.448	613	Filito grafitoso, muito fino e com foliação bem marcada	Filito acinzentado	-	Foliação - 50/60
L24	245.031	7.390.684	618	Ponto de controle	Controle	-	-
L25	244.714	7.388.979	631	Afloramento muito alterado de filito, muito fino, foliado. Descendo na drenagem, aparece porção de quartzito muito alterado	Filito/Quartzito	-	Foliação - 05/78
L26	244.627	7.389.469	617	Bloco de filito muito fino, foliado	Filito	-	-
L27	244.648	7.389.500	628	Afloramento muito alterado de filito fino, foliado	Filito	4	Subvertical
L28	245.709	7.389.795	598	Afloramento de filito muito fino, foliado, com intercalação de porções mais claras e mais escuras, sugerindo haver uma estrutura deposicional (sedimentar) preservada	Metarritmito	3	Foliação - 20/82 e 15/54
L29	245.447	7.389.537	588	Afloramento muito alterado do metarritmito descrito no ponto anterior	Metarritmito	-	-

Tabela 1 (continuação). Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L30	245.810	7.389.769	619	Afloramento de filito muito fino, foliado com intercalação de porções mais claras e mais escuras, sugerindo ser uma estrutura deposicional (sedimentar) preservada	Metarritmito	-	Foliação - 15/62
L31	244.454	7.387.966	618	Ponto de controle	-	-	-
L32	244.380	7.388.085	629	Ponto de controle	-	-	-
L33	244.344	7.388.095	631	Filito de coloração cinza-escuro, grafitoso, muito fino, foliado	Filito cinza escuro	-	Foliação - 20/56
L34	245.287	7.389.364	613	Afloramento de filito muito fino, foliado, com intercalação de porções mais claras e mais escuras, sugerindo ser uma estrutura deposicional (sedimentar) preservada	Metarritmito	-	Foliação - 330/90
L35	243.401	7.387.226	655	Afloramento alterado de filito, de granulação muito fina, alteração alaranjada, foliação fina	Filito acinzentado	-	Foliação - 27/84
L36	242.939	7.386.975	655	Siltito argiloso com estratificação plano-paralela, laminado, intercalando lâminas mais claras e mais escuras amarronzadas (lamito)	Siltito estratificado	-	-
L37	242.883	7.387.104	653	Ponto de controle	-	-	-
L38	242.853	7.387.147	657	Siltito argiloso com estratificação plano-paralela, laminado, intercalando lâminas mais claras e mais escuras	Siltito estratificado	24	Estratificação - 208/02

Tabela 1 (continuação). Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L39	241.971	7.388.381	641	Arenito fino, de alteração avermelhada, com estratificação cruzada	Arenito estratificado	21	Estratificação - 280/14
L40	242.128	7.388.494	644	Matacão de biotita granito, porfirítico, matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato	Granito	-	-
L41	242.137	7.388.581	646	Matacão de biotita granito, porfirítico, matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato	Granito	12	-
L42	242.244	7.388.827	630	Perfil de alteração do granito	Granito	15	-
L43	242.306	7.389.291	639	Ponto de controle	-	-	-
L44	240.799	7.386.717	692	Siltito argiloso, maciço, empastilhado, de alteração avermelhada	Siltito maciço	-	-
L45	241.106	7.387.491	678	Siltito argiloso, com estratificação plano-paralela (espaçada, com ~0,5cm), laminado, intercalando lâminas milimétricas mais claras e mais escuras	Siltito estratificado	-	-

Tabela 1 (continuação). Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L46	241.044	7.387.226	686	Siltito argiloso, com estratificação plano-paralela (espaçada, com ~0,5cm), laminado, intercalando lâminas milimétricas mais claras e mais escuras. Evidente a presença de marcas de onda	Siltito estratificado	25	-
L47	245.409	7.386.784	620	Filito sericítico, de coloração cinza claro, foliação fina	Filito acinzentado	6 e 11	Foliação - 335/80
L48	245.323	7.386.988	633	Intercalação entre filito descrito no ponto anterior e quartzito fino maciço (alteração do quartzito máfico encontrado em outros pontos)	Filito acinzentado	-	-
L49	245.522	7.388.725	616	Filito de coloração cinza-escuro, grafitoso, muito fino, foliado	Filito cinza escuro	5	-
L50	242.084	7.390.060	656	Siltito argiloso muito alterado, com estratificação plana, espaçada centimetricamente. Na porção inferior, há um arenito com estratificações cruzadas mal desenvolvidas	Siltito estratificado/Arenito estratificado	-	-

Tabela 1 (continuação). Pontos do levantamento geológico, com coordenadas UTM, altitudes, descrições, litotipos, fotos referentes e medidas estruturais. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Descrição	Litotipo	Fotos	Estruturas
L51	242.095	7.390.079	672	Arenito mal selecionado, com matriz de granulação média e grânulos, com alternância de camadas com seixos centimétricos. Dentro dessas porções, nota-se granodecrescência para o topo e para a base dessas camadas, sugerindo variação na energia de fluxo	Arenito estratificado	-	-
L52	242.096	7.390.102	646	Arenito fino, alaranjado, com estratificação cruzada bem desenvolvida	Arenito estratificado	19	-
L53	242.068	7.390.252	635	Queda d´água artificial - Arenito fino	Arenito estratificado	-	-
L54	241.232	7.387.341	699	Siltito argiloso, com estratificação plano-paralela, aparentemente rítmico	Siltito estratificado	26, 27 e 28	-
L55	244.686	7.390.267	645	Matacão de biotita granito, porfirítico, matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato	Granito	14	-
L56	243.846	7.390.290	640	Alteração do granito	Granito	16	

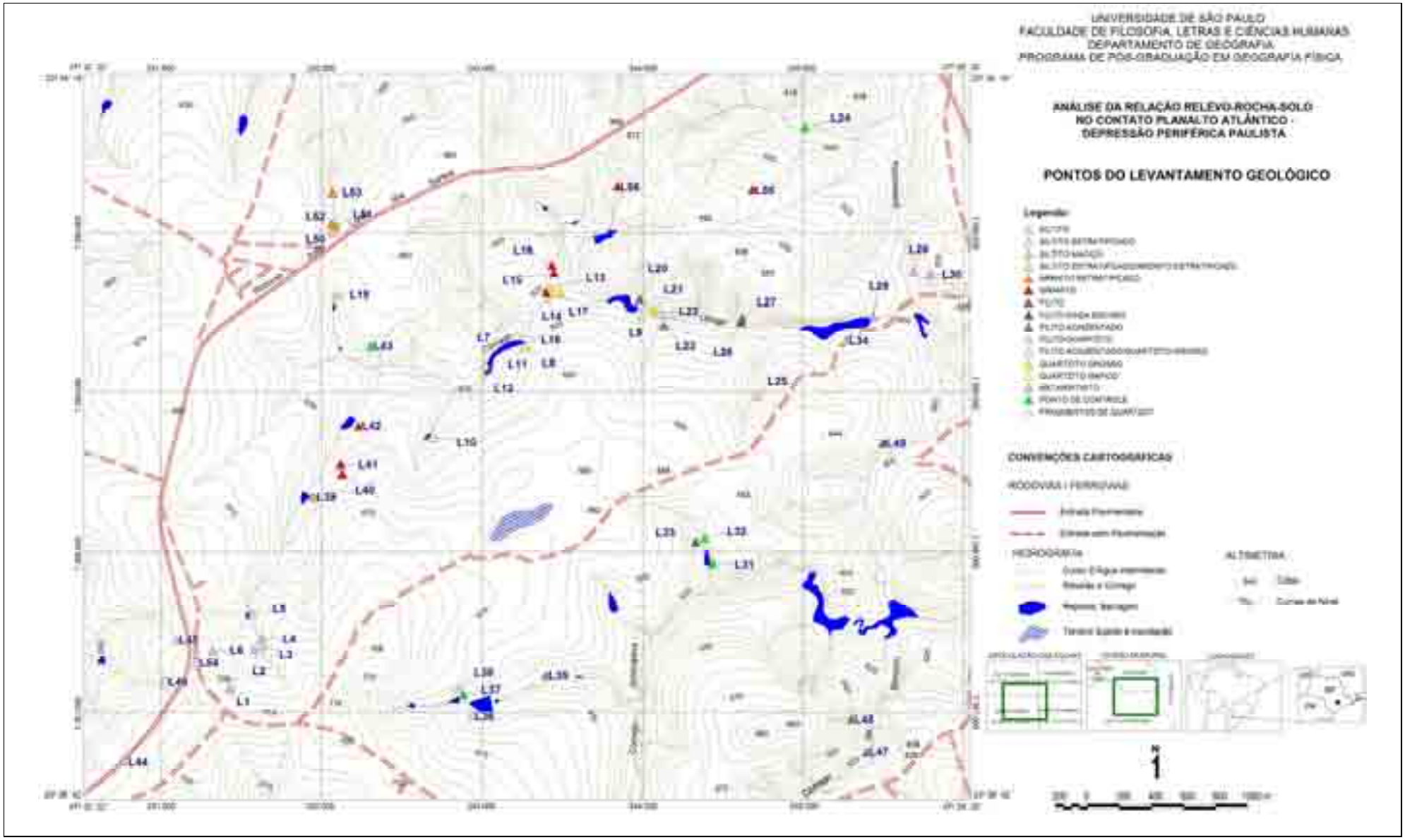
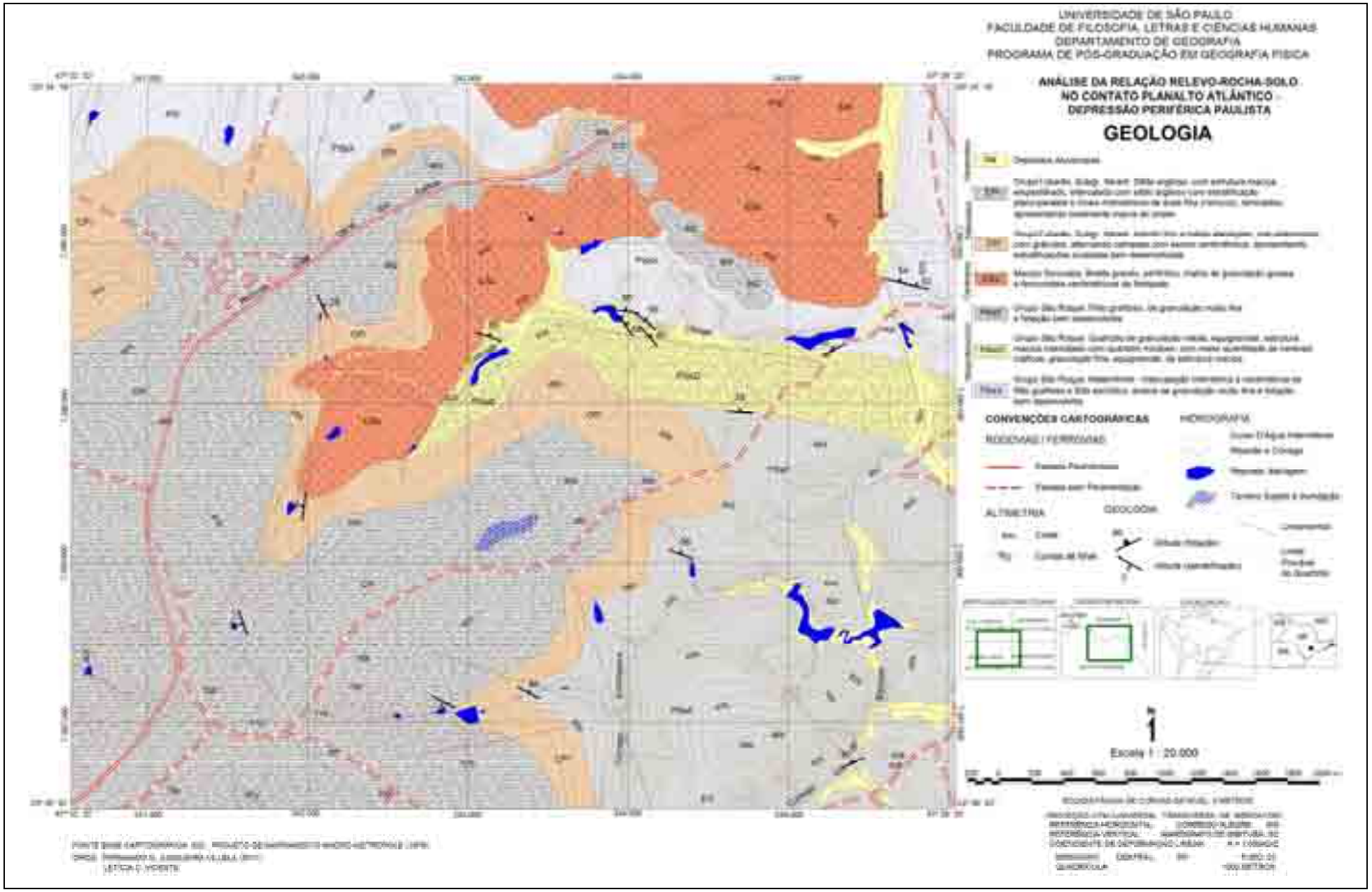


Figura 29. Pontos do levantamento geológico descritos na **Tabela 1**. Org.: FNJV, 2011.


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA
ANÁLISE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO
NO CONTATO PLANALTO ATLÂNTICO -
DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA
GEOLOGIA
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
HIDROGRAFIA
RODOVIAS / FERROVIAS
ALTIMETRIA
GEOCODIM
Escala 1 : 20.000

7.2.2 Unidades Geológicas

Em linhas gerais, há diversos litotipos no quadrante, sendo muito diferenciados em sua gênese e composição, especialmente no que tange às transições de litologias cristalinas, mais antigas, para litologias sedimentares, mais recentes, embora estas possuam ambiente de deposição superior a 270 milhões de anos atrás. As rochas mais antigas correspondem a metassedimentos neoproterozóicos, correspondendo a metarritmitos, quartzitos e filitos; corpos granitóides intrusivos, de idade cambriana, abrangem grande parte da área, em um imenso maciço; e finalmente os sedimentos oriundos de processos glaciais continentais gondwânicos cobrem uma boa porção dos terrenos.

Foram definidos basicamente quatro grandes unidades geológicas, a partir do levantamento de campo (sistematizado na **Tabela 1**) e literatura (nomenclatura, Grupo/Subgrupo e Formação geológica associada e tempo geológico): metassedimentos do Grupo São Roque (**Fotos 3** a **11**), intrusão granitóide do Maciço Sorocaba (**Fotos 12** a **18**) e sedimentos paleozóicos do Grupo Tubarão – Subgrupo Itararé (**Fotos 19** a **29**). Nas planícies fluviais foram delimitados depósitos aluvionares.

7.2.2.1 Metassedimentos

Como a área trata de transição do embasamento cristalino para a cobertura sedimentar, a base da estratigrafia é preenchida pelos metassedimentos neoproterozóicos do Grupo São Roque (ALMEIDA et al., 1981; SILVA, 1997), compostos por metarritmitos de granulação fina e foliação bem desenvolvida, quartzitos de granulação fina a média de estrutura maciça e filitos grafitosos de foliação desenvolvida (**Fotos 3** e **4**). Tais unidades sofreram metamorfismo regional de baixo grau (SILVA, 1997; TEIXEIRA et al., 2009a) e possuem estrutura geralmente subvertical, condicionando o sistema de drenagem através de falhas ou zonas de cisalhamento oriundas da tectônica dúctil-rúptil, que posiciona muitas vezes os lineamentos em planos ortogonais (**Figuras 26** e **27**).

Os metassedimentos foram divididos de acordo com sua composição micácea e estruturas, pertencendo ao Neoproterozóico. A unidade mais antiga trata de metarritmitos de intercalação milimétrica a centimétrica de filito grafitoso e filito sericítico, ambos de granulação muito fina e foliação bem marcada (**Fotos 5** e **6**). Sua delimitação contou com a observação de afloramentos e fragmentos rolados nas encostas de maior declividade. No contato com os quartzitos do vale do Córrego Utinga, o mergulho se faz praticamente vertical.

Foto 3. Ponto L28. Metarritmito alterado na superfície. Trata-se de filito alterado muito fino, foliado, com intercalação de porções mais claras e mais escuras, sugerindo haver uma estrutura deposicional preservada. Foto: FNJV, 03/05/10.

Foto 4. Ponto L27. Afloramento muito alterado de filito fino, foliado e com estrutura subvertical. Foto: FNJV, 03/05/10.

Foto 5. Ponto L49. Filito muito alterado, em área de ocorrência de filitos grafitosos. Foto: FNJV, 11/05/10.

Foto 6. Ponto L47. Filito sericítico, de coloração cinza clara e foliação fina. Foto: FNJV, 11/05/10.

O quartzito foi observado em locais variados durante os levantamentos, mas seu principal afloramento está exposto em talude de corte do campus da UFSCar em área de construção de uma estação de tratamento de esgotos – ETE (Ponto L7), próxima ao Córrego Utinga. Por onde flui o córrego, é possível se observar planos ortogonais entre as fraturas e a foliação presente, levando a entendê-lo como um corpo rochoso gerado no ajuste de algum movimento (epirogenético?), que se mistura aos metarritmitos inclusive nas vertentes íngremes que são vistas pelo delineamento das curvas de nível na margem esquerda do trecho inferior do corpo d'água (**Fotos 7** e **8**). Seu alcance às partes mais baixas das vertentes do vale fluvial inferiu a delimitação em "lingüeta" configurada no mapa, ajustada inclusive aos lineamentos. Como característica, este quartzito possui granulação média equigranular e estrutura maciça, intercalado com quartzito micáceo, com maior quantidade de minerais máficos, desta vez com granulação fina e equigranular, de estrutura maciça (**Fotos 9** e **10**). Já o filito foi delimitado em toda a porção ESE da área de pesquisa e trata-se de um metassedimento grafitoso, de granulação muito fina e foliação bem desenvolvida. Esta variação intercala-se muitas vezes com o quartzito, mas sua associação não foi delimitada porque varia metricamente e o filito grafitoso é dominante (**Foto 11**).

Foto 7. Ponto L12. Afloramento alterado de quartzito muito fino, cinza, provavelmente com maior quantidade de minerais máficos, aparentemente maciço. Foto: FNJV, 02/05/10.

Foto 8. Ponto L9. Afloramento alterado de quartzito muito fino, pouco micáceo. Estrutura ortogonal, N40E/45SW (fratura) e N40W/55NE (foliação). Foto: FNJV, 04/11/08.

Foto 9. Ponto L7. Afloramento alterado de quartzito muito fino, micáceo, com algumas porções com aspecto xistoso. Foto: FNJV, 06/06/08.

Foto 10. Mesmo afloramento da foto anterior (Ponto L7), sendo possível observar-se os veios de quartzo. Foto: FNJV, 01/05/10.

Foto 11. Ponto L47. Filito sericítico, de coloração cinza clara e foliação fina, na base de vertente. Foto: FNJV, 15/11/10.

7.2.2.2 Maciço Sorocaba

Injeções plutônicas cambrianas, de influência nítida em alguns interflúvios, compõem os afloramentos de granito na área, muitas vezes matacões dispersos na superfície mas com

área de abrangência definida. São rochas porfiríticas, de granulação grosseira e fenocristais de feldspato, pertencentes ao Maciço Sorocaba (GODOY, 1989). As classificações quanto à natureza dos corpos granitóides da literatura especializada e os resultados obtidos em inúmeras análises feitas por GODOY (1989) permitem associar o Maciço Sorocaba a um estágio de descompressão pós-orogênico. Estes ambientes propiciaram o desenvolvimento de zonas de alívio de pressão na crosta inferior conjuntamente com o calor de magmas básicos, resultando em fusão crustal com a formação de magmas ricos em sílica ou mesmo possibilitando a mistura destes. Portanto, o Maciço Sorocaba caracteriza-se por um evento magmático calci-alcalino sin a pós-orogênico num ambiente pós-colisional, composto pela mistura de magmas gerados na base da crosta e magmas básicos, possivelmente com participação de processo cristal/líquido, como cristalização fracionada e fusão parcial progressiva (GODOY, 1989).

O Maciço apresenta forma alongada, com direção geral NE-SW, associado ao falhamento de Jundiuvira. É caracterizado por dezoito fácies granitóides, agrupadas em onze associações mapeáveis. Sua composição é variável, podendo ser de monzogranitos leucocráticos e melagranitóides cinzas e róseos predominantes, ou sienogranitos e quartzo monzonitos inequigranulares porfiróides, além de granodioritos cinzas equigranulares a porfiríticos (GODOY, 1989).

As associações de composição mais granodioríticas estariam ligadas provavelmente às frações mais básicas diferenciadas, constituindo os primeiros corpos a se formarem enquanto os termos melagranitóides ricos em biotita e alta sílica estariam ligados diretamente à fusão parcial da crosta inferior, apresentando um processo de diferenciação destes magmas na câmara magmática ou na ascensão destes, constituindo intrusões sucessivas com intensidades distintas de material diferenciado (GODOY, 1989).

Os corpos granitóides do Maciço Sorocaba tiveram seus limites baseados nos levantamentos de campo, mas também foram inferidos de acordo com os estudos de GODOY (1989) e TEIXEIRA et al. (2009a; b). Por tratar-se de um batólito, poderia ser delimitado em toda a área pesquisada, pois corresponde inclusive ao embasamento e alcança desde o sítio urbano do município de Salto de Pirapora até além do município de Sorocaba, ultrapassando até mesmo a Rodovia Castelo Branco de acordo com ALMEIDA et al. (1981).

Exemplos do Maciço Sorocaba aflorantes na área de estudo existem como matacões exumados e atacados geoquimicamente, variando a fácies conforme a posição. Alguns alcançam as cabeceiras do Córrego Utinga em sua margem direita, apresentando características granodioríticas (**Foto 12**); outros embasam interflúvios da margem esquerda, mais íngremes e convexizados, aflorando na meia encosta com fenocristais de feldspato centimétricos (**Foto 13**); e outros ainda aparecem mais rosados e arredondados na porção NE, ao lado do Condomínio Fazenda Imperial, em fazenda particular (**Foto 14**). Seu limite nas

áreas de topo ocorre na maioria das vezes com a cobertura sedimentar, mantendo características de alterita (**Fotos 15 e 16**).

Foto 12. Ponto L41. Matacão de biotita granito, porfirítico com matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato. Foto: FNJV, 10/05/10.

Foto 13. Ponto L15. Matacão de biotita granito, porfirítico, com matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato. Nota-se a existência de enclaves máficos de granulação fina. A vista da foto é orientada para SW, podendo-se observar a ETE do campus UFSCar Sorocaba em construção (ponto L7). Foto: FNJV, 17/11/08.

Foto 14. Ponto L55. Matacão de granito em área aplainada, sofrendo intenso ataque geoquímico pelo seu arredondamento e rebaixamento. Foto: FNJV, 11/11/10.

Foto 15. Ponto L42. Perfil exposto em que na base há grande quantidade de material intemperizado, com características do granito, tais como cascalhos envoltos em material esbranquiçado (caulinita?). Foto: FNJV, 10/05/10.

Foto 16. Ponto L56. Perfil alterado de granito, com porções alteradas brancas e porções mais amarelas e mais vermelhas. Foto: FNJV, 21/12/10.

Vale ressaltar que tanto os metassedimentos quanto os corpos granitóides provocam o aparecimento de cascalhos de quartzo ou quartzito nos materiais alterados e diversas vezes estão espalhados na superfície em fragmentos angulosos e leitosos, estes mais provavelmente ligados aos veios de quartzo (**Foto 17**). Em algumas ocasiões é possível se encontrar biotita nos fragmentos, devido à maior quantidade de minerais máficos nos matacões, de tamanho em geral centimétrico, angulosos ou arredondados (**Foto 18**).

Foto 17. Ponto L16. Fragmento de quartzo leitoso próximo a matacão de granito. Foto: FNJV, 02/05/10.

Foto 18. Ponto L15. Matacão com enclaves máficos de granulação fina. Foto: FNJV, 02/05/10.

7.2.2.3 Sedimentos Paleozóicos

Por se encontrar em uma zona de deposição que teve significativa sedimentação continental glacial durante os períodos Carbonífero e Permiano, no topo da estratigrafia da área de pesquisa há uma cobertura sedimentar com diversas fácies devido à seqüência de eventos que caracterizaram o clima polar gondwânico. O Subgrupo Itararé é a unidade correspondente à fase de deposição paleozóica da Bacia do Paraná que é encontrada na área de estudo. Em área, a cobertura sedimentar é dominada por uma camada silto-argilosa, que se apresenta estratificada, por vezes empastilhada (fraturas conchoidais com enriquecimento local de areia fina a argila), algumas vezes com marcas de onda. Variações para lamito também foram encontradas, levando a crer que o ambiente de deposição foi caracterizado por águas calmas.

Os arenitos compõem camada pouco espessa e acompanham os siltitos, razão pela qual foram delimitados entre as curvas de nível de 640 a 660 m de acordo com as exposições vistas no campo. Seu melhor exemplo acha-se nas cabeceiras de drenagem da porção noroeste da área de estudo, muito intemperizado por sinal (pontos L50 a L53, exemplificados pela **Foto 19**). A exceção da delimitação dos arenitos se faz nas áreas de contato do Maciço Sorocaba com os metarritmitos, onde não foram encontrados vestígios. Já os siltitos representam toda a cobertura mais abrangente da área de pesquisa, estando localizados no principal divisor de águas e em seus patamares convexizados ou planos, assim como nas áreas de topo e cabeceiras de drenagem, acompanhados pelos arenitos.

Estes sedimentos paleozóicos de mergulho subhorizontal foram divididos em duas unidades: arenitos finos a médios, de cor alaranjada e mal selecionados, com grânulos, alternando camadas com seixos centimétricos e apresentando estratificações cruzadas bem desenvolvidas (**Fotos 20** e **21**), e siltitos argilosos, com estrutura maciça e empastilhados (**Fotos 22** e **23**), intercalados com siltitos argilosos com estratificação plano-paralela e níveis milimétricos de areia fina (rítmicos) laminados (**Foto 24**), apresentando localmente marcas de onda (**Foto 25**).

Foto 19. Ponto L52. Arenito fino, alaranjado, com estratificação cruzada bem desenvolvida ainda preservada apesar do grau de intemperismo avançado do afloramento. Foto: FNJV, 11/05/10.

Foto 20. Ponto L19. Afloramento em cabeceira de drenagem no campus da UFSCar. Acima, siltito argiloso e estratificado, muito alterado; abaixo, contato com arenito fino, alaranjado, com estratificação cruzada na porção inferior. Foto: FNJV, 02/05/10.

Foto 21. Ponto L39. Arenito fino com estratificação cruzada na base de perfil. À esquerda, transição abrupta de horizontes, indicando Argissolo (vide **item 7.4**). Foto: FNJV, 10/05/10.

Foto 22. Ponto L1. Siltito argiloso, com estrutura maciça e empastilhado. Foto: FNJV, 01/05/10.

Foto 23. Ponto L4. Siltito argiloso, com estrutura maciça e empastilhado, no contato com siltito maciço no fundo de drenagem intermitente. Foto: FNJV, 27/11/10.

Foto 24. Ponto L38. Siltito argiloso com estratificação plano-paralela, laminado, intercalando lâminas mais claras e mais escuras. Foto: FNJV, 10/05/10.

Foto 25. Ponto L46. Siltito argiloso, com estratificação plano-paralela, intercalando lâminas milimétricas mais claras e mais escuras, com marcas de onda. Foto: FNJV, 10/05/10.

Os locais dos **Fotos 24** e **25**, ou os pontos L38 e L46, são em lados opostos do principal divisor de águas da área de estudo (por onde passa a Rodovia João Leme dos Santos). A diferença nas características da estratificação, uma com mergulho <2º e o outro com marcas de onda indica ambientes de deposição mais calmos no primeiro ponto e mais enérgicos no segundo.

A sobreposição por diamictitos e matriz mais grosseira no topo da estratigrafia, já indicada pelo IG (2009), também é observada na área de estudo, pois no topo suavizado de altitude média de 690 m, em frente à Fazenda Boa Vista, são encontrados diamictitos polidos e estriados em meio a matriz mais fina, silto-arenosa (**Fotos 26**, **27** e **28**). PÉREZ-VIEIRA (2007) também observou o aparecimento destes diamictitos em áreas de topos aplainados à altitude de 680 metros, no extremo NW do município de Salto de Pirapora, a 8,5 Km da área de pesquisa. Seu levantamento, aliás, aponta muitos afloramentos dos sedimentos gondwânicos a oeste extremamente semelhantes aos encontrados por este pesquisador, como por exemplo, o material silto-arenoso intemperizado e amarelado ou siltitos empastilhados.

Foto 26. Ponto L54. Siltito com clastos cimentados de vários tamanhos e matriz fina a conglomerática. Detalhes nas próximas fotos. Foto: FNJV, 04/11/08.

Foto 27. Ponto L54. Topo da estratigrafia de acordo com a topografia. Percebe-se que a matriz fina a grossa, conglomerática e cimentada, contém seixos polidos, testemunhos típicos de processos glaciais. Os seixos são polimíticos, com várias estrias de abrasão causadas pelas geleiras gondwânicas, e representam níveis basais da Bacia do Paraná. Foto: FNJV, 04/11/08.

Foto 28. Ponto L54. Detalhe da matriz fina a grossa com grânulos da foto anterior. Foto: FNJV, 04/11/08.

A presença de clastos de diferentes composições e tamanhos, presentes nas áreas de cabeceira, também indicou haver área-fonte antiga, dispondo seixos arredondados e polidos de quartzitos próximos às drenagens, muitas vezes como colúvios nos materiais de alteração (**Foto 29**).

Foto 29. Ponto L19. Mistura de material argiloso (cinza) em meio ao siltito alterado (vermelho). Há também a existência de clastos arredondados e polidos como colúvios. Foto: FNJV, 11/05/10.

7.2.2.4 Depósitos Aluvionares

Os sedimentos aluvionares recentes ocorrem associados aos principais cursos d'água da área, e são predominantemente constituídos de areias mal selecionadas, que se distribuem nas porções próximas aos leitos dos rios; podem ser constituídos também por argilas e areias que ocupam as várzeas de inundações sazonais (TEIXEIRA et al., 2009a).

7.3 Levantamento das Informações Geomorfológicas

São apresentados neste item os levantamentos de gabinete e campo que fizeram parte da investigação geomorfológica da área de estudo.

7.3.1 Contexto Geral

Ao adentrar-se a área de pesquisa pela Rodovia João Leme dos Santos, logo se percebem duas características morfológicas: a primeira é que existe uma superfície contínua naturalmente aplainada e extensa, que divide cabeceiras de drenagem e configura uma rampa bem definida; a segunda é que ao se abrir a visão para o norte e sul da Rodovia, vê-se que o Domo de Araçoiaba é a única proeminência mais notável na paisagem (ao norte) e que ao sul o modelado do relevo ganha algumas partes com vales mais entalhados, mas não o suficiente para o destaque na paisagem. Sendo assim, nota-se a característica principal do modelado no quadrante, que é a superfície de baixas amplitudes topográficas e áreas extensas de relevos planos ou aplainados.

Há na área de pesquisa uma mudança importante nas formas de relevo conforme se associam os terrenos esculpidos sobre os litotipos observados no campo e as verificações de gabinete, evidenciando o controle da litoestrutura. Na margem esquerda do Córrego Utinga, onde se verifica a presença de veios quartzosos, afloramentos alterados de quartzito e matacões de granito a maior rugosidade da superfície é claramente diferente das formas existentes na margem direita, mais colinosas e sustentadas por litologias sedimentares. Há também uma evidente diferença nos divisores topográficos de ambas as margens, pois à esquerda existem topos suavemente convexos e patamares planos, ao passo que na margem direita o interflúvio configura um espigão interdigitado com direção preferencial para a jusante da sub-bacia.

Pela hipsometria, declividade e morfologia (detalhados mais à frente), percebe-se que os topos mais aplainados ou levemente convexiformes dominam as formas de relevo das colinas, cujas declividades baixas de até 6% também são maioria na área de pesquisa. As formas mais convexas e íngremes estão na porção sudeste, nos terrenos sustentados por metarritmitos, onde o entalhe inclusive é semelhante aos morros da porção norte, caracterizando pequenos divisores de águas paralelos. As áreas mais elevadas geralmente ligam-se aos fundos de vale por patamares, ora mais aplainados, ora mais convexos. Os setores de maior altitude, acima de 680 m, apresentam topos convexos e declives geralmente suaves, transitando para patamares convexos ou planos na faixa dos 680 a 645 m. Tais patamares apresentam baixa declividade e correspondem muitas vezes aos divisores de água das sub-bacias existentes na área de pesquisa.

A partir daí, para jusante dos córregos de 2ª ordem, tem início uma série de rupturas de declive que acentuam as declividades para mais de 20% nos intervalos altimétricos de 645 até 615 m, evidenciando-se o controle estrutural da drenagem e a orientação de alguns interflúvios (morros baixos íngremes de setores de vertente convexo-côncavos ou convexo-retilíneos, caracterizando colinas mais dissecadas) em função da foliação metamórfica. Abaixo de 615 m de altitude, nos setores das planícies fluviais, a declividade volta a diminuir até o nível de base local à altitude de 595 m, que é o Rio Ipaneminha. Entretanto, os lineamentos marcantes da litoestrutura por onde flui a drenagem são evidentes mesmo nas áreas de ocorrência das planícies, especialmente no Córrego Utinga.

Este controle estrutural do arcabouço geológico vale tanto para os relevos sobre coberturas sedimentares como para os relevos desenvolvidos sobre rochas metamórficas ou ígneas. No domínio da litologia sedimentar, os cursos d'água são conseqüentes e paralelos, com vales com cabeceira em "U" que abrem em vales assimétricos de vertentes com rupturas retilíneas, que pelas drenagens perenes ou intermitentes expõe os sedimentos do Subgrupo Itararé. Ao atingir a altitude de 625 m, os vales se alargam até configurarem planícies fluviais abertas, porém restritas a algumas áreas, que recebem contribuição dos afluentes de primeira ou segunda ordem; o modelado mais rugoso carrega materiais com maior competência que o relevo mais suave, o suficiente para sulcar as formas e aparecerem feições erosivas como ravinas, associadas também às rupturas retilíneas e convexas e à abertura de vales em "V". Rumo a jusante, são formados interflúvios já em relevos esculpidos sobre litologias metamórficas, que, ligando-se às rampas dos espigões colinosos, tornam a ganhar características de vales estreitos e assimétricos.

As rupturas e mudanças de declive entre as vertentes e os vales fluviais de drenagens intermitentes ou perenes se fazem em sua maioria por limites côncavos em primeiro lugar, e secundariamente convexos. Os limites retilíneos aparecem relacionados aos lineamentos, muito presentes nas direções preferenciais da drenagem e nos contatos do Maciço Sorocaba com os metassedimentos ou com a cobertura paleozóica. Cristas assimétricas ou simétricas também sugerem a ocorrência de interflúvios sustentados pelos corpos granitóides.

Dois níveis de dissecação podem ser distinguidos: o primeiro ocupando nível altimétrico mais elevado, correspondendo às áreas de abrangência do divisor principal, caracterizando antiga superfície geomórfica, que possui forma aplainada de bordas convexizadas; e em segundo, os setores da porção médio-inferior das vertentes, correspondendo a superfícies mais baixas geralmente distintas abaixo da cota de 645 m.

Depósitos de materiais coluvionares foram encontrados em áreas de cabeceira de drenagem, com composição variada. Nas cabeceiras do Córrego Utinga, encontra-se material silto-argiloso com diamictitos (seixos de quartzitos arredondados e polidos, com estrias ou não, vide **Fotos 26** a **29** no **item 7.2**) na matriz, assim como siltito alterado. Colúvios arenosos

com diamictitos também são observados acompanhando os vales mais alongados e de controle estrutural mais evidente. Materiais de alteração quartzo-cauliníticos (?) e micáceos recobrem parte das vertentes mais íngremes onde afloram as rochas cristalinas.

Apresenta-se a seguir o resultado dos levantamentos de gabinete e campo que culminaram na caracterização geomorfológica da área de pesquisa. A fim de facilitar o entendimento, segue abaixo a localização das fotos mostradas neste item.

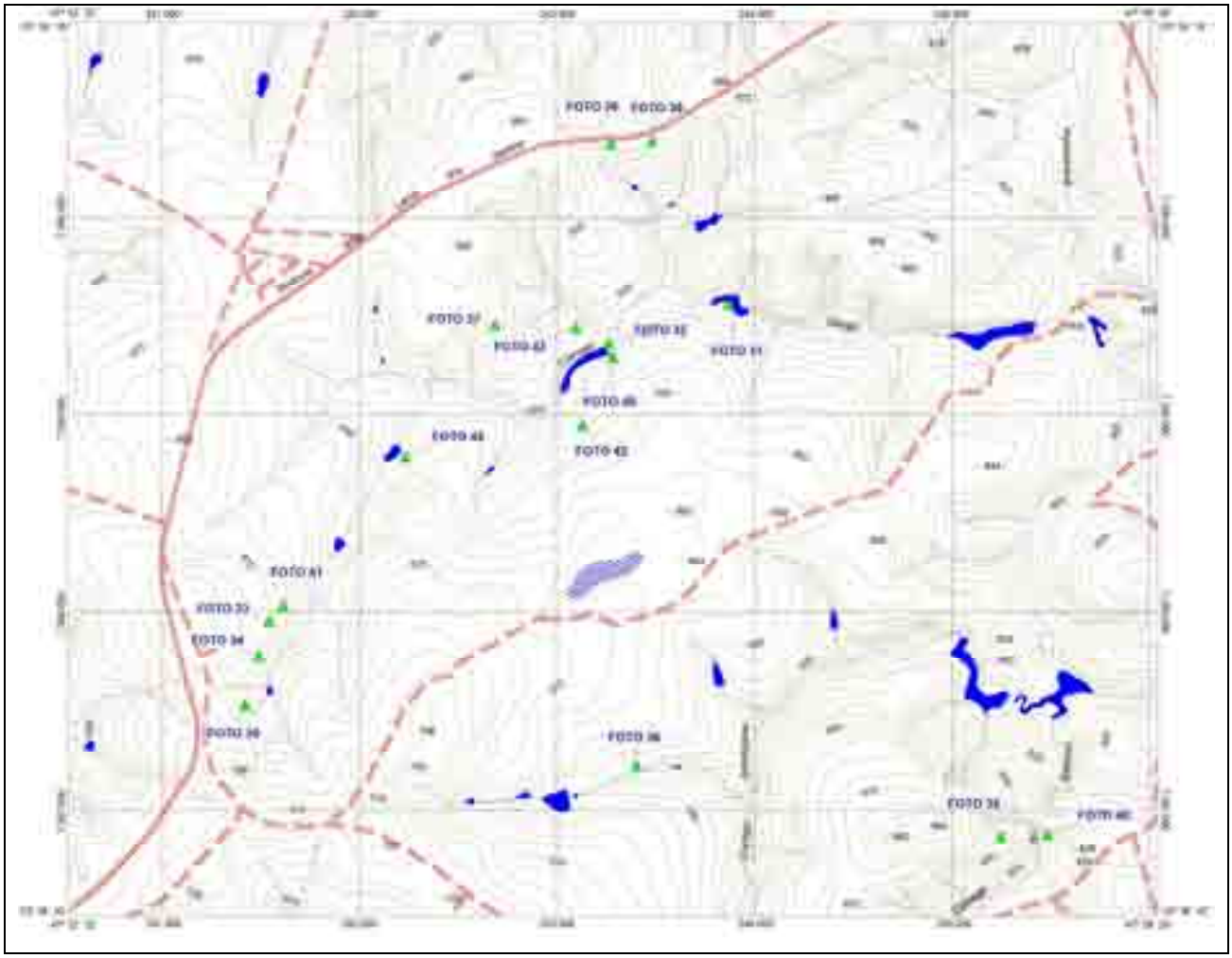


Figura 30. Localização das fotos mostradas no levantamento geomorfológico. Org.: FNJV, 2011.

7.3.2 Levantamentos de Gabinete

7.3.2.1 Hidrografia

A superfície contínua na verdade divide nascentes dos rios Pirapora e Ipanema, ambos afluentes do Rio Sorocaba, que acabam por desaguar no Rio Tietê em seu trecho médio. A área de estudo é esculturada encontrando como nível de base regional o Rio Tietê; por ser área de relevo ondulado mas pouco inclinado, percebe - se sua situação hidrográfica com cabeceiras intermitentes, que assim apresentam baixa energia do relevo (**Figura 31**). Portanto, esta é a característica da bacia hidrográfica de que a área de pesquisa faz parte

(Rio Ipaneminha, afluente do Rio Ipanema), cuja principal sub-bacia é a do Córrego Utinga, de 4ª ordem (**Figura 32**).

