

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

**Zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas,
MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedostratigráfica**

Fernanda Tonizza Moraes

Orientador: Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda

Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do Título de Doutora em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)
2007

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda
IGCE/UNESP/Rio Claro

Prof. Dr. Juércio Tavares de Mattos
IGCE/UNESP/Rio Claro

Profa. Dra. Maria Isabel Castreghini de Freitas
IGCE/UNESP/Rio Claro

Prof. Dr. Pablo Vidal Torrado
ESALQ/USP/Piracicaba (SP)

Prof. Dr. Tomoyuki Ohara
INPE/São José dos Campos (SP)

Fernanda Tonizza Moraes

Rio Claro, 04 de dezembro de 2007.
Resultado: aprovada

*Dedico este trabalho ao orientador e amigo
Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda.*

AGRADECIMENTOS

Aos professores Dr. Norberto Morales, Dr. Tomoyuki Ohara, Dr. Juércio Tavares de Mattos, Dr. Pablo Vidal-Torrado e Dra. Maria Isabel Castreghini de Freitas pelas valiosas orientações durante o exame de qualificação e a defesa da tese.

Ao Luiz Renato Pelegrini pelos mapas em formato digital e Eymar Sampaio pelo auxílio com o aplicativo SPRING.

À Meire pelo auxílio na confecção do mapa pedoestratigráfico.

Aos amigos Cristiane Lopes Rodrigues, Sérgio Crivelaro, Verena Almeida e Rodrigo Neregato pela companhia, receptividade e disponibilidade.

Ao Don Duane Williams pelas longas conversas, interesse e incentivo à realização dos trabalhos.

Agradeço aos meus pais e minha irmã pelo suporte e carinho.

Ao Leandro por estar sempre comigo, inclusive nas duras etapas de campo.

À CAPES e CNPQ pela concessão de bolsa de estudo.

E por fim - e não menos importante - agradeço à vida e sua incrível sucessão de acontecimentos esperados e inesperados, pelas oportunidades e até pelos tropeços, visto que me trouxeram maturidade e aprendizado.

SUMÁRIO

<i>ÍNDICE</i>	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tabelas	11
Índice de Tabelas	11
<i>RESUMO</i>	12
<i>ABSTRACT</i>	13
<i>1. Introdução</i>	14
<i>2. Referencial teórico</i>	19
<i>3. Caracterização da área de trabalho</i>	33
<i>4. Metodologia de trabalho</i>	51
<i>5. Resultados e discussões</i>	65
<i>6. Zoneamento Geoambiental</i>	139
<i>7. Conclusões</i>	148
<i>8. Referências bibliográficas</i>	152
<i>Anexo 1</i>	162

ÍNDICE

ÍNDICE	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tabelas	11
Índice de Tabelas	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. Introdução	14
1.1 Localização da área de trabalho	15
1.2. Objetivos	16
1.3 Justificativa	16
2. Referencial teórico	19
2.1 Zoneamento geoambiental	19
2.2 Análise morfoestrutural e morfotectônica	20
Altos e baixos estruturais.....	21
Lineamentos estruturais.....	22
2.3 Análise fisiográfica	23
2.4 Análise pedológica e pedoestratigráfica	25
Classificação de solos.....	25
Classificação pedoestratigráfica.....	30
3. Caracterização da área de trabalho	33
Clima	33
Geologia	35
Maciço alcalino de Poços de Caldas.....	35
Rochas do Embasamento Cristalino.....	40
Materiais sedimentares.....	41
Drenagem e hidrografia	42
Geomorfologia	46
Pedologia	48
4. Metodologia de trabalho	51
Procedimentos de geoprocessamento e criação do banco de dados	51
Metodologia para análise da drenagem	53
Procedimentos para análise geológica.....	54
Análise fisiográfica.....	55
Análise pedoestratigráfica.....	58
5. Resultados e discussões	65
Análise morfoestrutural e morfotectônica	65
Fisiografia	70
Sistema hierárquico de classificação fisiográfica.....	70
Província fisiográfica.....	71
Regiões fisiográficas.....	73

Sub-regiões fisiográficas	81
Paisagens	85
Evolução fisiográfica da área de estudo	110
Pedologia e pedostratigrafia	115
Caracterização pedogenética dos materiais de cobertura.....	115
Análise pedostratigráfica	123
6. Zoneamento Geoambiental	139
7. Conclusões	148
8. Referências bibliográficas	152
Anexo 1	162
Descrição resumida de alguns dos perfis de solo avaliados	162

Índice de Figuras

Figura 1: Situação da área de estudo. Limites entre municípios, limite estadual, estrada de ferro, estradas pavimentadas e manchas urbanas. _____	17
Figura 2: Mapa-imagem da área de estudo. _____	18
Figura 3: Esquema representando feições morfoestruturais associadas a condições topográficas. Desenvolvido a partir de Jiménez-Rueda et al. (1993). _____	21
Figura 4. Climograma do município de Poços de Caldas. _____	34
Figura 5: Representação esquemática da localização dos tipos geológicos na área de estudo. Modificado de Ellert (1959). _____	39
Figura 6. Mapa de drenagem da área de estudo _____	44
Figura 7. Drenagem com padrão dendrítico na Bacia do Rio Mogi Guaçu. A linha tracejada mostra a transição para um padrão de drenagem anelar. _____	45
Figura 8. Padrão de drenagem em treliça na região de Divinolândia e a sua transição para o padrão dendrítico conforme se aproxima o Rio Lambari. _____	45
Figura 9. Trechos com drenagem anelar foram destacados na parte central da área de estudo, em que são bastante frequentes. _____	46
Figura 10: mapa geomorfológico da região do Projeto Sapucaí. Sem escala. Fonte: Cavalcante et al. (1977). _____	48
Figura 11: detalhe do mapa de solos da porção mineira da área de estudo. Fonte: EMBRAPA (2004). _____	49
Figura 12: Solos da área do Projeto Sapucaí. Note-se que na época não haviam dados disponíveis sobre os solos do Estado de Minas Gerais. Fonte: Cavalcante et al. (1977). _____	50
Figura 13. Esquema apresenta como foi completada a rede de drenagem. _____	54
Figura 14. Esquema representando os padrões de drenagem associados a baixos e altos estruturais, indicados respectivamente pelos sinais – e +. _____	55
Figura 15: Intensidade de fraturas define diferentes níveis de dissecação do terreno: 1 – levemente dissecado; 2 – moderadamente dissecado e 3 – fortemente dissecado. _____	57
Figura 16: Classificação pedoestratigráfica do perfil. O perfil (foto) foi analisado segundo os critérios clássicos de pedologia, dando origem ao perfil esquemático (em cinza). Cada camada de solo recebeu uma classificação adaptada do Sistema Brasileiro de Classificação de solos. A palavra “substrato” confere a relação correta entre materiais superiores e inferiores, estabelecendo a sequência pedoestratigráfica. O perfil localiza-se no ponto 24 do Anexo 1. _____	61
Figura 17: Perfil amostrado e sua representação na forma de diagramas. Os blocos hachurados correspondem aos materiais subsuperficiais. Classificado como Cambissolo háptico regolítico substrato cambissólico saprolítico substrato argissólico gleico substrato gleico. _____	62
Figura 18: Resumo da metodologia para estabelecimento das zonas geoambientais. A partir do mapa fisiográfico, pode-se estabelecer o mapa pedoestratigráfico. Este, somado aos limites entre tipos litológicos apresentado no mapa de regiões fisiográficas, permitem a delimitação e a caracterização das zonas geoambientais. _____	64
Figura 19. Mapa morfoestrutural da área de estudo. _____	66
Figura 20. Mapa de fraturas da área de estudo. _____	68
Figura 21. Lineamentos estruturais na área de estudo. _____	69
Figura 22. Hierarquia para classificação fisiográfica da área de estudo. Adaptado de Botero (1978) e Goosen (1971). _____	70
Figura 23: a) Províncias geoestruturais do Brasil segundo Almeida et al. (1981) e b) compartimentos de relevo de primeira ordem de grandeza, conforme Ab’Saber (1964). Fonte: SAADI et al., 2005. _____	72
Figura 24. Regiões fisiográficas da área de estudo. _____	74
Figura 25. Ocorrência de volume Ab na paleoplanície do Ribeirão das Antas. Localização: Ponto 65 no Anexo 1. _____	78
Figura 26. Exibe detalhe do perfil de solo analisado nas adjacências do Aterro Municipal de Poços de Caldas. Localização: Ponto 59 no Anexo 1. _____	78
Figura 27. Panorama das serras cristalinas na Bacia do Ribeirão do Quartel, que margeia a estrada Poços-Águas da Prata. Próximo ao Ponto 06 do Anexo 1. _____	79
Figura 28. Rocha exposta na região de Ibitiúra de Minas, extremo sudeste da área de estudo. Próximo ao Ponto 22 do Anexo 1. _____	79
Figura 29. Perfil de solo na cidade de Botelhos, situada na porção NNE da área de estudo. Localização: Ponto 44 do Anexo 1. _____	80
Figura 30. Colinas de topos arredondados (mamelonares) com drenos abandonados na região de Caldas, MG. Próximo ao Ponto 03 do Anexo 1. _____	80
Figura 31. Afloramento da Formação Aquidauana em Águas da Prata, SP. O material da base é siltito, recoberto pelo arenito que aflora também em Poços de Caldas. Próximo ao Ponto 41 do Anexo 1. _____	82
Figura 32. Mapa de domínios morfoclimáticos modificado de Ab’Saber (1970). _____	83