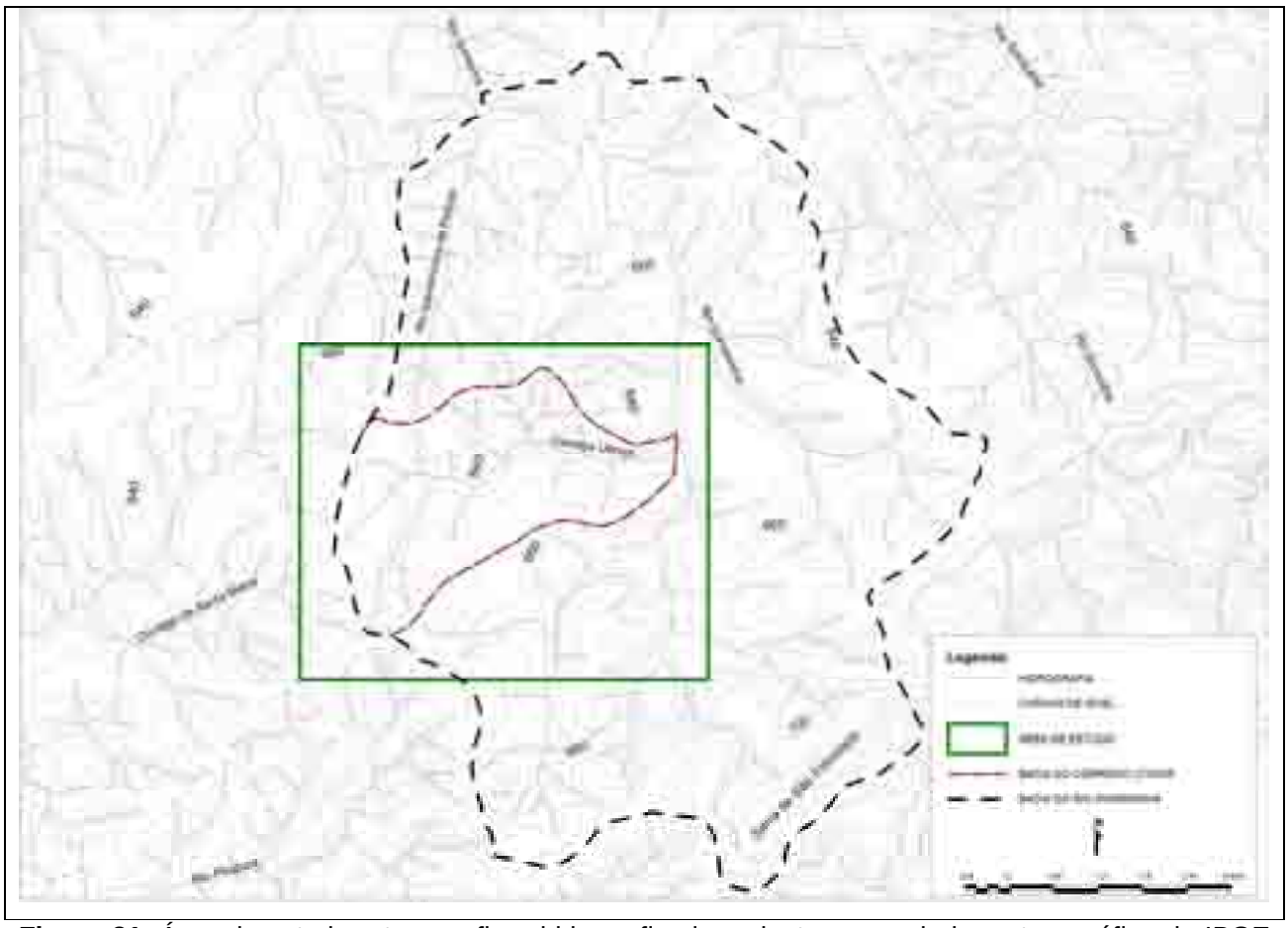


Figura 31. Área de estudo e topografia e hidrografia circundante, segundo base topográfica do IBGE (1984a; b). Org.: FNJV, 2011.

O padrão de drenagem se faz em segmentos sub-retangulares a retangulares com alguns segmentos dendríticos, podendo aparecer também segmentos sub-paralelos (CHRISTOFOLETTI, 1974). Nos segmentos retangulares, geralmente multidirecionais mas organizados, a angularidade é média (SOARES & FIORI, 1976), havendo formação de cotovelos como já explicado no **item 7.2**. A densidade de drenagem é média (SOARES & FIORI, 1976), e vários dos corpos d'água são intermitentes, como pode ser observado no **Mapa Base**. Na verdade, atualmente muitos deles possuem escoamento superficial apenas nos períodos chuvosos mais torrenciais e, mesmo observando-se maior aumento das chuvas na última década (vide **Capítulo 6**), a maioria das nascentes encontra-se seca nos caudais de primeira ordem. De qualquer maneira, as características hidrográficas implicam no controle estrutural do substrato geológico, mais evidentes nos ajustes da drenagem perene à foliação metamórfica e fraturas ortogonais.

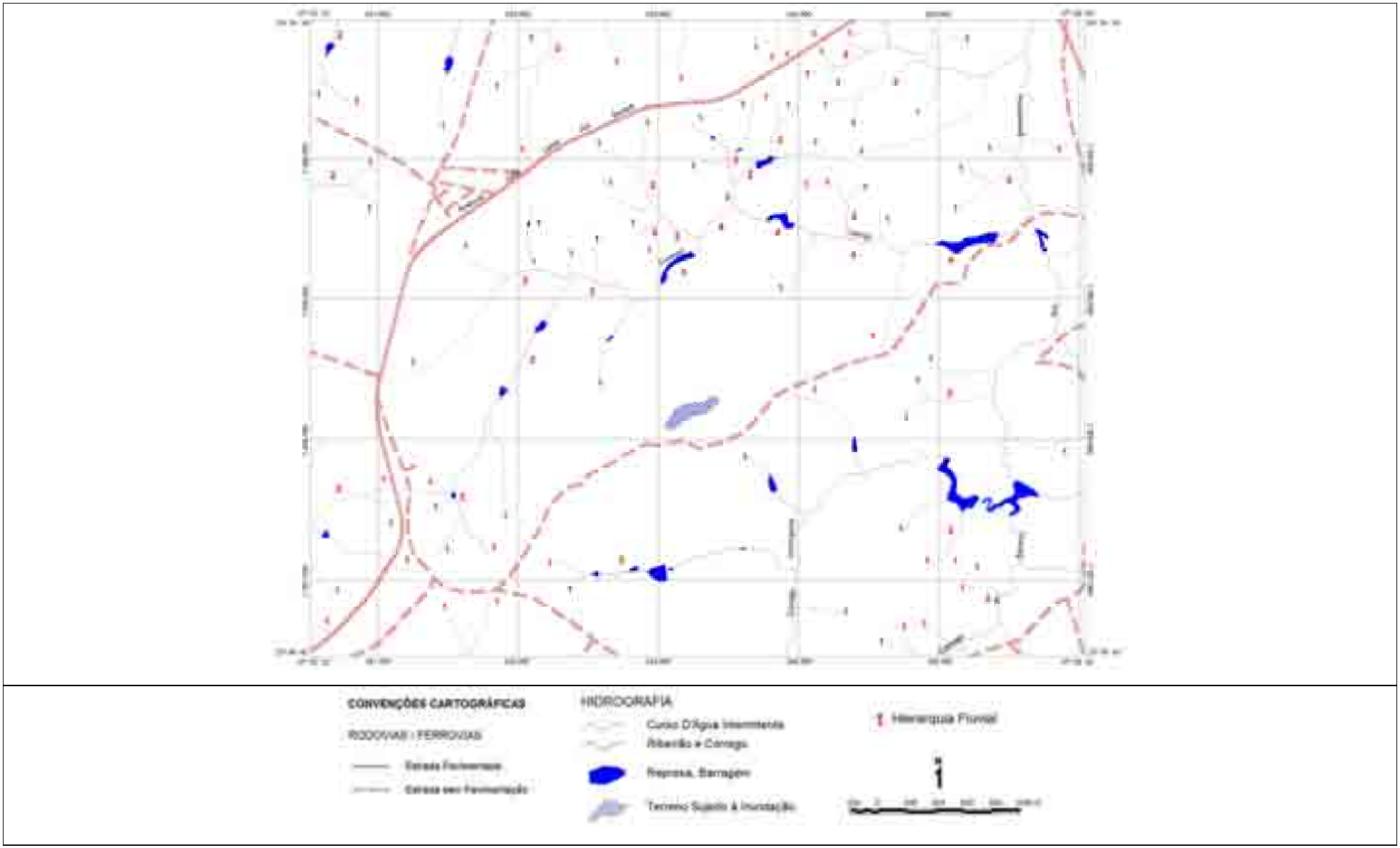


Figura 32. Hierarquia fluvial do Córrego Utinga e demais nascentes na área de estudo. Org.: FNJV, 2011.

7.3.2.2 Hipsometria e Declividades

Como já visto, a unidade morfoestrutural vigente é a Bacia Sedimentar do Paraná e a Depressão Periférica Paulista responde pela unidade morfoescultural. Os vales possuem entalhamento muito fraco e dimensão interfluvial grande, caracterizando os interflúvios como colinas (ROSS & MOROZ, 1997). Esta característica é dominante em boa parte da DPP, e é possível ser observada na **Figura 33**.

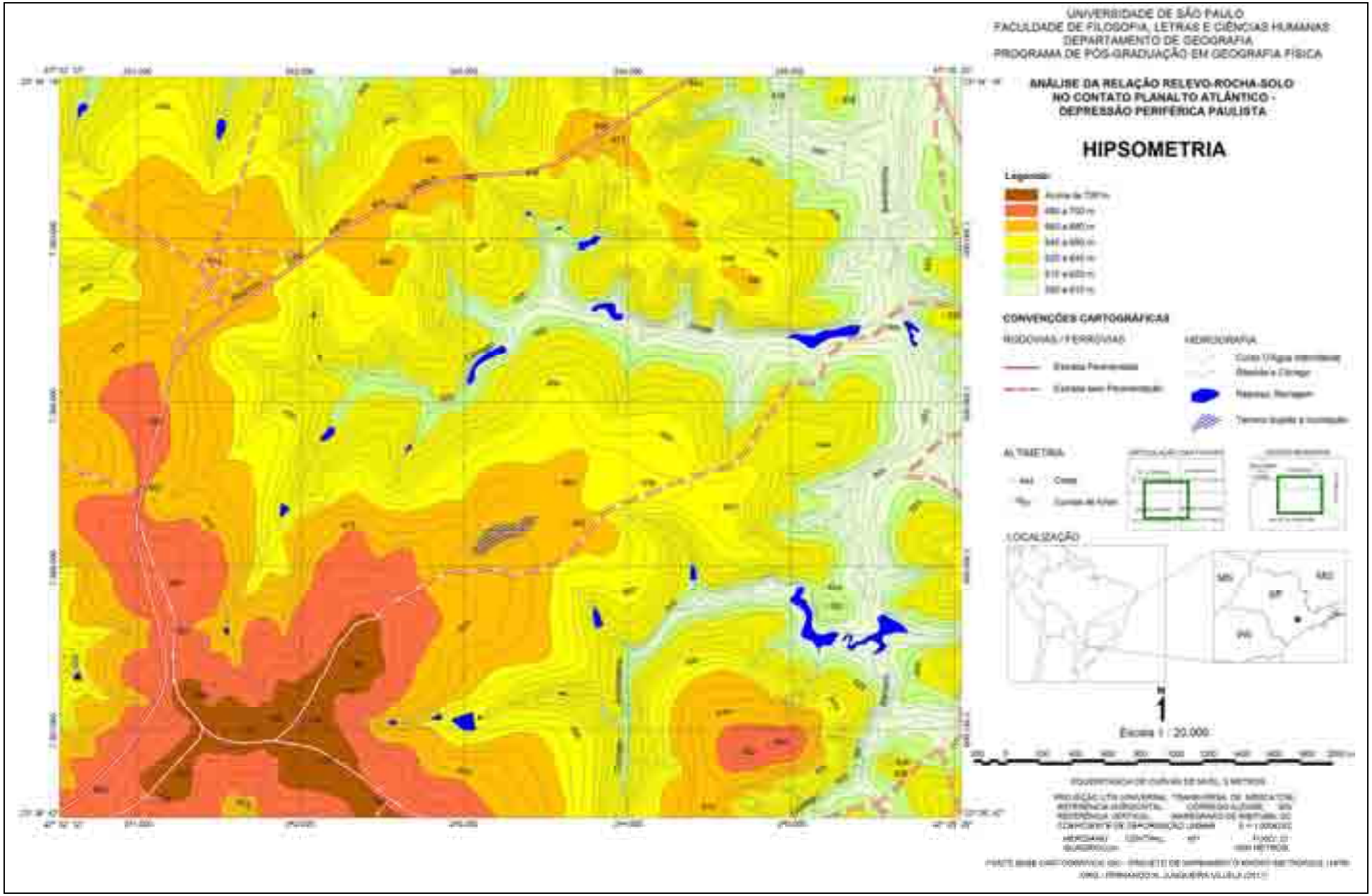
Os levantamentos de gabinete tiveram início com a confecção do **Mapa Base** e do **Mapa Hipsométrico**, além do mapa de **Declividades**.

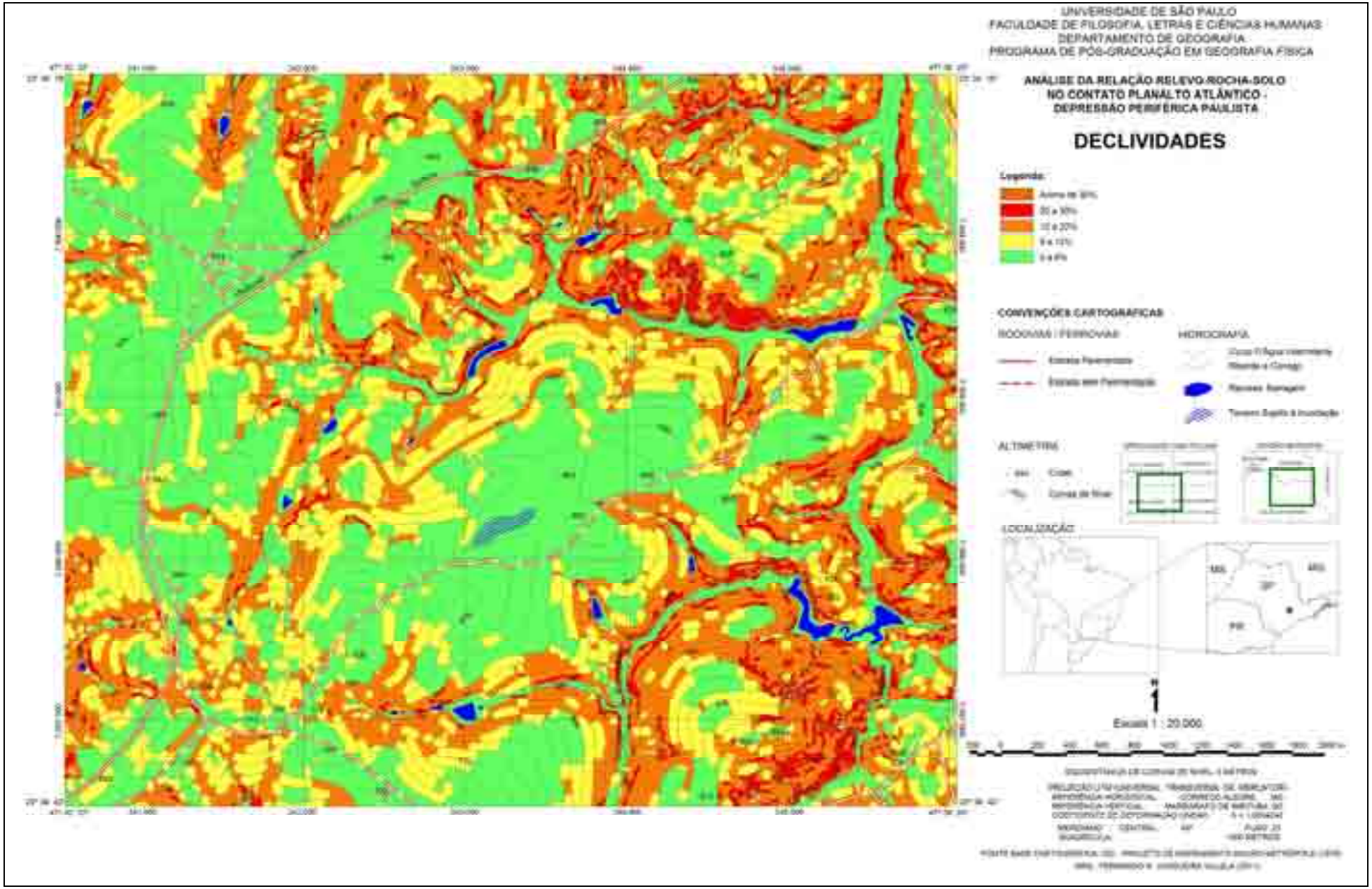
A hipsometria mostra que a área é escalonada em altitudes mais altas na parte SW, acima de 700 m, que decaem para altitudes menos elevadas conforme se caminha em direção à jusante, para leste e nordeste. Entre 660 e 680 m existem manchas descontínuas das áreas de topo, bem definidas. Abaixo dos 660 m, o relevo inicia um gradiente maior de altitude, porém sem mudanças bruscas. Os vales são observados predominantemente abaixo dos 625 m, abrindo-se em direção à calha do Rio Ipaneminha. Topos restritos nos patamares ou individualizados nos interflúvios também são notados.

As declividades dominantes ocorrem no intervalo de 0 a 6%, portanto as áreas aplainadas dominam a paisagem do quadrante. O gradiente de declividade acompanha a hipsometria, e os setores mais íngremes estão restritos aos interflúvios mais dissecados a leste. As vertentes possuem declividades predominantes entre 6 e 20%, para no fundo dos vales ganharem novamente declividades de 0 a 6%, o que, como será visto, resulta em fundos de vale planos em muitos trechos.

O levantamento destes dois temas em gabinete permitiu verificar o gradiente constante e baixo do relevo, cujo entalhamento não é muito pronunciado, mas quando ocorre é localizado. Os interflúvios de maior declividade caracterizam os locais de maior energia do relevo e também de mudança da litologia, pois nestes casos a mudança de gradiente é abrupta, caracterizando rupturas de declive acentuadas. Estas mudanças bruscas no relevo, de pouca ocorrência, parecem se ajustar ao nível de base local, na cota de 600 m.

Aproveitando-se o **Mapa Geológico** e os **Mapas Hipsométrico** e de **Declividades**, foi possível estabelecer um limite entre a gênese das formas de relevo da superfície, esculpidas sobre a litologia cristalina ou sedimentar (**Figura 34**). Esta ajudou a perceber os compartimentos morfológicos e a delimitar as unidades pedológicas posteriormente.


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA
ANÁLISE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO
NO CONTATO PLANALTO ATLÂNTICO -
DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA
HIPSOMETRIA
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
RODOVIAS / FERROVIAS
HIDROGRAFIA
ALTIMETRIA
LOCALIZAÇÃO
Escala 1 : 20.000


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA
ANÁLISE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO
NO CONTATO PLANALTO ATLÂNTICO -
DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA
DECLIVIDADES
Legenda:
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
RODOVIAS / FERROVIAS
HIDROGRAFIA
ALTIMETRIA
LOCALIZAÇÃO
Escala 1 : 20.000

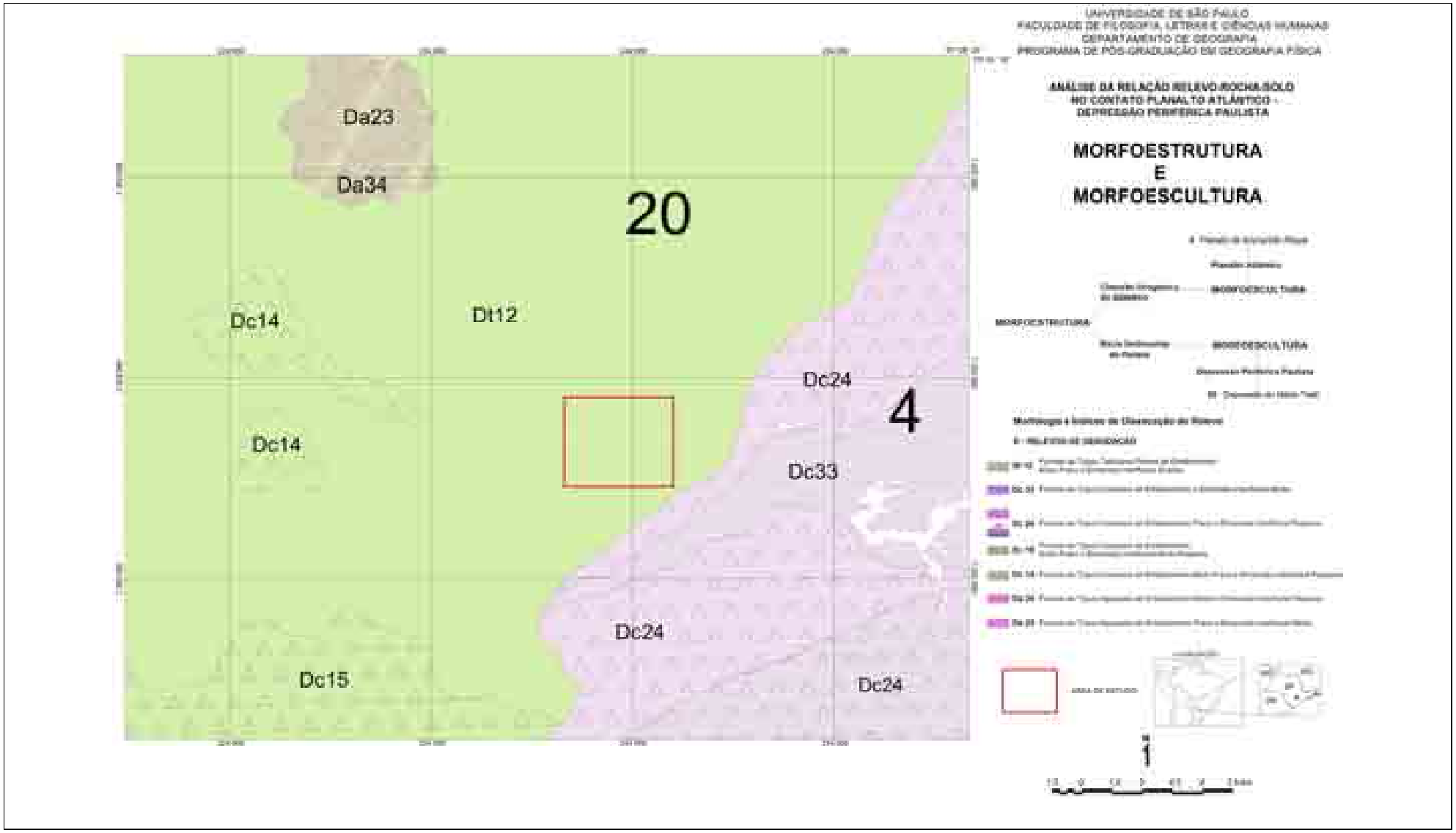


Figura 33. Limite das unidades morfoestruturais e morfoesculturais no contexto da área de pesquisa, de acordo com ROSS & MOROZ (1997). Org.: FNJV, 2011.

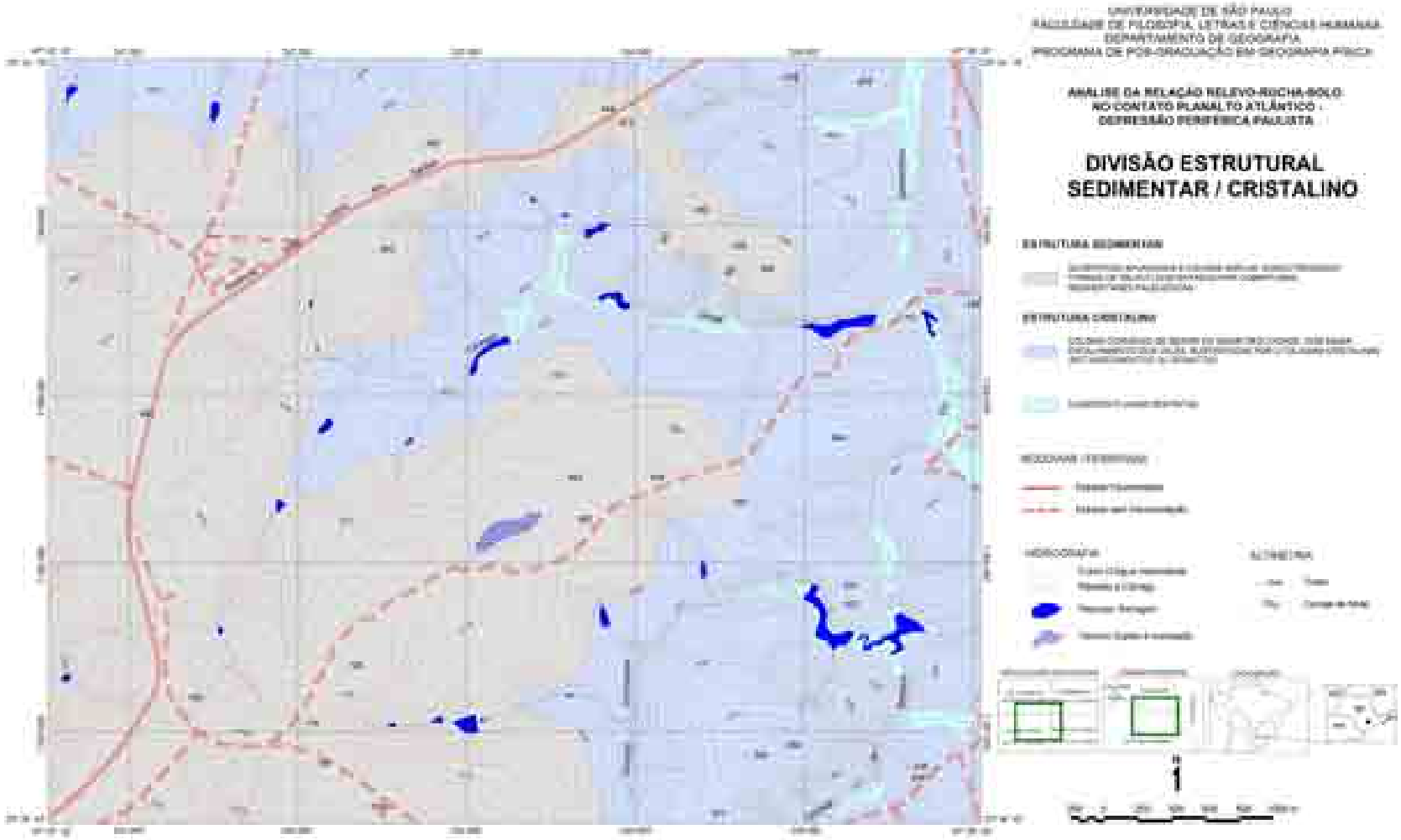


Figura 34. Generalização dos limites das unidades morfológicas segundo a litologia, topografia, hipsometria e declividades, indicando a gênese do relevo (morfoestrutura) pelo substrato geológico e pelo nível de dissecação. Org.: FNJV, 2011.

7.3.2.3 Aerofotointerpretação

O **Mapa Morfológico** foi elaborado por aerofotointerpretação e leitura dos mapas anteriores. As formas de relevo e os elementos morfológicos aerofotointerpretados serviram para direcionar confirmações e ajustes de campo, sobretudo a ocorrência de processos de superfície e exposição/localização de afloramentos.

A primeira informação extraída das fotos aéreas em preto e branco com escala 1:25.000 da BASE (1962a; b, c; d) foi a hidrografia, permitindo, além do delineamento da drenagem, a inserção de alguns córregos intermitentes não restituídos pelo IGC (1979a; b; c; d). Foi utilizada também foto aérea colorida da AEROCARTA (2006), em escala 1:20.000, para atualizar a condição perene ou intermitente da drenagem.

As fotografias aéreas em preto e branco compuseram dois pares estereográficos e mostraram-se muito úteis não só na delimitação das formas como na visualização do "aspecto" das formas, pois ressaltava aos olhos mais o arranjo do que as cores da superfície. As mudanças da litoestrutura, inclusive, puderam ser percebidas já no início da aerofotointerpretação, ao analisar-se as diferenças de dissecação das margens do Córrego Utinga (**Figura 35**).

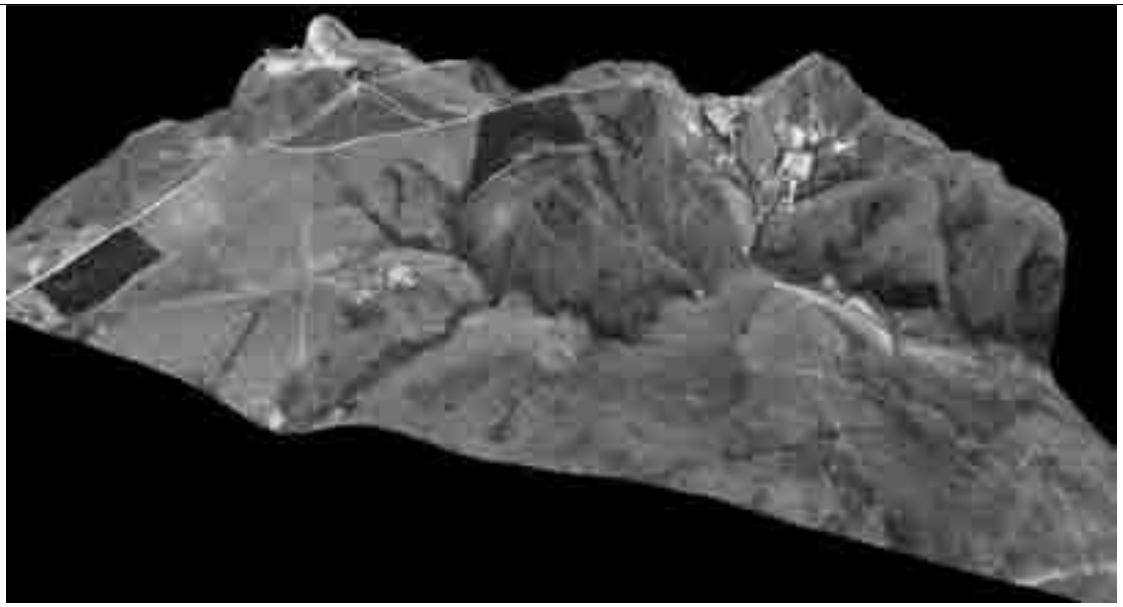


Figura 35. Vista da sub-bacia do Córrego Utinga de oeste para leste em modelo 3D, processando-se fotografia aérea da BASE (1962b). Observa-se que na margem esquerda há um topo bem definido com uma ruptura de declive para setor de vertente retilíneo, enquanto que na margem direita a área de topo, além de ser mais aplainada, passa para um modelado colinoso, de topos amplos. Coincidentemente, a litologia também é diferenciada: na primeira, existem afloramentos de rocha metamórfica e granítica junto às rupturas de declive, enquanto que na segunda existem litologias sedimentares. Assim, observa-se o controle estrutural da litologia sobre o modelado, embora nem sempre bem marcado. Org.: FNJV, 2011.

Para fins de compartimentação, após a drenagem foram marcados os limites dos vales nas mudanças de declive conectadas aos talvegues. Apesar das variações, foram definidos limites convexos, côncavos e retilíneos, optando-se pela morfologia predominante. Em seguida, se passou à classificação dos vales, onde as cabeceiras possuíam forma em “V” e em “U”; algumas vezes, mostravam-se assimétricos (**Foto 30**), especialmente nos setores de substrato metamórfico. Esta assimetria também foi observada nas áreas de afloramento dos granitos, ou então nas vertentes mais inclinadas onde existem metarritmitos (**Foto 31** e **Figura 36**), associados também à drenagem quando havia formação de cotovelos. Vales com fundo plano foram marcados em áreas de ocorrência de planícies fluviais (**Foto 32**).

Foto 30. Vista para vale assimétrico (rumo E), em área de cabeceira do Córrego Utinga. Cidade de Sorocaba ao fundo. Foto: FNJV, 14/10/10.

Foto 31. Vista para colina mais dissecada a NE a partir de lago artificial no leito do Córrego Utinga. A litologia existente do outro lado do lago é metamórfica, ocorrendo o modelado mais entalhado e rugoso. Foto: FNJV, 06/06/08.

Figura 36. Curso principal do Córrego Utinga, destacando-se em azul o controle estrutural da drenagem com a formação de cotovelos. No destaque em vermelho, um exemplo do aparecimento de matacões no quadrante da pesquisa (Fonte da foto: AEROCARTA, 2006). Org.: FNJV, 2011.

Foto 32. Planície fluvial em vale de fundo plano. Vista para W. Foto: FNJV, 16/06/11.

Após os vales e seus limites, foram marcados os elementos morfológicos em divisores topográficos, tais como cristas e colos. As cristas mostraram-se definidas apenas pelos lineamentos, pois não há na área ocorrência de relevos apalachianos. As cristas simétricas ocupam topos de interflúvios sustentados por litologias sedimentares, enquanto que as cristas assimétricas estão presentes em substrato dominado por filitos e granitos. Os colos ocorrem em sua maioria na área contínua e extensa de divisores aplainados.

As mudanças e rupturas de declive foram marcadas depois de definidos os outros elementos. As rupturas de declive indicavam mudanças bruscas no gradiente e foram classificadas em convexas, côncavas ou retilíneas (**Fotos 33**, **34** e **35**). Já as mudanças de declive configuravam passagens graduais para morfologia e declividades diferentes para jusante, sem notação muito evidente (**Fotos 36** e **37**).

Foto 33. Ruptura de declive convexa, com vista para SW. Foto: FNJV, 12/11/10.

Foto 34. Ruptura de declive côncava, com vista para NW. Foto: FNJV, 12/11/10.

Foto 35. Ruptura de declive retilínea, com vista para Sul. Serra de São Francisco ao fundo. Foto: FNJV, 11/05/10.

Foto 36. Mudança de declive côncava, com vista para Sul. Foto: FNJV, 10/05/10.

Foto 37. Mudança de declive convexa, com vista para Sul. Foto: FNJV, 16/06/11.

Completando, foram marcados por meio de setas os setores convexos, côncavos e retilíneos das vertentes, apenas indicando sua ocorrência, visto a variação das formas na escala abordada neste trabalho.

Ao término da marcação dos elementos morfológicos, partiu-se para a delimitação das formas de relevo, com a intenção de compartimentar unidades em polígonos, havendo assim o entendimento morfográfico da área de estudo. Entende-se por morfografia a morfologia e

altimetria do relevo associada à morfometria ou declividades da superfície. Em termos morfográficos, a área de pesquisa abrangeu cinco unidades delimitadas:

- **Topos convexos individualizados**, nas altimetrias acima de 660 m, na morfoestrutura de substrato sedimentar. São relevos de baixa amplitude topográfica, dificilmente visíveis no campo em razão do uso da terra; já os topos convexos no domínio da litologia cristalina são mais facilmente discerníveis, pois há aumento do entalhe das vertentes em formas mais dissecadas, mantendo-se acima dos 630 m. Tais topos mais facilmente individualizados possuem declividades baixas a médias (6 a 20%), com alguns setores mais íngremes nos relevos de substrato cristalino. No domínio de substrato sedimentar, o contato com a superfície extensa e aplainada se faz entre colos bem definidos;

- **Área de divisores aplainados**, que se estende sobre o divisor das bacias dos rios Ipanema e Sorocaba e adentra a área de pesquisa de sudoeste para leste, configurando uma área de baixas declividades levemente convexizadas em seus limites laterais (**Foto 38**). As vertentes nesta superfície aplainada são em geral convexas, com alguns setores retilíneos; exceção se faz à presença de uma depressão interfluvial que é encontrada no "terreno sujeito à inundação" indicado nas convenções cartográficas da legenda do **Mapa Morfológico**, contornado por uma ruptura de declive côncava e um colo suave, que provavelmente ajuda a alimentar o escoamento superficial para dentro da ruptura (**Figura 37**). A área de divisores aplainados pode adquirir dimensão interfluvial extensa, de mais 700 metros quando em contato com as vertentes; ao ser estrangulada pelas cabeceiras de drenagem de direções opostas, fica restrita algumas vezes a menos de 100 m. As amplitudes topográficas não ultrapassam 80 m das partes mais altas para as partes mais baixas, em transição plana e gradiente baixo;

- **Setores de vertente amplos a dissecados**, que associados às outras unidades de relevo caracterizam o modelado colinoso, sendo que os amplos (**Foto 39**) constituem relevos de declividades baixas a médias (6 a 20%), dimensão interfluvial entre 300 e 700 m e entalhamento dos vales entre 40 e 60 m, de modo geral. Os setores de vertente dominantemente convexos podem possuir trechos côncavos e retilíneos. Nos setores de vertente amplos também existem rupturas e mudanças de declive, estas últimas mais freqüentes. Já os setores de vertente mais dissecados (**Foto 40**) apresentam dimensão interfluvial média de 200 a 500 metros, com entalhamento dos vales de 40 a 80 m em geral. Há freqüência maior de rupturas de declive retilíneas nas vertentes mais dissecadas;

- **Vales fluviais** (**Foto 41**), com limites convexos, côncavos e retilíneos e cabeceiras geralmente em anfiteatros amplos, que configuram as áreas de captação do escoamento superficial. Tratam-se de alvéolos de gradiente baixo, mas que às vezes no contato com as calhas fluviais adquirem gradiente mais acentuado, passando de vales em “U” para vales em “V” e vales convexos ou assimétricos; o oposto também pode ocorrer, isto é, as cabeceiras dos vales podem se desenvolver inicialmente de maneira estreita com vales em “V” e abrir à jusante para vales em “U”, vales convexos ou vales assimétricos. Os entalhes dos vales em “V” ou o seu estreitamento indicam o controle estrutural da litologia. As amplitudes altimétricas dos vales podem chegar a 50 m da cabeceira aos rios de 4ª ordem, sendo o gradiente mais acentuado no domínio de rochas metassedimentares, como nos filitos. Quanto à largura, os anfiteatros caracterizam formas mais largas nas cabeceiras que cortam os sedimentos paleozóicos e os setores de vertente amplos (300 a 500 m), e possuem largura menor quando os córregos passam a ser perenes (entre 100 e 200 m, basicamente);

- **Planícies fluviais**, restritas aos trechos médios dos córregos que afluem para o Rio Ipaneminha, com vales de fundo plano e largura entre as margens sem exceder 200 m.

Foto 38. Área de divisores aplainados. Vista para SW. Foto: FNJV, 16/06/11.

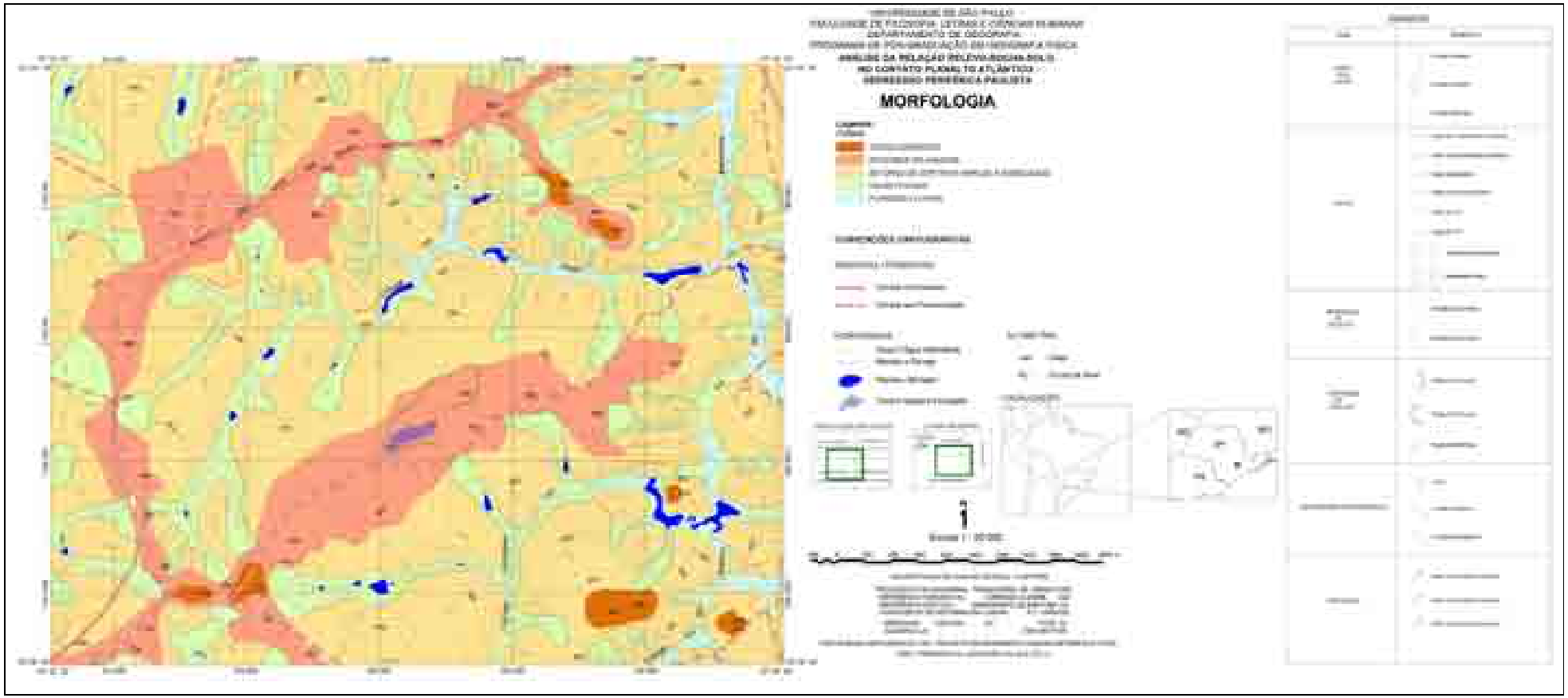
Foto 39. Exemplo de setor de vertente amplo, de dimensão interfluvial grande e baixo gradiente de relevo. Vista para SW. Foto: FNJV, 16/06/11.

Foto 40. Vertente dissecada, vista para Norte. Foto: FNJV, 16/06/11.

Foto 41. Exemplo de vale fluvial com limite convexo (fundo da foto). Vista para NW. Foto: FNJV, 12/11/10.

Figura 37. Depressão interfluvial na área de divisores aplainados. Org.: FNJV, 2011.

No **Mapa Morfológico** a seguir podem ser vistas as cinco formas de relevo delimitadas e os elementos morfológicos descritos anteriormente. Assim que foi feito, este permitiu que as incursões à área de pesquisa tivessem levantamentos mais localizados e específicos, resultando após o levantamento de campo no **Mapa Geomorfológico**.


MORFOLOGIA

7.3.3 Levantamentos de Campo

SANTOS (1950), ao dividir a região de Sorocaba em unidades geomórficas, caracterizou a área onde se insere o quadrante como um nível que se estende nos sopés da Serra de São Francisco, entre 650 a 750 m de altitude. Segundo a autora, neste nível distingue-se facilmente o relevo das zonas de filitos e xistos das topografias peculiares às áreas calcárias ou graníticas, pois a ação da erosão diferencial evidencia-se nos vales escavados nos filitos, nas quebras de perfis esculpidas nos xistos resistentes, nos ressaltos dos morros calcários mais silicosos ou no recobrimento de matacões nas áreas de exposição do granito.

De fato, na área de estudo a estrutura geológica condiciona a topografia das formas, assim como a orientação da hidrografia. É visível a diferença do entalhamento dos vales nas áreas sustentadas por litologias cristalinas, pois estes se apresentam muito mais aprofundados, inclusive com o aparecimento de planícies fluviais restritas quando, escavados ao máximo, os vales possuem fundo plano. As colinas e espigões que seguem o delineamento de extensos patamares levemente convexos e aplainados possuem litologia sedimentar, sobretudo arenitos finos e siltitos argilosos. Entretanto, a intrusão cambriana granitóide ocupa terrenos sustentados pelos metassedimentos ou sedimentos, deixando os limites das unidades nem sempre muito claros, mesmo quando aflorando em matacões de mais de 2 m de altura.

Esta nítida influência litoestrutural sem que limites mais definidos fossem facilmente reconhecidos levou aos levantamentos de campo para confirmação de substratos ou materiais de alteração que pudessem ser relacionados às formas de relevo. Também a necessidade de reconhecimentos de processos de superfície e feições de processos pontuais justificou estes levantamentos. Quando as informações julgadas necessárias foram reunidas, foi confeccionado então o **Mapa Geomorfológico**, integrando todos os levantamentos de gabinete e campo realizados, inclusive o levantamento pedológico mostrado no **item 7.4**.

Pela confecção dos mapas base, hipsométrico, clinográfico, morfológico e geológico, foi possível escolher alguns fatores com maior necessidade de investigação:

- Feições erosivas (ravinas) presentes nas fotografias aéreas da BASE (1962a; b; c; d), para a atualização das formas ligadas a processos de superfície;

- Evidências de movimentos dos materiais de alteração por transporte gravitacional, tais como colúvios;

- Localização de depósitos ou materiais de alteração expostos na superfície;

- Relação destes fatores com a litologia e os solos, caso fosse possível a observação.

Os ravinamentos foram investigados a partir da aerofotointerpretação, mas mostraram situação diferente das incisões de maior profundidade com que aparecem nas fotografias aéreas mais antigas. Atualmente, as ravinas estão colmatadas por formação superficial de areia fina, com vegetação secundária no fundo dos talvegues e em franco processo de recuperação (recomposição da cobertura vegetal original) (**Figuras 38** e **39**). Por estas características, acredita-se que as incisões eram causadas pelo caráter mais perene das drenagens décadas atrás, que, como já dito, caminham para a intermitência de suas cabeceiras nos dias atuais. Entretanto, o aspecto morfológico de suas rupturas nas vertentes e nas cabeceiras de vales fluviais ainda permanece, e por isso tais feições foram mantidas nos mapeamentos subseqüentes.

A escala de trabalho mostrou-se incompatível para a representação de outras erosões mais localizadas, geralmente relacionadas à morfologia das vertentes (**Foto 42**), ao rastejo ou erosão laminar (**Foto 43**) ou à atividade antrópica (**Foto 44**), e por isso não foram marcadas.

Figura 38. Ravinas em vertente lateral à Rodovia João Leme dos Santos (Fonte da Foto: BASE, 1962b). Org.: FNJV, 2011.

Figura 39. Mesmo local da foto anterior, mostrando as ravinas com recomposição da mata ciliar (Fonte da Foto: AEROCARTA, 2006). Org.: FNJV, 2011.

Foto 42. Erosão em setor côncavo de vertente. Vista para Sul. Foto: FNJV, 10/06/08.

Foto 43. Terracetes formados pelo rastejo. Vista para NE. Foto: FNJV, 06/06/08.

Foto 44. Sulcos de erosão causados por obras próximas ao local. Vista para SE. Foto: FNJV, 10/05/10.

Os colúvios foram encontrados na porção média das vertentes, após mudanças de declive ou em setores de patamares convexizados (rampas de inclinação baixa). Os materiais variam de cascalhos de quartzo a seixos polidos e arredondados de quartzitos, podendo também aparecer fragmentos oriundos dos veios de quartzo (**Foto 45**). Colúvios arenosos também aparecem em perfis e taludes na base das vertentes. Pela baixa freqüência e intervalos altimétricos em que foram constatados, acredita-se que estejam relacionados às superfícies mais baixas, inferiores a 645 m.

Foto 45. Material coluvionar na base de vertente, com fragmentos de quartzo bem visíveis. Vista para SE. Foto: FNJV, 16/06/11.

Os depósitos e materiais de alteração observados ficaram restritos às áreas de cabeceiras de drenagem ou aos locais próximos aos fundos de vale, e apresentaram materiais e selecionamento variado.

No domínio do substrato sedimentar, os depósitos encontrados corresponderam a materiais alterados dos siltitos e arenitos do Subgrupo Itararé, compondo massa silto-argilosa com areias ou diamictitos. Onde afloram os granitos do Maciço Sorocaba como matacões, os blocos de composição quartzo-feldspática muitas vezes foram encontrados escamados (apresentando esfoliação esferoidal), com intenso ataque químico. Por fim, os materiais metamórficos alterados corresponderam aos locais em que existe maior concentração de micas alteradas, onde ainda é possível reconhecer as fraturas e algumas vezes a foliação original.

7.3.4 Unidades Geomorfológicas

Os resultados dos levantamentos geomorfológicos de campo e gabinete foram organizados para que pudessem ser descritos em uma relação hierarquizada segundo a escala de ocorrência e resultassem no **Mapa Geomorfológico**. Foram classificados seis táxons desde o domínio morfoestrutural até os processos pontuais, resultando em unidades relacionadas à morfoestrutura, morfoescultura, formas do relevo, modelado (elementos morfológicos), intervalos altimétricos, declividades, solos, geologia e formas ligadas a processos de superfície. Os solos puderam ter seus tipos confirmados após o levantamento pedológico mostrado no item seguinte. Os resultados alcançados estão na legenda geomorfológica conforme segue:

- **1º Táxon - Unidade Morfoestrutural:** correspondeu à localização da área de estudo no contato do Planalto Atlântico com a Bacia Sedimentar do Paraná, com a divisão da gênese do relevo segundo o substrato geológico sedimentar (sedimentos paleozóicos) ou embasamento cristalino (metassedimentos e granitos);

- **2º Táxon – Unidade Morfoescultural:** correspondeu somente à localização na Depressão Periférica (Paulista);

- **3º Táxon – Formas do Relevo:** foram divididas por tipo quanto à gênese ligada ao substrato sedimentar ou cristalino; no substrato sedimentar, figuraram os topos convexos, a área de divisores aplainados, os setores de vertente amplos e os vales fluviais; no substrato cristalino, foram individualizados os topos convexos, os setores de vertente dissecados, os vales fluviais e as planícies fluviais;

- **4º Táxon – Elementos Morfológicos:** localizaram o modelado segundo a ocorrência nos tipos de forma do relevo;

- **5º Táxon:** definiu pelos tipos de forma do relevo as características predominantes quanto aos intervalos altimétricos, declividades e solos; a geologia foi generalizada para as formas de substrato sedimentar ou cristalino;

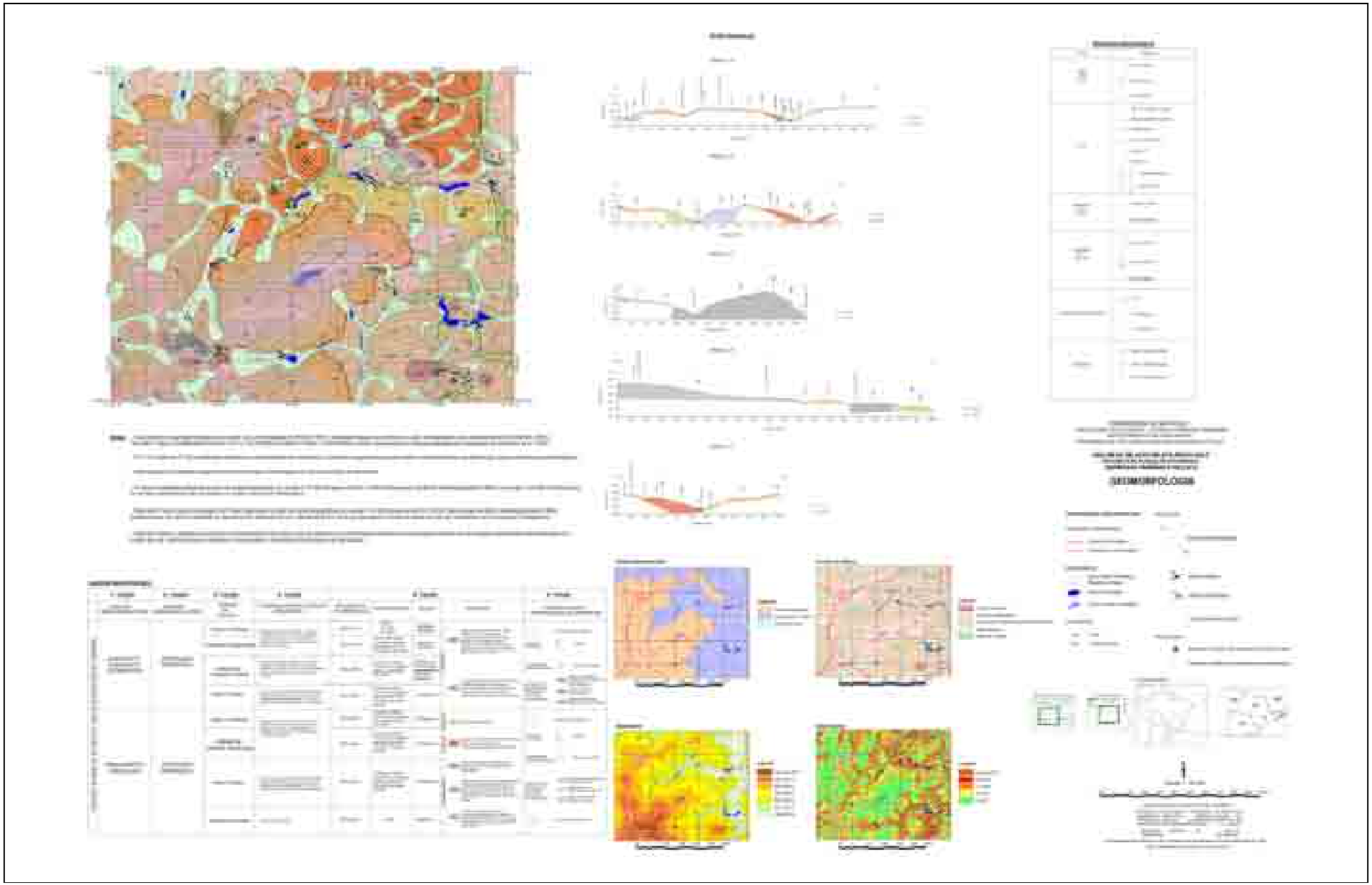
- **6º Táxon:** resultou na classificação das formas ligadas a processos de superfície, sendo distinguidas as feições erosivas, os movimentos gravitacionais de massa e os depósitos de materiais de alteração, além da indicação dos processos dominantes de

denudação ou acumulação. Os processos de superfície não foram setorizados segundo os táxons anteriores, pois não tiveram sua relação hierárquica compreendida em detalhe.

Para melhor visualização do **Mapa Geomorfológico** e a compreensão imediata da relação entre as formas de relevo e o substrato geológico, optou-se por apresentar a legenda das formas em polígonos hachurados vazados, enquanto que a litologia manteve a conformação do **Mapa Geológico** quanto às unidades e atitudes geológicas. Os elementos morfológicos foram indicados da mesma maneira que o **Mapa Morfológico**. Notas explicativas foram escritas abaixo do mapa abordando os métodos e bases utilizadas para a confecção da carta.

Dois conjuntos de informações adicionais foram inseridos para melhor compreensão dos fatores mapeados: quatro pequenos mapas temáticos, segundo a gênese da morfoestrutura, tipos de forma do relevo, hipsometria e declividades; e cinco perfis geológicos, com escala horizontal de 1:20.000 e escala vertical de 1:5.000, para que o exagero da topografia evidenciasse de maneira melhor as vertentes e a relação com o substrato. As orientações dos perfis foram definidas somente após escolhidos os pontos de amostragem de solos, localizados inclusive no mapa geomorfológico e nos perfis. Mais detalhes são relatados a seguir no **item 7.4**.

Na página seguinte apresenta-se, assim, o **Mapa Geomorfológico**.



7.4 Levantamento das Informações Pedológicas

O levantamento pedológico foi resultado quase que inteiramente dos levantamentos de campo; algumas informações foram apreendidas durante os levantamentos geológicos e geomorfológicos, mas obviamente não eram suficientes dentro da proposta da pesquisa. Os levantamentos de campo com fins de reconhecimento pedológico envolveram a realização de tradagens expeditas em uma primeira aproximação, para depois estas serem sistematizadas em tradagens, análises de perfis em trincheiras e coletas para análise de laboratório.

As unidades geomorfológicas mostraram que o contato do substrato sedimentar com o substrato cristalino era o maior problema na identificação dos materiais, pois nem os litotipos, nem a estrutura geológica ou a morfologia dos terrenos indicam um aspecto visível destas transições na superfície. Por esta razão, a delimitação de unidades de solo nestas revelou-se muito difícil de ser estabelecida, especialmente quanto ao material de origem.

7.4.1 Escolha dos Locais de Amostragem

Procurou-se identificar os solos pela seqüência das vertentes, do topo ao fundo de vale. Tal tarefa não contou com a investigação por topossequências, pois não era compatível com a escala de trabalho, embora a área de estudo fosse investigada em escala de detalhe; trabalhou-se assim numa linha de levantamento mais expedita (de reconhecimento, apenas).

Esta amostragem correspondeu à tradagem de 8 vertentes (**Figura 40**), cada qual com sua transição de litologia e relevo. Como critério baseado nas formas de relevo, a intenção foi abranger por meio das tradagens a transição da superfície de área contínua de divisores aplainados para os setores de vertente amplos, e também da área de divisores aplainados para os setores de vertente dissecados, além das vertentes unicamente nos interflúvios mais dissecados; como critério geológico, as linhas de tradagem corresponderam à transição do substrato sedimentar para o substrato cristalino, passando dos sedimentos para as litologias metamórficas e dos sedimentos para a litologia ígnea. Apenas na linha de tradagem na porção sudeste da área de estudo não há transição da litologia, sendo o interflúvio com a maior dissecação da área de pesquisa embasado por filitos.

Seguindo as informações dos limites da geologia e da morfologia dos terrenos, foram escolhidos vinte e quatro pontos (TR1 a TR24) que seguiam a seqüência topo-fundo de vale nas linhas de tradagem estabelecidas, com 3 pontos de amostragem por vertente. Neste viés, foram aproveitadas também as exposições de perfis de solo e a aberturas de trincheiras para análises morfológicas, sendo três destas submetidas à análise de campo (**Figura 41**).

Os três primeiros pontos de coleta (TR1, TR2 e TR3) são os que melhor representam a relação dos solos com o substrato geológico e as transições morfológicas da vertente, e por

isso foram priorizados nas análises laboratoriais e análises de campo. Procurou-se amostrar estes pontos em uma vertente de declividade baixa (vide **Figura 42**), que nitidamente possui uma transição de solos a partir do topo, passando de solos avermelhados muito argilosos em que nas cabeceiras de drenagem próximas ao local o siltito/arenito alterado é exposto, para solos evoluindo para organização de horizonte B latossólico no terço médio da vertente (**Fotos 46, 47**, **48** e **49**), em franca transição do material sedimentar para o substrato cristalino granítico/metamórfico, ocorrendo Cambissolos no terço inferior da mesma.

Devido à localização desta vertente no campus UFSCar Sorocaba, foram abertas trincheiras com o uso de trator nos pontos TR1 e TR2 para descrição morfológica de perfis, e também foram realizadas análises granulométricas (cinco frações de areia, silte e argila), análises químicas para fins de classificação dos solos (pH, complexo sortivo, fósforo, acidez potencial, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e cálculos da relação Ki/Kr) e análises mineralógicas (identificação dos principais constituintes mineralógicos da fração argila por difração dos raios X) para os três pontos prioritários coletados.

Os demais pontos amostrados, isto é, TR4 a TR24, foram priorizados segundo sua distribuição de acordo com o levantamento geológico e a confecção da carta morfológica. Os locais mais significativos na representação da relação relevo-rocha-solo pareceram ser os pontos TR4, TR8, TR11, TR12, TR19, TR20 e TR23, pois se situavam em locais com dominância ou transição da morfologia do relevo e da litologia. Por isso, suas amostras foram enviadas ao laboratório para análises granulométricas, químicas (apenas óxidos atacados por ácido sulfúrico e cálculos da relação Ki/Kr) e análises mineralógicas. Os demais pontos tiveram amostras coletadas, mas não tiveram análises laboratoriais realizadas, servindo como complemento de informações às amostragens priorizadas. A relação dos três primeiros pontos de coleta que melhor representam a relação dos solos com o substrato geológico é caracterizada na **Figura 42**.

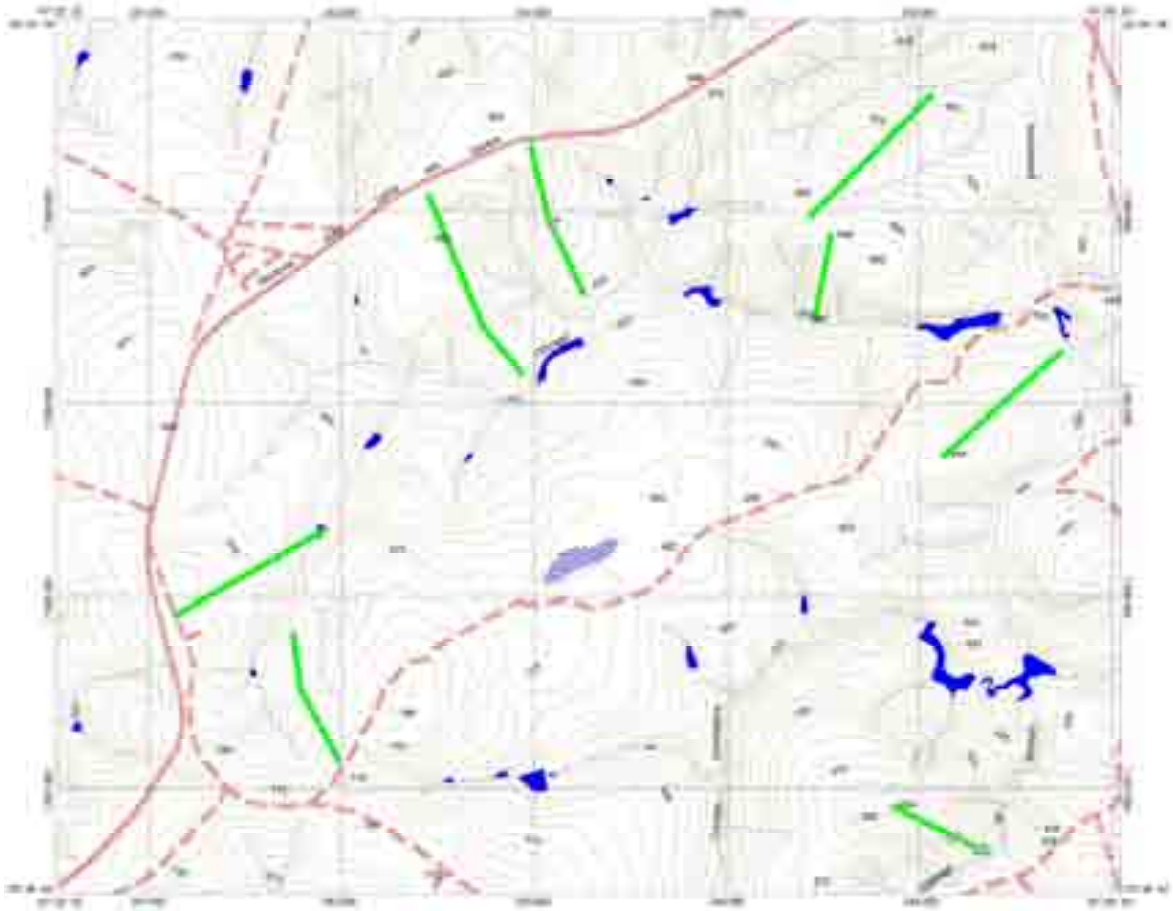


Figura 40. Vertentes escolhidas para as tradagens. Org.: FNJV, 2011.

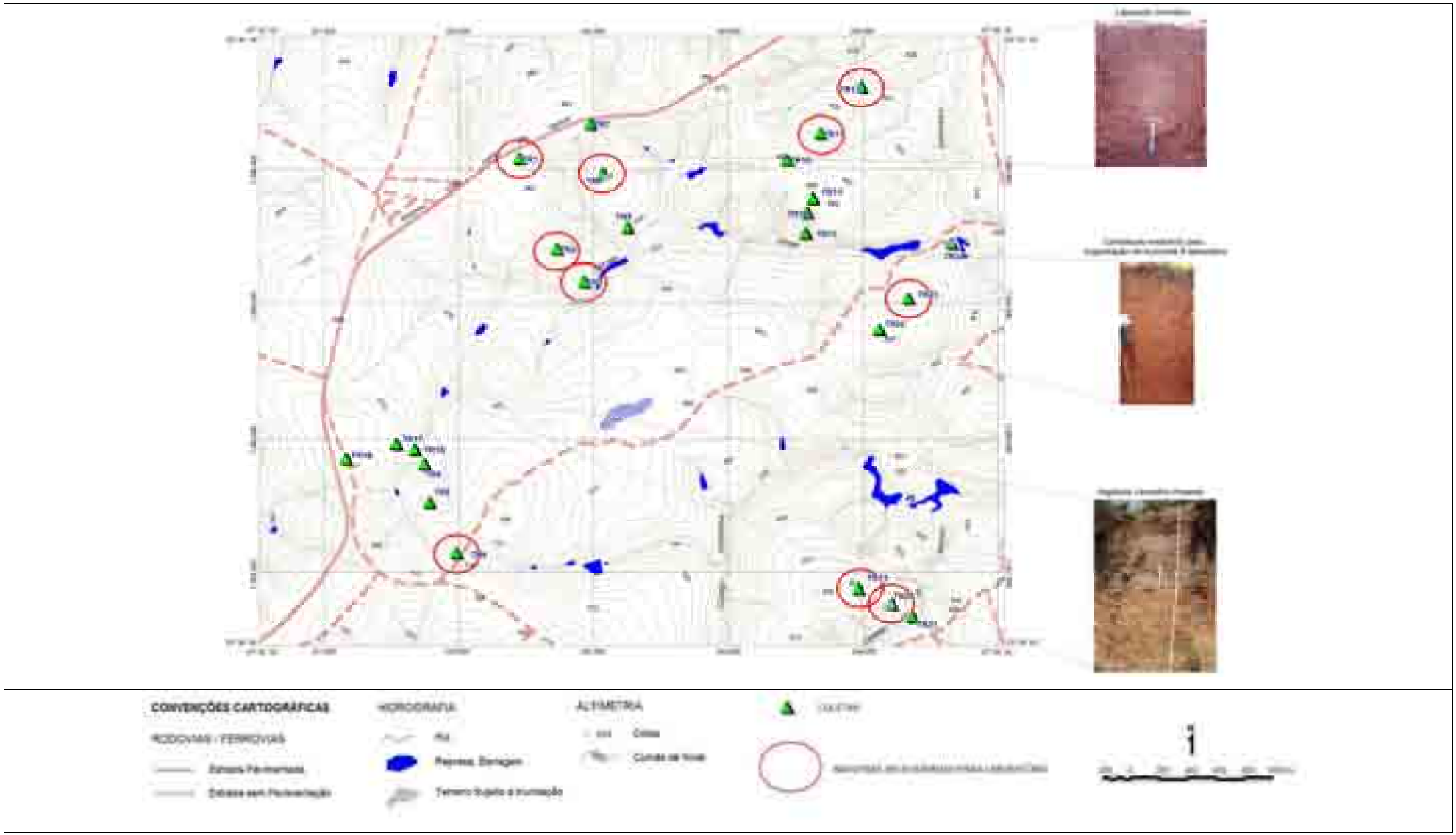
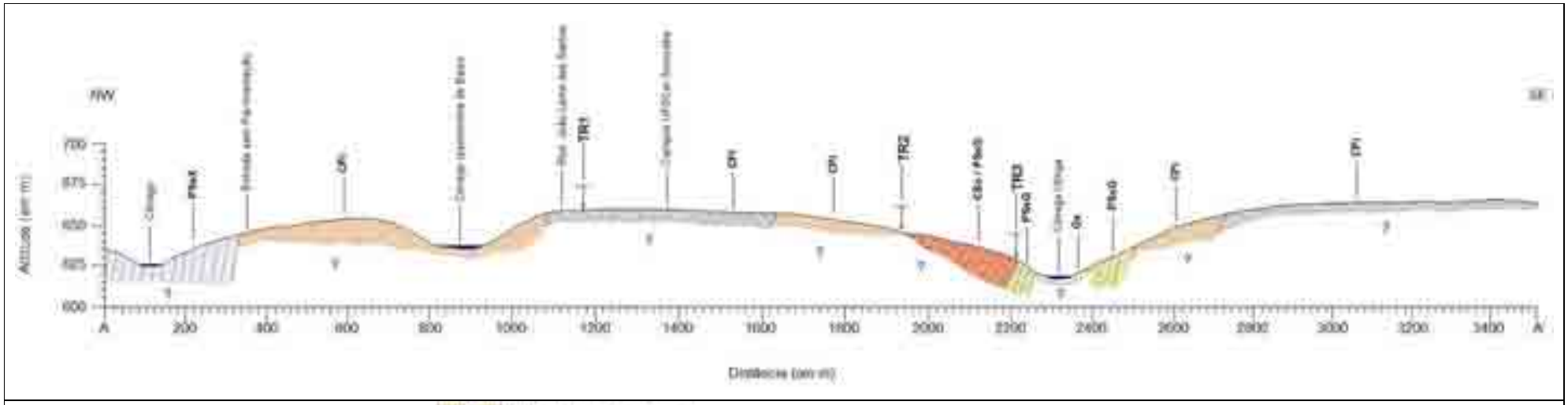


Figura 41. Localização dos pontos de coleta de amostras de solo, com os priorizados para análise de laboratório em destaque e localização dos perfis de solo analisados. Org.: FNJV, 2011.

Foto 46. Vista aérea para sul com a localização dos pontos de amostragem de solos para análise de laboratório TR1, TR2 e TR3. Campus UFSCar Sorocaba e Rodovia João Leme dos Santos à frente. Notar a transição de solo mais vermelho para cores mais amareladas nos pontos TR2 e TR3. Foto: Marcos de Afonso Marins, 2009.



Qa	Depósitos Aluvionares
CPi	GrupoTubarão, Subgr. Itararé: Siltito argiloso, com estrutura maciça, empastilhado, intercalado com siltito argiloso com estratificação plano-paralela e níveis milimétricos de areia fina (rítmicos), laminados, apresentando localmente marca de ondas
CPi	GrupoTubarão, Subgr. Itararé: Arenito fino a médio alaranjado, mal selecionado, com grânulos, alternando camadas com seixos centimétricos, apresentando estratificações cruzadas bem desenvolvidas
CSo	Maciço Sorocaba: Biotita granito, porfirítico, matriz de granulação grossa e fenocristais centimétricos de feldspato
PSsQ	Grupo São Roque: Quartzito de granulação média, equigranular, estrutura maciça intercalado com quartzito micáceo, com maior quantidade de minerais máficos, granulação fina, equigranular, de estrutura maciça
PSsX	Grupo São Roque: Metarritmito - intercalação milimétrica a centimétrica de filito grafitoso e filito sericítico, ambos de granulação muito fina e foliação bem desenvolvida

Figura 42. Perfil geológico A-A' cujo corte demonstra os locais de coleta das amostras dos pontos TR1, TR2 e TR3 (trados na figura) e sua relação com o substrato geológico e a morfografia das vertentes. Escalas originais: vertical = 1:5.000; horizontal = 1:20.000. Org.: FNJV, 2011.

Foto 47. Os patamares planos em áreas de topo levemente convexizados nas bordas são as áreas de ocorrência de Latossolos Vermelhos na área pesquisada. Foto: FNJV, 21/12/10.

Foto 48. Latossolo Vermelho em área de divisor aplainado, ponto TR1, muito intemperizado, com horizonte B latossólico. Foto: FNJV, 23/07/10.

Foto 49. No terço médio da mesma vertente do ponto TR1 encontra-se Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico (ponto TR2), em menor altitude em relação ao ponto anterior. Foto: FNJV, 23/07/10.

Os perfis geológicos em escala original também podem ser visualizados no **Mapa Geomorfológico**. Em razão do exposto anteriormente, passa-se assim à apresentação dos resultados obtidos para a caracterização morfológica dos perfis de solo, incluindo, quando for

o caso, os resultados de análises físicas, químicas e mineralógicas das amostras de solo coletadas.

7.4.2 Caracterização Morfológica, Física, Química e Mineralógica dos Solos

Apresentam-se aqui os dados morfológicos, granulométricos, químicos e mineralógicos que permitiram a caracterização e classificação dos solos existentes na área de estudo. Tais dados serão apresentados de acordo com os pontos amostrados nas coletas de solo, diferenciados em seu conteúdo e volume de dados. Como já dito, as coletas de amostras de solo corresponderam a 24 pontos (vide **Figura 41**) com a intenção de relacionar o horizonte diagnóstico aos processos de vertente e à característica geomorfológica do terreno, mas de acordo com os recursos disponíveis apenas 10 amostras foram enviadas a laboratório para análises físico-químicas e mineralógicas. A descrição destes 24 pontos durante as coletas é demonstrada na **Tabela 2**.

Tabela 2. Características observadas no campo durante a coleta de amostras nos pontos escolhidos. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	Hor.	Prof. (cm)	Cor	Textura (Campo)	Observações de Campo
TR1	Bw2	120	10R 4/6 (vermelho)	argilosa	Trincheira aberta; morfologia indica LV
TR2	Bi	85	2.5YR 4/8 (vermelho)	argilosa	Trincheira aberta; morfologia indica CX
TR3	Bi	60	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilosa	Cores variegadas
TR4	Bi	90	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilosa	Cor indica transição entre LV e CX
TR5	Bw1	80	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX
TR6	Bi	65	7.5YR 6/8 (amarelo-avermelhado)	arenosa	Cor e textura indicam CX
TR7	Bw2	120	5YR 3/3 (bruno-avermelhado-escuro)	argilosa	Cor e textura indicam LV
TR8	Bw	65	5YR 3/4 (bruno-avermelhado-escuro)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX; presença de matacões de granito próximos
TR9	Bi	50	7.5YR 4/6 (bruno-forte)	arenosa	Cor e textura indicam CX
TR10	Bw2	100	5YR 3/3 (bruno-avermelhado-escuro)	argilosa	Cor e textura indicam LV

Tabela 2 (continuação). Características observadas no campo durante a coleta de amostras nos pontos escolhidos. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	Hor.	Prof. (cm)	Cor	Textura (Campo)	Observações de Campo
TR11	Bw	65	5YR 4/6 (vermelho-amarelado)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX; presença de matacões de granito próximos
TR12	Bg	95	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilosa	Material apresentou hidromorfia; nível d'água atingido depois de 1m
TR13	Bw2	100	5YR 5/8 (vermelho-amarelado)	argilosa	Cor e textura indicam transição LV-CX
TR14	Bi	50	10YR 6/8 (amarelo-brunado)	argilo-arenosa	Declividade acentuada; cores variegadas
TR15	Bi	70	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilo-arenosa	Declividade acentuada; cores variegadas
TR16	Bw1	80	5YR 5/8 (vermelho-amarelado)	argilosa	Cor indica transição LV-CX
TR17	Bw1	80	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX
TR18	Bi	70	2.5YR 5/3 (vermelho-acinzentado)	arenosa	Cor e textura indicam CX; próximo ao local aterro para disciplinamento d'água
TR19	Bi	75	5YR 6/4 (bruno-avermelhado-claro)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX
TR20	Bi	80	10YR 5/3 (bruno)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX
TR21	Bi	65	10YR 5/4 (bruno-amarelado)	arenosa	Cor e textura indicam CX
TR22	Bw1	100	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilosa	Cor e textura indicam CX
TR23	Bw	55	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX
TR24	Bi	55	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilo-arenosa	Cor e textura indicam CX

Ponto TR1

Como pode ser observado nas **Figuras 41** e **42**, este ponto encontra-se na área de topo aplainado do principal espigão da área de estudo, e corresponde ao exemplo amostral da mancha contínua de Latossolo Vermelho que configura estas áreas de patamares planos do divisor topográfico principal, por onde passa a Rodovia João Leme dos Santos.

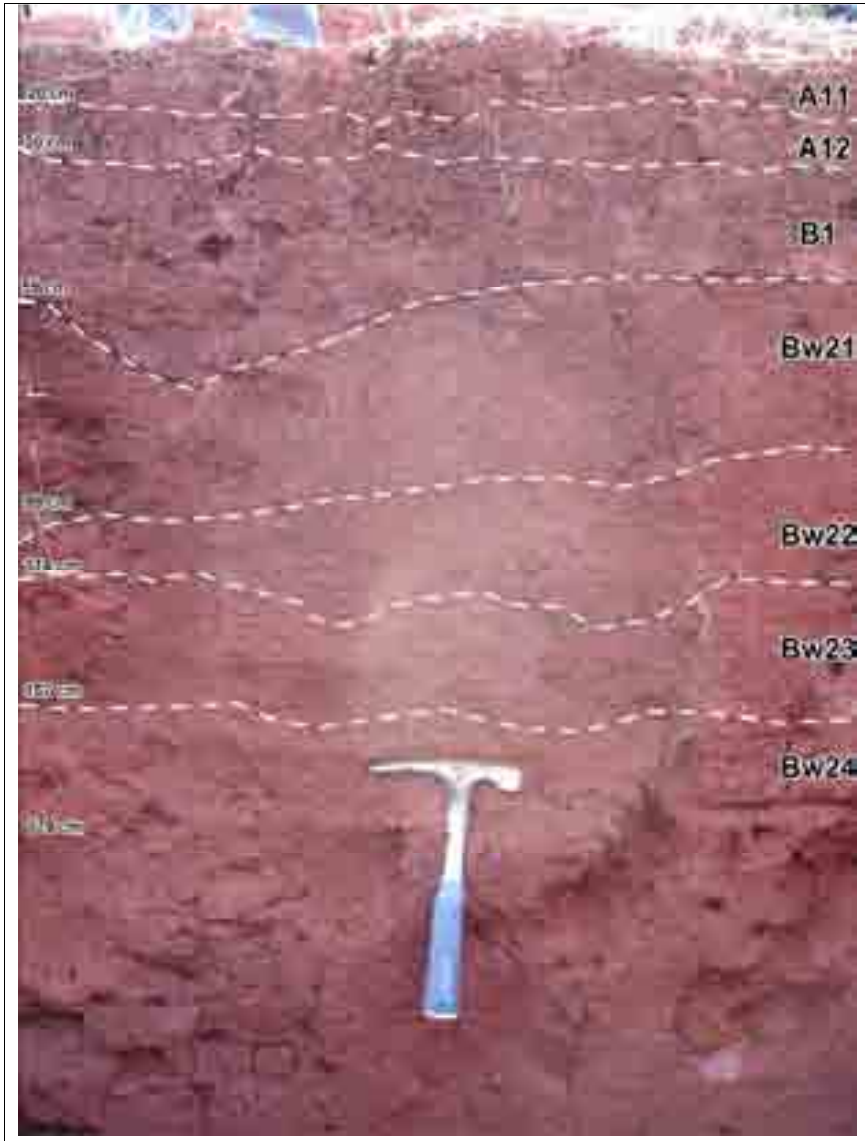
Conforme já exposto no **item 7.2**, o substrato geológico onde se encontra o ponto TR1 é caracterizado por siltitos argilosos paleozóicos do Subgrupo Itararé, ou seja, sedimentos de matriz síltico-argilosa muito antiga e intemperizada, que submetido ao clima tropical originou solos profundos e em estágios avançados de intemperismo. Provavelmente, o contraste entre

o tempo de deposição dos clastos em clima glacial e ambiente subaquoso e os ataques químicos que o material exposto sofreu durante períodos úmidos e quentes subseqüentes contribuíram ainda mais para sua alteração.

Os Latossolos Vermelhos constituem uma massa homogênea vermelha que muitas vezes apresenta-se fissurada, em razão dos veranicos típicos da região em que se encontra o município de Sorocaba, e quando esboroado o material deste solo adquire uma cor mais desbotada, deixando claro que sua estrutura é fundamental na configuração do aspecto vermelho e homogêneo. A possibilidade de observá-lo em trincheiras abertas para canalização de esgoto e águas pluviais demonstrou que seu desenvolvimento ultrapassa os 4 m de profundidade, podendo ultrapassar 10 m de profundidade segundo relato de moradores e trabalhadores de obras de engenharia civil que já abriram poços ou escavações nos limites deste tipo de solo dentro da área de estudo (vide **Foto 50**).

A seguir apresenta-se a descrição morfológica do perfil de Latossolo Vermelho aberto em trincheira de 2 m de profundidade no ponto TR1, em área de divisor aplainado situado à altitude aproximada de 660 m (**Figura 43**).