Figura 33. Mapa de cobertura vegetal/uso e ocupação da terra	87
Figura 34. Vegetação florestal nativa e formada por eucaliptos. Localização: Próximo ao ponto 34 no Anexo 1.	88
Figura 35. Plantio de eucalipto na parte centro-sul do planalto de Poços de Caldas. Localização: Próximo ao ponto 62 no Anexo 1.	88
Figura 36. Capoeira em estágio de sucessão inicial, com vegetação arbórea incipiente. Localização: Próximo ao ponto 75 no Anexo 1.	89
Figura 37. Domínio de campos na porção central do planalto de Poços de Caldas. Localização: Próximo ao ponto 59 no Anexo 1.	89
Figura 38. Mapa altimétrico da área de estudo	90
Figura 39. Imagem tridimensional da área de estudo e perfis topográficos gerados pelo aplicativo Global Mapper (2005).	92
Figura 40. Mapa de declividade da área de estudo	93
Figura 41. Baixa declividade na região de São João da Boa Vista. Localização: Próximo ao ponto 40 no Anexo 1.	94
Figura 42. Plantio foi realizado contra o sentido das curvas de nível. Como resultado, em A ocorre a retomada do processo erosivo intenso que em B foi contido através do uso de concreto. Localização: Próximo ao ponto 34 no Anexo 1.	95
Figura 43. Paisagens e unidades fisiográficas da área de estudo.	98
Figura 44. Morfologias de taludes	103
Figura 45. Talude misto nas proximidades de Andradadas. Localização: Próximo ao ponto 05 no Anexo 1.	104
Figura 46. Talude convexo na estrada Poços de Caldas – Águas da Prata (Santa Rita do Quartel). Localização: Próximo ao ponto 30 no Anexo 1.	105
Figura 47. Colúvio superficial na porção interna do maciço. Localização: Próximo ao ponto 48 no Anexo 1.	106
Figura 48. Material coluvionar definindo volume BC. Localização: Perfil 48 no Anexo 1.	107
Figura 49. Material coluvionar soterrando material argilúvico. Localização: Perfil 25 no Anexo 1.	107
Figura 50. Perfil de solo em leque coalescente na serra ao norte da cidade de Andradadas. Localização: Perfil 52 no Anexo 1.	108
Figura 51: Oscilações climáticas ao longo do tempo geológico. Fonte: Bradley (1985).	111
Figura 52. Cascalhos formados por concreções e fragmentos de lateritas. Localização: Próximo ao ponto 69 no Anexo 1.	114
Figura 53. Planície de inundação do Ribeirão das Antas. Localização: Próximo ao ponto 60 no Anexo 1.	119
Figura 54: Composição mineralógica da fração argila em solos desenvolvidos a partir de fonolitos. Fonte: Waber (1991).	122
Figura 55: Mapa pedoestratigráfico da área de estudo.	125
Figura 56: Contato abrupto entre volumes de alteração intempérica. Localização: Próximo ao ponto 23 Anexo 1.	127
Figura 57: Argiluviação associada a matéria orgânica na porção superficial do perfil. Localização: Perfil número 55 no Anexo 1.	127
Figura 58: Argissolos regolíticos concrecionários assentados sobre Argissolos saprolíticos. Localização: Perfil número 57 no Anexo 1.	129
Figura 59: Perfil exibindo três volumes regolíticos sobrepostos. Localização: Perfil número 69 no Anexo 1.	129
Figura 60: Ocorrência de lateritas bauxíticas saprolíticas soterradas por materiais argissólicos regolíticos. Localização: Perfil número 72 no Anexo 1.	132
Figura 61: VAI's que representam a sequência pedoestratigráfica típica do Maciço de Poços de Caldas.	133
Figura 62. Perfil de solo avaliado na região de Divinolândia. Os materiais indicados por Bi e 2BC são alóctones (regolíticos) e 3Bi2, autóctone (saprolítico). Localização: Perfil número 58 no Anexo 1.	135
Figura 63. Perfil de solo avaliado nas dependências do Jardim Botânico de Poços de Caldas (MORAES e JIMÉNEZ-RUEDA, 2005b). Todo o perfil é derivado da rocha do embasamento, sendo considerado como um Cambissolo saprolítico. Localização: Perfil número 29 no Anexo 1.	136
Figura 64. Mapa de zonas e subzonas geoambientais.	140
Figura 65. Recomendações para o uso do solo segundo a classe de aptidão ou capacidade de uso (extraído de Lepsch, 2002)	145
Figura 66: localização dos 75 perfis de solo avaliados.	163
Figura 67: Perfil de solo indicado pelo número 1.	164
Figura 68: Perfil avaliado no ponto 3	164
Figura 69: Perfil avaliado no ponto 6.	165
Figura 70: Perfil de solo avaliado no ponto 20	167
Figura 71: perfil de solo avaliado no ponto 25.	169
Figura 72: paisagem típica de planaltos entre Poços de Caldas e Águas da Prata.	170

<i>Figura 73: Perfil número 61.</i>	173
<i>Figura 74: Perfil número 74.</i>	173

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1. Ordens de solos previstas no SiBCS (EMBRAPA, 2006) e características associadas.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 2. Horizontes diagnósticos, modificado de Resende et al., 1995.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 3: Bases cartográficas integradas ao banco de dados.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 4. Análise de declividade na área de estudo.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 5. Características dos processos pedogênicos que definem as Coberturas de Alteração Intempérica (CAI's).....</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 6. Características das subzonas geoambientais.....</i>	<i>147</i>

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo reunir informações sobre o meio físico e estabelecer o zoneamento geoambiental da região do Planalto de Poços de Caldas, localizado na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo. O trabalho foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica, geoprocessamento e fotointerpretação de imagens de satélite aliadas a pesquisas de campo para o levantamento e caracterização dos solos através da análise fisiográfica e pedoestratigráfica integradas.