Foto 50. As obras de drenagem do campus UFSCar Sorocaba permitiram constatar a maior profundidade dos Latossolos Vermelhos na área de estudo, configurando uma mancha contínua relacionada às superfícies aplainadas do divisor topográfico principal. Perfil de aproximadamente 2,5 m. Foto: FNJV, 13/11/08.



Ponto de Observação: TR1

Data: 23/07/10

Relevo: área de topo em patamar levemente convexo (divisor topográfico) com menos de 6% de declive

Posição na Vertente: topo

Localização: Campus UFSCar Sorocaba (100 m ao sul da Rodovia João Leme dos Santos)

Coordenadas: E 242.546 m e N 7.390.012 m

Litologia e Formação Geológica: sedimentos paleozóicos do Subgrupo Itararé

Material de Origem: siltitos argilosos

Altitude: 661 m

Erosão: sem notações de feições evidentes

Cobertura Vegetal Atual: Braquiária

A11 – 0 a 20 cm: bruno-avermelhado-escuro (2.5YR 2,5/4, úmido), argiloso, estrutura em blocos que se desfaz em granular, pequena, fraca, ligeiramente dura, friável, plástica, muito pegajosa, poros pequenos, abundantes, atividade biológica (raízes em fendas, cupins), transição difusa plana;

A12 – 20 a 30 cm: vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido), argiloso (mais areia que o anterior), estrutura em blocos que se desfaz em granular, pequena, fraca, ligeiramente dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa (presença de um pouco de areia), poros pequenos a grandes, abundantes, atividade biológica (raízes em fendas, cupins), transição difusa plana;

B1 - 30 a 59 cm: vermelho-escuro (2.5YR 3/6, úmido), argiloso (presença de grãos de areia maiores), estrutura granular, fraca, dura, friável a firme, plástica, pegajosa, poros pequenos a grandes, abundantes, atividade biológica (raízes em fendas), transição difusa plana a ondulada;

Bw21 – 59 a 99 cm: vermelho (10R 4/6, úmido), muito argiloso, estrutura granular, fraca, ligeiramente dura, friável, mais plástica em relação à anterior, mais pegajosa em relação à anterior, porosidade diminui, poros pequenos a grandes, comuns, atividade biológica (raízes), transição difusa plana a ondulada;

Bw22 – 99 a 118 cm: vermelho (10R 4/8, úmido), argiloso (presença de areia fina), estrutura granular, ligeiramente dura, friável, plástica, pegajosa, poros pequenos a grandes, atividade biológica em menor quantidade (raízes), transição difusa plana a ondulada;

Bw23 – 118 a 157 cm: vermelho (10R 4/6, úmido), muito argiloso, estrutura granular, ligeiramente dura, friável, plástica, pegajosa, poros pequenos a grandes, atividade biológica em menor quantidade (raízes), transição difusa plana a ondulada;

Bw24 – 157 a 179+ cm: vermelho (10R 4/6, úmido), argiloso (menos areia fina que o anterior), estrutura granular, ligeiramente dura, friável, plástica, pegajosa, poros pequenos a grandes, atividade biológica em menor quantidade (raízes).

Figura 43. Descrição morfológica de perfil no ponto TR1 (Latossolo Vermelho). Org.: FNJV, 2011.

Na **Tabela 3** são apresentados os resultados das classes granulométricas, a relação silte/argila, argila dispersa em água destilada, grau de floculação e classe textural.

Tabela 3. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR1, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas (1)								S/A	Arg. em H_2O (2)	Grau de Floc. (2)	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bw23	120	29	47	66	93	56	290	109	601	0,18	0	100	m-arg

Conforme o triângulo textural utilizado pela ESALQ (USDA), este solo possui textura muito argilosa.

Na relação silte/argila, o valor para o ponto TR1 é de 0,18, condizente com o atributo diagnóstico para horizonte B latossólico de textura argilosa, menor que 0,6 (EMBRAPA, 2009).

Toda a argila do horizonte Bw23 encontra-se floculada, o que mostra que a estrutura granular é bem desenvolvida. Este dado demonstra a alta estabilidade destes Latossolos Vermelhos, implicando na pouca mobilidade das argilas e alta resistência à dispersão (EMBRAPA, 2009).

A seguir, apresentam-se dados de pH, complexo sortivo, teores de fósforo, boro, cobre, zinco e manganês, além da acidez potencial, capacidade de troca catiônica e saturação por bases de amostra coletada no ponto TR1 na área de Latossolos Vermelhos.

Tabela 4. Resultados da análise química para amostra coletada próxima ao ponto TR1. ([1]) g/dm³. ([2]) mg/dm³. ([3]) mmolc/dm³. ([4]) %. Fonte: IAC. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	MO (1)	pH H_2O	P (2)	K (3)	Ca (3)	Mg (3)	Al (3)	B (2)	Cu (2)	Fe (2)	Mn (2)	Zn (2)	H+Al (3)	SB (3)	CTC (3)	V (4)
A11	10	32	5	7	0,8	35	5	-	0,2	0,1	6	< 0,1	< 0,1	22	40,8	63,3	64
A12	30	18	5,4	2	0,3	31	3	-	0,11	< 0,1	6	< 0,1	< 0,1	16	34,3	50,7	68
Bw1	50	15	5,7	1	0,3	24	2	-	0,08	0,4	17	1,7	0,2	15	26,3	41,1	64
Bw21	80	12	5,9	2	0,3	19	2	-	0,06	0,2	6	< 0,1	< 0,1	15	21,3	36,1	59
Bw22	100	11	5,7	2	0,3	17	2	-	0,07	0,2	6	< 0,1	< 0,1	16	19,3	35,7	54

Os dados apresentados na **Tabela 4** permitem apontar que os Latossolos Vermelhos na área de estudo tratam-se de solos eutróficos.

Em linhas gerais, o teor de matéria orgânica (MO) concentra-se nos horizontes de superfície (A11 e A12) e diminui consideravelmente nos horizontes de subsuperfície (B1 e Bw2), em contraposição aos valores de pH. A acidez potencial (H+Al), por sua vez, também diminui em profundidade, assim como a capacidade de troca catiônica (CTC), a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V).

A leitura dos dados vincula os teores de matéria orgânica mais à CTC, já que a MO forma cargas negativas e aumenta a troca de cátions. Segundo WAMBEKE (1992), em geral os horizontes latossólicos retêm poucos cátions e por isso sua baixa capacidade de retenção de nutrientes pode ser compensada pela adição de matéria orgânica, que aumenta a quantidade de cargas negativas nas soluções do solo. O mesmo pode ser descrito para o comportamento do fósforo, em quantidades maiores nos primeiros 10 cm de solo.

Os valores de pH em água demonstram que conforme se aumenta a profundidade os horizontes ficam cada vez menos ácidos, com valores medianamente ácidos entre 5,0 e 5,7 (FASSBENDER, 1975).

A soma de bases (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}) revelou-se expressiva nas quantidades de cálcio principalmente, e a saturação por bases superior a 50% classifica-os como eutróficos (EMBRAPA, 2009). Os maiores teores de Ca^{2+} são explicados pelas atividades de mineração de calcário da Votorantim, a quase 7 km de distância do ponto TR1, que acabam por transportar pela circulação do ar poeira carbonática que se deposita na superfície e pela solubilidade alta sofre iluviação. Outra possibilidade é que seus teores mais altos sejam efeitos das calagens, já que se trata de área cultivada.

As concentrações de óxidos de ferro e manganês, assim como de sílica, alumínio e titânio têm papel importante na caracterização dos Latossolos, influindo em seus atributos diagnósticos desde a cor até o grau de intemperismo, presença de argilominerais e acumulação relativa de óxidos. É por isso que a seguir mostram-se os resultados das análises químicas para porcentagens de óxidos, cálculos das relações sílica-alumina (Ki) e sílica-sesquióxido (Kr) (**Tabela 5**), e a difração de raios X para a fração argila (**Figura 44**).

Tabela 5. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR1, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bw23	120	20,10	22,49	7,97	8,12	0,0100	1,52	1,24

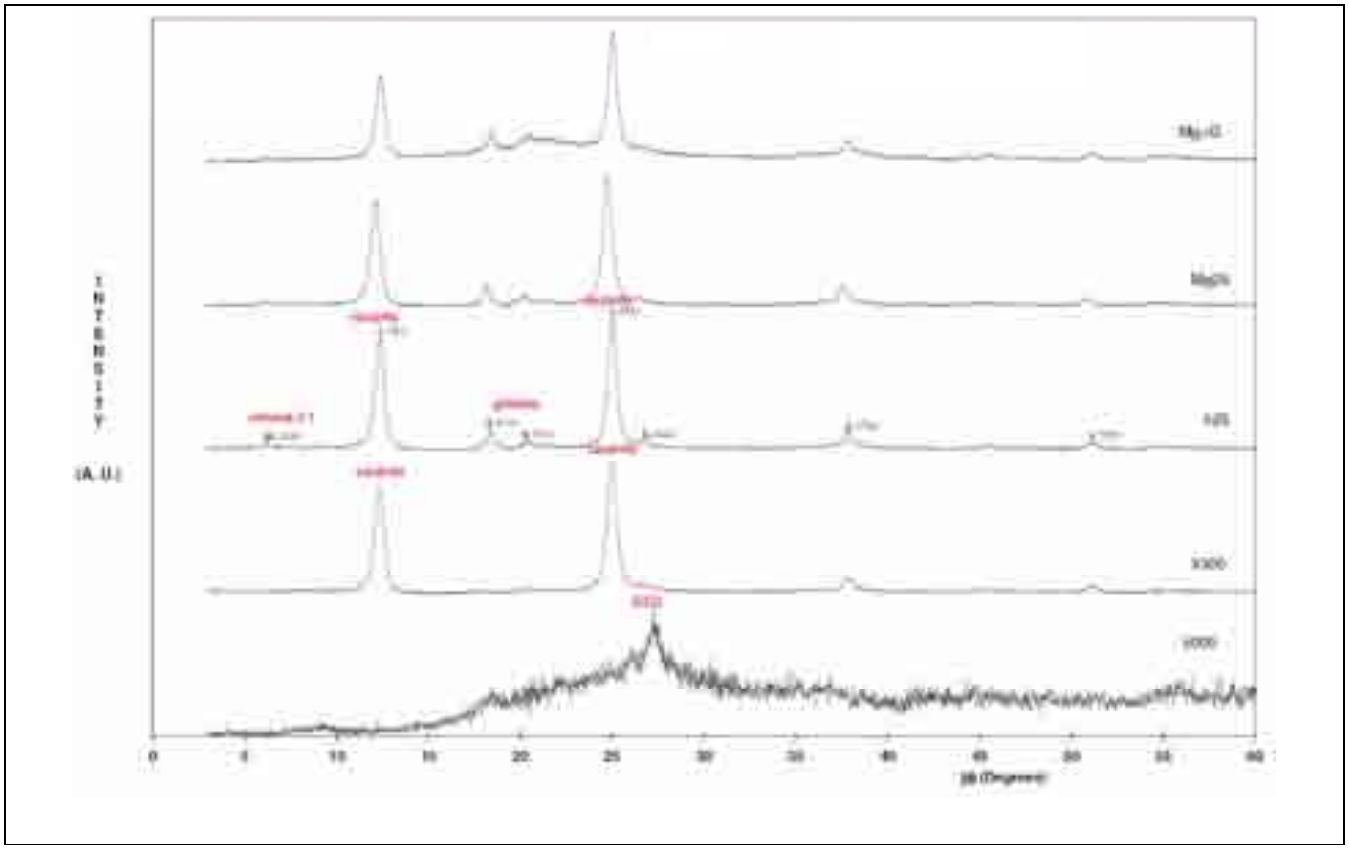


Figura 44. Resultado da difratometria para a amostra TR1. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Pelo resultado da relação molecular Ki (1,52), vê-se que predomina gibbsita, com valor menor que 1,8 que indica seu domínio. A relação Kr de 1,24 demonstra uma acumulação relativa de ferro, insuficiente para atender ao atributo diagnóstico para horizontes B latossólicos argilosos a muito argilosos (Kr< 0,75). De fato, o valor do óxido de ferro (7,97%) indica ser o solo do ponto TR1 hipoférrico (ferro menor que 8%; EMBRAPA, 2009), com a relação entre as proporções de hematita/goetita maiores que 0,6 (Hm/Hm+Gt > 0,6), sugerido pela existência de cores vermelhas nos matizes 2.5YR e 10R (IBGE, 2007).

Quanto à difratometria mostrada na **Figura 44**, foi percebida a presença de gibbsita e caulinita, além de reflexos menores que revelam uma pequena quantidade de mineral 2:1. Uma pequena quantidade de quartzo também é observada após o aquecimento a 500ºC.

Assim, o ponto TR1 corresponde a Latossolo Vermelho eutrófico, típico, muito argiloso e hipoférrico.

Ponto TR2

O ponto TR2 ocupa o terço médio da vertente citada, e corresponde ao exemplo amostral da mudança de solo que configura a passagem do substrato sedimentar caracterizado pelo siltito-

arenito fino para o material de origem cristalina (granito e/ou quartzito) (vide **Figura 42**). Mostra-se na página seguinte a descrição morfológica do perfil para o ponto TR2:

Ponto de Observação: TR2

Data: 23/07/10

Relevo: vertente convexa com mudança de declive de menos de 6%

Posição na Vertente: terço médio

Localização: Campus UFSCar Sorocaba (810 m a sudeste da entrada principal)

Coordenadas: E 242.765 m e N 7.389.416 m

Litologia e Formação Geológica: sedimentos paleozóicos do Subgrupo Itararé em contato com biotita granito do Maciço Sorocaba e/ou Quartzito do Grupo São Roque

Material de Origem: siltitos argilosos intercalados a arenito fino, com presença de cascalhos de quartzo

Altitude: 645 m

Erosão: laminar

Cobertura Vegetal Atual: Braquiária

A – 0 a 26 cm: bruno - avermelhado (5YR 4/4, úmido), argiloso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, pequena, fraca, macia, solta, plástica, pegajosa, poros pequenos, poucos, atividade biológica (raízes fasciculadas), transição clara e plana;

A1 – 26 a 60 cm: vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido), argiloso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, pequena, fraca, macia, solta, plástica, pegajosa, poros médios, comuns, atividade biológica (poucas raízes fasciculadas), transição clara e plana;

Bi - 60 a 89 cm: vermelho (2.5YR 4/8, úmido), argiloso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, pequena, fraca, dura, solta, plástica, pegajosa, poros médios, comuns, sem atividade biológica observada, raízes fasciculadas, transição gradual e plana;

BC1 – 89 a 150 cm: vermelho (2.5YR 4/8, úmido), argiloso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, fraca, solta, friável, plástica, muito pegajosa, poros médios, comuns a abundantes, sem atividade biológica observada, raízes fasciculadas, transição gradual levemente ondulada;

BC2– 150 a 200+ cm: vermelho (2.5YR 4/8, úmido), argiloso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, fraca, ligeiramente dura, solta, plástica, muito pegajosa, poros médios, abundantes, sem atividade biológica observada, raízes fasciculadas.

Observação: presença de cascalhos nos horizontes A e Bi, em maior quantidade nos horizontes BC.

Figura 45. Descrição morfológica de perfil na área de estudo correspondente ao ponto TR2 (Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico). Org.: FNJV, 2011.

Na **Tabela 6** são apresentadas as classes granulométricas, a relação silte/argila, argila dispersa em água destilada, grau de floculação e classe textural.

Tabela 6. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR2, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas (1)								S/A	Arg. em H_2O (2)	Grau de Floc. (2)	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bi	85	36	58	87	189	96	467	132	401	0,32	0	100	arg

O ponto TR2 mostra-se com textura argilosa, bastante intemperizado (relação silte/argila compatível com horizonte B latossólico - 0,32) e de estrutura estável, pois a argila do horizonte Bi encontra-se totalmente floculada.

A seguir, apresentam-se dados de pH, complexo sortivo, teores de fósforo, boro, cobre, zinco e manganês, além da acidez potencial, capacidade de troca catiônica e saturação por bases de amostra coletada próxima ao ponto TR2.

Tabela 7. Resultados da análise química para amostra coletada próxima ao ponto TR2. ([1]) g/dm³. ([2]) mg/dm³. ([3]) mmolc/dm³. ([4]) %. Fonte: IAC. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	MO (1)	pH H_2O	P (2)	K (3)	Ca (3)	Mg (3)	Al (3)	B (2)	Cu (2)	Fe (2)	Mn (2)	Zn (2)	H+Al (3)	SB (3)	CTC (3)	V (4)
A	10	34	5,5	2	0,5	42	5	-	0,16	0,5	27	3,9	< 0,1	22	47,5	70	68
A1	30	22	5,6	1	0,3	30	3	-	0,14	0,3	10	0,5	< 0,1	18	33,3	51,5	65
Bi	80	16	5,8	1	0,3	26	3	-	0,06	0,1	4	0,2	< 0,1	16	29,3	45,7	64
BC1	100	13	5,1	1	0,3	13	2	-	0,07	< 0,1	3	0,2	< 0,1	25	15,3	40,3	38

A **Tabela 7** demonstra o caráter eutrófico atribuído ao solo do ponto TR2.

Como o ponto anterior, o teor de matéria orgânica (MO) concentra-se nos horizontes de superfície (A e A1) e diminui consideravelmente nos horizontes de subsuperfície (Bi e BC). A redução do pH, CTC e V% indicam que o horizonte mais profundo é realmente um BC.

Os valores de pH em água demonstram que conforme se aumenta a profundidade os horizontes ficam cada vez mais ácidos, com valores medianos entre 5,0 e 5,7 (FASSBENDER, 1975), exceto para o horizonte Bi, o menos ácido de todos (pH=5,8).

A soma de bases (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}) cai consideravelmente em profundidade e o cálcio se sobressai como o ponto TR1 em suas quantidades. Os demais dados no complexo sortivo não foram analisados.

A seguir mostram-se os resultados das análises químicas para porcentagens de óxidos, cálculos das relações sílica-alumina (Ki) e sílica-sesquióxido (Kr) (**Tabela 8**), e a difração de raios X para a fração argila (**Figura 46**).

Tabela 8. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR2, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bi	85	13,80	15,09	3,57	4,45	0,0100	1,55	1,35

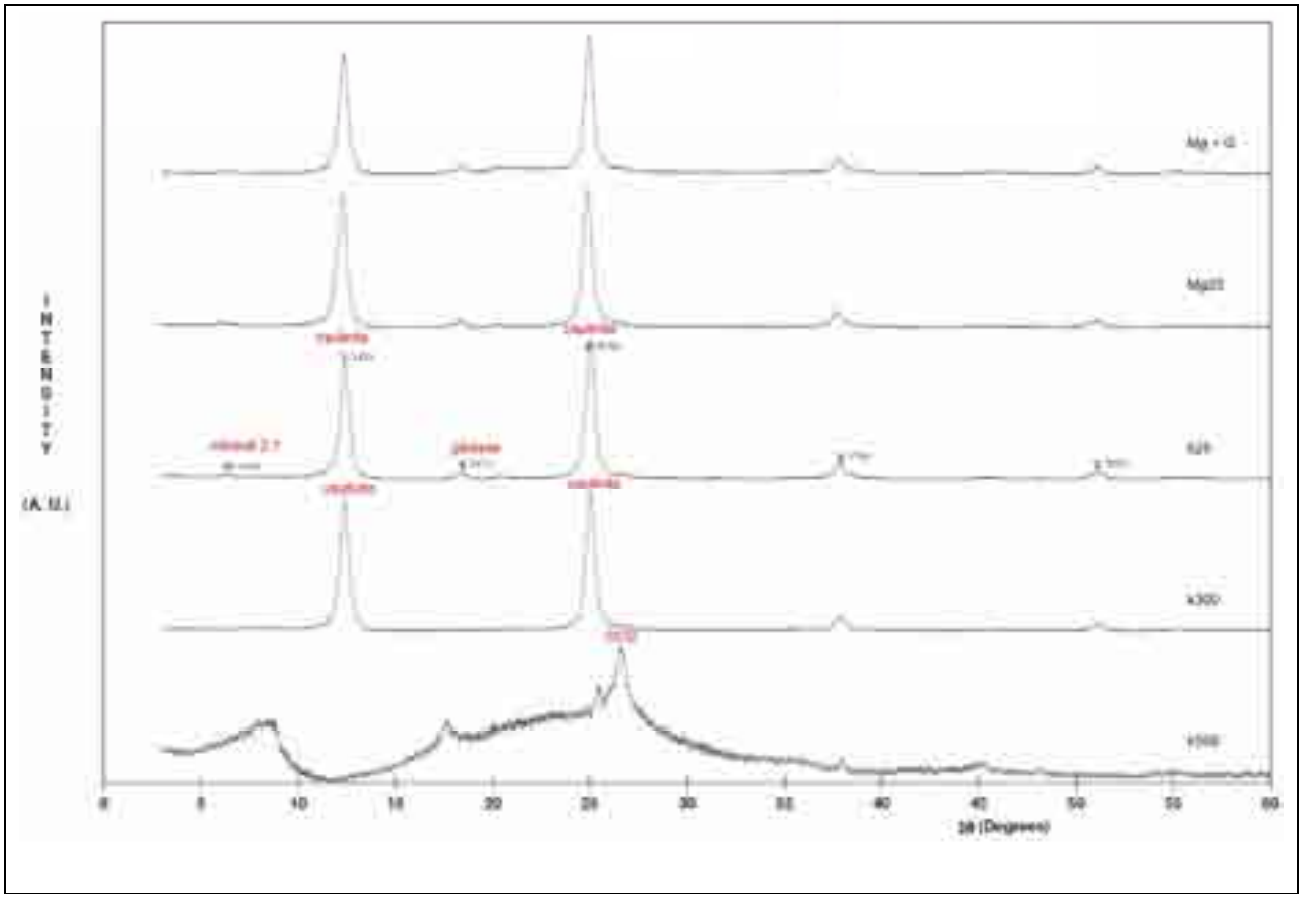


Figura 46. Resultado da difratometria para a amostra TR2. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Como no ponto TR1, a relação molecular Ki para o ponto TR2 indica o domínio gibbsítico (1,55). A relação Kr mais alta do ponto TR2 em comparação com o ponto TR1 se deve à menor quantidade de ferro acumulado, também classificando-o como hipoférrico. A baixa porcentagem de óxidos de ferro é percebida pelas cores existentes no perfil amostrado para o ponto TR2, de proporções de hematita/goetita entre 0,2 e 0,6 (0,2 < Hm/Hm+Gt < 0,6),

devido à existência de cores vermelhas no matiz 2.5YR e cores vermelho-amarelas no matiz 5YR (IBGE, 2007).

A difratometria mostrada na **Figura 46** indica a presença de gibbsita e caulinita, além de reflexos menores que revelam também pequenas quantidades de mineral 2:1 e quartzo.

Assim, o ponto TR2 se trata de um Cambissolo com organização evoluindo para horizonte B latossólico.

Ponto TR3

O ponto TR3 encontra-se no terço inferior da vertente amostrada, a 320 m de distância do ponto TR2 e em altitude inferior a este. Trata-se de um local cujo material de alteração provém do substrato cristalino; na coleta do material, a ultrapassagem dos 70 cm de profundidade começava a raspar a caçamba do trado holandês, dificultando sua penetração no solo e indicando proximidade da alterita, características de Cambissolos. Atributos diagnósticos físicos do Horizonte Bi são observados na **Tabela 9** a seguir.

Tabela 9. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR1, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas [(1)]								S/A	Arg. em H_2O [(2)]	Grau de Floc. [(2)]	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bi	60	7	47	69	112	166	401	123	476	0,25	0	100	arg

Conforme o triângulo textural utilizado pela ESALQ (USDA), a textura do ponto TR3 é argilosa, e toda a argila encontra-se floculada. Na relação silte/argila, o valor para o ponto TR3 é de 0,25, em que o valor menor que 0,6 em solos de textura argilosa é utilizado para diferenciar horizontes B latossólicos de horizontes B incipientes (EMBRAPA, 2009). Entretanto, como já dito trata-se de um horizonte B incipiente pela sua espessura maior que 10 cm e menor que 50 cm (EMBRAPA, 2009; IBGE, 2007) e pelo material coletado a 60 cm de profundidade (vide **Foto 51**), o que indica que este horizonte é pouco profundo e, conseqüentemente, pouco desenvolvido. Dados químicos, demonstrados adiante, corroboram para estas observações.

Foto 51. Torrão coletado a 60 cm de profundidade no ponto TR3. As cores variegadas (matizes vermelho-amarelos e bruno - amarelados) implicam ser a amostra material próximo da alteração da rocha (quartzito?). Foto: FNJV, 04/11/10.

Os dados de matéria orgânica e química da amostra coletada próxima ao ponto TR3 seguem abaixo, descritos de 10 em 10 cm em razão da pouca espessura dos horizontes e da variação dos dados em relação aos horizontes Bi e BC:

Tabela 10. Resultados da análise química para amostra coletada próxima ao ponto TR3. ([1]) g/dm³. ([2]) mg/dm³. ([3]) mmolc/dm³. ([4]) %. Fonte: IAC. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	MO (1)	pH H_2O	P (2)	K (3)	Ca (3)	Mg (3)	Al (3)	B (2)	Cu (2)	Fe (2)	Mn (2)	Zn (2)	H+Al (3)	SB (3)	CTC (3)	V (4)
A1	10	30	5,1	4	0,9	40	5	0	0,15	0,8	5	14,3	0,5	20	45,9	66,1	69
A1	20	25	5,5	2	0,6	49	4	0	0,13	0,5	6	22,7	1,8	16	53,6	70	77
AB	30	18	5,6	1	0,6	39	3	0	0,09	0,6	6	12,5	0,7	15	42,6	57,4	74
AB	40	16	5,6	1	0,5	34	3	0	0,09	0,8	64	7,3	0,2	15	37,5	52,3	72
Bi	50	13	5,7	1	0,3	28	2	0	0,08	0,6	35	6,7	< 0,1	15	30,3	45,1	67
Bi	60	12	5,7	1	0,5	27	3	0	0,09	0,4	21	1,9	< 0,1	15	30,5	45,3	67
Bi	70	11	5,7	2	0,5	25	3	0	0,08	0,4	17	0,9	< 0,1	16	28,5	44,9	63
BC	80	10	5,7	1	0,5	20	3	0	0,06	0,3	12	0,1	< 0,1	15	23,5	38,3	61
BC	90	10	5,1	1	0,4	15	2	0	0,1	0,2	10	< 0,1	< 0,1	18	17,4	35,6	49
BC	100	10	4,6	1	0,4	9	1	0	0,09	0,2	8	< 0,1	< 0,1	22	10,4	32,9	32

Os dados apresentados na **Tabela 10** permitem apontar que o horizonte Bi é eutrófico, em que se nota a condição distrófica a partir de 100 cm no horizonte BC.

O teor de matéria orgânica concentra-se nos horizontes de superfície e diminui nos horizontes de subsuperfície, em contraposição aos valores de pH, que aumentam até o horizonte Bi e diminuem novamente ao passar para o horizonte de alteração BC. A acidez potencial também diminui em profundidade, mas volta a crescer no horizonte BC, enquanto que a capacidade de troca catiônica (CTC), a soma de bases e a saturação por bases diminuem do horizonte A1 até o horizonte BC.

A leitura dos dados vincula o caráter eutrófico deste Cambissolo ao tratamento de cultivo para a instalação de espécies nativas que a área sofre devido às atividades do curso de engenharia florestal do campus da UFSCar Sorocaba. Isso pode ser percebido também pela soma de bases (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}), em que o cálcio tem papel dominante (provável reflexo do efeito da calagem a que foi submetido o local).

Os resultados das análises químicas para porcentagens de óxidos, cálculos das relações sílica-alumina (Ki) e sílica-sesquióxido (Kr) seguem na **Tabela 11** e a difratometria segue na **Figura 47**.

Tabela 11. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR3, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bi	60	17,00	12,39	6,54	3,56	0,0200	2,33	1,74

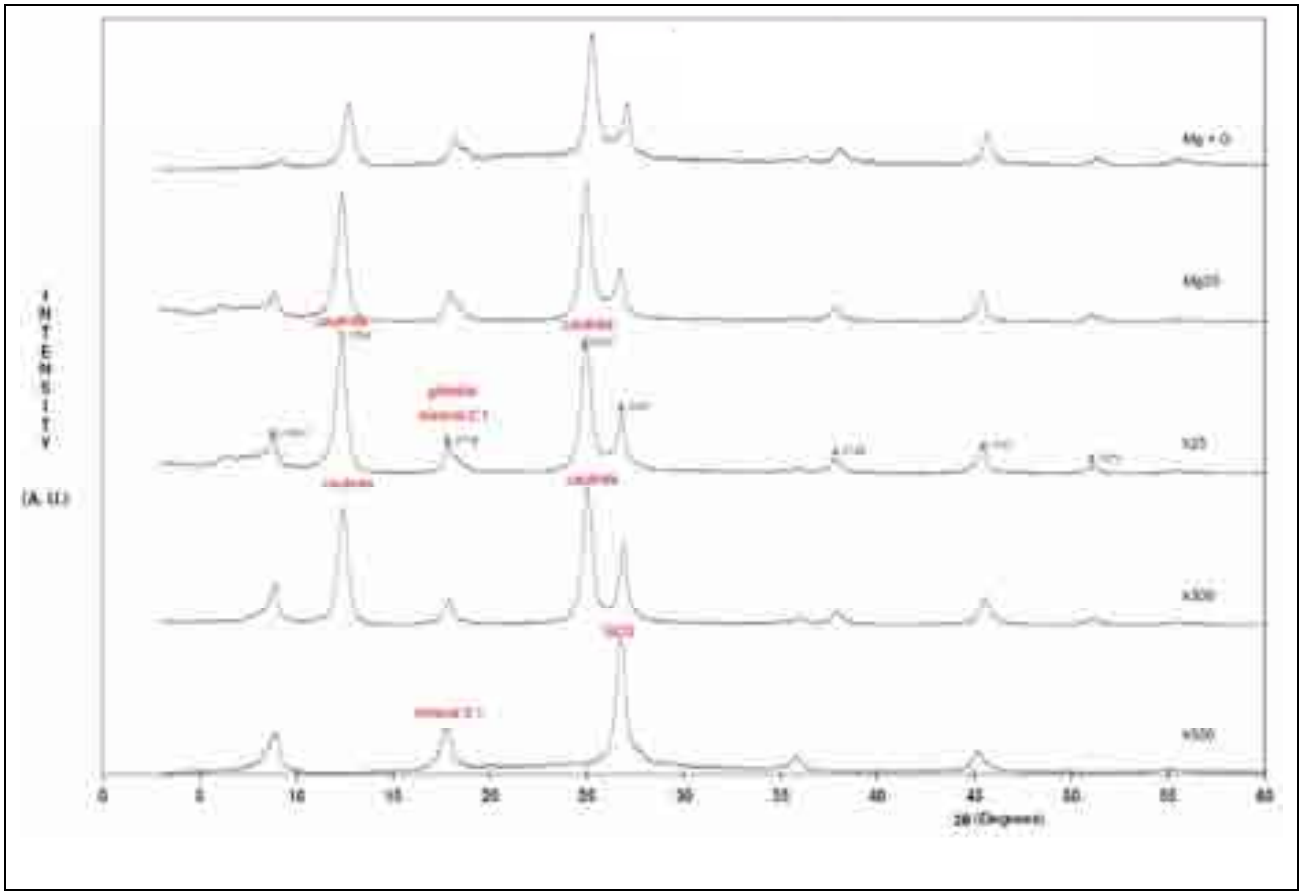


Figura 47. Resultado da difratometria para a amostra TR3. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

A relação molecular Ki do ponto TR3 (2,33) indica o domínio de argilominerais 1:1 e 2:1, típica de horizontes B incipientes (IBGE, 2007). A baixa quantidade de ferro classifica o Cambissolo como hipoférrico, de proporções de hematita/goetita menores que 0,2 devido à existência de cores amareladas no matiz 5YR (IBGE, 2007). Nota-se que o ponto TR3 possui mais ferro que o ponto TR2.

A difratometria mostrada na **Figura 47** indica a presença de gibbsita e caulinita, além de reflexos menores que revelam pequenas quantidades de mineral 2:1 (aparentemente mais definidas que em TR1 e TR2), além do quartzo.

Sendo assim, o ponto TR3 trata de um Cambissolo.

Ponto TR4

O ponto TR4 encontra-se na área de topo aplainado, ao lado da estrada de terra que atravessa o divisor topográfico sul-sudeste suave da sub-bacia do Córrego Utinga. O material de alteração deriva do substrato sedimentar (siltitos paleozóicos). Na **Figura 48** a seguir vê-se sua posição na vertente e seu posicionamento em relação ao substrato geológico.

Figura 48. Perfil geológico D-D' cuja seção demonstra os locais de coleta das amostras dos pontos TR4 e TR23 (trados na figura, à esquerda e direita) e sua relação com o substrato geológico e a morfografia das vertentes. Escalas originais: vertical = 1:5.000; horizontal = 1:20.000. Org.: FNJV, 2011.

O material do ponto TR4 apresenta-se com cores mais bruno - fortes nos primeiros horizontes (por exemplo, 7.5YR 4/6, a 40 cm de profundidade), passando para cores mais vermelho-amareladas no horizonte Bi (5YR 5/6, a 90 cm de profundidade). Tal fato é conferido na **Foto 52**.

Foto 52. Material coletado por trado no ponto TR4 até 1,30 m de profundidade. Foto: FNJV, 21/12/10.

Na **Tabela 12** são apresentados os resultados das classes granulométricas, a relação silte/argila, argila dispersa em água destilada, grau de floculação e classe textural para a amostra TR4.

Tabela 12. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR4, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas (1)								S/A	Arg. em H_2O (2)	Grau de Floc. (2)	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bi	90	3	6	9	23	21	62	163	775	0,21	0	100	m-arg

A amostra apresentou-se muito argilosa, com alta estabilidade (floculação total) e relação silte/argila compatível com horizonte B latossólico (menor que 0,6 conforme EMBRAPA, 2009). Entretanto, não é possível a classificação como um horizonte Bw, como mostram os resultados das análises químicas para porcentagens de óxidos, cálculos das relações sílica-alumina (Ki) e sílica-sesquióxido (Kr) (**Tabela 13**), e a difração de raios X para a fração argila (**Figura 49**), expostos a seguir.

Tabela 13. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR4, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bi	90	24,40	19,22	7,58	5,27	0,0200	2,16	1,72

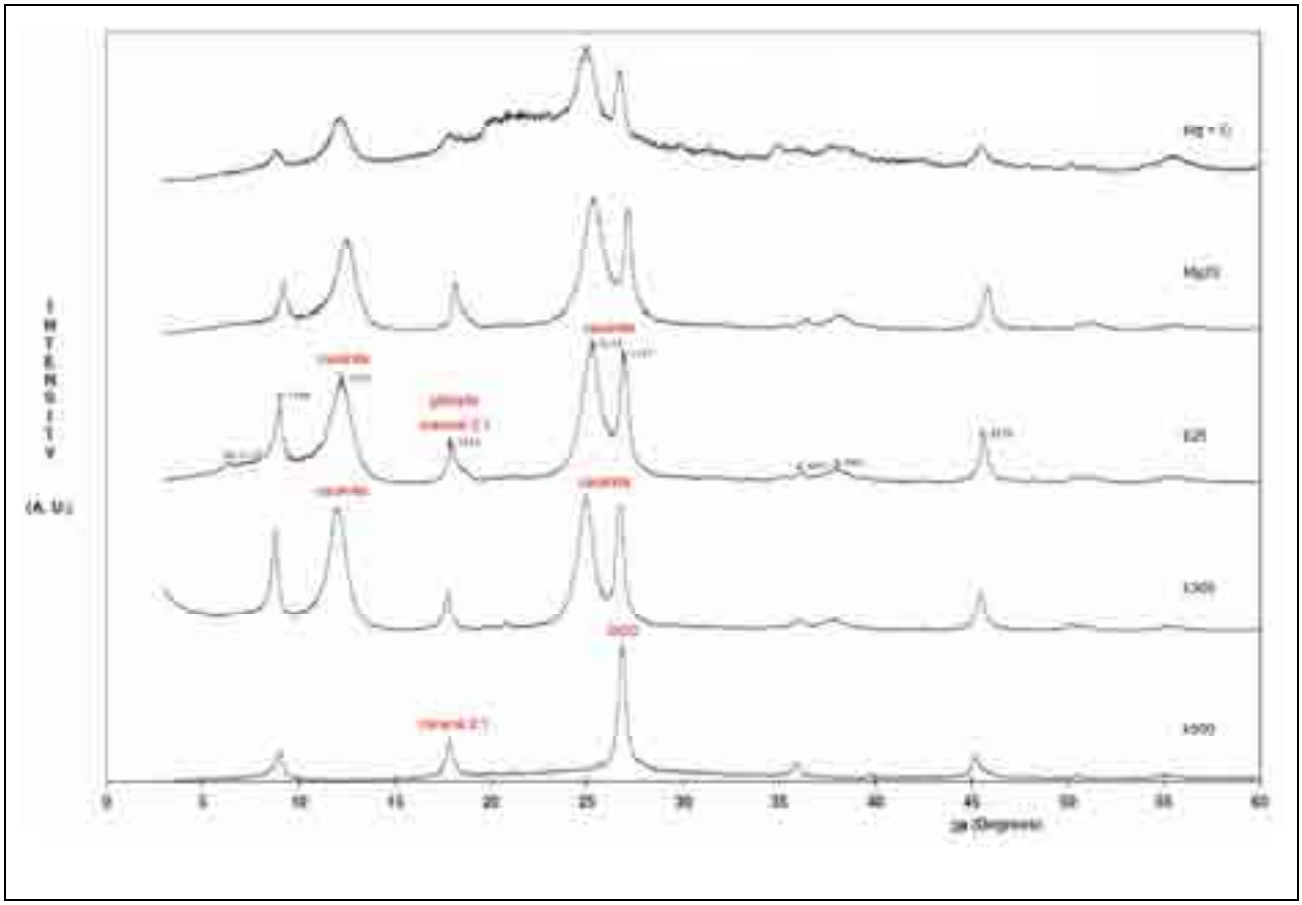


Figura 49. Resultado da difratometria para a amostra TR4. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

A relação molecular Ki para o ponto TR4 (2,16) indica domínio de argilas 1:1. A menor quantidade de ferro acumulado reflete-se no valor da relação Kr, alta. A baixa porcentagem de óxidos de ferro é percebida pelas cores existentes na tradagem realizada para o ponto TR4, indicando proporções de hematita/goetita iguais a 0,2 ou entre 0,2 e 0,6, devido à existência de cores brunas no matiz 7.5YR e cores vermelho-amareladas no matiz 5YR (IBGE, 2007), respectivamente.

A difratometria mostrada na **Figura 49** indica a presença de caulinita e menor contribuição da gibbsita, além de reflexos menores que revelam também pequenas quantidades de mineral 2:1. O quartzo se faz presente no reflexo mostrado no tratamento k500.

Assim, o ponto TR4 pode ser descrito como um Cambissolo com organização evoluindo para horizonte B latossólico, argiloso e hipoférrico.

Ponto TR8

O ponto TR8 localiza-se na parte superior do terço médio de vertente embasada por granitos do Maciço Sorocaba, aflorante em grande parte do interflúvio correspondente. A coleta de solo para amostragem laboratorial foi feita a 65 cm de profundidade, apresentando

cor bruno avermelhado-escura (5YR 3/4). Durante a tradagem até o horizonte Bi também foram notadas a presença de cascalhos e pedaços de carvão. Na **Tabela 14** são apresentados os resultados das classes granulométricas, a relação silte/argila, argila dispersa em água destilada, grau de floculação e classe textural para a amostra TR8; na **Tabela 15** os resultados das análises para porcentagens de óxidos e cálculos das relações sílica-alumina (Ki) e sílica-sesquióxido (Kr).

Tabela 14. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR8, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas (1)								S/A	Arg. em H_2O (2)	Grau de Floc. (2)	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bw	65	46	88	112	115	40	400	123	476	0,25	25	100	arg

Tabela 15. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR8, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bw	65	17,60	19,84	4,72	5,21	0,0100	1,51	1,31

Mesmo que a coleta tenha sido realizada em pouca profundidade, indicando um horizonte B incipiente, a textura argilosa, a floculação e a relação silte/argila apontam para características de desenvolvimento de horizonte B latossólico. É possível notar que a argila dispersa em água com 25% ultrapassa um pouco o teor de estabilidade dos agregados (o teor de argila dispersa em água deve ser menor que 20% para horizontes Bw conforme EMBRAPA, 2009).

As relações moleculares Ki e Kr do ponto TR8 indicam o domínio da gibbsita e baixos teores de óxidos de ferro, classificando a amostra do ponto TR8 como hipoférrico, de proporções de hematita/goetita entre 0,2 e 0,6 devido à existência de cores no matiz 5YR (IBGE, 2007).

Na **Figura 50** mostra-se a posição do ponto TR8 na vertente em relação ao substrato geológico e na **Figura 51** mostram-se os resultados da difratometria. Pela **Figura 51** verifica-se a presença de gibbsita, caulinita e quartzo, sem ser possível notarem-se reflexos de minerais 2:1.

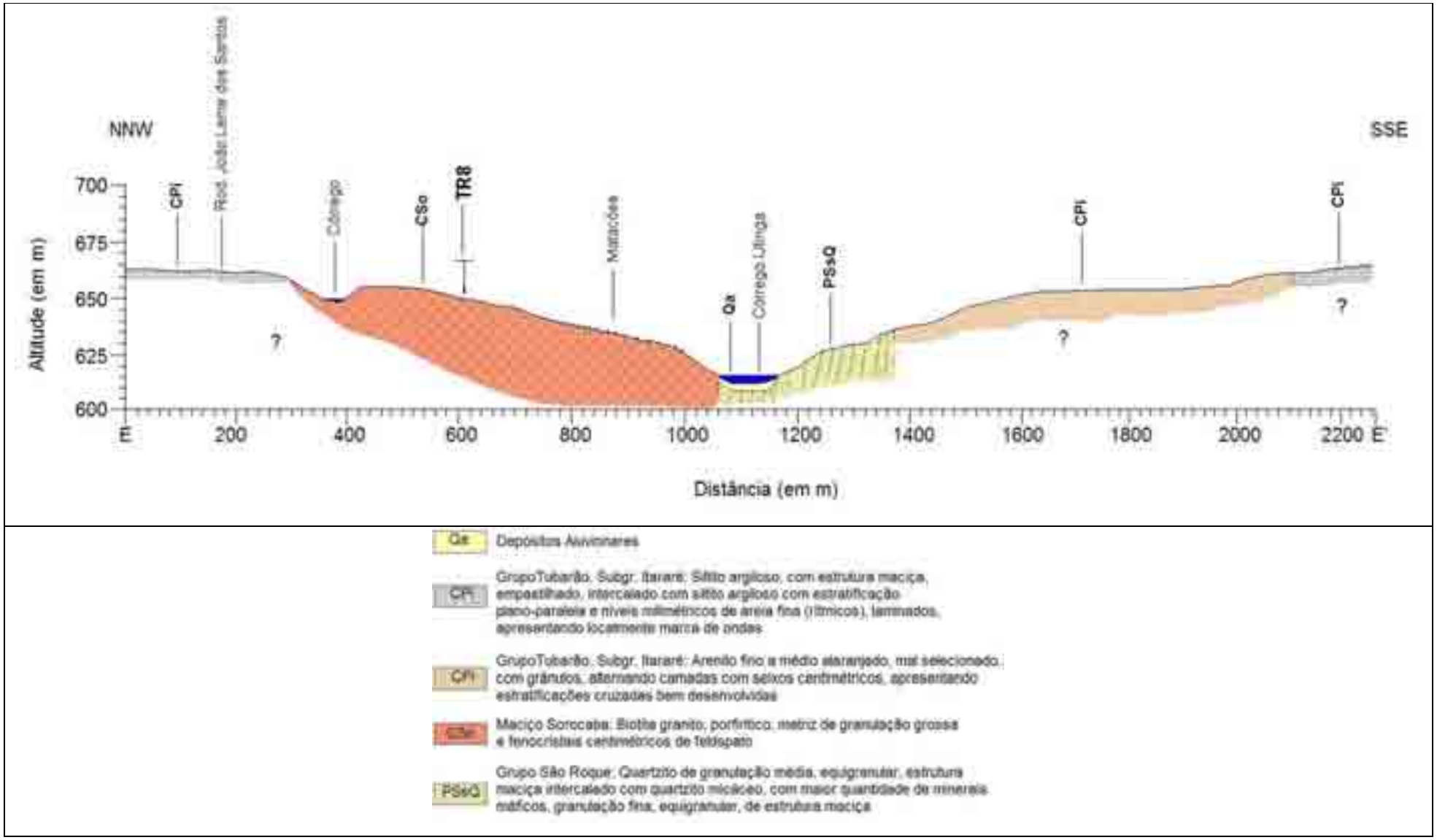


Figura 50. Perfil geológico E-E' assinalando o ponto de amostragem TR8, em vertente embasada por granito do Maciço Sorocaba. Escalas originais: vertical = 1:5.000; horizontal = 1:20.000. Org.: FNJV, 2011.

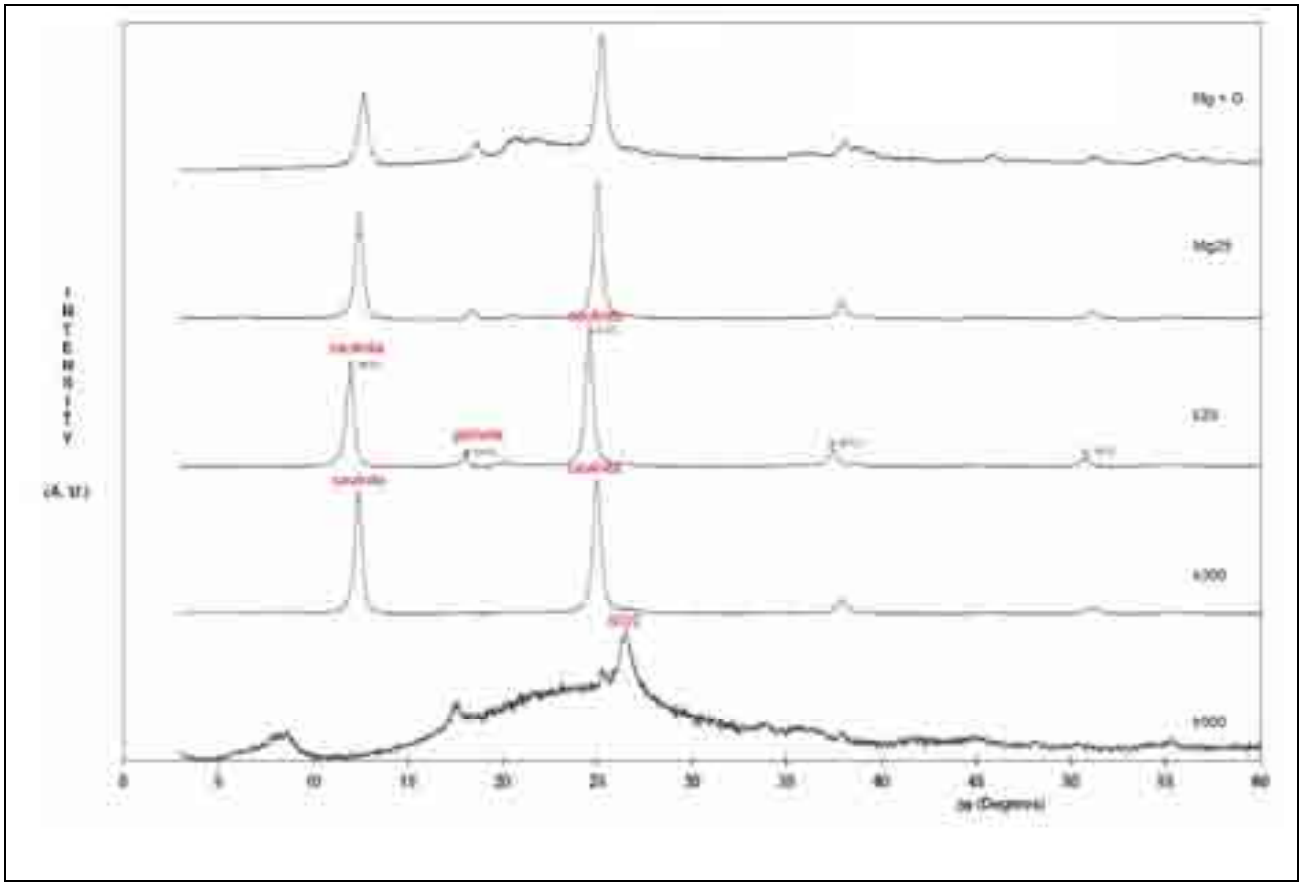


Figura 51. Resultado da difratometria para a amostra TR8. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Pelas evidências dispostas o ponto TR8 trata de um Cambissolo com organização evoluindo para horizonte B latossólico.

Ponto TR11

O ponto TR11 é muito semelhante ao ponto TR8: localiza-se no terço médio de vertente embasada por granitos do Maciço Sorocaba, e a coleta de solo para amostragem laboratorial se deu a 65 cm de profundidade, apresentando cor vermelho-amarelada (5YR 4/6). Na **Tabela 16** são apresentados os resultados das classes granulométricas, a relação silte/argila, argila dispersa em água destilada, grau de floculação e classe textural para a amostra TR11, e na **Tabela 17** os resultados das análises para porcentagens de óxidos e cálculos das relações sílica-alumina (Ki) e sílica-sesquióxido (Kr). A **Figura 52** a seguir mostra a posição do ponto TR11 na vertente em relação ao substrato geológico.

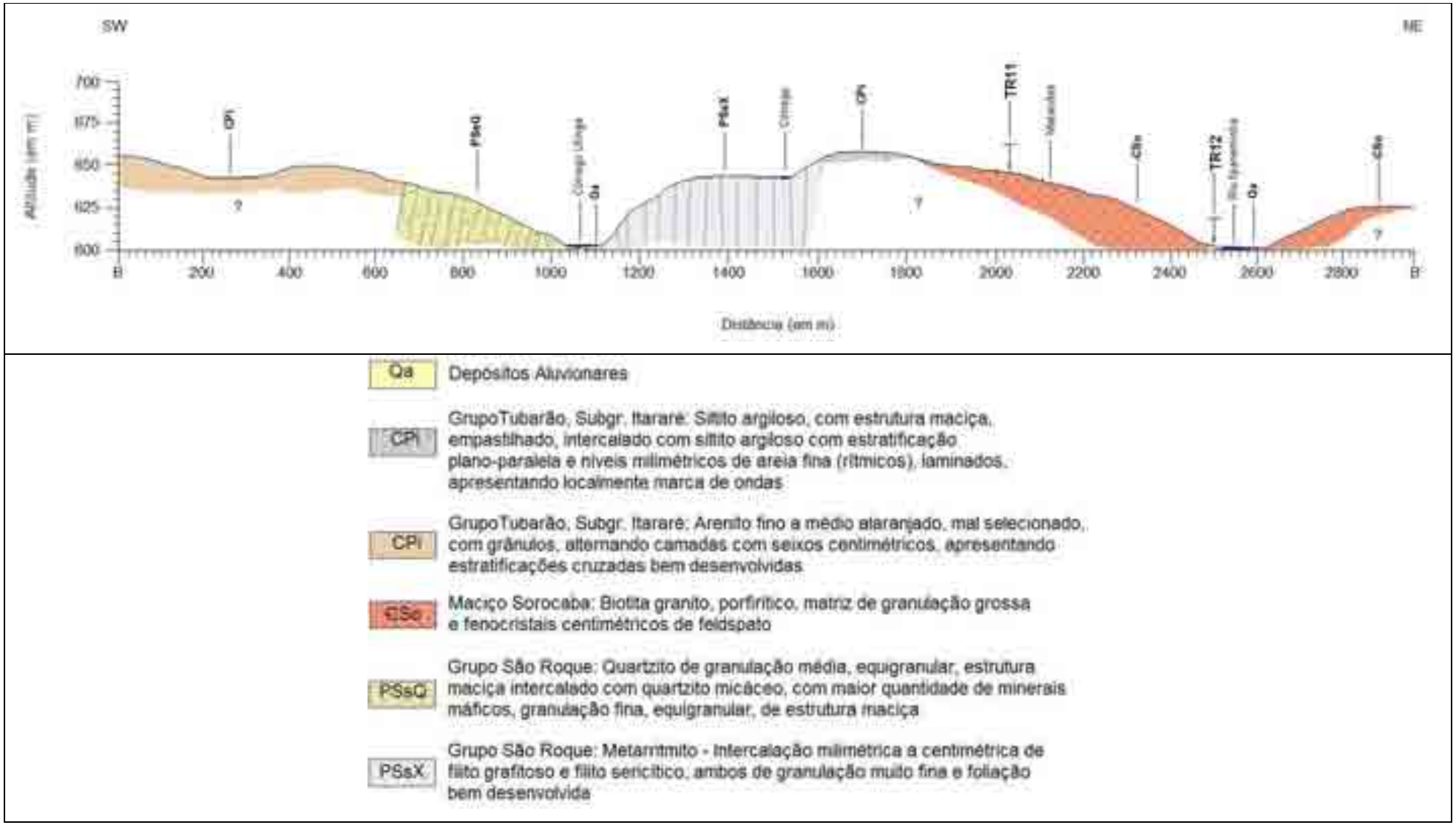


Figura 52. Perfil geológico B-B' cuja seção demonstra ser o local do ponto TR11 o terço médio de vertente embasada por granito do Maciço Sorocaba. O ponto TR12 também pode ser visto no terço inferior da mesma vertente. Escalas originais: vertical = 1:5.000; horizontal = 1:20.000. Org.: FNJV, 2011.

Tabela 16. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR11, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas [1]								S/A	Arg. em H_2O [2]	Grau de Floc. [2]	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bw	65	49	69	119	176	50	463	111	426	0,26	0	100	arg

Tabela 17. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR11, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 [1]	Al_2O_3 [1]	Fe_2O_3 [1]	TiO_2 [1]	MnO [1]	Ki	Kr
Bw	65	12,70	17,34	4,58	7,17	0,0200	1,25	1,07

A textura argilosa, a floculação total e a relação silte/argila apontam para características de horizontes B latossólicos (EMBRAPA, 2009). As relações moleculares Ki e Kr do ponto TR11 indicam o predomínio da gibbsita e baixos teores de óxidos de ferro, classificando a amostra do ponto TR11 como hipoférrico, de proporções de hematita/goetita entre 0,2 e 0,6 devido à existência de cor vermelho-amarelada no matiz 5YR para o horizonte Bw (IBGE, 2007).

Na **Figura 53**, a difratometria indica a presença de gibbsita e caulinita, além de reflexos de pequenas quantidades de mineral 2:1 (em proporção maior que o ponto TR8), além de quartzo.

Por apresentar características semelhantes ao ponto TR8, o ponto TR11 trata provavelmente de um Cambissolo com organização evoluindo para horizonte B latossólico (**Foto 53**).

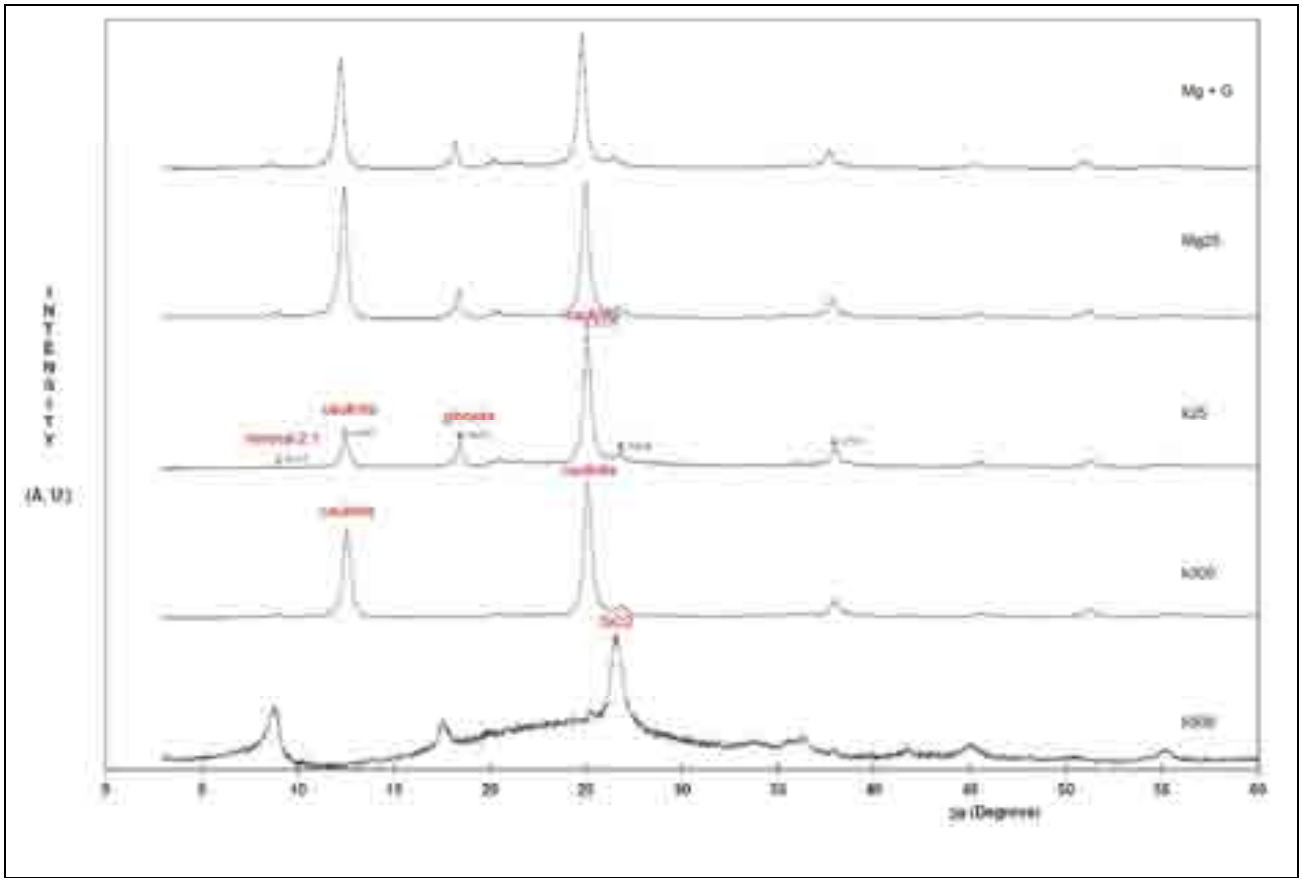


Figura 53. Resultado da difratometria para a amostra TR11. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Foto 53. Vista para NE a partir do ponto TR11, com perfil de alteração do material granítico exposto ao fundo. Foto: FNJV, 11/11/10.

Ponto TR12

O ponto TR12 encontra-se no terço inferior da mesma vertente que o ponto TR11 (vide **Figura 52**), embasado sobre a mesma rocha cristalina do Maciço Sorocaba. Vale mencionar que o ponto TR12 trata de um setor da vertente localizado em meio a condomínio de alto padrão (Condomínio Fazenda Imperial), ainda em fase de implantação, mas já com casas e vias pavimentadas. A amostra coletada apresentou cor 7.5YR 5/6 (bruno – forte), com sinais de hidromorfia. A mais de um metro de profundidade, foi atingido o nível d'água. Atributos diagnósticos físicos do Horizonte Bg são apresentados na **Tabela 18** a seguir.

Tabela 18. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR12, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas (1)								S/A	Arg. em H_2O (2)	Grau de Floc. (2)	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bg	95	47	69	124	144	59	443	81	476	0,17	0	100	arg

A amostra apresentou-se argilosa, com alta estabilidade (floculação total) e relação silte/argila compatível com horizonte B latossólico (menor que 0,6 conforme EMBRAPA, 2009).

Quanto ao teor de óxidos e relação Ki/Kr tem-se o seguinte:

Tabela 19. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR12, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bg	95	16,50	17,13	4,93	5,27	0,0100	1,64	1,38

Como no ponto TR11, a relação molecular Ki para o ponto TR12 indica o domínio gibbsítico (1,64). A relação Kr do ponto TR12 é mais alta em comparação com o ponto TR11, mas de qualquer maneira classifica-o como hipoférrico. A baixa porcentagem de óxidos de ferro é percebida pela cor do material amostrado, mais amarela que o matiz 5YR ou de proporção hematita/goetita igual a 0,2 (IBGE, 2007).

A difratometria do ponto TR12 pode ser vista na **Figura 54**.

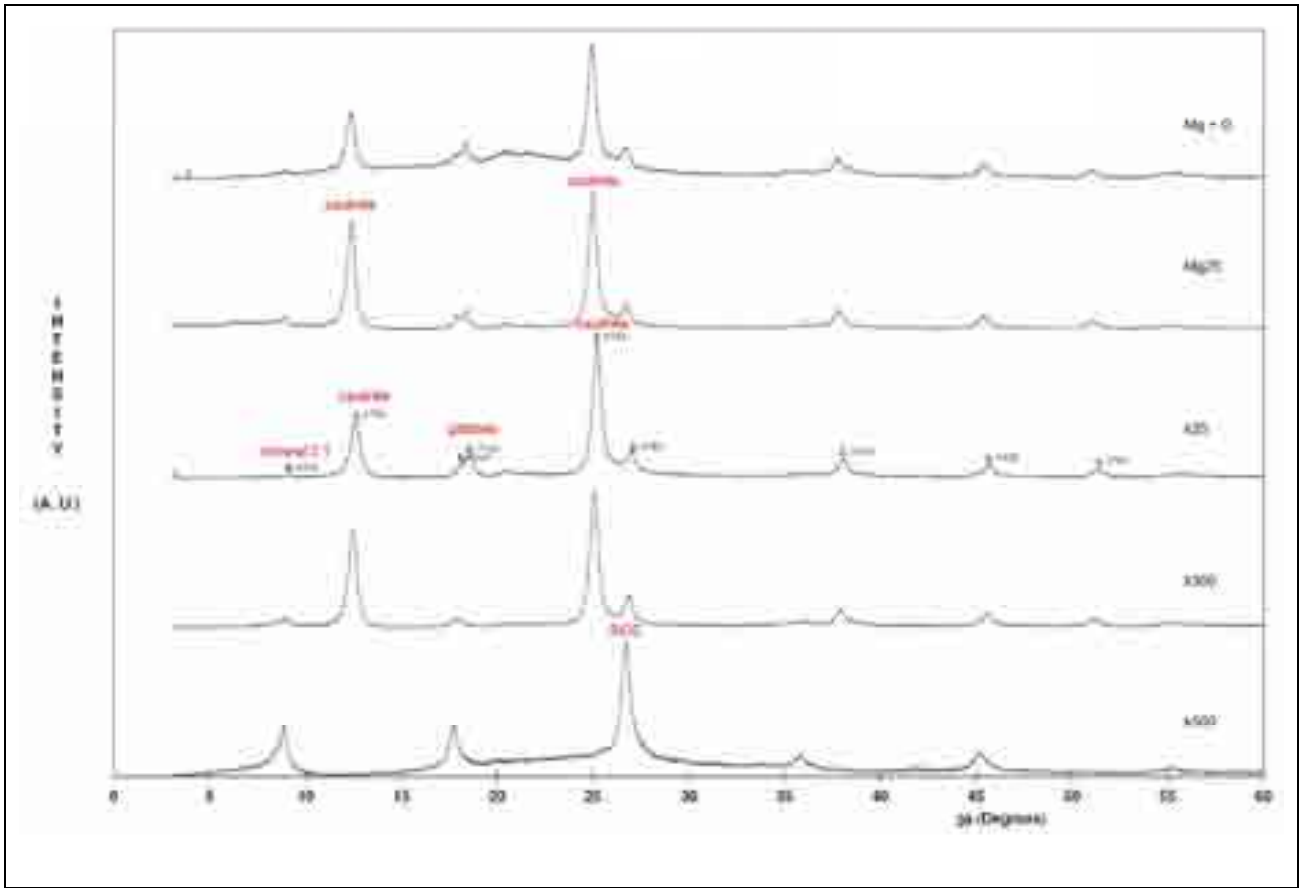


Figura 54. Resultado da difratometria para a amostra TR12. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

A difratometria mostrada na **Figura 54** indica a presença de gibbsita e caulinita, além de reflexos menores que revelam pequenas quantidades de mineral 2:1, e, é claro, quartzo.

Apesar dos resultados de laboratório mostrar dados que são compatíveis com características de horizontes B latossólicos, a condição de hidromorfia e a proximidade do lençol freático (condições de gleização) conferem importância decisiva para classificar o solo do ponto TR12 como Gleissolo (EMBRAPA, 2009). Adiciona-se a isso a proximidade do ponto TR12 da planície fluvial, a aproximadamente 50 m (vide **Mapa Geomorfológico**).

Ponto TR19

O ponto TR19, assim como o ponto TR20, encontra-se em interflúvio mais dissecado no sudeste da área de estudo, e corresponde a material de alteração do substrato metamórfico (filito grafitoso). Na **Foto 54** e **Figura 55** é possível ver sua posição na vertente e a relação com o substrato geológico, e na **Tabela 20** pode-se verificar o resultado das análises físicas de laboratório.

Foto 54. Localização dos pontos TR19 e 20 em colina dissecada sustentada por filitos. Como será demonstrado adiante, os pontos tratam de Cambissolos. Vista para Norte. Foto: FNJV, 16/06/11.

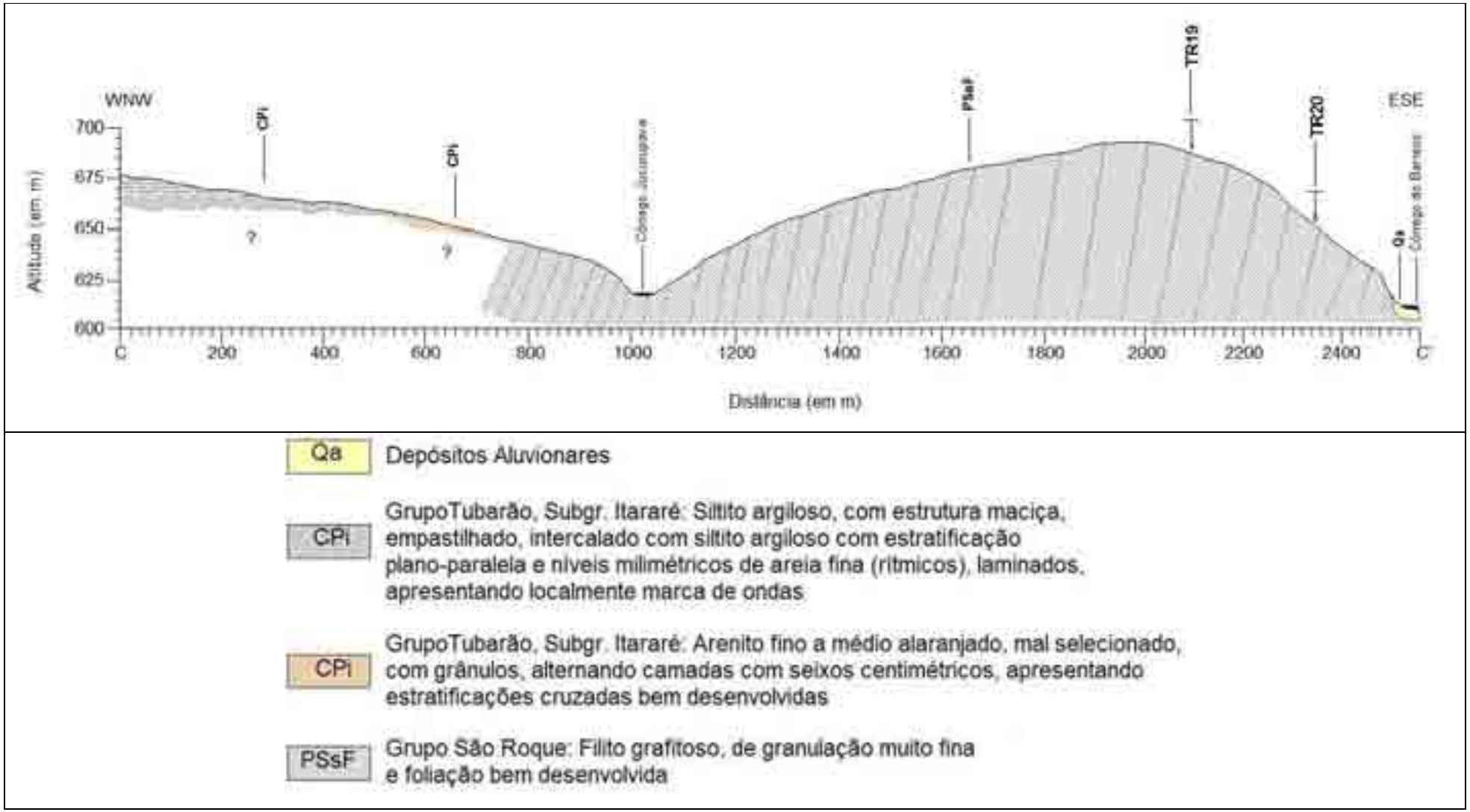


Figura 55. Perfil geológico C-C' que demonstra a localização dos pontos TR19 e TR20, tendo como substrato geológico o filito grafitoso. Escalas originais: vertical = 1:5.000; horizontal = 1:20.000. Org.: FNJV, 2011.

A tradagem realizada no ponto TR19 evidenciou a proximidade da superfície em relação ao material de alteração da rocha subjacente (vide **Foto 55**).

Tabela 20. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR19, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas (1)								S/A	Arg. em H_2O (2)	Grau de Floc. (2)	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bi	75	18	25	36	113	112	304	296	401	0,73	0	100	arg

A relação silte/argila maior que 0,7 identifica o horizonte amostrado como um horizonte B incipiente de textura argilosa e a difratometria indicou a presença de minerais 2:1, como pode ser conferido na **Figura 56**. Aliás, pela difratometria verificam-se reflexos bem definidos de minerais 2:1 e abundância de quartzo; provavelmente, há também uma pequena quantidade de feldspato. A gibbsita e a caulinita também estão presentes nos reflexos de tratamentos expansivos e de aquecimento.

Os resultados das análises químicas para porcentagens de óxidos e cálculos das relações Ki/Kr são mostrados na **Tabela 21** a seguir.

Tabela 21. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR19, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bi	75	13,90	11,73	8,19	2,55	0,0100	2,01	1,39

A relação Ki mostra o domínio de argilas 1:1 e 2:1, no limite com o domínio caulinítico, de 1,8 a 2,0 (EMBRAPA, 2009). O valor de Kr indica ser a amostra levemente mesoférrica; a cor do material amostrado, próxima ao bruno - avermelhado claro (5YR 6/4), também indica relação hematita/goetita na proporção entre 0,2 e 0,6 (IBGE, 2007).

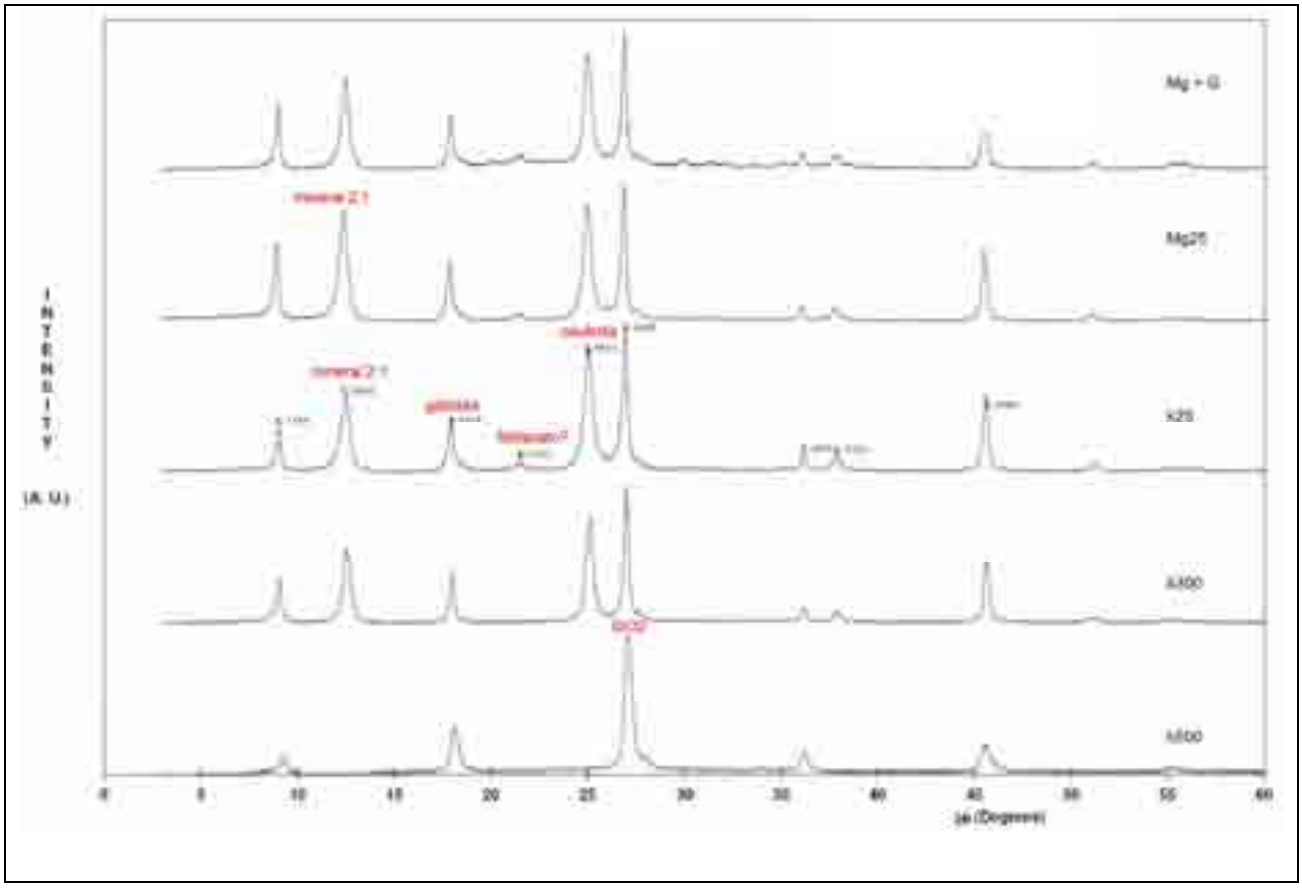


Figura 56. Resultado da difratometria para a amostra TR19. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Foto 55. Amostra coletada no ponto TR19, que a partir de 80 cm de profundidade já apresenta material alterado do filito. Foto: FNJV, 15/11/10.

Portanto, o ponto TR19 trata de um Cambissolo argiloso e levemente mesoférrico.

Ponto TR20

O ponto TR20 encontra-se na mesma vertente que o ponto TR19, e sua localização é apresentada na **Figura 55**. Na **Tabela 22** pode-se verificar o resultado das análises granulométricas, e na **Tabela 23** as porcentagens de óxidos e cálculos das relações sílica-alumina (Ki) e sílica-sesquióxido (Kr).

Tabela 22. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR20, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas (1)								S/A	Arg. em H_2O (2)	Grau de Floc. (2)	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bi	80	5	9	7	22	21	64	359	577	0,62	0	100	arg

Tabela 23. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR20, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bi	80	21,30	16,27	8,26	4,19	0,0100	2,23	1,68

A relação silte/argila maior que 0,6 e menor que 0,7 identifica o horizonte amostrado como um horizonte B latossólico, atribuindo textura argilosa na análise granulométrica.

Entretanto, a relação Ki mostra a predominância de mistura de argilas 1:1 e 2:1 para valores superiores a 2,2 (EMBRAPA, 2009), típica de horizontes Bi. O valor de Kr classifica a amostra como mesoférrica; a cor do material amostrado, bruna (10YR 5/3), indica relação hematita/goetita na proporção igual a 0,2 (IBGE, 2007).

Quanto à difratometria do ponto TR20 (**Figura 57**), como no ponto TR19 verificam-se reflexos bem definidos de minerais 2:1, além da presença de gibbsita, caulinita e quartzo.

Assim, classifica-se a amostra do ponto TR20 como Cambissolo típico, argiloso e mesoférrico, em que provavelmente as condições de maior declividade na vertente influem em seus processos pedogenéticos.

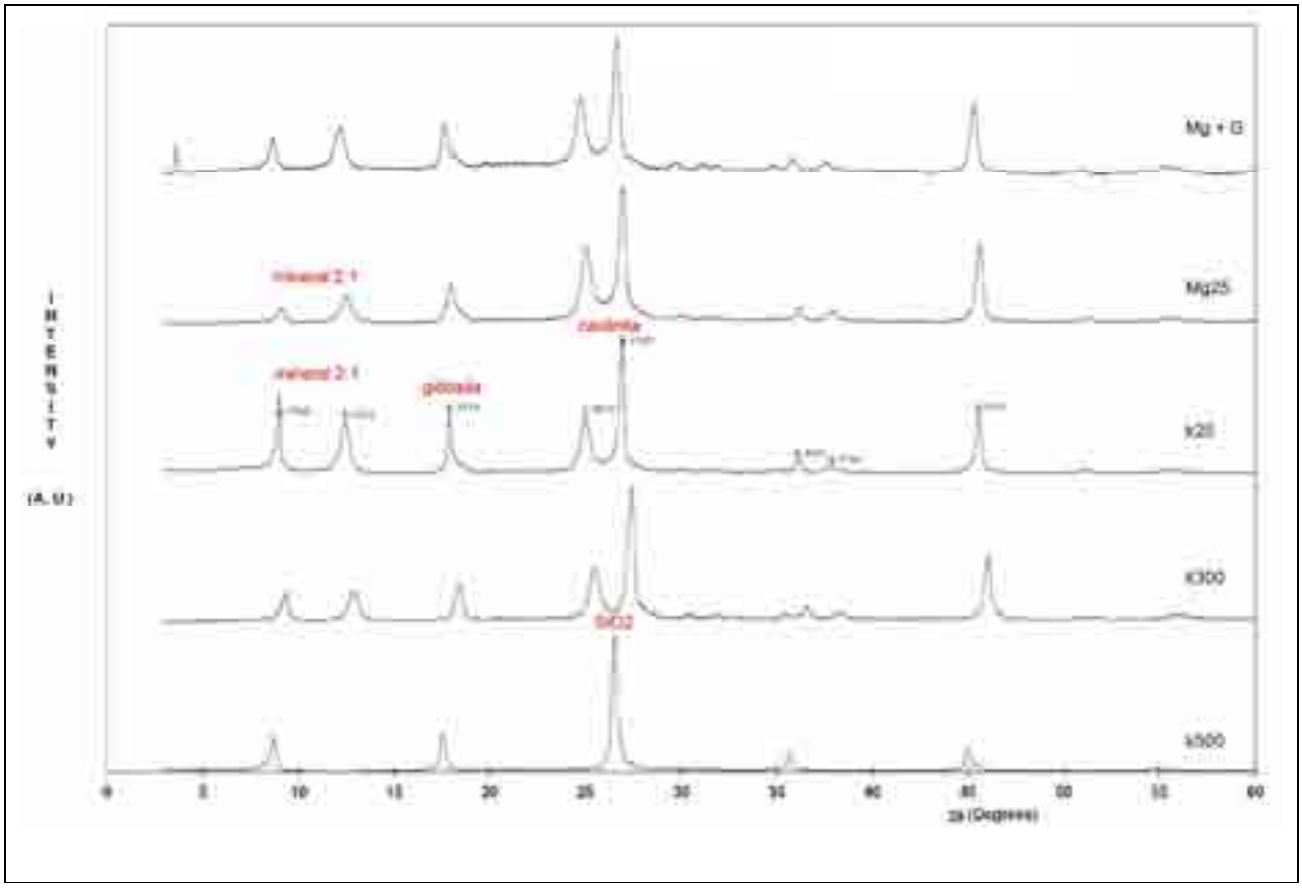


Figura 57. Resultado da difratometria para a amostra TR20. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Ponto TR23

O ponto TR23 situa-se no terço inferior do espigão de topo aplainado que compõe o divisor topográfico sudeste da sub-bacia do Córrego Utinga. Sua localização na vertente e o substrato geológico envolvido (quartzito) podem ser conferidos na **Figura 48,** à direita. A seguir são mostrados os dados das análises físicas de laboratório para o ponto TR23 (**Tabela 24**), os teores de óxidos e os cálculos Ki/Kr (**Tabela 25**) e o resultado da difratometria (**Figura 58**).