As paisagens da área de estudo puderam ser divididas em planálticas e aluviais, tendo sido proposta uma evolução e datação relativa destas paisagens. Cada unidade fisiográfica que caracteriza uma paisagem apresenta uma seqüência pedoestratigráfica típica.

De forma geral, a região apresenta solos residuais recobertos por materiais alóctones de composição e idades variadas. Propôs-se a utilização do termo *regolítico* como referente a volumes de materiais discordantes no perfil, sendo estas discordâncias associadas à ocorrência de deposição de materiais alóctones, predominantemente gravitacionais e secundariamente colúvio-aluvionais. Para os materiais autóctones, ou seja, formados a partir da própria rocha do embasamento, sem nunca terem sofrido ação de transporte, cunhou-se o termo *saprolítico*. Deve-se deixar explícito que os materiais regolíticos são também influenciados pelas condições pedogênicas do ambiente em que foram depositados sendo assim, os materiais regolíticos encontram-se “saprolitizados”.

Foram identificados três volumes regolíticos concrecionários e dois volumes saprolíticos residuais típicos da área de estudo.

Após estas análises, foram estabelecidas seis zonas geoambientais em função da associação pedoestratigráfica reinante em cada unidade fisiográfica em conjunto com os tipos litológicos principais. As subzonas foram definidas em função da altimetria associada à morfoestrutura.

Foram discutidas as principais características e aptidões de cada zona e subzona geoambiental, podendo-se confirmar a eficiência do método de análise pedoestratigráfica associada à fisiográfica para o estabelecimento de zonas geoambientais.

Palavras-chave: solo, paisagem, pedologia, evolução da paisagem.

ABSTRACT

The present work aimed to gather mesological information and establish the geoenvironmental zoning of Poços de Caldas plateau region, located on the border of Minas Gerais and São Paulo states. The adopted procedure was bibliographical research, photointerpretation of remote sensing images along with *in situ* research in order to describe types of soils and the landscape through a physiographical and pedostratigraphical approach.

The landscape of the area was able to be divided into the plateaued and the alluvium kinds. It was also proposed the evolution and associated age of these areas. Each unit of the landscape has its own pedostratigraphical sequence.

Over all, the area presents residual soils that were buried by alloctonous materials which present different origins and ages. It was proposed the use of the term *regolithic* to define the alloctonous sequences of soils. To name the autoctonous profiles, those which have never been transported, the term *saprolithic* was used. It is important to notice that regolithic materials also suffer influence of the environmental conditions they have been deposited under. Being so, regolithic materials is found in a “*saprolithical*” state.

Three regolithic and two saprolithical typical profiles were identified in the studied area.

After these analyses, it was established six geoenvironmental zones according to the dominant pedostratigraphical association in each physiographic unit, along with the main lithological type. Subzones were defined by morphostructural and morphometrical analyses.

It was considered the primary aspects of each geoenvironmental zone and subzone, corroborating the efficiency of pedostratigraphical and physiographical method in order to establish these zones.

Keywords: soil, landscape, pedology, landscape evolution.

1. Introdução

O Zoneamento Geoambiental (ZGA) é um instrumento técnico voltado ao planejamento ambiental. Proporciona parâmetros e referências para que seja possível uma reavaliação permanente das estratégias de desenvolvimento adotadas em uma área geográfica. (FUNCEME, 2007). Segundo Theodorovicz et al. (2002), os projetos de zoneamento geoambiental utilizam informações sobre múltiplas variáveis do meio físico como subsídio às ações de planejamento territorial e gestão ambiental.

Cada zona geoambiental é definida pela integração e inter-relação de suas condições físicas e bióticas. Neste contexto, a análise pedológica e fisiográfica representam importantes ferramentas para o zoneamento geoambiental.

A Ciência do Solo ou Pedologia – do grego *pedon* (solo ou terreno) e *logos* (conhecimento) – tem por objeto o esclarecimento da gênese do solo (ou pedogênese) e de maneira geral, todos os processos e fenômenos que nele ocorrem (COSTA, 2004). Dokouchaiev, por volta de 1883, ao perceber a influência do clima na pedogênese e a presença de camadas horizontais características do solo de cada região, estabeleceu as bases da Pedologia (LEPSCH, 2002). Posteriormente, Jenny (1941) reconhece o solo como o produto da interação entre clima, organismos, relevo e material parental, todos operando ao longo do tempo, sendo que os resultados destas interações definem a pedogênese.

Estes trabalhos clássicos da Pedologia demonstraram como o estudo do solo é dependente da análise integrada das condições do meio em que se desenvolve a pedogênese. Assim, o reconhecimento dos padrões de ocorrência de solos permite uma compartimentação da paisagem em função dos parâmetros ambientais – em outras palavras, o estudo da distribuição dos solos em compartimentos ambientais é uma forma de se estabelecer o zoneamento geoambiental, já que cada solo resulta da integração de um conjunto de processos e fatores endógenos e exógenos.

A análise da distribuição e da ocorrência de solos – ou geografia de solos – é considerada como objeto principal da Fisiografia (GOOSEN, 1968). A fisiografia tem por objetivo descrever, classificar e correlacionar as paisagens terrestres típicas de certos processos fisiográficos, de modo que esta análise possa conduzir ao reconhecimento do padrão de solos em uma área (VILLOTA, 2005).

Botero (1978) considera que a análise fisiográfica ocupa-se da pedogênese associada às características do sítio em que se dá o processo de formação de solos, buscando reconhecer

os estágios de equilíbrio da paisagem e desta forma, indicar-lhe melhores formas de uso e ocupação.

Solos e paisagens analisados a partir de um conceito de evolução policíclica evidenciam que o desenvolvimento ordenado de um perfil de solo pode ser interrompido inúmeras vezes por mudanças climáticas ou em consequência da intervenção mais abrupta dos agentes geomórficos, truncando-se o perfil do solo por erosão; ou ainda possivelmente pelo sepultamento de depósitos de material novo, em solo preexistente. Desse modo, um único perfil de solo poderá atestar qualquer destas ocorrências ou ainda a soma das três, registrando uma sucessão de ambientes como também a história geomórfica da forma do terreno em que estiver situado (BUNTING, 1971). Para registrar esta seqüência de eventos, pode-se executar a análise de solos através do enfoque estratigráfico definindo-se, portanto, a análise pedoestratigráfica.

A integração entre unidades fisiográficas e suas respectivas seqüências pedoestratigráficas permite a delimitação das zonas geoambientais e a caracterização de cada zona quanto à aptidão para o uso da terra.

Adota-se o conceito da FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (1976), segundo a qual uma unidade de terra é uma área da superfície terrestre definida pelo seu conjunto de atributos, incluindo a atmosfera, o solo e a rocha matriz, a hidrologia, as populações animais e vegetais, e os resultados de atividades humanas passadas e correntes, na medida em que tais atributos influenciam o uso atual e futuro da terra pelo homem.