Tabela 24. Resultado granulométrico da amostra coletada no ponto TR23, pelo método do densímetro. ([1]) g/kg de T.F.S.A. ([2]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	Classes Granulométricas [1]								S/A	Arg. em H_2O [2]	Grau de Floc. [2]	Classe de Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	S	A				
Bw	55	5	24	107	322	171	630	45	326	0,13	0	100	md-arg

Tabela 25. Resultado do ataque sulfúrico para fins de classificação da amostra coletada no ponto TR23, pelo método da EMBRAPA (1999). ([1]) %. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Hor.	Prof. (cm)	SiO_2 (1)	Al_2O_3 (1)	Fe_2O_3 (1)	TiO_2 (1)	MnO (1)	Ki	Kr
Bw	55	8,80	7,44	1,86	2,36	0,0100	2,01	1,73

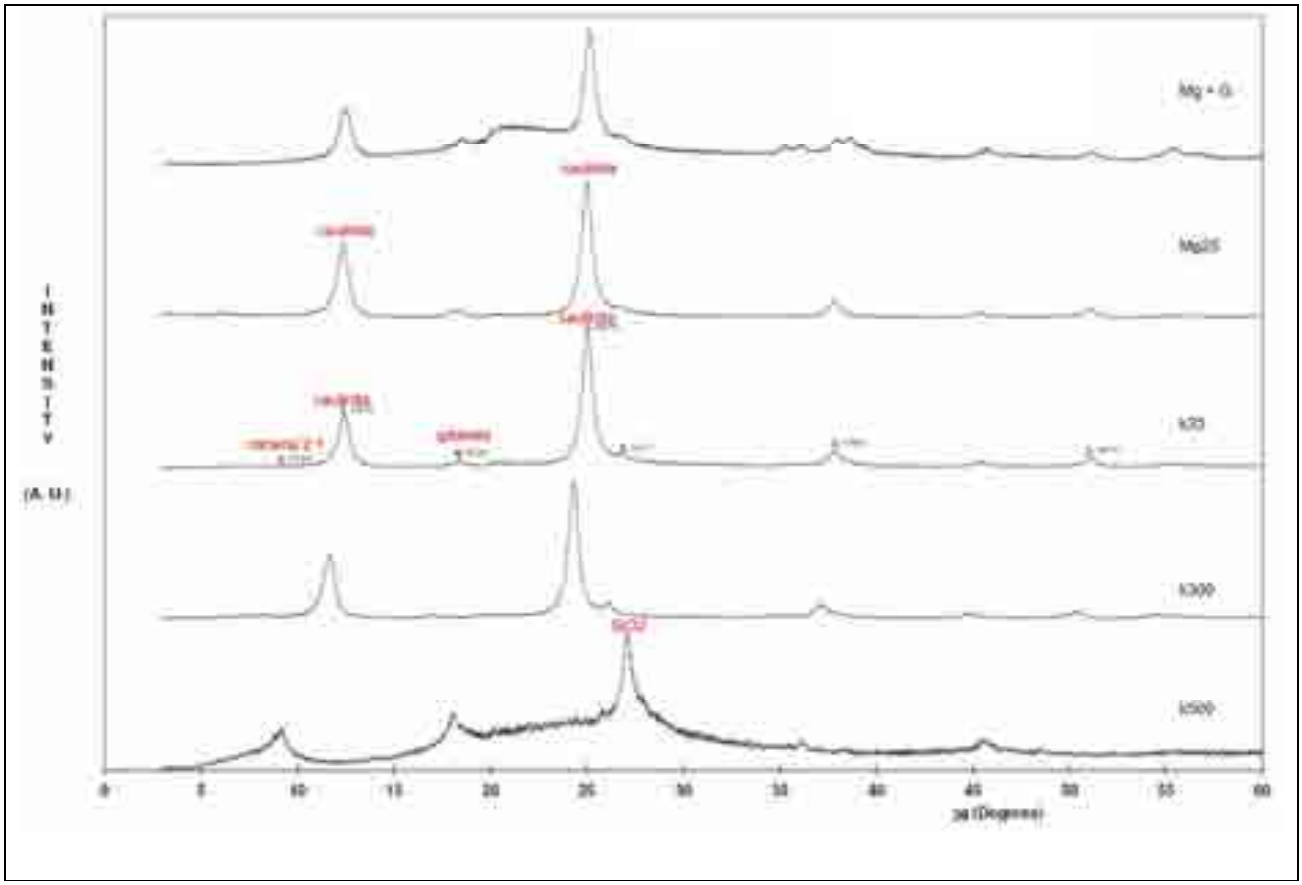


Figura 58. Resultado da difratometria para a amostra TR23. Fonte: ESALQ. Org.: FNJV, 2011.

Os dados na **Tabela 24** mostram que o ponto TR23 trata-se de um solo medianamente argiloso e compatível com o diagnóstico de horizontes B latossólicos quando a relação S/A é menor que 0,6 (EMBRAPA, 2009).

O resultado da relação Ki indica o limite entre o predomínio caulinítico e a mistura de argilas 1:1 e 2:1, enquanto que a relação Kr o classifica como hipoférrico, com valores muito baixos de Fe_2O_3. A cor da amostra coletada, vermelho-amarelada (5YR 5/6), indica as proporções de hematita/goetita entre 0,2 e 0,6 (IBGE, 2007).

Finalizando, a difratometria indica a presença de gibbsita e caulinita, além de reflexos pouco pronunciados que revelam pequenas quantidades de mineral 2:1, além, é claro, do quartzo (**Figura 58**).

Assim, pode-se classificar o ponto TR23 como um Cambissolo com organização evoluindo para horizonte B latossólico.

Argissolos

O perfil de Argissolo mostrado na **Figura 41** foi encontrado em apenas um local na área de estudo, localizando-se em vertente retilínea, com declividade de 12 a 20%, no limite convexo de vale assimétrico. Há proximidade do perfil com o limite do granito (Maciço Sorocaba) e a presença de colúvios arenosos no topo do perfil e diamictitos ao redor do talude exposto (vide **Mapas Geológico** e **Geomorfológico**). Entretanto, sua ocorrência é apenas relatada, pois foi o único perfil deste tipo de solo encontrado na área de estudo. O perfil descrito na **Figura 59** na página seguinte é localizado próximo a açude do curso superior do Córrego Utinga, em sua margem direita (vide **Figura 41**).

Ponto de Observação: Perfil de Argissolo

Data: 28/11/10

Relevo: vertente retilínea de declividade média de 12 a 20%, em limite convexo de vale fluvial

Posição na Vertente: terço inferior

Localização: próximo a açude do curso superior do Córrego Utinga, em sua margem direita

Coordenadas: E 241.950 m e N 7.388.345 m

Litologia e Formação Geológica: sedimentos paleozóicos do Subgrupo Itararé

Material de Origem: siltitos argilosos intercalados com arenito fino

Altitude: 641 m

Erosão: em sulcos, próximas ao perfil, de provável origem antrópica (obras para construção do açude próximo)

Cobertura Vegetal Atual: Braquiária

A – 0 a 14 cm: bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido), arenoso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, fraca pequena, solta, friável, não plástica, não pegajosa, poros pequenos, abundantes, atividade biológica (raízes em fendas, cupins), transição clara e plana;

A11 – 14 a 20 cm: amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido), arenoso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, fraca pequena, solta, friável, não plástica, não pegajosa, poros pequenos, abundantes, atividade biológica (raízes fasciculadas), transição clara e plana;

A12 - 20 a 26 cm: bruno - amarelado (10YR 5/6, úmido), arenoso, estrutura em blocos subangulares que se desfaz em granular, fraca pequena, solta, friável, não plástica, não pegajosa, poros pequenos, comuns, atividade biológica (raízes fasciculadas), transição abrupta e plana;

E – 26 a 80,5 cm: bruno muito claro-acinzentado e bruno-amarelado-claro (10YR 7/4 e 10YR 6/4, úmido), arenoso, estrutura em blocos subangulares, fraca pequena, solta, firme, não plástica, não pegajosa, poros pequenos, comuns, atividade biológica (raízes fasciculadas), transição abrupta e plana a ondulada;

Bt – 80,5 a 180+ cm: amarelo-avermelhado (7.5YR 6/8, úmido), argiloso, estrutura em blocos subangulares para blocos angulares, cerosidade fraca, estrutura forte grande, solta, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa, poros pequenos, comuns, atividade biológica (canais biológicos preenchidos com matéria orgânica).

Observação: manchas mais escurecidas de matéria orgânica e um pouco de areia lavada no horizonte A; raízes comuns nos horizontes A e A11 e poucas no horizonte A12; manchas mais escurecidas avermelhadas e manchas esbranquiçadas no horizonte E.

Figura 59. Descrição morfológica de perfil de Argissolo na área de estudo. Org.: FNJV, 2011.

Como é observado na **Figura 59** notam-se três pequenos horizontes superiores (A, A11 e A12), o primeiro misturado com matéria orgânica e os outros muito arenosos. Abaixo destes, há o horizonte eluvial de mais de 0,5 m de espessura (horizonte E) seguido do horizonte Bt estruturado em blocos.

Os horizontes superficiais são sobrepostos por um colúvio arenoso que corresponde a um depósito da vertente, que provavelmente erodiu os horizontes do solo. Este era bem evidenciado antes da limpeza do perfil para sua descrição morfológica (**Foto 56**).

Foto 56. Aspecto do perfil de Argissolo antes da limpeza para sua descrição morfológica, sendo possível notar a transição abrupta do horizonte superficial para o horizonte Bt abaixo. Foto: FNJV, 14/10/10.

Após a preparação do perfil para a descrição morfológica, observaram-se dois horizontes arenosos, com transição clara e plana para os demais horizontes (**Fotos 57** e **58**).

Foto 57. Detalhe da transição dos horizontes A, A11, A12 e E. Foto: FNJV, 28/11/10.

Foto 58. Detalhe da transição abrupta e plana do horizonte A12 para o horizonte E. Foto: FNJV, 28/11/10.

Assim, se classifica este perfil de solo como um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Também foi encontrado fora da área de estudo, próximo ao seu limite SE no Bairro Capuavinha, outro perfil de Argissolo. Este apresentou condições de hidromorfia notadamente

sazonais, responsáveis pela degradação do perfil, já que podia ser vista a posição atual do horizonte Bt e manchas descontínuas de sua posição anterior (**Foto 59**).

Foto 59. Argissolo no extremo SE da área de pesquisa. Notar o rebaixamento do horizonte Bt, evidenciado pela mancha vermelho-amarela acima do martelo. O Horizonte E encontra-se mosqueado, em transição abrupta para o horizonte Bt. Foto: FNJV, 27/11/10.

A degradação deste Argissolo é ligada à má drenagem do perfil, que facilita a segregação do ferro. É digno de nota citar que a hidromorfia apresenta-se sempre associada

à atividade biológica neste perfil (**Foto 60**), causando uma degradação que rebaixa o horizonte Bt e que está ligada à circulação d'água nos canais biológicos; conjugada à acumulação da matéria orgânica, o meio torna-se ácido, com condições redutoras, e a hidromorfia se faz presente.

Foto 60. Detalhe da transição dos horizontes E e Bt. A circulação da água é facilitada pela porosidade biológica, que ajuda na segregação do ferro e da argila para o horizonte de baixo. Foto: Grace B. Alves, 27/11/10.

Gleissolos

Os Gleissolos situam-se nas planícies fluviais dos vales de fundo plano e nos setores com declividade de até 6% nos fundos de vale, a exemplo do ponto TR12. Contudo, a depressão interfluvial na área de topo aplainado (vide **Figura 37**, **item 7.3**) indica circulação hídrica subsuperficial e condições hidromórficas no solo existente (**Fotos 61** e **62**) e também pode, assim, ser comparado a um Gleissolo. Plantações de milho bordejam a depressão alagada do lado sul, enquanto que um taludamento foi realizado pelo proprietário no lado norte, expondo o solo vermelho. Seguindo pela plantação de milho em direção à área afundada e alagada, percebe-se que a superfície transita do vermelho para um tom cinza,

indicando o ambiente redutor. Tradagens até 1,20 m foram possíveis apenas nas bordas da depressão; nestas, não foi atingido o nível d'água.

Foto 61. Vista da depressão interfluvial para NNE. A cultura de milho avança até o início da área alagada da depressão. Foto: FNJV, 16/06/11.

Foto 62. Material coletado até 1 m de profundidade. As cores dos horizontes de superfície passam de 7.5 YR 3/1 (cinzento-muito-escuro, até 20 cm) e 7.5YR 4/1 (cinzento-escuro, de 20 a 40 cm), para cores cinzentas (7.5YR 5/1, de 40 a 60 cm; 10YR 6/1, de 60 a 80 cm) e bruno-acinzentadas (10YR 5/2 de 80 a 100 cm) nos horizontes de subsuperfície. A partir de 40 cm, as cores ficam mais variegadas, com porções vermelho-amareladas e vermelhas nos matizes 5YR e 2.5YR em meio ao tom cinza. A textura se mantém argilosa em todos os horizontes, e mais plástica e pegajosa até 40 cm. Foto: FNJV, 16/06/11.

No horizonte de 80 a 100 cm encontram-se pequenas concreções ferruginosas e as cores são as mais variegadas, embora a cor cinza domine mais de 60% dos torrões. Assim, o solo da depressão interfluvial sofre hidromorfia, possui mais cores acinzentadas do que outras e é possível ser classificado como um Gleissolo.

7.4.3 Conclusões Parciais das Análises de Solo

Com os resultados do levantamento pedológico expostos anteriormente, foi possível entender melhor a constituição da cobertura pedológica da área de estudo. Logicamente, as conclusões possíveis são parciais, pois não foram elaboradas topossequências que levassem ao entendimento mais profundo (em detalhe e na própria profundidade) e não foram observadas mais detalhadamente características da circulação interna d' água que, em geral, respondem pelos sistemas de transformação. Contudo, foi possível o reconhecimento da formação de solos relacionada à gênese do substrato geológico e à morfologia e processos do relevo (erosão geoquímica e rebaixamento da topografia) quando em áreas de características mais uniformes.

Nas áreas de transição cristalino-sedimentar ou granítico-metamórficas esta relação não ficou muito bem estabelecida, justamente por não ser factível nesta pesquisa o desenvolvimento dos demais níveis de tratamento da compartimentação morfopedológica enunciados por CASTRO & SALOMÃO (2000). Inclusive, a escala utilizada e a complexidade da área de pesquisa, sobretudo quanto à litoestrutura como demonstrado no **Mapa Geológico** *e* no **Mapa Geomorfológico**, mostram ser necessários trabalhos muito mais minuciosos na investigação dos sistemas de transformação.

A fim de confeccionar o **Mapa Pedológico** e se entender melhor a distribuição dos solos na área de estudo de acordo com o substrato geológico e as formas de relevo, além de seus processos pedogenéticos, a classificação dos pontos amostrados e dos perfis descritos foi fundamental. Os 10 pontos de coleta amostrados para análises de laboratório serviram de baliza para o ajuste dos limites das unidades, somando-se a estes as características levantadas nos outros pontos (mostradas na **Tabela 24**) e as cartas hipsométrica e de declividade. Parte-se, então, para algumas considerações a respeito dos resultados obtidos.

<u>Grau de Intemperismo</u>

- Os solos variam de acordo com o substrato, e possuem pedogênese mais avançada ou não de acordo com o relevo (morfologia e morfometria); há transformação dos minerais primários em secundários através da hidrólise (monossialitização, evidenciada pelo domínio gibbsítico dos resultados da relação Ki e pelos picos cauliníticos na mineralogia), aparecendo Latossolos Vermelhos e Cambissolos evoluindo para organização de horizonte B latossólico, ou seja, solos mais bem drenados de melhor circulação lateral da água e desenvolvimento vertical do perfil; quando na existência de superfícies mais inclinadas que respondem pela mudança do substrato, sem haver mudanças bruscas no relevo, acontece a mudança de solos e hidrólise parcial (monossialitização a bissialitização, evidenciada pelo domínio caulinítico

dos resultados da relação Ki e evidências de minerais interestratificados na mineralogia), não sem haver perceptível subtração topográfica em razão dos perfis geológicos elaborados;

- Os locais em que ocorre hidrólise mais avançada correspondem a solos intemperizados (relação silte/argila menor que 0,6) e domínios gibbsíticos (relação Ki menor que 1,8), a saber: ponto TR1 (Latossolo Vermelho), pontos TR2, TR8 e TR11 (Cambissolos evoluindo para organização de horizonte B latossólico), e ponto TR12 (Gleissolo);

- Os locais em que ocorre hidrólise parcial (monossialitização e domínio caulinítico) correspondem a classificações variadas: os pontos TR3 e TR4 correspondem a solos intemperizados (relação silte/argila menor que 0,6) e domínios de mistura de argila (relação Ki acima de 2,0), caracterizando Cambissolo e Cambissolo evoluindo para a formação de horizonte B latossólico, respectivamente; os pontos TR19 e TR20 são Cambissolos, mas o primeiro situa-se no limite da mistura de argilas e domínio caulinítico, e o segundo se encontra na mistura, com relação S/A indicando menor intemperismo; e o ponto TR23 também se encontra no limite da mistura de argilas e domínio caulinítico, mas se mostra muito intemperizado pela relação S/A menor que 0,6 e caracteriza Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico;

- A pedogênese é mais avançada nos locais de formas de relevo planas e amplas, que permitem a infiltração d'água e ataque químico dos minerais; este processo independe do substrato, mas notam-se solos mais desenvolvidos nas alterações da litologia sedimentar e ígnea (Latossolo Vermelho e Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico, respectivamente), que correspondem aos pontos TR1, TR2, TR8 e TR11;

- Declividades intermediárias, entre 12 e 20%, nas áreas de substrato arenítico, podem estar associadas ao aparecimento de um perfil de Argissolo, na transição da vertente para o fundo de vale;

- A pedogênese mais incipiente acontece nos setores das vertentes de maior declividade, e é mais observada nas áreas de litologia ígnea e/ou metamórfica;

- Cambissolos evoluindo para organização de horizonte B latossólico podem transitar para Cambissolos típicos, quando na alteração do substrato sedimentar para o cristalino.

Difratometria

Segundo o Prof. Dr. Antônio Azevedo, mineralogista do solo da ESALQ-USP, os difratogramas indicaram reflexos similares nas amostras, possíveis, inclusive, de serem relacionados ao substrato e grau de intemperismo (informação pessoal)[10].

As amostras TR1, 2, 3, 4, 8, 11 e 12 tiveram seus reflexos de caulinita e gibbsita facilmente identificados pelos espaçamentos existentes nos picos de intensidade, com menor contribuição da gibbsita no ponto TR4, o que pode ser relacionado à sua hidrólise parcial. O ponto TR12, pelo contrário, apontou maior proporção de gibbsita, provavelmente relacionada às condições de gleização.

Os pontos TR2, 8 e 11 apresentaram bandas nos difratogramas que indicam a presença de um filossilicato 2:1 não expansivo, provavelmente muscovita, que pode ser relacionada ao material de origem, no caso, granito. Como comprovadamente os pontos TR8 e 11 possuem como substrato o granito do Maciço Sorocaba, enquanto que para o ponto TR2 existe apenas a possibilidade, a este foi atribuído um limite geológico não definido entre o granito e o quartzito (também muito micáceo), na transição para com o material sedimentar acima (vide perfil geológico na **Figura 42**). O ponto TR2 inclusive foi o responsável pelos limites do **Mapa Geológico**, de acordo com esta questão levantada. Como demonstrado na **Figura 45**, a presença de cascalhos no perfil do ponto TR2 também corrobora para a presença do material cristalino.

Os pontos TR19 e TR20 tiveram resultados muito similares, com maior intensidade de reflexos de filossilicatos 2:1 não expansíveis, apresentando-se pouco alterados e complementando suas classificações como Cambissolos. Quanto ao ponto TR23, este se parece semelhante ao ponto TR2 nos reflexos expansivos e de aquecimento, com menor proporção de minerais 2:1 não expansíveis (também provavelmente muscovita), e a existência do substrato quartzítico (vide **Figura 58**).

Os resultados das análises morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas das 10 amostras priorizadas na coleta de solos mostraram existir na área de estudo quatro tipos de solo, a seguir descritos:

- Latossolo Vermelho (LV) eutrófico, típico, muito argiloso e hipoférrico, que se sobrepõe à antiga superfície geomórfica aplainada (WAMBEKE, 1992) sustentada por sedimentos silto-argilosos paleozóicos, onde predominaram processos de hidrólise mais avançada na sua formação, sendo muito intemperizado, caracterizando solos antigos, estáveis e de espessura profunda (mais de 4 m);

[10] Azevedo, A. C. **ID Minerais Fernando UFSCar Sorocaba**. Mensagem recebida por geovillela@usp.br em 21.Dez.2011.

- Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico (CX Bw), existente em setores de vertente amplos na transição do substrato sedimentar para o substrato ígneo-metamórfico, cuja pedogênese, entre outros fatores, deve-se a processos de hidrólise parcial (monossialitização) na sua formação, sendo intemperizado, estável e de espessura menor que o Latossolo Vermelho, podendo transitar para Cambissolo típico quando na mudança de morfologia do terreno ou substrato geológico;

- Cambissolo (CX), existente em setores de vertente dissecados e relacionado ao substrato ígneo-metamórfico, em processo de bissialitização (domínio de mistura de argilas 1:1 e 2:1), sendo pouco intemperizados mas estáveis, e de menor espessura;

- Gleissolo (G) argiloso, que inclusive preenche a depressão interfluvial existente.

A depressão interfluvial existente na área de divisores aplainados do espigão principal possui materiais sedimentares, mas a circulação d'água é incrementada pela morfologia côncava a partir de uma ruptura de declive e de um colo (vide **Mapa Morfológico**). Isto influencia no aparecimento de condições de hidromorfia nas áreas alagadas desta depressão e acaba por criar meio redutor.

7.4.4 Unidades Pedológicas

A caracterização geral das 24 amostras coletadas nos pontos estabelecidos (**Tabela 26**) permite uma divisão das unidades pedológicas que resultaram no **Mapa Pedológico**. Classificados os pontos, a visão de sua distribuição permitiu o estabelecimento das unidades pedológicas baseado nos quatro tipos de solo (**Figura 60**).

Tabela 26. Caracterização geral das 24 amostradas utilizadas para definição das unidades pedológicas e mapeamento. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	Hor.	Prof. (cm)	Cor	Textura (Campo)	Classe Textural (Lab.)	S/A	pH H_2O	CTC	V%	Fe_2O_3	Ki	Kr	Classificação	Observação de Campo
TR1	Bw23	120	10R 4/6 (vermelho)	argilosa	m-arg	0,18	5,5	45,08	61,9	7,97	1,52	1,24	LV	Trincheira aberta; morfologia indica LV
TR2	Bi	85	2.5YR 4/8 (vermelho)	argilosa	arg	0,32	5,6	50,4	61,6	3,57	1,55	1,35	CX Bw	Trincheira aberta; morfologia indica CX
TR3	Bi	60	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilosa	arg	0,25	5,4	48,79	63,1	6,54	2,33	1,74	CX	Cores variegadas
TR4	Bi	90	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilosa	m-arg	0,21	-	-	-	7,58	2,16	1,72	CX Bw	Cor indica transição entre LV e CX
TR5	Bw1	80	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilo-arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX Bw	Cor e textura indicam CX
TR6	Bi	65	7.5YR 6/8 (amarelo-avermelhado)	arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX	Cor e textura indicam CX
TR7	Bw2	120	5YR 3/3 (bruno-avermelhado-escuro)	argilosa	-	-	-	-	-	-	-	-	LV	Cor e textura indicam LV
TR8	Bw	65	5YR 3/4 (bruno-avermelhado-escuro)	argilo-arenosa	arg	0,25	-	-	-	4,72	1,51	1,31	CX Bw	Cor e textura indicam CX; presença de matacões de granito próximos
TR9	Bi	50	7.5YR 4/6 (bruno-forte)	arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX	Cor e textura indicam CX
TR10	Bw2	100	5YR 3/3 (bruno-avermelhado-escuro)	argilosa	-	-	-	-	-	-	-	-	LV	Cor e textura indicam LV
TR11	Bw	65	5YR 4/6 (vermelho-amarelado)	argilo-arenosa	arg	0,26	-	-	-	4,58	1,25	1,07	CX Bw	Cor e textura indicam CX; presença de matacões de granito próximos

Tabela 26 (continuação). Caracterização geral das 24 amostradas utilizadas para definição das unidades pedológicas e mapeamento. Org.: FNJV, 2011.

Ponto	Hor.	Prof. (cm)	Cor	Textura (Campo)	Classe Textural (Lab.)	S/A	pH H_2O	CTC	V%	Fe_2O_3	Ki	Kr	Classificação	Observação de Campo
TR12	Bg	95	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilosa	arg	0,17	-	-	-	4,93	1,64	1,38	G	Material apresentou hidromorfia; nível d'água atingido depois de 1m
TR13	Bw2	100	5YR 5/8 (vermelho-amarelado)	argilosa	-	-	-	-	-	-	-	-	LV	Cor e textura indicam transição LV-CX
TR14	Bi	50	10YR 6/8 (amarelo-brunado)	argilo-arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX	Declividade acentuada; cores variegadas
TR15	Bi	70	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilo-arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX	Declividade acentuada; cores variegadas
TR16	Bw1	80	5YR 5/8 (vermelho-amarelado)	argilosa	-	-	-	-	-	-	-	-	LV	Cor indica transição LV-CX
TR17	Bw1	80	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilo-arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX Bw	Cor e textura indicam transição LVA-CX
TR18	Bi	70	2.5YR 5/3 (vermelho-acinzentado	arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX	Cor e textura indicam CX; próximo ao local aterro para disciplinamento d'água
TR19	Bi	75	5YR 6/4 (bruno-avermelhado-claro)	argilo-arenosa	arg	0,73	-	-	-	8,19	2,01	1,39	CX	Cor e textura indicam CX
TR20	Bi	80	10YR 5/3 (bruno)	argilo-arenosa	arg	0,62	-	-	-	8,26	2,23	1,68	CX	Cor e textura indicam CX
TR21	Bi	65	10YR 5/4 (bruno-amarelado)	arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX	Cor e textura indicam CX
TR22	Bw1	100	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilosa			-	-	-				CX Bw	Cor e textura indicam CX
TR23	Bw	55	5YR 5/6 (vermelho-amarelado)	argilo-arenosa	md-arg	0,13	-	-	-	1,86	2,01	1,73	CX Bw	Cor e textura indicam CX
TR24	Bi	55	7.5YR 5/6 (bruno-forte)	argilo-arenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	CX	Cor e textura indicam CX

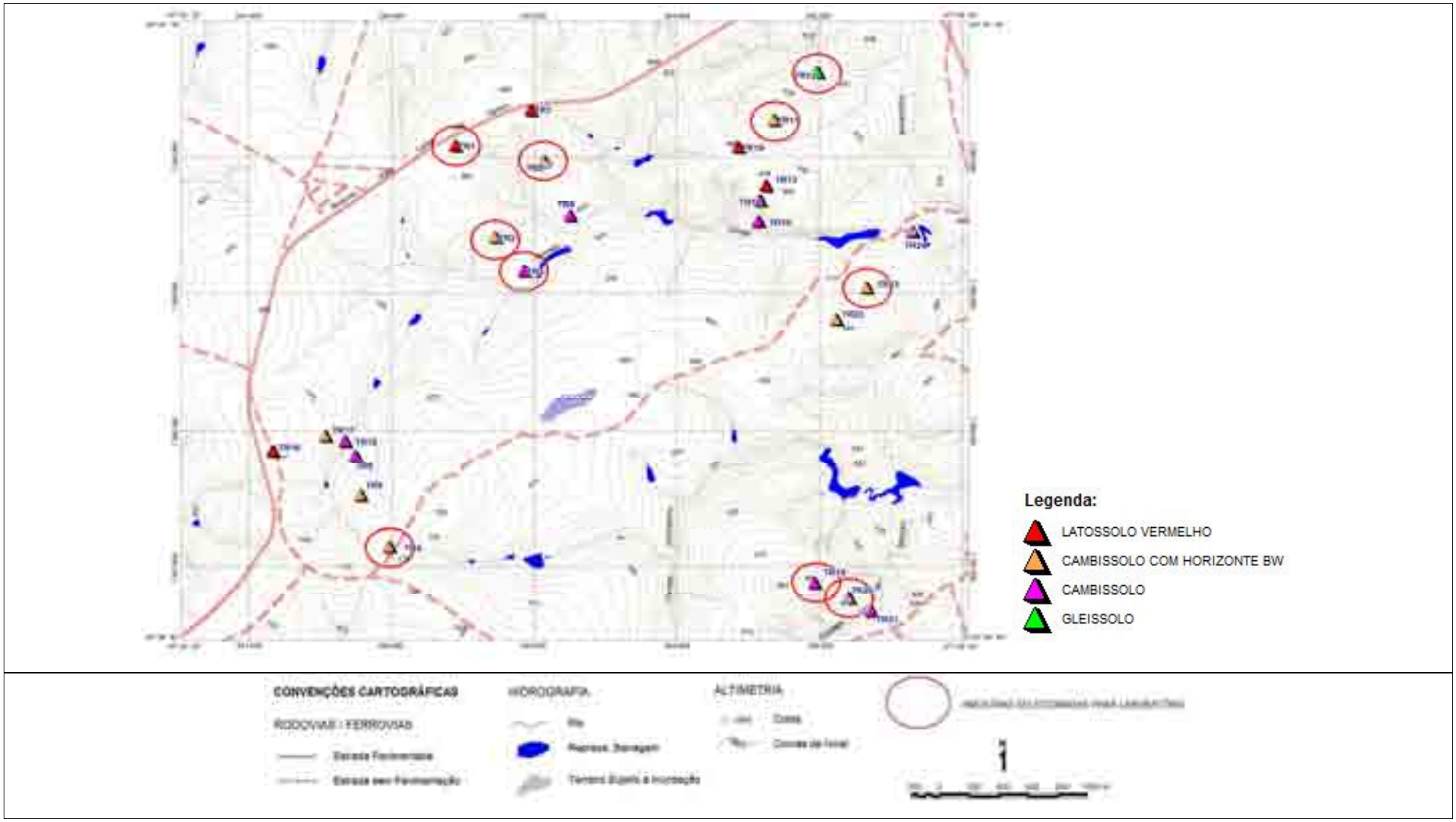


Figura 60. Localização dos pontos de amostragem de solos e classificação para a definição de unidades pedológicas e mapeamento. Org.: FNJV, 2011.

O ponto TR4 situa-se na área dos divisores aplainados, e trata de um Cambissolo evoluindo para a organização de horizonte B latossólico (vide **Foto 52** e **Figura 61**). O estrangulamento do espigão aplainado correspondente à sua localização indica uma maior energia do relevo e assim um desenvolvimento pedogenético mais incipiente. Também, há a possibilidade do granito, que certamente embasa o material sedimentar, alcançar a área em que se encontram as estradas de terra próximas ao ponto TR4 e se encontrar mais próximo à superfície em vista da denudação do material sedimentar, contribuindo para a pedogênese mais incipiente (vide **Foto 63** e **Figura 61**).

Foto 63. Material de alteração coletado a 1,30 m de profundidade, 630 m a WNW do ponto TR4 (vide localização **Figura 61**). Notam-se areia fina e concreções. Foto: FNJV, 21/12/10.

Na fotografia aérea exposta na **Figura 61** a seguir percebe-se sutilmente a cor mais amarelada da superfície, no encontro das estradas de terra e imediações, diferentemente das laterais da foto, caracterizadas pela superfície mais avermelhada em razão da presença do Latossolo Vermelho.

Figura 61. Localização de tradagens realizadas ao longo das estradas de terra na fotografia aérea (AEROCARTA, 2006), SW da área de pesquisa. As evidências mostram ser a área associações entre Cambissolos evoluindo para a organização de horizonte B latossólico (ponto TR4) e Cambissolos. Org.: FNJV, 2011.

A utilização dos dados altimétricos e morfométricos – mostrados nos **Mapas Hipsométrico** e de **Declividades** – permite que as informações estabelecidas nas **Figuras 60** e **61** sejam associadas a estes dois mapas temáticos. Além disso, o **Mapa Geomorfológico** ajuda a identificar a gênese do material.

Na associação da hipsometria, declividade e geomorfologia com os 24 pontos de amostras de solos, podem ser percebidas três características:

- No domínio do substrato sedimentar da morfoestrutura (vide **Mapa Geomorfológico**), correspondente aos setores mais a oeste, sudoeste e noroeste da área de pesquisa, é possível perceber que os intervalos altimétricos mais elevados, acima de 660 m, possuem pontos caracterizados como Latossolos Vermelhos, com predominância das declividades de 0 a 6% e, secundariamente, pontos caracterizados como Cambissolos evoluindo para organização de horizonte B latossólico, entre declividades de 6 a 12%;

- Em contraste, no domínio do substrato cristalino da morfoestrutura, correspondente aos setores mais a sudeste e leste, há predominância dos Cambissolos. Estes situam-se nos setores de vertente superiores a 12% de declividade, estando também associados às altitudes mais elevadas, superiores a 660 m (domínio da litologia cristalina), ou altitudes menos elevadas quando se trata do contato entre as vertentes e o fundo de vale, ou com a planície fluvial, marcada por mudanças ou rupturas de declive;

- Os Gleissolos também se situam no contato das vertentes com os fundos de vale e as planícies fluviais.

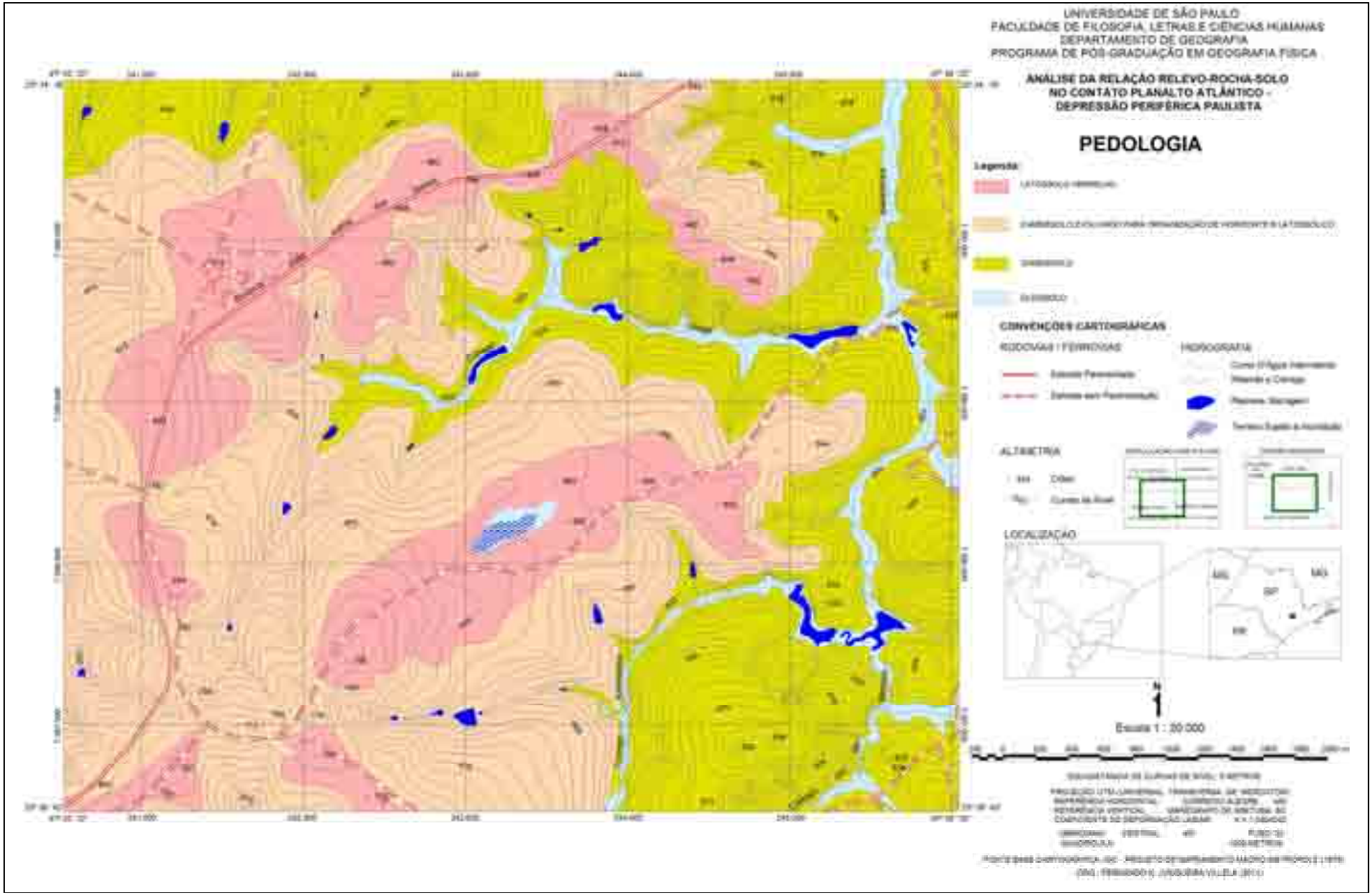
A associação dos níveis altimétricos, o delineamento das curvas de nível e as declividades serviram de complemento à delimitação das unidades pedológicas. Portanto, o levantamento pedológico resultou nas seguintes unidades de solo, a seguir demonstradas no **Mapa Pedológico**:

- Latossolo Vermelho;

- Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico;

- Cambissolo;

- Gleissolo.


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA
ANÁLISE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO
NO CONTATO PLANALTO ATLÂNTICO -
DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA
PEDOLOGIA
Legenda:
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
RODOVIAS / FERROVIAS
HIDROGRAFIA
ALTIMETRIA
LOCALIZAÇÃO
Escala 1 : 20.000

8. SÍNTESE DA RELAÇÃO RELEVO-ROCHA-SOLO

Integram-se aqui as informações levantadas nos **Capítulos 6** e **7**. A obtenção de dados através de análises de gabinete, laboratório e levantamentos de campo resultou no entendimento de alguns aspectos da relação relevo-rocha-solo, norteados pela cartografia geomorfológica e metodologia morfopedológica.

8.1 Síntese da Relação Relevo-Rocha Solo

A síntese da relação relevo-rocha-solo é caracterizada neste trabalho pela geomorfopedologia. Isso significa que as formas de relevo são condicionadas ao substrato geológico e respondem por compartimentos de determinadas altimetrias, declividades e litologias associadas. Os solos refletem esta interação a partir das condições morfográficas e da exposição dos materiais do substrato ao intemperismo e ação biológica.

Foi possível determinar quatro unidades geomorfopedológicas na área de pesquisa, a saber:

- Unidade I: corresponde principalmente à superfície aplainada que configura o divisor topográfico principal da área de estudo, caracterizado pelo aparecimento de alguns topos convexos suaves em uma superfície extensa e contínua de relevo plano, com bordas levemente convexizadas, sendo predominante na paisagem acima de 640 m de altitude. Secundariamente, em suas bordas convexizadas, há a transição para setores de vertente mais amplos, geralmente acompanhados por mudanças de declive convexas que caracterizam transições sutis no modelado do relevo. Na área dos divisores aplainados as declividades são baixas, com os valores de 0 a 6% dominantes, podendo em alguns setores mais restritos aparecer inclinações mais acentuadas, especialmente na ocorrência de topos convexos, com valores de 6 a 12%, 12 a 20% e em menor ocorrência de 20 a 30%. Esta superfície contínua é sustentada pela cobertura sedimentar paleozóica, composta de siltitos argilosos e arenitos finos de idade permo-carbonífera (Subgrupo Itararé), sendo que os solos associados tratam de Latossolos Vermelhos que abrangem não só esta unidade como também parte de unidades vizinhas; entretanto, sua ocorrência característica é restrita a esta unidade e, quando na rampa da vertente a dissecação é um pouco mais pronunciada, visto a mudança sutil da declividade e morfologia para os setores de vertente amplos, os solos mudam para Cambissolos de cores vermelhas e vermelho-amarelas, podendo apresentar início de organização de horizonte B latossólico. A transição da cobertura pedológica é influenciada pela mudança do substrato geológico, no noroeste do quadrante, que passa a ser

influenciada pela litologia cristalina, sem limites muito definidos, caracterizada pelos metassedimentos e maciço granítico;

- Unidade II: abrange áreas de ocorrência de topos convexos e áreas de divisores aplainados em seus limites, mas é mais caracterizada pela ocorrência de setores de vertente amplos e vales fluviais geralmente ainda no domínio do substrato sedimentar. O limite ocorre com a unidade anterior em geral nas altitudes superiores a 650 m, mas quando cortada pelos vales fluviais que formam grandes anfiteatros nas áreas de cabeceira esta pode chegar a mais de 700 m. As declividades possuem valores de 0 a 6%, 6 a 12% e 12 a 20%, com alguns setores restritos de 20 a 30% ou acima de 30%. As litologias ainda compreendem siltitos argilosos e arenitos finos, desta vez transitando para metassedimentos do Grupo São Roque (metarritmitos, filitos e quartzitos) ou para os granitos do Maciço Sorocaba, especialmente nas calhas dos vales fluviais. Os solos nos relevos de setores de vertente amplos predominantes tratam de Cambissolos evoluindo para a organização de horizonte B latossólico, de colorações vermelho-amareladas que diminuem em profundidade conforme se avança para jusante; estes ocorrem também nas áreas de topos convexos e de divisores aplainados, levando à compreensão que o substrato sedimentar nestes locais é de menor espessura. Nos vales fluviais, devido à erosão mecânica obviamente mais intensa, a exposição da litologia cristalina é evidente como material de origem para estes Cambissolos com organização pedológica em processo de formação de horizontes B latossólicos ou Cambissolos típicos, podendo aparecer Gleissolos nas partes mais à jusante; entretanto, nos setores de vertente amplos, a latossolização do horizonte B incipiente está ligada à transição dos sedimentos paleozóicos para os metassedimentos ou litologia granítica;

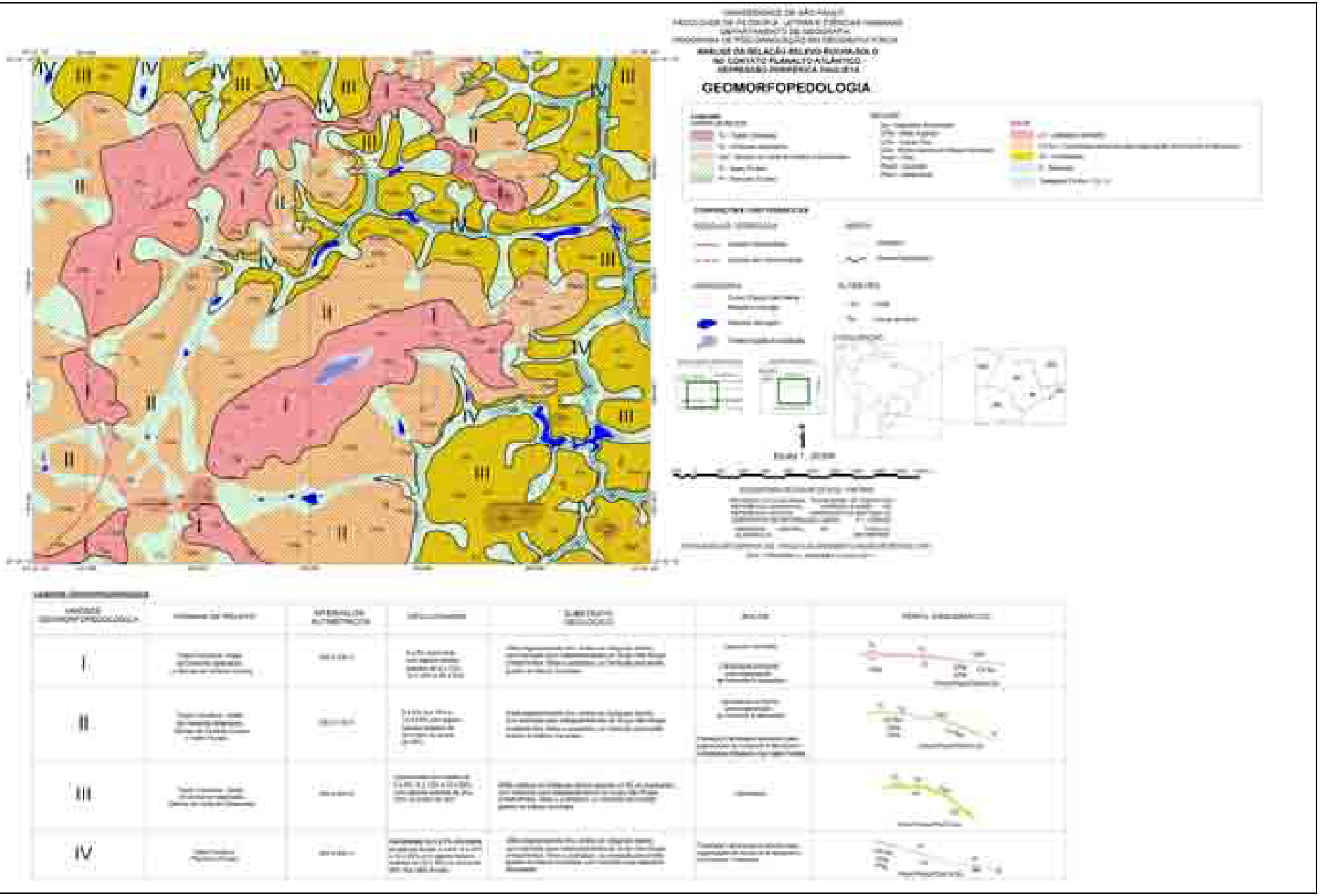
- Unidade III: trata da unidade geomorfopedológica de domínio do substrato cristalino da área de pesquisa, embora exista uma pequena área no nordeste do quadrante com a ocorrência de sedimentos paleozóicos (siltitos argilosos); igualmente, no nordeste do quadrante, há uma área de divisor aplainado, sustentada por metarritmitos. Contudo, a unidade III compreende formas de relevo padronizadas em topos convexos, mais restritos, e setores de vertente dissecados, predominantes. Vales fluviais se desenvolvem nos limites dos setores dissecados, contornando os interflúvios de maior entalhe no sudeste do quadrante, desde o topo até o fundo de vale, interflúvios que abrangem altimetrias de 610 a 694 m, embora na jusante do Rio Ipaneminha a dissecação da unidade atinja até 595 m. As declividades dominantes são de 0 a 6%, 6 a 12% e 12 a 20%, com setores restritos de 20 a 30% ou acima de 30%. A litologia corresponde a metassedimentos do Grupo São Roque e granitos do Maciço Sorocaba. Morfologicamente, a unidade III é caracterizada pelos setores da média à baixa vertente de maior declividade, mas também pode caracterizar interflúvios no

sudeste do quadrante quando em contato com os topos convexos. Neste caso, a litologia não é variada e apresenta-se como metassedimentar (filitos). Quanto à cobertura pedológica, são as áreas de domínio dos Cambissolos típicos, de cores variegadas e que diminuem de espessura quando próximos da base das vertentes;

- Unidade IV: é a unidade de menor altitude na paisagem, e envolve os setores dos vales fluviais mais a jusante e as planícies fluviais restritas, entre as altitudes de 595 a 680 m. As declividades são baixas, sendo de 0 a 6% dominantes nas planícies fluviais, com setores que podem chegar de 6 a 12% e 12 a 20%, com alguns setores restritos de 20 a 30% ou acima de 30%, quando os vales fluviais cortam os metassedimentos do Grupo São Roque ou os granitos do Maciço Sorocaba. Os depósitos aluvionares estão restritos às planícies fluviais, nas áreas de declividades inferiores a 6%. Nesta unidade ocorrem também variações nos vales fluviais que em geral demonstram os limites do substrato sedimentar e do embasamento cristalino: Cambissolos evoluindo para organização de horizonte B latossólico estão associados aos sedimentos paleozóicos (siltitos argilosos e arenitos finos) e setores de declividade menos acentuada e morfologia convexa, que variam para Cambissolos típicos quando associados às transições da litologia para os metassedimentos (metarritmitos, quartzitos ou filitos) e/ou para o biotita granito em setores de maior declividade e morfologia mais côncavo-retilínea. A partir do contato dos vales com as planícies fluviais, nos setores predominantemente côncavos ou com fundo plano, de declividade baixa, aparecem Gleissolos. Esta última unidade geomorfopedológica caracteriza-se pelas transições do substrato geológico sedimentar-cristalino e pelas transições da cobertura pedológica de solos em desenvolvimento para solos menos desenvolvidos.

Há uma pequena mancha de Gleissolo na Unidade I, sendo exceção em razão dos processos pontuais da depressão interfluvial, de característica circular, fechada e pouco profunda. Como já dito, tal delimitação de solo responde pelo caráter hidromórfico avaliado por meio de tradagens expeditas e sua associação à morfologia côncava existente na área de divisor aplainado desta unidade geomorfopedológica. Sua existência provavelmente associa-se à fenômenos de circulação da água subterrânea e dissolução de materiais.

No **Mapa Geomorfopedológico** a seguir é possível ver a tematização da combinação das informações sobre as formas de relevo, substrato geológico e solos, espacializando assim a relação relevo-rocha-solo na área de pesquisa.


GEOMORFOPEDOLOGIA

8.2 Interpretação dos Resultados

Os resultados obtidos permitem afirmar alguns aspectos característicos da interação entre as formas de relevo, a litologia e os solos. O primeiro deles é que a morfologia do relevo está condicionada ao substrato geológico (controle litoestrutural), que sem dúvida é decorrência do contexto geológico-geomorfológico da região, e a segunda afirmação é que os solos sintetizam esta interação, mesmo não sendo muito desenvolvidos na maioria da área de pesquisa. Para isso, há uma relevância considerável quanto às características morfológicas e físico-químicas destes solos, que, embora não sejam muito esclarecedoras quanto ao material de origem, apontam para as relações intrínsecas a seguir explanadas.

Síntese do Contexto Geológico-Geomorfológico

Os levantamentos de campo e gabinete permitiram reconstruir, ainda que inicial e superficialmente, um quadro dos eventos geológicos que resultaram no contexto geológico-geomorfológico regional caracterizado pela transição da morfoestrutura pré-cambriana do Cinturão Orogênico, no caso o Planalto Atlântico, e a morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná em sua borda leste, caracterizada nesta tese pela unidade morfoescultural da Depressão Periférica Paulista.

O embasamento cristalino na área de estudo é caracterizado por metassedimentos de idade neoproterozóica e granitos de idade cambriana. Os metassedimentos estão ligados aos metamorfismos do Proterozóico Superior que resultaram nas rochas xistosas que compõe o Grupo São Roque, e configuram as rochas mais antigas, sofredoras de tectônica rúptil e dúctil marcadas por um sistema de falhamentos e foliações geralmente com orientações verticais a subverticais. Já os granitos cambrianos do Maciço Sorocaba correspondem a um enorme batólito oriundo de ajustes da crosta pós-orogênicos, de textura porfirítica com alta quantidade de quartzo, biotita e feldspato em sua composição. O domínio destes grupos geológicos se faz em áreas mais ou menos contínuas, e os afloramentos dos metassedimentos ocorrem mais associados às bases dos interflúvios enquanto que os granitos possuem área de ocorrência mais relacionada ao topo dos mesmos; por esta razão, o contato entre as duas litologias foi difícil de ser estabelecido, podendo apenas ser inferido. Tem-se a impressão que o granito corta as estruturas metassedimentares, e que foi sendo exumado, ao longo do tempo geológico, até compor matacões aflorados na superfície.

Os sedimentos glaciais paleozóicos, por sua vez, permitiram delimitação baseada nas observações de campo e até mesmo definição de seu contato por afloramentos expostos nas cabeceiras de drenagem dos vales fluviais. Recobrindo o embasamento cristalino, estas rochas de idade permo-carbonífera foram caracterizadas por um estrato mais antigo e

grosseiro, porém de menor espessura, identificado como um arenito de granulação fina a média e coloração alaranjada, e um estrato superior mais fino e espesso, de colorações cinzas a avermelhadas, caracterizado pela composição síltico-argilosa. As evidências geológicas como estratificação plano-paralela e os poucos e localizados testemunhos de processos glaciais (seixos polidos e estriados) fizeram interpretar que o ambiente de deposição dos sedimentos paleozóicos na área de estudo foi realizado sob domínio de águas calmas, correspondendo a uma área inundada pelo congelamento e degelo gondwânico, com maior quantidade de sedimentos em suspensão do que porções grosseiras durante o transporte, caracterizando uma antiga planície de inundação. Entretanto, do outro lado do divisor topográfico principal da área de estudo, que caracteriza o espigão central, nas cabeceiras do Rio Pirapora (limite oeste do quadrante, onde gradativamente acentua-se a declividade), são encontradas marcas de ondas nos sedimentos paleozóicos, o que implica um fluxo mais torrencial. Os relatos de pacotes de diamictitos a oeste e noroeste da área de pesquisa implicam que as nascentes do Rio Sorocaba que estão presentes na área de pesquisa estiveram mais protegidas destes ambientes de deposição mais enérgicos, permitindo decantação lenta e progressiva de material fino em superfície que, ao longo do tempo, foi sendo esculpida.

Esta esculturação, obviamente, deve-se ao fato que durante o Mesozóico e sobretudo durante o Cenozóico, o modelado de relevo foi sucessivamente enterrado e exumado, por processos e eventos de natureza diversa, tais como os climáticos, epirogenéticos, neotectônicos, entre outros. Afinal, presume-se que a elaboração da Depressão Periférica Paulista se deu ao longo do Terciário e Quaternário, com ajustes de ordem tectônica, morfogênese mecânica e entalhe da drenagem, alternados por fases úmidas e semi-áridas que, em conjunto, promoveram o entalhe e/ou aplainamento da superfície existente, também por ação geoquímica.

As formas de relevo herdadas deste contexto geológico supõem controle marcado pelas características estruturais do substrato, a começar pela sua divisão entre o substrato sedimentar e o embasamento cristalino. Sendo a área de estudo localizada na borda de um antigo maciço cristalino, a comparação dos perfis mais aplainados e mais pronunciados dos interflúvios segundo a geologia fornece pistas importantes (vide perfis geológicos no **Mapa Geomorfológico**) e pode ser constatada pela demonstração integrada na **Figura 62**. Nitidamente, a morfografia da superfície responde pelo substrato sedimentar e pelo embasamento cristalino, possuindo os interflúvios topografia mais pronunciada quando sustentados por metassedimentos ou granitos, e topografia mais rebaixada quando capeados pelos sedimentos paleozóicos.

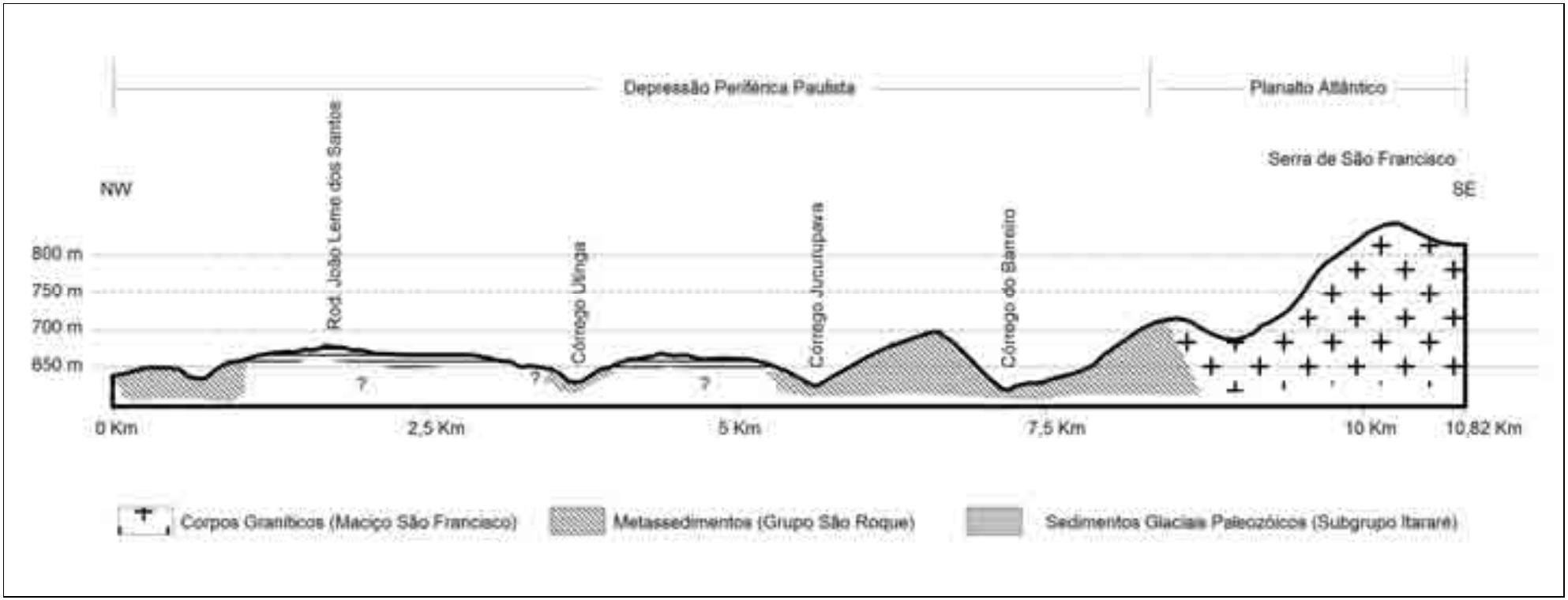


Figura 62. Perfil geológico da Serra de São Francisco até a área de estudo. A Serra de São Francisco representa o limite cristalino do Planalto Atlântico com a Bacia Sedimentar do Paraná na região de Sorocaba, caracterizada em sua borda leste pela Depressão Periférica Paulista. Notar que os interflúvios mostram-se mais convexos e de declividade maior quando associados aos corpos granitóides que pertencem ao Maciço São Francisco (GODOY, 1989) ou aos metassedimentos do Grupo São Roque, enquanto que as formas de relevo mais aplainadas são caracterizadas pela cobertura dos sedimentos glaciais paleozóicos do Subgrupo Itararé. Fonte: Imagem SRTM. Org.: FNJV, 2011.

Observando-se a **Figura 62**, admite-se ser de difícil identificação a idade das formas de relevo na área de estudo e arredores, pois a transição do Planalto Atlântico com a Depressão Periférica envolve duas questões quanto à gênese: na linha de contato entre o capeamento sedimentar glacial e o embasamento cristalino, há uma superfície que representa assoalho antigo, ou uma superfície enterrada, e uma superfície mais recente, trabalhada sobre rochas mais tenras e de menor espessura. Ambas sofreram processos agressivos de erosão e reajustes tectônicos, e atualmente encontram-se completamente truncadas, correspondendo respectivamente à superfície fóssil pré-permiana e à superfície neogênica apontadas por MARTONNE (1943). A mera observação da morfografia do relevo não indica qual a superfície mais antiga em exumação e qual a superfície mais recente em denudação; entende-se, apenas, que esta evolução depende do caráter estrutural do substrato geológico atingido pelo intemperismo e erosão (entre outros fatores), e que tal fato remete à suscetibilidade do substrato sedimentar e do embasamento cristalino aos processos do Cenozóico.

Soma-se a este fato não apenas a disposição do relevo, mas também do sistema de drenagem existente ser marcado por alinhamentos nítidos e angularidades fortes, que igualmente têm relação com o controle estrutural da litologia.

Controle Estrutural

Ao observar-se a carta geomorfopedológica, nota-se que as áreas de maior declividade, muitas vezes indicadas por meio da morfologia convexa e/ou retilínea dos terrenos, expõem a litologia mais resistente, evidenciando a dificuldade dos materiais ricos em sílica serem intemperizados ou erodidos, correspondendo aos locais de afloramento dos granitos e quartzitos.

Nesta interação, a ocorrência dos metassedimentos influi nitidamente no delineamento das formas de relevo, principalmente quando em contato com a litologia granítica que, pela clara erosão diferencial, acaba por definir setores geomorfopedológicos diferenciados.

Isso pode ser visto na parte nordeste da área de pesquisa (margem esquerda do Córrego Utinga), onde existem metarritmitos muito mais tenros que os granitos existentes do outro lado do divisor, capeados por litologias sedimentares e Latossolos Vermelhos. No primeiro caso, as vertentes são convexas e retilíneas, de gradiente acentuado; no segundo, as vertentes caracterizam-se por uma inclinação de baixo gradiente.

Além disso, as estruturas subverticais e verticais dos metassedimentos auxiliam a infiltração d'água na dissecação lateral e vertical, entalhando os interflúvios e originando vertentes mais íngremes, visto a ocorrência de rupturas e limites de vales retilíneos nestas áreas. Esta observação é válida também em razão da maior dissecação do relevo na parte sudeste do quadrante, onde domina a litologia de filitos. Complementando, os locais em que

foram medidas as foliações subverticais/verticais são caracterizados por maior inclinação das vertentes.

Portanto, a foliação metamórfica parece ser um elemento condicionador da energia do relevo na área de pesquisa, aumentando o gradiente das vertentes. Em contraposição, os granitos, quando aflorados, reduzem a capacidade de infiltração e acabam, em conjunto com os interflúvios que sustentam, sendo caracterizados por processos morfoesculturais diferentes, notadamente geoquímicos. Tal processo é apontado pelo ataque químico aos materiais quartzo-feldspáticos dos granitos, tranformando-os em uma massa rochosa de textura porfirítica com as arestas dos afloramentos nitidamente arredondadas, que inclusive assume esta condição não só como matacões mas também nas exposições como pavimento na superfície.

Já nas superfícies dominadas por sedimentos paleozóicos, principalmente onde existe a área contínua de divisores aplainados, o relevo é plano e extenso, com vales sulcando os siltitos e arenitos, abrindo anfiteatros largos e de baixo gradiente. Entretanto, assim que o gradiente aumenta e os vales afunilam pela área das colinas setorizadas em vertentes amplas a dissecadas, observando-se os lineamentos nota-se que a drenagem adquire comportamento sub-retangular e forma cotovelos nos trechos médios das bacias do Córrego Utinga e Jucurupava, nos setores mais dissecados. Assim, percebe-se que a área de domínio do substrato sedimentar também não é poupada da influência da litoestrutura, apenas resta em suas partes interiores os topos aplainados do divisor topográfico principal.

Nesta superfície plana e contínua, mais protegida dos fatores acima mencionados, é que se desenvolvem os solos de maior profundidade da área de estudo, ao passo que na direção jusante estes ficam cada vez menos espessos e incipientes. Desta maneira, há outro condicionador em sua configuração, e que está relacionado aos solos que recobrem tal superfície.

Interação dos Solos com as Formas de Relevo e o Substrato Geológico

Como já mencionado, a área de divisores aplainados é a única superfície em que existem solos mais desenvolvidos; nos setores de vertente amplos a dissecados os levantamentos apontaram apenas a existência de Cambissolos e nos fundos de vale, onde se encontram planícies fluviais, a existência de Gleissolos. Nas vertentes mais dissecadas e nos vales fluviais é compreensível, pois são áreas de vertentes mais íngremes e o substrato caracteriza-se pela passagem da litologia sedimentar para o embasamento cristalino. Entretanto, nas vertentes mais amplas curiosamente os solos são pouco desenvolvidos, recobrindo superfícies de declividade baixa.

SANTOS (1950) já apontava a barreira da agricultura nas regiões sedimentares dos arredores de Sorocaba. Em razão da ocupação caracterizada pelo entreposto de muares e abertura dos campos suavemente ondulados e de relevo monótono, de fácil deslocamento, a devastação das florestas dessas regiões resultou na degradação dos solos, já naturalmente empobrecidos por serem oriundos do substrato arenítico. A autora aponta que a WSW de Sorocaba, nos “Campos de Utinga”, os solos oriundos da área arenítica de Sorocaba já se encontravam degradados de um lado pela ocupação secular, e do outro pela exposição da superfície às intempéries, destacando que os corpos de granito acabavam sendo exumados em razão da fina camada da cobertura sedimentar.

Esta denudação da camada sedimentar não é apenas mecânica; o intemperismo químico atua consideravelmente, o que foi observado nos matacões de granito arredondados e nos perfis de alteração com cascalhos. A sílica presente nas rochas cristalinas pode não ser facilmente degradada, mas os feldspatos presentes nos fenocristais sim. Estes degradam para caulinita e, quando a lixiviação é intensa, formam oxi-hidróxidos de alumina, estágio máximo do intemperismo.

A ação geoquímica promove a alteração dos materiais tanto sedimentares quanto cristalinos através da hidrólise, promovendo primeiramente a monossialitização com o aparecimento da caulinita e gibbsita, e bissialitização com o aparecimento de filossilicatos 2:1. Na formação de horizontes B latossólicos, a alteração é pronunciada, com migração do ferro e da argila e a acumulação dos óxidos de ferro e alumina. Este processo independe do substrato, mas a conjugação deste com a morfologia influi na formação dos solos.

Nas superfícies planas, a degradação dos materiais é lenta e gradual, pois há o favorecimento da infiltração da água e da pedogênese. A área de divisores aplainados pode corresponder a uma superfície de idade neogênica, mas certamente sofreu durante o Quaternário processos de pedogênese acentuados, configurando Latossolos Vermelhos com grau de intemperismo mais avançado e aprofundamento do perfil. No sentido para jusante, o gradiente em geral não é elevado, mas a litologia certamente acaba por influir nas condições de latossolização, pois esta torna-se menos pronunciada quando na passagem para as litologias ígneas ou metamórficas.

Visualmente, as ocorrências de Cambissolos com organização da estrutura evoluindo para a formação de horizontes B latossólicos acontecem mais devido às mudanças de declive do que à mudança de substrato, tanto na leitura dos documentos cartográficos como nas observações de campo. Mesmo com o pouco pronunciamento do gradiente da vertente, há uma seqüência Bw-Bi bem marcada pela morfografia, sendo que este último horizonte pode evoluir para condições de latossolização quando nas posições mais relacionadas às partes superiores ou intermediárias das vertentes; em geral, esta situação vale para as vertentes sustentadas pelas rochas sedimentares e cristalinas, mas não para as vertentes sustentadas

exclusivamente pelos metassedimentos. Tal fato corrobora para a interpretação de que a mudança de solos com horizonte B latossólico para solos em processo de latossolização do horizonte B pode ocorrer concomitantemente com as mudanças sutis de declividade (e por vezes da morfologia), mas a comparação com as ocorrências de solos com horizontes B incipientes e diferenças dos materiais percebidos durante as descrições morfológicas dos solos indicam que as mudanças sutis da superfície são também integradas às mudanças do substrato geológico sedimentar para o embasamento cristalino.

Uma evidência digna de atenção é a presença de cascalhos de quartzo angulosos e em estágio conservado na transição dos solos LV-CX Bw (Latossolo Vermelho para Cambissolo evoluindo para organização de horizonte B latossólico), acompanhados de mudanças de declive. A isso somam-se os dados de laboratório destes solos, que na transição pedológica mencionada possuem grau de intemperismo mais avançado para menos avançado e mineralogia com picos cauliníticos bem cristalizados, embora a degradação dos materiais nos solos evoluindo para condições de latossolização estejam em condições mais incipientes que na superfície aplainada e com maior grau de intemperismo dos Latossolos Vermelhos.

Através da leitura dos mapas produzidos e sua relação com os resultados físico-químicos das amostras de solos coletadas, percebe-se comportamento diferenciado da relação relevo-rocha-solo, ainda mais se fatores como a hipsometria e a declividade forem conjugados no contexto exposto acima. Este comportamento pode ser descrito segundo as transições das vertentes a partir da Rodovia João Leme dos Santos, seguindo a estrada de terra do Bairro Jucurupava (próxima ao “terreno sujeito à inundação” que corresponde à depressão interfluvial), rumo aos vales fluviais, na junção de ambas as estradas a partir dos topos convexos presentes na Unidade Geomorfopedológica II, e acompanhando os topos convexos presentes nas Unidades Geomorfopedológicas I e III em direção aos vales.

Tomando a vertente em que no topo há a Rodovia João Leme dos Santos, existe uma transição morfológica caracterizada pela seqüência Tp-Cad-Vf, isto é, área de divisores aplainados para setores de vertente amplos e vales fluviais, ocasionalmente graduando ainda para as planícies fluviais restritas. Nestas vertentes, em que o melhor exemplo corresponde à área do campus da UFSCar-Sorocaba, a transição da litologia é tipicamente do substrato sedimentar para o embasamento cristalino. No domínio sedimentar, os solos variam de Latossolos Vermelhos profundos e de caráter eutrófico, associados aos siltitos argilosos como material de origem, para Cambissolos evoluindo para organização de horizonte B latossólico, associados à transição do siltito argiloso/arenito fino para as rochas cristalinas (podendo ser granitos ou quartzitos). A morfologia da superfície é mais aplainada, e o grau de intemperismo dos solos é mais alto, com o aparecimento de argilominerais cauliníticos e gibbsíticos, indicando hidrólise mais avançada e ação geoquímica na escultura do relevo, resultando em formas de relevo planas com camadas argilosas espessas. Nos vales fluviais é que as

vertentes ganham maiores declividades, mas há também um sensível aumento nas transições da litologia, embora estas não sejam muito perceptíveis quando no campo, e que são exemplificadas nas poucas rupturas de declive presentes.

Nas vertentes opostas, na margem direita do Córrego Utinga principalmente, o divisor de águas aplainado possui transição morfológica também caracterizada pela seqüência Tp-Cad-Vf, mas a transição da litologia ocorre em menor gradiente; as vertentes possuem menor inclinação, com lento e gradual aumento para a base das mesmas, em que a litologia passa do domínio sedimentar dos siltitos e arenitos para os metassedimentos, notadamente quartzitos do lado noroeste do interflúvio; quando em direção ao vale fluvial do Córrego Jucurupava, no lado sudeste do interflúvio, os metassedimentos na base das vertentes são caracterizados por filitos. Em ambos os lados deste interflúvio, em que no topo existe a estrada de terra do Bairro Jucurupava, a seqüência de solos caracteriza-se por LV-CX Bw-CX, mas os Latossolos Vermelhos não são tão espessos, o grau de intemperismo é menor e aponta-se hidrólise parcial dos minerais. No entanto, a presença de uma depressão interfluvial em que foram constatadas condições de hidromorfia indica também haver ação geoquímica na escultura da superfície, ligada a processos de dissolução e abatimento (rebaixamento) da superfície. Se as camadas sedimentares possuírem menor espessura e o contato (discordante) com os filitos abaixo for caracterizado pela presença de corpos calcários, como é comum na região, há a possibilidade da água percolar até o material carbonático e, auxiliada inclusive pela foliação metamórfica dos filitos, infiltrar pelo corpo rochoso dos metassedimentos, promovendo a infiltração, intensificando a segregação do ferro e da argila e criando condições para haver hidromorfia e o aparecimento da forma pseudo-cárstica localizada.

Outro exemplo da influência da litologia na formação dos solos e possibilidade do rebaixamento do relevo por erosão geoquímica acontece no trecho em que a estrada de terra percorre o sentido nordeste. A passagem da morfologia de divisores aplainados para setores de vertente amplos a dissecados acontece na transição do substrato sedimentar para o substrato cristalino, e os solos mudam de Latossolos Vermelhos para Cambissolos evoluindo para a formação de horizonte B latossólico. Não há nenhuma variação brusca do relevo, mas há variação da litologia, pois esta passa dos sedimentos paleozóicos para os filitos. Em conjunto, há uma mudança de declive do substrato sedimentar para o cristalino, na parte de menor altitude do espigão, em que a morfologia do terreno é mais aplainada. Como foi possível constatar a presença de calcário nos filitos nestas imediações, novamente há a possibilidade da dissolução contribuir no desenvolvimento da morfologia do terreno.

Nas altitudes mais elevadas da área de estudo, acima da cota de 700 m, próximo à junção da Rodovia João Leme dos Santos com a estrada de terra do Bairro Jucurupava, na Unidade Geomorfopedológica II, curiosamente os solos são caracterizados como Cambissolos

evoluindo para a formação de horizonte B latossólico. A área possui divisor aplainado e topos convexos pouco pronunciados, possuindo como substrato geológico a litologia sedimentar; entretanto, os resultados de laboratório deixaram claro que o grau de intemperismo do solo é menor. A possibilidade mais provável é a menor espessura das camadas sedimentares e a proximidade, assim, das rochas cristalinas em relação à superfície.

Situação semelhante é encontrada a partir dos topos convexos presentes na Unidade Geomorfopedológica I, mas, diferentemente da situação anterior, há conhecimento de que os siltitos argilosos na área de divisor aplainado com os pequenos topos convexos são sustentados do lado sudoeste do interflúvio por metarritmitos e do lado nordeste do interflúvio por granitos do Maciço Sorocaba. Os Latossolos Vermelhos apresentam-se pouco espessos, mas o seu desenvolvimento está relacionado ao relevo mais plano, assim como os Cambissolos evoluindo para a formação de horizonte B latossólico do lado nordeste do interflúvio. Em ambas as situações, evidencia-se a atuação geoquímica sobre a superfície, no primeiro caso pela alteração da cobertura sedimentar associada ao divisor de águas aplainado e no segundo caso pelo estado alterado e arredondado dos granitos expostos à superfície. A estes granitos associam-se ainda as condições de hidrólise (monossialitização) e grau de intemperismo mais avançado na cobertura pedológica que o tem como material de origem.

Desta maneira, observa-se a possibilidade de, em conjunto com a formação desta organização latossólica, haver o rebaixamento da superfície, ou em outras palavras o aplainamento e rebaixamento da superfície podem estar ligados à erosão geoquímica em concomitância à formação de solos com horizontes Bw ou em evolução para o seu desenvolvimento.

Quando os solos apresentam condições de Cambissolos típicos associados a maiores declividades e substrato cristalino, como é o caso dos interflúvios presentes no SE da área de pesquisa, na Unidade Geomorfopedológica III, ficam claras as menores condições de intemperismo químico e a atuação mais pronunciada da erosão na escultura do relevo. A dissecação revela-se maior, assim como o caráter assimétrico da morfologia, apontando ser o material mais suscetível a processos erosivos mecânicos, muito provavelmente em razão da foliação metamórfica existente.

Por fim, os fundos de vale planos possibilitam o desenvolvimento de Gleissolos, especialmente nas áreas em que há o desenvolvimento de planícies fluviais. Seu aparecimento sempre se dá nos vales fluviais a partir da baixa vertente, exceto, é claro, no caso da depressão interfluvial. Apesar de sua ocorrência sobre as rochas cristalinas, certamente estão relacionados ao intemperismo dos depósitos aluvionares.

9. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação relevo-rocha-solo na área de pesquisa foi investigada através da metodologia morfopedológica, em que níveis de tratamento nortearam a investigação das relações do relevo com os solos e, conseqüentemente, com a litologia. Neste trabalho, buscou-se a relação destes dois primeiros fatores da paisagem com o substrato geológico, pois partiu-se do princípio de que este é que comanda a compartimentação do meio físico e, aliado aos outros dois, responde pelo processo de dissecação das formas e formação dos solos. Além disso, observações de processos de intemperismo químico na superfície e as caracterizações geomorfológicas levaram à interpretação da superfície ser rebaixada nos moldes da etchplanação, com rebaixamento da superfície pela dissolução dos materiais atacados geoquimicamente e em conjunto com os demais processos exógenos. Para a espacialização destas relações, foi escolhida a cartografia geomorfológica seguindo a hierarquização taxonômica. No final, o mapa geomorfológico e o mapa geomorfopedológico foram os instrumentos-síntese deste trabalho, aliado às possibilidades apontadas.

9.1 Conclusões

A síntese da relação relevo-rocha-solo foi caracterizada neste trabalho pela geomorfopedologia. Isso significa que na área de estudo as formas de relevo são condicionadas pelo substrato geológico e respondem por compartimentos de determinadas altimetrias, declividades e litologias associadas. Os solos refletem esta interação a partir das condições morfográficas e da exposição dos materiais do substrato aos intemperismos físico-químicos.

Quanto à metodologia, o rumo dos trabalhos desenvolvidos tomou caminho enriquecedor através da pesquisa morfopedológica, pois esta embasa-se em perspectiva ecogeográfica, o que implica no entendimento dinâmico dos fatores investigados. Os fenômenos possuem neste contexto atributo espaço-temporal e o enfoque principal se direciona ao entendimento do processo, e não do resultado visível ou teorizado. O diagnóstico do meio físico nesta pesquisa que resultou da investigação morfopedológica esteve assim calcado na capacidade de percepção dos fenômenos e características observáveis e mensuráveis, possíveis de representação cartográfica ou análise de laboratório.

Esta distinção levou ao primeiro nível de percepção (empírico) entre a evolução dos perfis de solo e as características das formas de relevo aliadas às características geológico-estruturais da litologia, resultando no diagnóstico geomorfopedológico. A definição de unidades geomorfopedológicas pôde ser concebida como diferentes situações geográficas dos terrenos estudados em que coexistem conjuntos geológico-geomorfológicos e solos

correspondentes, com dinâmica específica para cada caso e portanto possível de taxonomização. Por assim dizer, foram associados dados litológicos, morfogenéticos e pedogenéticos.

Este viés de pesquisa encaixa-se na perspectiva geomorfológico-pedológica e propositadamente seguiu os estabelecimentos teórico-práticos apontados por TRICART & KILIAN (1982). Logicamente, não foram todos os passos que puderam ser seguidos, pois a partir do segundo nível de percepção indicado pelos autores seriam dadas as restrições dos meios definidos no zoneamento morfopedológico, contando com informações edáficas, morfodinâmicas e hídricas, além de orientar as atividades em especial as de ordem agronômica. Os produtos cartográficos desenvolvidos nesta tese podem direcionar adaptações locais da sociedade em termos de ocupação da terra e utilização do solo, mas carecem de dados sociais e econômicos integrados às informações do meio físico. Não foi o escopo deste trabalho a aplicação voltada à definição de unidades de paisagem de valor ecológico-econômico, mas sim o levantamento das relações do meio físico segundo os fatores abordados (relevo, rochas e solos).

Se por um lado esta pesquisa não avançou ao caráter aplicativo-prático, atendo-se às questões relacionadas mais à gênese e distribuição dos fenômenos envolvidos, pode-se afirmar que os levantamentos alcançaram resultados além da expectativa. O trabalho em escala de detalhe obrigou pesquisa mais aprofundada quanto aos fatores relacionados, e inclusive proporcionou questionamentos que acabaram por nortear boa parte da pesquisa.

A ênfase dada à geologia foi justificada pela necessidade do entendimento mais acurado do substrato geológico na área de pesquisa, por sua grande variação e complexidade estrutural. Aproveitando a metodologia mais especificamente voltada para o meio tropical úmido, foi importante a adoção dos níveis de tratamento hierarquizados por CASTRO & SALOMÃO (2000), ainda que, conforme já dito, esta pesquisa não ultrapasse o segundo nível. Entretanto, percebeu-se que a geologia era creditada como um arcabouço secundário na definição das unidades morfopedológicas, geralmente sendo aproveitados dados litológicos de instituições, em escalas diversas, que eram então adaptadas ao contexto da pesquisa executada. Como a área de estudo desta tese encontra-se no contato de macro-unidades geológico-geomorfológicas de idades pré-cambrianas a fanerozóicas e a adoção da escala de trabalho foi de detalhe (1:10.000), a importância da geologia dada sua variação foi crescendo até o ponto em que, nas primeiras compartimentações do relevo, percebia-se a influência da litologia sedimentar ou cristalina no delineamento das formas na superfície. Inesperadamente, o que no início tratava-se da relação dos fatores e suas compartimentações acabou por apreciar também a questão de que poderia haver influência total da estrutura geológica no condicionamento do modelado do relevo e de seus materiais constituintes, que respondem, em parte, pelos solos.

Neste raciocínio, ficou claro que o substrato geológico, tanto sedimentar quanto cristalino exercia papel nada coadjuvante na configuração da paisagem envolvida, e sua ênfase apenas poderia ser apontada se as relações fossem dadas pela geomorfopedologia, que, então, acaba por ser uma investigação morfopedológica na qual se exalta a influência litoestrutural; nesse sentido, na pesquisa geomorfopedológica o levantamento geológico deve ser realizado através de trabalhos de campo e gabinete, necessariamente.

Portanto, decorrente da investigação encaminhada acima, afirma-se que na área de estudo o modelado do relevo é subordinado à litoestrutura, e a litologia caracteriza formações sedimentares e cristalinas, com unidades mais ou menos contínuas, que respondem pelas formas aplainadas das colinas no domínio dos sedimentos paleozóicos e pelas formas mais dissecadas no domínio do embasamento cristalino. O conjunto de formas de relevo responde por uma conjugação de fatores; as formas de relevo aplainadas parecem estar relacionadas à estratificação plano-paralela das rochas sedimentares que acabam por compor mosaicos amplos e de baixa amplitude, enquanto que as formas de relevo mais dissecadas podem estar relacionadas aos planos de foliação das rochas metamórficas que facilitam a infiltração da água e a erosão. Comportamento contrário exerce o granito: a ausência de fraturas no batólito do Maciço Sorocaba inibe a infiltração e o reflexo desta maior resistência à erosão se dá pela exposição dos matacões em setores de vertente amplos a dissecados, caracterizando nitidamente a erosão diferencial quando comparados aos terrenos sustentados pelos metassedimentos.