Este trabalho reúne informações sobre o meio físico e a vegetação da região do Planalto de Poços de Caldas, localizado na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo e é fruto de pesquisa bibliográfica, geoprocessamento e fotointerpretação de imagens de satélite e pesquisas de campo para o levantamento e caracterização dos solos através do enfoque pedoestratigráfico. As imagens, mapas e fotografias apresentados sem a citação de fonte foram produzidos pela autora. O trabalho foi desenvolvido sob a orientação do prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda, ao qual a autora gostaria de agradecer publicamente pelos conhecimentos compartilhados.

1.1 Localização da área de trabalho

A área de estudo possui extensão de 2100 km² e localiza-se na divisa dos estados de Minas Gerais e São Paulo, conforme exposto na Figura 1 em que são apresentados os limites

políticos dos municípios, o limite estadual e as estradas de ferro e pavimentadas inseridas na área de estudo. A seleção desta área de estudo buscou englobar os limites físicos do planalto, como se pode observar no mapa-imagem apresentado na Figura 2.

1.2. Objetivos

1. avaliar a geologia da área de estudo através dos tipos litológicos, análise morfoestrutural e morfotectônica;
2. elaborar o mapa de paisagens e unidades fisiográficas;
3. proceder à caracterização dos solos da área de estudo através do enfoque pedoestratigráfico;
4. a partir destas informações, estabelecer o zoneamento geoambiental para orientar o uso e ocupação da terra na região.

1.3 Justificativa

A região estudada compreende partes de 13 municípios cuja população total segundo IBGE (2007) é de 375.525 habitantes, sendo que a população de Poços de Caldas representa 38,45% deste total. Neste município - de forma marcante - mas também nos demais municípios da região, tem-se observado historicamente o crescimento econômico vinculado à atividade agropecuária, turismo, extração mineral e indústria, sendo que a indústria no ano de 2004 foi responsável pelo recolhimento de R\$ 1.327.497.000,00 ao município de Poços de Caldas. A área de serviços, fortemente influenciada pelos rendimentos com o setor de turismo, recolheu cerca de R\$ 843.423.000,00. Estas atividades são à primeira vista antagônicas no que se refere à questão ambiental: o desenvolvimento do turismo baseado nas águas termais é estritamente dependente da conservação do meio ambiente, especificamente do recurso hídrico, enquanto que a indústria (e também a mineração) se comportam como atividades econômicas potencialmente impactantes e poluidoras do meio ambiente. Neste contexto, estabelecer o uso da terra de forma ordenada torna-se primordial para garantir a continuidade destas atividades econômicas pelas futuras gerações.

Considerando-se que a terra, incluindo atributos como água, solo, litologia e vegetação pode ser considerada talvez como o principal recurso disponível para o desenvolvimento econômico nas regiões tropicais (BOHRER, 2000), o planejamento do uso da terra se torna fundamental para garantir o desenvolvimento através da multiplicidade de atividades econômicas possíveis na área de estudo.

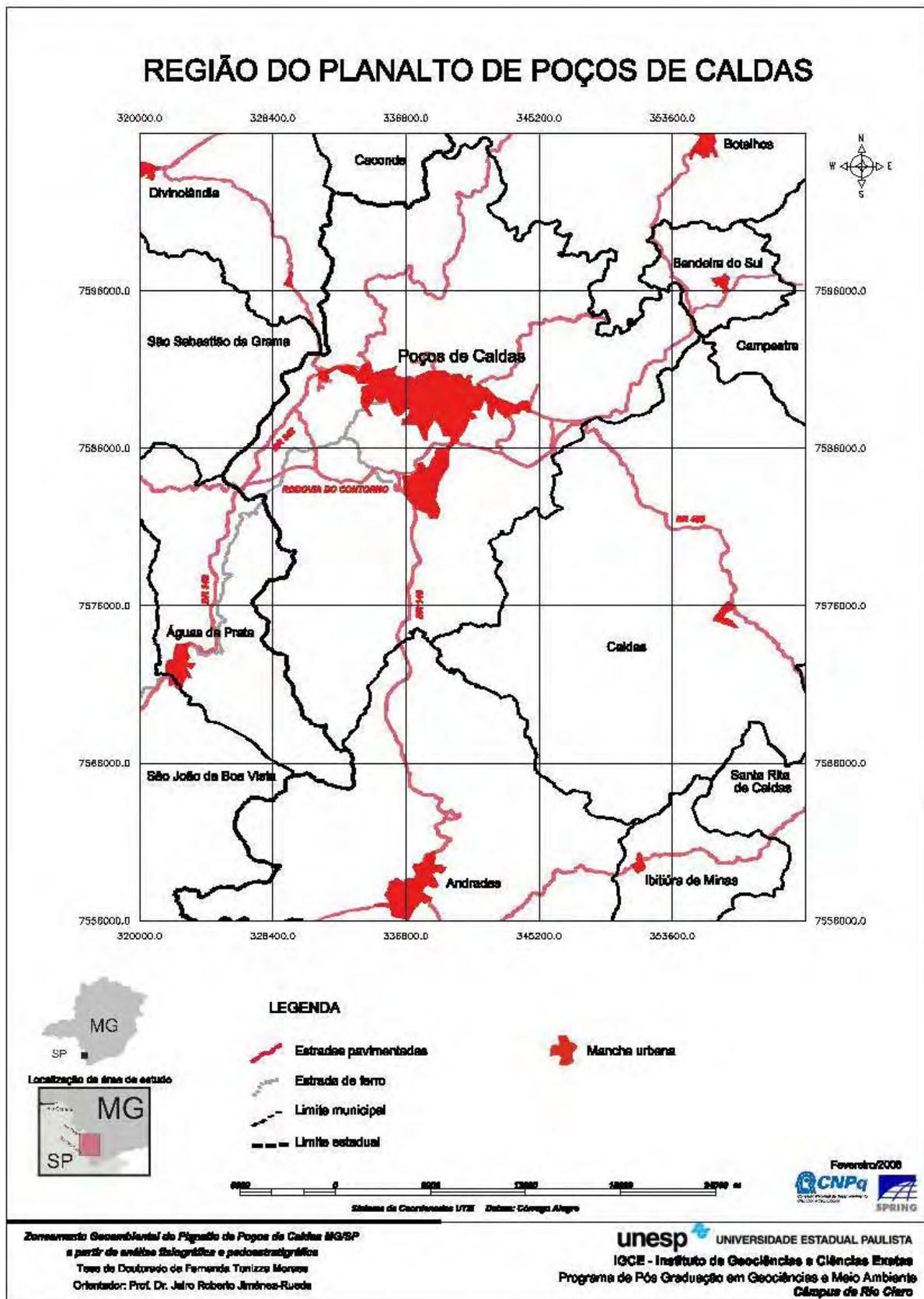


Figura 1: Situação da área de estudo. Limites entre municípios, limite estadual, estrada de ferro, estradas pavimentadas e manchas urbanas.

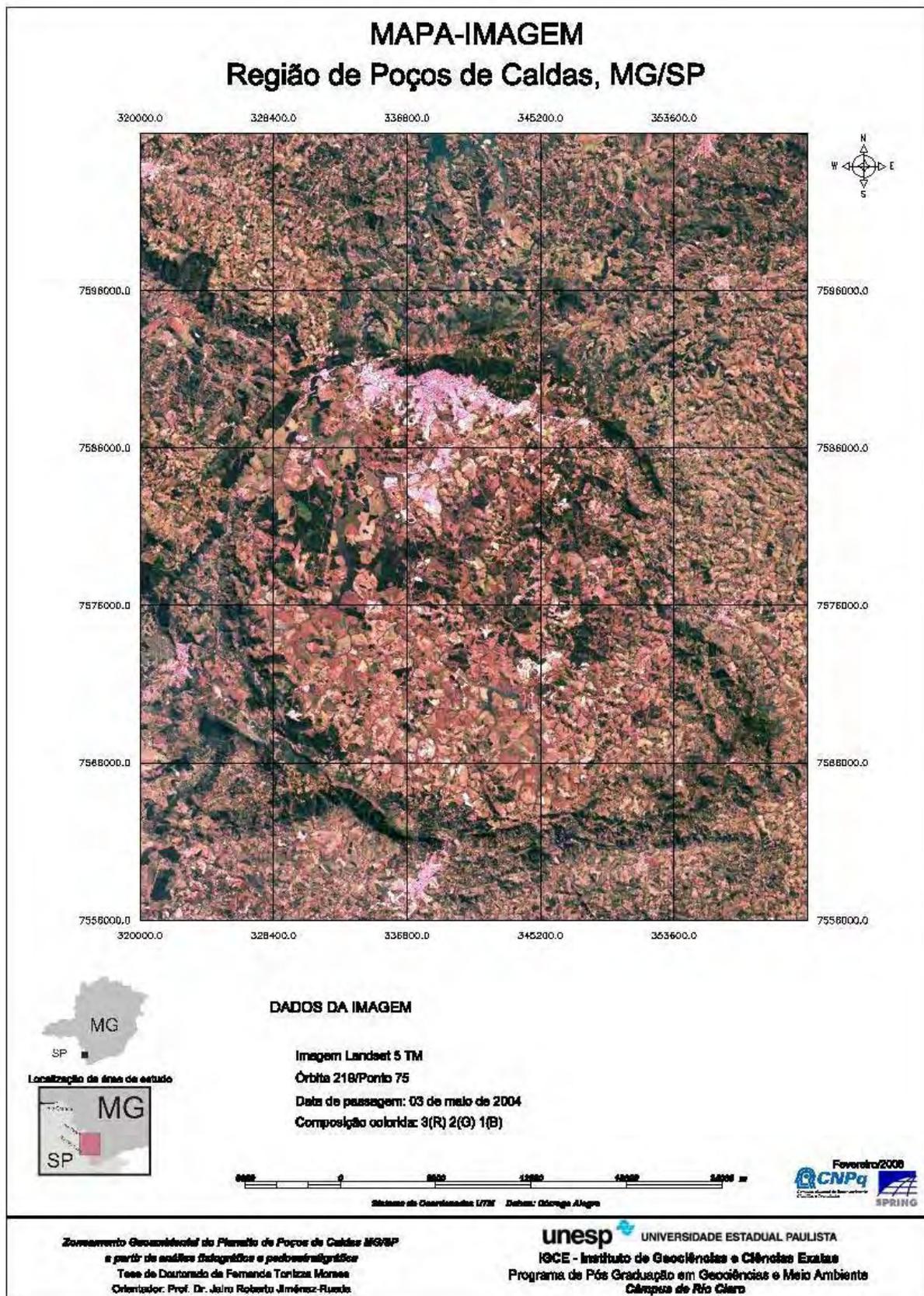


Figura 2: Mapa-imagem da área de estudo.

2. Referencial teórico

2.1 Zoneamento geoambiental

Com base em estudos realizados através de levantamentos setoriais e/ou integrados dos recursos naturais e do meio ambiente, utilizando técnicas de sensoriamento remoto aéreo, orbital e geoprocessamento, baseia-se em procedimentos metodológicos capazes de conduzir à delimitação de unidades ou zonas geoambientais, nas quais se incluem os municípios (FUNCEME, 2007). Em cada zona geoambiental é possível discriminar o potencial e as limitações de uso dos recursos naturais através das condições ecogeodinâmicas da paisagem, sendo possível propor o uso compatível da terra visando sua sustentabilidade.

Em consonância com proposições geossistêmicas (RODRIGUES, 2001), as atividades de zoneamento representam uma síntese do conhecimento adquirido em relação aos fatores ambientais, econômicos e sociais de uma determinada área geográfica. O zoneamento geoambiental enfatiza os aspectos físicos e ambientais, assumindo como premissa que o reconhecimento das condições ecogeodinâmicas existentes pode garantir o uso e ocupação adequados da paisagem e do solo. Por condições ecogeodinâmicas entende-se o conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos atuando e interagindo ao longo do tempo, com ciclos e dinâmicas particulares resultantes destas interações que ocorrem em um dado espaço, conceito adaptado a partir dos trabalhos de Tricart (1977).

Segundo Jiménez-Rueda et al. (1995), o zoneamento geoambiental consiste no exame sistemático de uma região com a finalidade de obter informação sobre as variáveis litológicas, morfoestruturais, microclimáticas, fisiográficas e coberturas/unidades de alteração intempérica, definindo com isto as zonas geoambientais, que apresentam as potencialidades de suporte do meio físico de acordo com os condicionadores naturais, em função dos modificadores sócio-econômicos. Estas informações permitem a adequação das necessidades sócio-econômicas às possibilidades físicas e ecológicas da região, resultando na ocupação ordenada e sustentável do território.

Deve-se ressaltar que o zoneamento geoambiental não consiste na sobreposição, mas na integração mental de planos de informação. Evita-se determinar as unidades ambientais pela justaposição de classificações geológicas, pedológicas, fitogeográficas, climatológicas e geomorfológicas, que levariam, em última instância, à formação de um mosaico que não expressaria os processos e as relações existentes entre as partes, sendo que essas relações são

importantes, pois definem a dinâmica do ambiente. Segundo Crepani et al. (1996) o simples cruzamento de mapas temáticos ou planos de informação, que no caso dos sistemas de informações geográficas (SIG) possibilita a geração de novos dados, tem como consequência a perda de informações de inestimável importância que seriam analisadas através do conhecimento do especialista ao realizar a interpretação das imagens. Estes autores consideram que a integração de informações disponíveis sobre as imagens de satélite, simultaneamente à sua interpretação, conduz a melhores e mais completos resultados no sentido de entender o meio ambiente de maneira holística.

Desta forma, o zoneamento geoambiental apóia-se nos princípios de interdisciplinaridade, síntese, abordagem multiescalar e dinâmica, princípios que são comuns a grande parte das ciências naturais. Estes princípios representam a necessidade de compreender e valorizar a dinâmica dos ambientes para a execução de programas de gestão e ordenamento territorial, incluindo-se a capacidade de realização de prognoses sobre a dinâmica do ambiente (RODRIGUES, 2001).

2.2 Análise morfoestrutural e morfotectônica

O termo morfoestrutura se relaciona à compartimentação morfológica, cujas principais características demonstram a existência de um nítido controle exercido pelo arcabouço litológico e/ou estrutural (SAADI, 1991 apud SILVA et al., 2006).