.....

Quanto à relação relevo-rocha-solo, em razão do divisor topográfico principal da área de pesquisa configurar modelado de relevo aplainado sobre sedimentos paleozóicos glaciais aliados à cobertura espessa, argilosa e intemperizada, acredita-se que este se trata de superfície geomórfica de idade neogênica com maior dissecação para os fundos de vale, que transitam do domínio do substrato sedimentar para o embasamento cristalino.

A formação dos solos está associada às formas de relevo e às mudanças do substrato geológico, que respondem pela formação de horizontes B latossólicos evoluídos no domínio sedimentar em áreas de divisores aplainados, organização pedológica em processo de formação de horizontes B latossólicos na transição sedimentar-cristalino em setores de vertente amplos e formação de horizontes B incipientes no domínio do substrato cristalino, em setores de vertente mais dissecados.

Devido às condições de hidrólise mais ou menos avançadas (monossialitização ou bissialitização), evidenciadas pelo grau de intemperismo e aparecimento de argilominerais como gibbsita, caulinita e interestratificados nas diversas unidades geomorfopedológicas sustentadas por litologias sedimentares a cristalinas, além de solos desenvolvidos a pouco

desenvolvidos, acredita-se que há erosão geoquímica na escultura da superfície e conseqüente rebaixamento do relevo pela ocorrência de processos como lixiviação e dissolução dos minerais. A superfície da área de pesquisa pode ser, assim, uma superfície "corroída" ou etchplanada.

Corroboram para tal constatação a existência de solos quimicamente empobrecidos, deficientes em ferro e com alumínio incorporado à estrutura da gibbsita, provando, especialmente na área de divisores aplainados, serem solos maduros, de boa drenagem e geoquimicamente evoluídos. Além disso, a existência de uma depressão interfluvial na área destes divisores mostra a existência de processo de dissolução dos materiais facilitado pela granulação fina do topo da estratigrafia (siltitos argilosos) e contato com corpos carbonáticos presentes nos filitos, notadamente grafitosos e de ocorrência no interflúvio divisor das bacias do Córrego Utinga e Jucurupava. Ainda, as exposições do batólito do Maciço Sorocaba permitem afirmar que há o truncamento de superfícies antigas exumadas e superfícies mais recentes erodidas, que compõe mosaico sofredor dos processos de etchplanação indicados por BÜDEL (1982).

Nesse sentido, as formas de relevo capeadas pela litologia sedimentar e solos argilosos espessos corresponderiam à superfície de lavagem, em franco processo de maturidade geoquímica, enquanto que a exposição dos granitos, que compõe o embasamento, seria a superfície basal de intemperismo e uma antiga superfície exumada, mas que já mostra sinais na superfície da ação geoquímica sobre as partes expostas à atmosfera.

.....

Quanto à pedologia, os solos refletem a maturidade ou incipiência dos processos geoquímicos na área de estudo, e estão relacionados em termos de ocorrência na paisagem com a morfografia do relevo e às transições do substrato geológico, especialmente no desenvolvimento do horizonte B. O caráter eutrófico ocorre nas áreas de divisores aplainados e relaciona-se aos Latossolos Vermelhos; já nos setores de vertente amplos, por mudanças sutis na declividade e morfologia dos terrenos associadas às mudanças do substrato geológico (sobretudo transições das rochas sedimentares para rochas cristalinas), o caráter distrófico se faz presente, não sem haver a percepção de que estes podem estar evoluindo para condições de latossolização. No contato da baixa vertente com os vales fluviais ocorrem Cambissolos típicos, e nos vales e planícies fluviais podem ocorrer Gleissolos.

Finalizando, embora seja constatada a presença da pedogênese avançada ou incipiente evidenciada principalmente pela morfologia avaliada em trincheiras e por dados químicos de laboratório, ainda há um processo de erosão mecânica que acumula, tal como demonstrado na carta geomorfológica, colúvios arenosos na base das vertentes. Estes podem inclusive estar relacionados à ocorrência de Argissolos, que pela movimentação das areias

exercem efeito abrasivo nos horizontes pedológicos de superfície, erodindo o horizonte A e se sobrepondo ao horizonte Bt.

.....

9.2 Considerações Finais

A investigação, como o próprio título propõe, direcionou a pesquisa em um primeiro momento para o reconhecimento de campo e gabinete quanto ao relevo, litologia e pedologia, dada a escala de abordagem (1:10.000) e a escolha da área de pesquisa. Como levantamentos de gabinete, foram fundamentais as fotografias aéreas da região, dados de instituições e apoio teórico-metodológico; como levantamento de campo, a observação de afloramentos e suas medidas estruturais, observação de processos de superfície e principalmente análises morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos permitiram associar o contexto geomorfopedológico da área pesquisada.

Estabelecendo-se os compartimentos geomorfopedológicos, atribuiu-se a síntese da relação relevo-rocha-solo na área de pesquisa, tal qual exposto no **Capítulo 8**. Basicamente, quatro grandes unidades foram definidas, associadas às formas de relevo, intervalos altimétricos e de declividades, substratos geológicos e solos existentes. As unidades nem sempre correspondem ao gradiente das vertentes, mas em linhas gerais permitem bom entendimento na leitura cartográfica. O mesmo não pode ser dito da representação geomorfológica, esta muito carregada de informações. No entanto, a carta geomorfológica foi fundamental para o estabelecimento das unidades geomorfopedológicas, e justifica-se o excesso de informações pela complexidade geológica e pela adoção da escala de detalhe no entendimento das formas de relevo.

Em um segundo momento, após as informações serem espacializadas nas cartas geomorfológica e geomorfopedológica, além da confecção dos outros mapas temáticos, houve a combinação aos resultados das análises de campo e laboratório. A interpretação dos resultados de laboratório também levou a compreender o papel do intemperismo químico na formação dos solos de horizontes Bw e Bi, sendo possível associá-los às formas de relevo e à litologia existente, apesar desta não comandar sozinha a pedogênese; sua relação volta-se sempre à morfologia do terreno sobre a qual o solo existe, especialmente se centralizado à morfografia das vertentes.

A partir deste ponto, começaram então a surgir questões quanto aos resultados. A existência de Cambissolos em interflúvios de ampla dimensão interfluvial e baixo entalhamento, configurando baixo gradiente de relevo, não pôde ser bem explicada, apenas apontada em função da compartimentação; o controle da litologia ficou mais evidente, mas não sua disposição em relação aos interflúvios; e finalmente a erosão geoquímica pôde ser

constada como atuante no quadrante escolhido como área de pesquisa, mas não confirmada como agente exógeno que responde pelo rebaixamento da superfície. Assim, também foi possível se observar alguns fatos:

- Nota-se a evidente diferença de dissecação quanto à gênese: domínio do substrato sedimentar, formas de relevo mais aplainadas; domínio do substrato cristalino, formas de relevo mais dissecadas. Entretanto, as transições da litologia não puderam ser esclarecidas, e aparentemente nestas transições é que se dão as mudanças de solo quando conjugadas ao contexto morfológico e morfométrico (morfográfico) da superfície;

- O controle litoestrutural também condiciona a drenagem e faz com que esta siga a orientação dos planos de fratura e foliação, adquirindo disposição ortogonal com a formação de cotovelos na hidrografia; mas como esta litoestrutura se organiza uma com a outra não foi uma relação alcançada, mesmo com a elaboração de perfis geológicos demonstrados na carta geomorfológica;

- Dada as condições de hidrólise mais avançada (monossialitização) observada na área de divisores aplainados, esta é possível de corresponder a um processo de rebaixamento da superfície, assim como a ocorrência da depressão interfluvial ligada ao abatimento da superfície (entre outros fatores) e ao estado alterado das exposições da intrusão granítica, mas como acontece este processo do ponto de vista geoquímico, esta é uma questão que não foi contemplada;

- A depressão interfluvial existente na área de divisor aplainado está relacionada a processos de hidromorfia na formação de solos e a prováveis processos de dissolução de corpos calcários presentes nos filitos grafitosos que de alguma maneira fazem contato com os sedimentos paleozóicos e causam o abatimento da superfície, mas como a feição se desenvolveu e em que estágio esta se encontra em seu desenvolvimento são questões decorrentes da investigação preliminar que não puderam ser esclarecidas.

A complexidade geológico-estrutural da região já implicava no levantamento de questões em detrimento do esclarecimento destas; contudo, as relações entre a geomorfologia, geologia e pedologia da região ficaram mais conhecidas, e por isso afirma-se que o diagnóstico do meio físico foi realizado. Este argumento apóia-se na delimitação de unidades que, pela complexidade da área, tomaram um tempo demasiado grande e inesperado para a compreensão dos fatores. Em outras palavras, quanto aos níveis de abordagem da investigação morfopedológica, este trabalho respondeu bem pelo primeiro

(compartimentação) e apontou algumas possibilidades quanto ao segundo (interpretação das relações espaciais).

Sendo assim, além das relações funcionais básicas entendidas através da metodologia e procedimentos adotados, fica a possibilidade de algumas linhas de investigação que viriam a enriquecer as informações e associações realizadas neste trabalho:

- Levantamento geológico-estrutural mais detalhado, tanto no domínio do substrato sedimentar como no domínio do embasamento cristalino;

- Conhecimento mais detalhado do papel da erosão geoquímica como agente modelador da superfície, estudando-se os materiais de alteração segundo o substrato geológico e a organização dos solos existentes;

- Investigação dos sistemas pedológicos em cada compartimento ou unidade geomorfopedológica, para as relações com o substrato e o entendimento mais detalhado dos constituintes do solo, por meio de topossequências;

- Investigação mais apurada dos solos quanto ao material de origem, por meio de análises micromorfológicas dos horizontes e análises petrológicas dos corpos rochosos;

- Zoneamento para áreas mais ou menos favoráveis à ocupação humana, agregando dados sócio-econômicos às unidades geomorfopedológicas, no caso em uma perspectiva basicamente ecogeográfica.

Percebe-se que as investigações sugeridas implicam na aproximação da escala de trabalho da vertente para a melhor compreensão das relações do relevo com a geologia e com a cobertura pedológica. Isso implicaria também em análises mais localizadas, onde então o conjunto seria mais bem compreendido apenas com uma boa densidade de levantamentos.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. A. **A Análise Geomorfológica: Reflexão e Aplicação**. 1982. 296 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

ABREU, A. A. A Teoria Geomorfológica e sua Edificação: Análise Crítica. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, n. 4, p. 5-23, 1983.

ABREU, A. A. O Papel do Clima na Evolução do Relevo: A Contribuição de Julius Büdel. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 19, p. 111-118, 2006.

AB'SÁBER, A. N. Seqüências de Rochas Glaciais e Sub-Glaciais dos Arredores de Itu, São Paulo. **Mineração e Metalurgia**, Rio de Janeiro, v. XIII, n. 73, p. 43-45, 1948.

AB'SÁBER, A. N. Regiões de Circundesnudação Pós-Cretácea no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 1, p. 3-21, 1949.

AB'SÁBER, A. N. A Terra Paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5-38, 1956.

AB'SÁBER, A. N. Posição das Superfícies Aplainadas no Planalto Brasileiro. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, n. 5, p. 5-6, 1960.

AB'SÁBER, A. N. O Relevo Brasileiro e Seus Problemas. In: AZEVEDO, A. **Brasil, a Terra e o Homem**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964, v. I, p. 135-250.

AB'SÁBER, A. N. **Da Participação das Depressões Periféricas e Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro**. 1965. 179 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1965.

AB'SÁBER, A. N. Problemas do Mapeamento Geomorfológico no Brasil. **Geomorfologia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 6, p. 1-16, 1969a.

AB'SÁBER, A. N. Ritmo da Epirogênese Pós-Cretácica e Setores das Superfícies Neogênicas em São Paulo. **Geomorfologia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 13, p. 1-20, 1969b.

AB'SÁBER, A. N. Um Conceito de Geomorfologia A Serviço das Pesquisas Sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969c.

AB'SÁBER, A. N. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 20, p. 1-26, 1970.

AB'SÁBER, A. N. Participação das Depressões Periféricas e Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro. **Geomorfologia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 28, p. 1-38, 1972.

AEROCARTA ENGENHARIA DE AEROFOTOLEVANTAMENTOS S. A. **Projeto Prefeitura Municipal de Sorocaba**. Sorocaba, Maio/2006. Foto 396, Obra 144, Faixa 10. Escala Aproximada 1:20.000.

ALMEIDA, F. F. M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo** – Monografias 6. São Paulo: IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981b, 2 v., n. 1184. Escala 1:500.000.

ALMEIDA, F. F. M. Os Fundamentos Geológicos. In: AZEVEDO, A. **Brasil, a Terra e o Homem**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964. v. I, p. 55-133.

ALMEIDA, F. F. M. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim do DNPM-DGN**, Rio de Janeiro, n. 241, 36 p., 1967.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relêvo Paulista. **Série Teses e Monografias**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 14, 99 p., 1974.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Inundações Marinhas Fanerozóicas no Brasil e Recursos Minerais Associados. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D.R.; BRITO-NEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano**: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 43-59.

AMARAL, S. E. Nova Ocorrência da Rocha Moutonnée em Salto, SP. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 14, n. 1 e 2, p. 71-82,1965.

BARTORELLI, A. Origem das Grandes Cachoeiras do Planalto Basáltico da Bacia do Paraná: Evolução Quaternária e Geomorfologia. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D.R.; BRITO-NEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano**: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 95-111.

BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S. A. **Projeto IAC Região 7 - Foto 2401**. Sorocaba: Terra Foto, Agosto/1962a. Escala Aproximada 1:25.000.

BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S. A. **Projeto IAC Região 7 - Foto 2402**. Sorocaba: Terra Foto, Agosto/1962b. Escala Aproximada 1:25.000.

BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S. A. **Projeto IAC Região 7 - Foto 3003**. Sorocaba: Terra Foto, Agosto/1962c. Escala Aproximada 1:25.000.

BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S. A. **Projeto IAC Região 7 - Foto 3004**. Sorocaba: Terra Foto, Agosto/1962d. Escala Aproximada 1:25.000.

BENNEMA, J.; CAMARGO, M.; WRIGHT, A. C. S. Regional Contrast In South American Soil Formation, In Relation to Soil Classification and Soil Fertility. In: INTERNATIONAL SOIL CONFERENCE, 1962. New Zealand. **Anais**... New Zealand, 1962, p. 1-15.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-27, 1971.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES FILHO, P. L. Considerações Sobre a Formação Furnas. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 4 e 5, p. 53-70, 1961a.

BIGARELLA, J. J.; MARQUES FILHO, P. L.; AB'SÁBER, A. N. Ocorrência de Pedimentos Remanescentes nas Fraldas da Serra do Iquererim (Garuva, SC). **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 4 e 5, p. 82-93, 1961b.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Considerações a Respeito da Evolução das Vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16 e 17, p. 85-116, 1965a.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Pediplanos, Pedimentos e Seus Depósitos Correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16 e 17, p. 117-151, 1965b.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. Some Palaeogeographic and Palaeotectonic Features of The Paraná Basin. In: BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PINTO, I. D. (Eds). **Problems in Brazilian Gondwana Geology**. I International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Palaeontology, Curitiba: Imprensa da Universidade Federal do Paraná, 1967, p. 235-301.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PINTO, I. D. (Eds). **Problems in Brazilian Gondwana Geology**. I International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Palaeontology, Curitiba: Imprensa da Universidade Federal do Paraná, 1967. 344 p.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; HERMANN, M. L. P.; SANTOS, G. F.; SALAMUNI, E.; SUGUIO, K. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. v. 3, 559 p.

BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1988, Campinas. **Anais ...** Campinas, 1988. p. 79-90.

BOULET, R.; CHAUVEL, R.; LUCAS, Y. **Les Systemes de Transformation En Pedologie**. Libre Jubilaire du Cinquantenarie. Paris: AFES, 1984. p. 167-179.

BRANDT MEIO AMBIENTE (São Paulo, SP). **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Mina de Xisto Argiloso**. Salto de Pirapora: Protocolo Daia 28/12/2007, Cimento Rio Branco S/A, DNPM 803.460/1975, 2007, 333p.

BRASIL – MME – DNPM. **Projeto Radam**. Parte das Folhas SC.23 Rio São Francisco e SC.24 Aracaju. Série Levantamento dos Recursos Naturais, Vol. I, Rio de Janeiro, 1973, 139p.

BRASIL – MME – DNPM. **Projeto Radambrasil**. Folha SC.22 Tocantins. Série Levantamento dos Recursos Naturais, Vol. 22, Rio de Janeiro, 1981, 520p.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification**. London: Mineralogical Society, 1984. 495 p.

BÜDEL, J. Double Surface of Leveling In The Humid Tropics. In: **Planation Surfaces: Peneplains, Pediplains, and Etchplains**. Benchmark Papers in Geology / 22, Jon Wiley & Sons, 1957.

BÜDEL, J. The Relief Types of the Sheetwash Zone of Southern India on the Eastern Slope of the Deccan Highlands Toward Madras. In: **Planation Surfaces: Peneplains, Pediplains, and Etchplains**. Benchmark Papers in Geology / 22, Jon Wiley & Sons, 1965.

BÜDEL, J. **Climatic Geomorphology**. New Jersey: Princeton University Press, 1982. 443p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim técnico do Instituto Agronômico**, Campinas, n. 106, 77 p., 2009.

CANUTO, J. R.; SANTOS, P. R.; ROCHA-CAMPOS, A. C. Estratigrafia de Seqüências do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico) no Leste da Bacia do Paraná, nas Regiões Sul do Paraná e Norte de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 107-116, 2001.

CARVALHO, A. **Solos da Região de Marília: Relações ente a Pedogênese e a Evolução do Relevo**. 1976. 163 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

CASTRO, J. C. Glaciações Paleozóicas no Brasil . In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D.R.; BRITO-NEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano**: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 151-163.

CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação Morfopedológica e Sua Aplicação: Considerações Metodológicas. **GEOUSP**, São Paulo, n. 7, p. 27-37, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. O Fenômeno Morfogenético no Município de Campinas (SP, Brasil). **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 8, n. 16, p. 3-97, 1968.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974. 150p.

CHRISTOFOLETTI, A.; PENTEADO, M. M. Cronologia do Quaternário na Depressão Periférica Paulista. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 10, n. 19, p. 35-46, 1970.

COLTRINARI, L. **Evolução Geomorfológica do Planalto de São José dos Campos (SP)**. 2003. 114 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

COLTRINARI, L. **Paleosurfaces in Southeastern Brazil: São José dos Campos Plateau Landform Evolution**. São Paulo: UNESP Geociências, vol. 30, n.1, p. 113-120, 2011.

CORDANI, U. G. Fernando de Almeida e a "Sua" Plataforma Brasileira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D.R.; BRITO-NEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano**: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 165-175.

COUTARD, J. P.; PELLERIN, J.; AGUIAR, M. B.; COLTRINARI, L. **Carta do Modelado e das Formações Superficiais do Médio Vale do Rio Parateí – SP**. São Paulo: Memorial Explicativo - Sedimentologia e Pedologia IGEOG-USP, 1978a. n. 9, p. 1-35. Escala 1:25.000.

COUTARD, J. P.; JOURNAUX, A.; MELFI, C. M.; OZOUF, J. C.; QUEIROZ NETO, J. P.; WATANABE, A. S. **Carta de Formações Superficiais do Vale do Rio do Peixe em Marília – SP**. São Paulo: Memorial Explicativo - Sedimentologia e Pedologia IGEOG-USP, 1978b. n. 11 p. 1-23. Escala 1:100.000.

CUNHA, J. E. **Caracterização Morfológica (Macro e Micro) e Comportamento Físico-Hídrico de Duas Topossequências em Umuarama (PR)**: Subsídios Para Avaliação dos Processos Erosivos. 1996. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

DANE, J. H.; TOPP, C. **Methods of Soil Analysis**, Part 4: Physical Methods. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America Book Series, v. 5, 2002. 866 p.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal**, London, n. 5, v. 14, p. 481-504, 1899.

DE BIASI, M. A Carta Clinográfica: Os Métodos de Representação e Sua Confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.

DELPOUX, M. Ecossistema e Paisagem In: **Métodos em Questão 7**, IGEOG-USP, São Paulo, 1974, p. 1 – 23.

DEMEK, J. **Manual of Detailed Geomorphological Mapping**. Academy of Sciences, Prague: IGU Comm. on Geomorphological Survey Mapping, 1972. 368 p.

DEMEK, J. **Generalization of Geomorphological Maps**. In Progress Made in Geomorphological Mapping, Brno, 1977.

DIAS FERREIRA, R. P. **Solos e Morfogênese em São Pedro - SP**. 1997. 157 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

DIXON, J. C. Weathering. In: GOUDIE, A. S. (Ed.). **Encyclopedia of Geomorphology**. London: Routledge Ltd, 2004. p. 1108-1112.

DOUGLAS, I. Tropical Geomorphology: Present Problems and Future Prospects. In: **EMBLETON, C.; BRUNSDEN, D.; JONES, D. K. C. (Eds.) Geomorphology: Present Problems and Future Prospects**. Oxford, Oxford Press, 1978, p. 162-184.

DOORNKAMP, J. C.; KING, C. A. M. **Numerical Analysis in Geomorphology**: An Introduction. London: Edward Arnold, 1971. 372 p.

DYLIK, J. Notion du Versant en Geomorphologie. **Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences**, Série de Sciences Geol. et Geogr., v. 16, n. 2, p. 125-132, 1968.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, EMBRAPA-SPI, 2ª Edição, 2009. 412 p.

ESPINDOLA, C. R. **Retrospectiva Crítica Sobre A Pedologia**: Um Repasse Bibliográfico. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. 397 p.

ESWARAN, H.; KIMBLE, J.; COOK, T. **Soil Diversity in the Tropics**: Implications for Agricultural Development. In: Soil Science Society of America. Myths and Science of Soils of the Tropics. Madison: SSSA Special Publication, 1992. n. 29, 185 p.

FASSBENDER, H. W. **Quimica de Suelos com Énfasis en Suelos de América Latina**. Turrialba: Editorial Iica, 1975. 398p.

FERNANDES BARROS, O. N.; CASTRO, S. S.; MANFREDINI, S.; PELLERIN, J.; TOLEDO, G. S.; QUEIROZ NETO, J. P. Caracterização e Representação dos Volumes Pedológicos em Marília – São Paulo. **Separata da Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 2, p. 73-80, 1983.

FILIZOLA, H. F. **O Papel da Erosão Geoquímica na Evolução do Modelado da Bacia de Taubaté – SP**. 1993. 114 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

FRAKES, L .A.; FIGUEIREDO FILHO, P. M. Glacial Rocks of The Paraná Basin Exposed Along The Sorocaba-Itapetininga Road. In: BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PINTO, I. D. (Eds). **Problems in Brazilian Gondwana Geology**. I International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Palaeontology, Curitiba: Imprensa da Universidade Federal do Paraná, 1967. p. 103-106.

FRAKES, L .A.; CROWELL, J. C. Late Paleozoic Glacial Geography Between The Paraná Basin and The Andean Geosyncline. **Suplemento dos Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 44, p. 139-145, 1972.

FURQUIM, S. A. C. **Interações Entre Modelado e Solo no Transecto Espraiado, São Pedro, SP**. 2002. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GERASIMOV, I. P.; MESCHERIKOV, J. A. Morphostructure. In: FAIRBRIDGE, R. W. The **Encyclopedia of Geomorphology**: The Encyclopedia of Earth Sciences Series. Reinhold Book Corporation. New York: Columbia University, 1968. v. III, p. 731-732.

GOLDICH, S. S. A Study in Rock Weathering. The University of Chicago Press, **The Journal of Geology**, Chicago, n. 46, p. 17-58, 1938.

GODOY, A. M. **Caracterização Faciológica, Petrográfica e Geoquímica dos Maciços Sorocaba e São Francisco**. 1989. 220 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

GOUDIE, A. S. (Ed.) **Encyclopedia of Geomorphology**. London: Routledge, 2004, 1156p.

GRIGORYEV, A. A. The Theoretical Fundaments of Modern Physical Geography. In: SHCHERBAKOV, D. I.; BELOUSOV, V. V.; et al. **The Interaction of Sciences in the Study of the Earth**. Moscow: Progress Publishers,1968. p. 77-91.

HARRASSOWITZ, H. L. F. Laterit. **Fortschritte der Geologie und Paläontologie**, Berlin, v. 4, p. 253-566, 1926.

HAURWITZ, B.; AUSTIN, J. M. **Climatology**. Mac-Graw Hill, 1944, 410p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Salto de Pirapora - SF-23-Y-C-IV-2**. São Paulo: IBGE, 1984a. Escala 1:50.000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Sorocaba SF-23-Y-C-IV-2**. São Paulo: IBGE, 1984b. Escala 1:50.000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. São Paulo: IBGE, Manuais Técnicos em Geociências, 2007, 316p.

IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. **Geologia de Subsuperfície do Estado de São Paulo – 75 Anos de Levantamentos do Instituto Geológico (1932-2007)**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 2739 p.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. **Folha Fazenda São Marcos - SF-23-Y-C-IV-2-NE-D**. São Paulo: IGC, 1979a. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. **Folha Votorantim II - SF-23-Y-C-V-1-NO-C**. São Paulo: IGC, 1979b. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO**. Folha Bairro Utinga - SF-23-Y-C-IV-2-NE-F**. São Paulo: IGC, 1979c. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. **Folha Bairro do Arado - SF-23-Y-C-V-1-NO-E**. São Paulo: IGC, 1979d. Escala 1:10.000.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Sistema Nacional de Informações Hidro-Meteorológicas – SIM**. 7º Distrito de Meteorologia/NUTEL. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/ Acesso em: 04 Abril. 2011.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo, SP). **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI-10) – Relatório Final**. São Paulo: Relatório Técnico n. 91265 – 205, 2006. 153 p.

JACKSON, M. L. **Soil Chemical Analysis** - Advanced Course. Madison: Published by The Author, 1973. 895 p.

JAMES, P. E. The Geomorphology of Eastern Brazil: As Interpreted by Lester C. King. **Geographical Review**, New York, v. 49, n. 2, p. 240-246, 1959.

JOURNAUX, A. O Estudo das Formações Superficiais na França. **Sedimentologia e Pedologia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 4, p. 1-19, 1973.

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.

KING, L. C. **The Morphology of The Earth**: A Study and Synthesis of World Scenery. Edinburgh: Oliver & Boyd Ltd, 1967. 726 p.

KLIMASZEWSKI, M. Detailed Geomorphological Maps. **ITC Journal**, Academy of Sciences, Krakow, Poland, p. 265-271, 1982.

KLINK, H. J. Geoecologia e Regionalização Natural In: **Biogeografia 17,** IGEOG-USP, São Paulo:, 1981, p. 1-32.

KUNZE, G. W.; DIXON, J. B. Pre-Treatment for Mineralogical Analysis. In: KLUTE, A**. Methods of Soil Analysis**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 91-100.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. Campinas: SBCS-CNPS, 1996. 83 p.

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W. Investigations in an Oxisol-Ultisol Toposequence in S. Paulo State, Brazil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 38, n. 3, p.491-496, 1974.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 192 p.

LIBAULT, A. **Geocartografia**. São Paulo: Companhia Editora Nacional/EDUSP, 1975. p. 319-324.

LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. **Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 528 p.

LOPES, L. M. **Caracterização Morfopedológica e Suscetibilidade Erosiva dos Solos de Sub-Bacias Hidrográficas em Áreas de Expansão Urbanas de Goiânia, GO**. 2001. 190 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LOPES, M. L.; CASTRO, S. S. Compartimentação Morfopedológica da Microbacia do Córrego Carapina, Município de Goianópolis, GO. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 2, p. 169-188, 2004.

MAACK, R. Contribuição à Paleogeografia do Continente de Gondwana. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 4 e 5, p. 126-152, 1961.

MAACK, R. Os Problemas da Terra de Gondwana Relacionados ao Movimento Tangencial de Migração da Crosta Terrestre. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 18 a 20, p. 25-50, 1966.

MARTIN, H. The Directions of Flow of The Itararé Ice Sheets in The Paraná Basin. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 10, 11, 12, 13, 14 e 15, p. 25-78, 1964.

MARTONNE, E. Problemas Morfológicos do Brasil Tropical Atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, São Paulo, ano V, n. 4, p. 523-550, 1943.

MARTONNE, E. Problemas Morfológicos do Brasil Tropical Atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, São Paulo, ano VI, n. 2, p. 155-178, 1944.

MELO, M. S.; PONÇANO, W. L.. **Gênese, Distribuição e Estratigrafia dos Depósitos Cenozóicos no Estado de São Paulo - Monografias 9**. São Paulo: IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1983. n. 1364, 74 p.

MESCERJAKOV, J. P. Les Concepts de Morphostructure et de Morphosculpture: Um Nouvel Instrument de L'Analyse Géomorphologique. **Annales de Géographie**, Paris, 77 Années, n. 423, p. 539-552, 1968.

MICHELON, C. R. **Balanço Químico em Seis Conjuntos Solo-Saprolito do Rio Grande do Sul**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MILLER, A. A. The Skin of The Earth. Methuen, **University Paperbacks**, n. 117, 198 p., 1966.

MODENESI, M. C. **Contribuição à Geomorfologia da Região de Itu-Salto**: Estudo de Formações Superficiais. 1971. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1971.

MODENESI, M. C. Níveis de Erosão e Formações Superficiais na Região de Itu-Salto, SP. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 4, p. 228-246, 1974.

MORAES REGO, L. F. **Notas Sobre a Geomorphologia de S. Paulo e Sua Genesis**. São Paulo: Instituto Astronomico e Geographico de São Paulo, 1932. 28 p.

MONTEIRO, C. A. F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**: Estudo Geográfico Sob Forma de Atlas. São Paulo: IGEOG-USP, 1973. 130 p.

MONTEIRO, C. A. F. William Morris Davis e A Teoria Geográfica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 1-20, 2001.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. **X-Ray Diffraction and The Identification and Analysis of Clay Minerals**. New York: Oxford University Press, 1997. 378 p.

NAKASHIMA, P. **Cartografia dos Sistemas Pedológicos do Noroeste do Paraná**: Distribuição e Subsídios Para o Controle da Erosão. 1999. 162 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

NOVAES PINTO, M. Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 49, n. 2, p.9-26, 1987.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo – Legenda Expandida**. Campinas: IAC/ Embrapa - Solos, 1999. 64 p. Escala 1:500.000.

OLLIER, C.; PAIN, C. **Regolith, Soils and Landforms**. Chichester: Wiley, 1996. 316 p.

OLLIER, C. **Weathering**. London: Longman, 1975. 304 p.

PASSOS, E.; BIGARELLA, J. J. Superfícies de Erosão. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 107-141.

PEDRO, G. A Alteração das Rochas em Condições Superficiais (Perimorfismo) – Caracterização Geoquímica dos Processos Fundamentais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 9, n. 17, p. 3-14, 1969.

PELLERIN, J.; QUEIROZ NETO, J. P. Relations Entre Distribution des Sols, les Formes et L´Évolution Geomorphologique du Relief dans la Haute du Rio do Peixe (Etat de São Paulo, Brésil). **Science Du Sol**, v. 30, n. 3, p. 133-147, 1992.

PENCK, W. **Morphological Analysis of Landforms**: A Contribution To Physical Geology. London: MacMillan & Company Ltd, 1953. 429 p.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. 185 p.

PÉREZ-VIEIRA, G. L. **Análise e Correlação de Seqüências de 3ª Ordem do Subgrupo Itararé (PC), Entre a Região de Sorocaba-Itapetininga, SP, e a Região ao Sul do Arco de Ponta Grossa, Bacia do Paraná, Brasil**. 2007. 217 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PONÇANO, W. L. et al. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - Monografias 5.** São Paulo: IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981, 2 v., n. 1183. Escala 1:1.000.000.

QUEIROZ NETO, J. P. O Estado Atual dos Estudos dos Solos Brasileiros. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 41, p. 3-22, 1964.

QUEIROZ NETO, J. P. Les Rapports Entre Les Sols et Les Formations Superficielles de L´Etat de São Paulo, Bresil – Etat Actuel Des Connaissances. **Bull. Ass. Sénég. et Quatern. Ouest. Afr.**, Dakar, n. 26, p. 57-75, 1970.

QUEIROZ NETO, J. P. Solos e Paleossolos do Estado de São Paulo e Suas Interpretações Paleogeográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1974. v. 3, p. 173-181.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 59-67, 2000.

QUEIROZ NETO, J. P. O Estudo das Formações Superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 22, n. 1 e 2, p. 65-78, 2001.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Uma Experiência de Ensino e Pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 15, p. 77-90, 2002.

QUEIROZ NETO, J. P. Relação Ki/Kr – Disciplina Pedogênese e Geomorfologia. **Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

QUEIROZ NETO, J. P. O Papel da Pedogênese no Modelado do Relevo: Busca de Novos Paradigmas. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., SEMINÁRIO ÍBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2010, Coimbra, **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010. 19 p.

QUEIROZ NETO, J. P.; JOURNAUX, A.; PELLERIN, J.; CARVALHO, A. Formações Superficiais da Região de Marília (SP). **Sedimentologia e Pedologia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 8, p. 1-39, 1977.

QUEIROZ NETO, J. P.; PELLERIN, J. Solos e Relevo no Alto Vale do Rio do Peixe – Oscar Bressane (São Paulo, Brasil). **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 7, p. 25-34, 1994.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. D. **Mineralogia de Solos Brasileiros** - Interpretações e Aplicações. Lavras: Editora UFLA, 2005. 179 p.

RICH, J. L. Problemas na Geomorfologia Brasileira Suscitados Por Pesquisas Efetuadas no Verão de 1951**. Boletim Geográfico**, IBGE, Rio de Janeiro, n. 177, p. 665-710, 1963.

ROCHA-CAMPOS, A. C. The Tubarão Group in The Brazilian Portion of The Paraná Basin. In: BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PINTO, I. D. (Eds). **Problems in Brazilian Gondwana** Geology. I International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Palaeontology, Curitiba: Imprensa da Universidade Federal do Paraná, 1967. p. 27-102.

ROCHA-CAMPOS, A. C. Varvito de Itu, SP – Registro Clássico de Glaciação Neopaleozóica. In: SCHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil - SIGEP**, São Paulo, n. 62, p. 147-154, 2000a.

ROCHA-CAMPOS, A. C. Rocha Moutonnée de Salto, SP – Típico Registro de Abrasão Glacial do Neopaleozóico. In: SCHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil - SIGEP**, São Paulo, n. 21, p. 155-159, 2000b.

ROSS, J. L. S. Relevo Brasileiro: Uma Nova Proposta de Classificação*.* **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 4, p. 25-39, 1985.

ROSS, J. L. S. **Estudo e Cartografia Geomorfológica da Província Serrana - MT**. 1987. 323 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1991. 85 p.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p.17-28, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados*.* **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa Para o Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 9, p. 65-75, 1995.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos Eias – Rimas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 291-335.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia e Geografia Aplicadas À Gestão Territorial**: Teoria e Metodologia Para o Planejamento Ambiental. 2001. 322 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: DG-FFLCH-USP/IPT/Fapesp, 1997. 2 v. Escala 1:500.000.

ROSS, J. L. S. Superfícies de Erosão ou Erosão Química nos Processos de Esculturação dos Planaltos do Leste Paulista. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEOSUL, 1998. v. 14, n. 27, p. 688-691.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards Sur Le Sol**. Paris: Les Éditions Foucher, 1993. 192 p.

SACK, D. The Educational Value of The History of Geomorphology. **Geomorphology**, Elsevier, n. 47, p. 313-323, 2002.

SALAMUNI, R. Indícios de Sedimentação Cíclica no Paleozóico Superior da Bacia do Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 4 e 5, p. 153-171, 1961.

SALAMUNI, R.; BIGARELLA, J. J.; FUCK, R. A. Sobre a Ocorrência de Estrias Glaciais no Segundo Planalto do Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 18 a 20, p. 127-131, 1966.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos Erosivos Lineares em Bauru (SP)** – Regionalização Cartográfica Aplicada ao Controle Preventivo Urbano e Rural. 1994. 200 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SANTOS, E. O. **A Industrialização de Sorocaba** – Bases Geográficas. São Paulo: FFLCH – USP, 1950, 183 p. (Série Teses)

SANTOS, E. O. Geomorfologia da Região de Sorocaba e Alguns de Seus Problemas. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 12, p. 3-29, 1952.

SAVIGEAR, R.A.G. A Technique of Morphological Mapping. **Annals of The Association of American Geographers**, Los Angeles, v. 55, n. 3, p. 514-538, 1965.

SILVA, P. C. F. **Ambientes de Sedimentação e Tectônica do Grupo São Roque na Região Entre Pilar do Sul e Votorantim, SP**. 1997. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SILVA, C. H. C.; LANA, R. C. **Projeto Político-Pedagógico Preliminar: Licenciatura em Geografia**. Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, 2008, 72p.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.

SOCTCHAVA, V. B. Por uma Teoria de Classificação de Geossistemas da Vida Terrestre. **Biogeografia**, IGEOG-USP, São Paulo, n. 14, p.1-24, 1978.

TEIXEIRA, A. L. (Coord.). **Publicação em Mídia Eletrônica das Cartas Geológicas Executadas pelo Instituto Geológico (SMA/SP) para Subsidiar a Ocupação e Uso do Meio Físico na Região Entre Sorocaba e Campinas**: Mapeamento Geológico da Folha Salto de Pirapora (SP) – Relatório Técnico da Geologia. São Paulo: Instituto Geológico, 2009a. 43 p. Escala 1:50.000.

TEIXEIRA, A. L. (Coord.). **Publicação em Mídia Eletrônica das Cartas Geológicas Executadas pelo Instituto Geológico (SMA/SP) para Subsidiar a Ocupação e Uso do Meio Físico na Região Entre Sorocaba e Campinas**: Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Sorocaba (SP) – Relatório Técnico. São Paulo: Instituto Geológico, 2009b. 73 p. Disponível em: http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp. Acesso em: 12/12/09

THOMAS, M. F. **Tropical Geomorphology** - A Study of Weathering and Landform Development in Warm Climates. London: The Macmillan Press Ltd, 1979. 332 p.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the Tropics**: A Study of Weathering and Denudation in Low Latitudes. Chichester: Wiley, 1994. 460 p.

TRICART, J. Observation des Phenómenes et des Faits Geomorphologiques. In: TRICART, J. **La Cartographie Geomorphologique Detaillée** - Principes et Méthodes de la Geomorphologie. Paris: Masson e Cie Editeurs, 1965. p. 183 – 233.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Editora FIBGE/SUPREN, 1977. 91 p.

TRICART, J. **Géomorphologie Applicable**. Collection de Géographie Applicable. Paris: Masson, 1978. 205 p.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. Condições Antigas e Atuais da Gênese das Peneplanícies. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, n. 7 e 8, p. 1-3, 1961.

TRICART, J.; KILIAN, J. **La Eco-Geografia y La Ordenación del Medio Natural**. Barcelona: Editorial Anagrama, 1982. 288 p.

TROPPMAIR, H.; MNICH, J. Cartas Geomorfológicas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 9, n. 17, p. 43-51, 1969.

TROPPMAIR, H. Estudo Comparativo de Mapeamentos Geomorfológicos. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 10, n. 20, p. 3-11, 1970.

VIEIRA, P. C. Hipótese Sobre A Origem da Depressão Periférica Paulista. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 61-67, 1982.

VITTE, A. C. **Etchplanação em Juquiá (SP)**: Relações entre o Intemperismo Químico e as Mudanças Climáticas no Desenvolvimento das Formas de Relevo em Margem Cratônica Passiva. 1998. 276 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

WAMBEKE, A. V. **Soils of The Tropics**: Properties and Appraisal. New York: McGraw Hill, 1992. 291 p.

WAYLAND, E. J. Peneplains and Some Other Erosional Platforms. In: **Planation Surfaces: Peneplains, Pediplains, and Etchplains**. Benchmark Papers in Geology / 22, Jon Wiley & Sons, 1933.

WINCHESTER, S. **O Mapa Que Mudou O Mundo** – William Smith e o Nascimento da Geologia Moderna. Rio de Janeiro: Record, 2004. 412 p.