A análise dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais permite a demarcação das *morfoestruturas*, que podem ser refletidas em superfície e diagnosticadas mediante a fotointerpretação de produtos de sensores remotos (PUPIM et al., 2007). As morfoestruturas surgem como feições anômalas dentro da tendência regional, representando deformações dúcteis dos maciços (JIMENEZ-RUEDA et al., 1993).

O reconhecimento das morfoestruturas muitas vezes depende de análise geomorfológica associada a estudos detalhados da rede de drenagem, uma vez que nem todas são visíveis e reconhecíveis à superfície (SILVA, 1997). Contudo, a partir da fotointerpretação grande parte destas feições pode ser percebida, uma vez que os procedimentos de análise de bandas espectrais específicas associados a testes para a aplicação de diferentes contrastes, permitem a visualização destas feições com mais facilidade.

Altos e baixos estruturais

Estruturas resultantes dos esforços produzidos nas rochas que se manifestam na forma de dobramentos, originando formas côncavas (sinformais) ou convexas (antiformes) (POPP, 1998). Estas estruturas definem comportamentos ambientais distintos, como exemplo podemos citar as condições para o escoamento da água: no caso dos antiformes (altos estruturais), a disposição convexa das camadas rochosas favorece a percolação da água, já no caso dos sinformes (baixos estruturais), há o impedimento da drenagem, causando a saturação do substrato. Aliadas às condições topográficas, este condicionamento à drenagem imposto pela situação morfoestrutural poderá ser potencializado ou reduzido, conforme mostrado na Figura 3, em que as setas representam sentidos preferenciais para escoamento da drenagem.

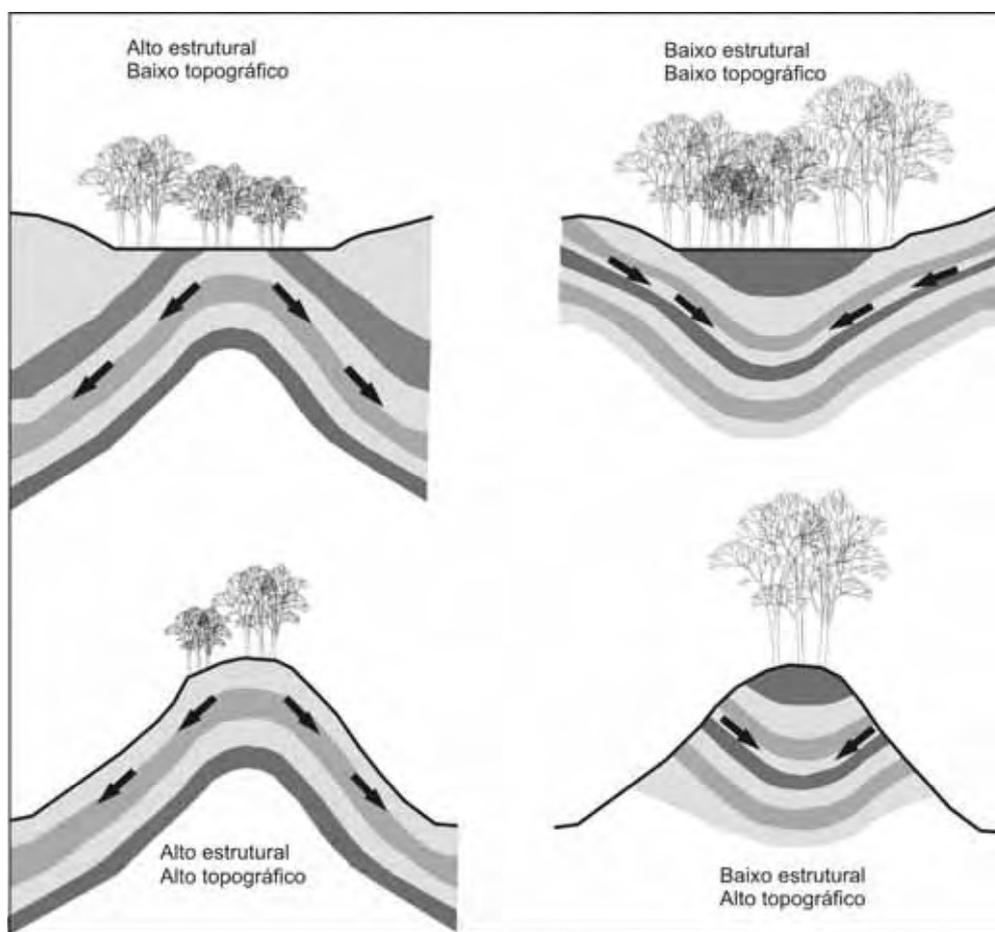


Figura 3: Esquema representando feições morfoestruturais associadas a condições topográficas. Desenvolvido a partir de Jiménez-Rueda et al. (1993).

Cabe destacar que outros processos estruturais além dos dobramentos podem determinar feições com estes comportamentos típicos de antiformes/sinformes. As falhas de gravidade são aquelas em que há a descida do teto em relação ao muro, via de regra

associadas a regimes distensivos da crosta terrestre ou como reflexo de dobramentos (LOCZY e LADEIRA, 1980). Os sistemas de Grabens e Horsts são feições resultantes dos falhamentos de gravidade, sendo que o Graben por sua posição rebaixada apresenta um comportamento similar ao de um baixo estrutural, enquanto o Horst assemelha-se a um alto estrutural.

Na ausência de falhas de gravidade, a formação de altos e baixos estruturais funcionais pode se dar através do basculamento de blocos. O bloco que sofre ascensão passa a apresentar um comportamento de alto estrutural e o que sofre abatimento comporta-se como baixo estrutural, no sentido de tornar-se parcialmente preenchidos por sedimentos, como um *Graben* (HAMBLIN e CHRISTIANSEN, 1995).

A morfoestrutura define condições ambientais que serão discutidas na caracterização das subzonas geoambientais.

A *análise morfotectônica* procura destacar feições retilíneas de extensão variável, que são interpretadas como resultantes de domínio estrutural (RICCI e PETRI, 1965). A extração das feições lineares através da fotointerpretação é um procedimento simples, pautado no estabelecimento de um padrão mental da menor unidade retilínea que se repete: são as juntas ou fraturas. Feições retilíneas maiores, muitas vezes quilométricas, são tratadas por lineamentos estruturais.

Lineamentos estruturais

Em geral, a erosão agindo em terreno homogêneo, tende a modelá-lo em forma curvilínea, arredondada, interrompida, desordenada; a probabilidade de se formar qualquer feição retilínea sem nenhuma causa específica que a controle pode ser considerada praticamente nula. Os lineamentos estruturais de grande porte podem estar associados a falhamentos, diaclasamentos, estratificações, foliações, xistosidades, gnaissificações e contatos de rochas (RICCI e PETRI, 1965).

Aos lineamentos estruturais de menor porte, associam-se as juntas ou fraturas. Estes são lineamentos retilíneos resultantes da descontinuidade física das rochas em que não se verifica deslocamento dos dois lados como nas falhas. Ocorrem em qualquer tipo litológico, sendo a feição estrutural mais comum na superfície terrestre (HAMBLIN e CHRISTIANSEN, 1995). Podem ter várias origens, sendo que a mais comum é tectônica em que uma tensão origina planos quase ortogonais e outros associados de fraturas (o conjunto das atitudes preferenciais chama-se sistema de juntas ou *trends*). O resfriamento de magma e sua consolidação com diminuição de volume, principalmente de baixa profundidade e extravasado

como derrame de lava, provoca a formação de juntas colunares que tendem a ser hexagonais. O aquecimento de rochas homogêneas ao sol e o seu resfriamento a noite pode provocar juntas como lascas curvas que acompanham o modelado da superfície do monolito exposto (WINGE et al., 2001).

Os sistemas de juntas podem ter importância econômica por fornecerem a permeabilidade necessária para a infiltração da água e acúmulo de petróleo, por exemplo. Devem também ser considerados no planejamento de grandes obras, como diques, estradas e represas, além de estarem relacionadas a ocorrência de depósitos minerais e facilitarem a precipitação de determinados elementos químicos em contato com águas hidrotermais (HAMBLIN e CHRISTIANSEN, 1995).

2.3 Análise fisiográfica

Os trabalhos de mapeamento de solos sempre se utilizaram da subdivisão da paisagem através de fotografias aéreas para que se delineasse o trajeto de campo e os perfis a serem analisados (LEPSCH, 2002), tanto que a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) define que um solo é uma paisagem, assim como uma paisagem é um solo (BARBOSA et al., 2005).

A análise de uma determinada paisagem implica obrigatoriamente no conhecimento de sua evolução, o que é possível se obter através do estudo das formas e das sucessivas deposições de materiais preservados, resultantes dos diferentes processos morfogenéticos a que foi submetida (CASSETI, 2007). O acesso ao histórico da paisagem cria condições para que se estabeleçam previsões sobre sua evolução, assim fornecendo subsídios para sua utilização sustentável. Assim, todo estudo voltado à caracterização e orientação para uso e ocupação do solo, deve ser acompanhado por uma análise fisiográfica detalhada da área.

A Fisiografia, assim como a Geomorfologia, ocupa-se do estudo do relevo e da formação das paisagens. Estuda a origem, estrutura, natureza das rochas, influência climática e as diferentes forças endógenas e exógenas que, de modo geral, atuam como fatores construtores e destruidores do relevo terrestre (GUERRA, 1969).

Difere da Geomorfologia, pois segundo os autores Barbosa et al. (2005), Botero (1978), Goosen (1971) e Villota (1992 e 2005), a Fisiografia trata da análise da paisagem e da descrição de sua gênese e evolução através dos solos existentes, considerando o solo e as

coberturas de alteração intempérica como registro e testemunho dos eventos geológicos, geomorfológicos e climáticos ao longo do tempo.

Goosen (1968) considera a existência de três métodos de fotointerpretação para o levantamento de solos:

- análise de padrões: baseada na identificação das maiores unidades de paisagem e a subdivisão destas em unidades menores, caracterizadas pelos chamados “elementos-padrão locais”. Parte-se da suposição de que cada elemento padrão está relacionado com certas condições de solo. Os elementos-padrão são: forma da terra, drenagem, vegetação, cicatrizes/processos erosivos, uso do solo e cor da imagem.

- análise de elementos: método desenvolvido por Buringh (1960) apud Goosen (1968), é vantajoso por poder ser realizado por especialistas de solos sem muita experiência em fotointerpretação. São analisados sistematicamente os elementos que podem apresentar alguma relação com as condições do solo. A classificação resultante é usada como base para o trabalho de campo.

- análise fisiográfica: o método baseia-se no conhecimento dos processos fisiográficos (indispensável para os especialistas em solos) e o seu reflexo em produtos de sensores remotos. O terreno é classificado em unidades fisiográficas, cada unidade apresenta sua respectiva e única associação de solos. Os elementos-padrão são utilizados primeiramente para estabelecer limites, sendo referenciais básicos para o entendimento das relações fisiográficas da paisagem. Estas relações são expressas através de fenômenos específicos que por sua vez, refletem os processos que os originaram e os estão modificando. Portanto, busca-se compreender o *processo* mais do que descrever os *fenômenos*.

Assim, o princípio básico da análise fisiográfica é a existência de uma relação direta entre as propriedades externas de uma paisagem e suas características e processos internos, expressas nos perfis de solos. Cada unidade fisiográfica apresenta uma fisionomia reconhecível e diferenciável das adjacentes e delimita uma porção da superfície terrestre com uma morfogênese específica na qual se espera certa homogeneidade pedológica (SOUZA e JIMÉNEZ-RUEDA, 2007; BARBOSA et al., 2005).

Este foco na pedogênese e sua íntima associação à paisagem definem a Fisiografia, que segundo Goosen (1968) tem por objetivo descrever, classificar e correlacionar as paisagens terrestres características de determinados processos fisiográficos, de modo que o reconhecimento das paisagens possa revelar o padrão de ocorrência dos solos.

Considera-se fisiografia como geografia de solos por tratar do estudo das características externas das paisagens e a sua influência nas características internas ou pedológicas (VILLOTA, 2005).

A Geomorfologia, segundo Ab'Saber (1969) e Caseti (2007), apresenta três níveis de abordagem do meio ambiente, sendo estes a *compartimentação morfológica*, o levantamento da *estrutura superficial* e o estudo da *fisiologia da paisagem*. No primeiro nível, abordam-se os diferentes níveis topográficos e características do relevo; no segundo nível focam-se os depósitos correlativos, usados como testemunhos da evolução da paisagem, como os paleopavimentos e no terceiro nível, busca-se compreender a ação dos processos morfodinâmicos atuais, inserindo-se a análise do homem como agente modificador.

Neste sentido, os trabalhos desenvolvidos por Botero (1978) e Goosen (1971) que estabeleceram o método de análise fisiográfica compartilham alguns princípios com os níveis de abordagem propostos por Ab'Saber (1969). Este método vem sendo modificado e adaptado desde a década de 1970 pelo Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda e sua equipe com o intuito de criar uma forma sistemática de representar os diversos fatores interatuantes na definição da paisagem.

2.4 Análise pedológica e pedoestratigráfica

Classificação de solos

As ciências naturais possuem a necessidade de classificar e organizar os objetos de estudo. A grande dificuldade existente para a classificação de solos é que estes não se tratam de entidades discretas, são na verdade gradientes contínuos, com variadas dimensões tridimensionais e sentidos de distribuição na superfície terrestre (BOCKHEIM et al., 2005). Assim, utiliza-se para o mapeamento de solos a caracterização das unidades de mapeamento, que são áreas de associações de solos definidos em função das unidades de paisagens nas quais se inserem.

A associação de solos é uma unidade de mapeamento politáxica na qual dois ou mais conjuntos de solos se encontram relacionados geograficamente e são amplamente distribuídas de modo que se pode diferenciá-las em estudos com escala maior (BARBOSA et al., 2005).

Uma unidade taxonômica de solo é conceituada segundo um conjunto de características e propriedades do solo, conhecidas por meio do estudo de *pedons* e *polipedons*. Os *pedons* são perfis representativos da menor unidade tridimensional que pode ser chamada

de solo. Teoricamente, os *pedons* com características semelhantes compõem unidades maiores – *polipedons* – que por sua vez constituem isoladamente, ou agrupados, as unidades básicas utilizadas para compor as unidades de mapeamento (EMBRAPA, 1995).

Segundo Bunting (1971), a primeira classificação de solos quanto à gênese foi proposta por Dokouchaiev entre 1886 e 1900 e consistia na divisão dos solos entre as classes solos normais, solos de transição e solos anormais. Sibirtsev, aluno de Dokouchaiev, propôs em 1899 os termos solos zonais, solos intrazonais e solos azonais, claramente correlacionados com a classificação de Dokouchaiev e que posteriormente foi relacionada ao conceito de estabilidade de paisagens por Tricart (1977).

Segundo Lepsch (2002) dentre as primeiras formas de classificação dos solos, tem-se a classificação segundo a zonalidade, proposta pelo Sistema Americano de Classificação 1935/49. Esta classificação traz três ordens principais: os solos zonais, intrazonais e azonais. Os solos da ordem zonal são bem desenvolvidos e refletem bem a influência dos fatores clima e organismos, ativos na formação do solo. São solos “normais” ou “maduros”, com horizontes A, B e C bem diferenciados. Eles se desenvolvem mais frequentemente em declives suaves, boa drenagem e sobre material de origem exposto por um tempo suficientemente longo para que a ação do clima e dos organismos tenha expressado integral influência. Na ordem intrazonal situam-se os solos com características que refletem mais as condições do relevo local e/ou do material de origem do que a do clima e dos organismos, por exemplo, os Gleissolos, que se desenvolvem mais frequentemente em condições de excesso de umidade. Os azonais são aqueles que não têm características bem desenvolvidas, devido ao pouco tempo de formação (solos jovens ou Neossolos) associado à natureza do material rochoso e do relevo. Eles têm normalmente a presença de volumes AC, BC.

A partir da década de 50, com a expansão dos levantamentos pedológicos em todo o mundo, teve-se o desenvolvimento de vários sistemas de classificação, entre os quais se destacam os desenvolvidos nos Estados Unidos da América, França, Bélgica, Portugal, Brasil e Austrália. A FAO/UNESCO (Organização para a Agricultura e Alimentação das Nações Unidas) desenvolveu o Sistema Internacional de Classificação de Solos entre 1960 e 1974, em escala 1: 5.000.000.

Classificação Brasileira

A classificação de solos oficial utilizada atualmente no país – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS tem como principais características ser um sistema aberto e,

portanto sujeito a constantes modificações a título de complementações e aperfeiçoamentos (IBGE, 2005). Este sistema foi finalizado em 1999, passou por várias e contínuas adaptações decorrentes de conhecimentos acumulados principalmente nos levantamentos pedológicos que foram incrementados no país a partir de 1955 (LEPSCH, 2002). Uma análise da trajetória evolutiva do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos apresentada por EMBRAPA (2006) demonstra que por diversas vezes

“os levantamentos pedológicos... foram demandando adequação aos solos que foram sendo identificados, especialmente no que diz respeito a diversidades de atributos, variabilidade morfológica e de constituição. Por conseqüência, modificações e acréscimos foram sendo adotados, envolvendo reajustes e inovações em critérios distintivos.”

Na taxonomia em vigor atualmente, que se trata de um sistema hierárquico, existem até seis níveis categóricos, sendo o primeiro o nível ORDENS. A definição dos níveis inferiores deste sistema hierárquico se faz necessária conforme se aumenta o detalhamento do levantamento, tanto que o 6º nível ainda não está estruturado e deverá ser baseado em características associadas ao crescimento das plantas, principalmente seu desenvolvimento radicular (EMBRAPA, 2006).

O enquadramento no 1º nível é obrigatório para a classificação do solo segundo este sistema, que é composto por 13 ordens cuja etimologia é apresentada pela Tabela 1. Esta classificação é baseada em grande parte na ocorrência dos chamados “horizontes diagnósticos”, que por definição constituem-se por camadas, seções, zonas ou faixas mais ou menos paralelas à superfície que evidenciam a diferenciação do perfil (por efeito dos processos formadores do solo). Caso estes materiais não evidenciem os processos pedogênicos, são apenas camadas (RESENDE et al., 1995).

Porém, em muitos casos, somente a análise dos horizontes diagnósticos (Tabela 2) não é suficiente para que se compreendam todos os processos envolvidos na pedogênese. Muitas vezes, inseridos nos horizontes ou entre eles ocorrem volumes de materiais diferenciados e com disposição não uniforme que representam a chave para a compreensão do processo pedogenético. Assim, são chamados de volumes de alteração intempérica (VAI) ou volumes de intemperismo (OHARA et al., 1996) tanto os horizontes diagnósticos como outros materiais diferenciados no perfil que trazem informações quanto à pedogênese de uma determinada área. Estas características são relacionadas à cor, estrutura, composição mineralógica, origem residual (autóctone) ou alóctone. Utiliza-se este termo para uma

designação genérica aos volumes de materiais que agregam informações importantes sobre o processo pedogênico e formação da paisagem associada. Os VAI podem ser descritos pela presença de horizontes diagnósticos, bem como por volumes BC, AC, Ab, entre outros, que não são comumente empregados para a classificação de solos convencional.

Tabela 1. Ordens de solos previstas no SiBCS (EMBRAPA, 2006) e características associadas.

<i>Nomenclatura</i>	<i>Etimologia</i>	<i>Horizontes diagnósticos</i>
ARGISSOLOS	Do latim <i>argilla</i> , conotando solos com processo de acumulação de argila.	Horizonte B textural (Bt)
CAMBISSOLOS	Do latim <i>cambiare</i> , trocar; conotativo de solos em formação (transformação).	Horizonte B incipiente (Bi)
CHERNOSSOLOS	Do russo <i>chern</i> , negro; conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com coloração escura.	A chernozêmico, preto, rico em bases
ESPODOSSOLOS	Do grego <i>spodos</i> , cinza vegetal, solos com horizonte de acumulação de materiais orgânicos e outros.	Horizonte B espódico
GLEISSOLOS	Do russo <i>gley</i> , massa de solo pastosa; conotativo de excesso de água.	Horizonte glei (Bg ou Cg)
LATOSSOLOS	Do latim <i>lat</i> , material altamente alterado (tijolo); conotativo de elevado conteúdo de sesquióxidos.	Horizonte B latossólico (Bw)
LUVISSOLOS	Do latim <i>luere</i> , lavar; conotativo de acumulação de argila.	Saturado, Acumulação de argila Ta (alta atividade)
NEOSSOLOS	Do grego <i>nêos</i> , novo, moderno; conotativo de solos jovens, em início de formação.	Pequeno desenvolvimento
NITOSSOLOS	Do latim <i>nitidus</i> , brilhante; conotativo de superfícies brilhantes em unidades estruturais.	Horizonte B nítico
ORGANOSSOLOS	Do grego <i>organikós</i> , pertinente ou próprio dos compostos de carbono. Conotativo de solos de constituição orgânica, ambientes de grande umidade.	Horizonte H ou O hístico
PLANOSSOLOS	Do latim <i>planus</i> , horizontal; conotativo de solos desenvolvidos com encharcamento superficial estacional.	Horizonte B plânico
PLINTOSSOLOS	Do latim <i>plintus</i>	Horizonte plíntico.
VERTISSOLOS	Do latim <i>vertere</i> ; conotativo de movimento na superfície do solo (expansão/contração).	Horizonte vértico

Fonte: EMBRAPA, 2006

Mesmo com os notáveis esforços para se estabelecer um sistema único para a classificação dos solos, a utilização de sistemas taxonômicos clássicos não tem se mostrado muito adequada aos estudos de solos em paisagens. Isto ocorre pelo fato destes sistemas serem baseados em parâmetros estáticos e não considerarem processos que podem alterar os solos em curtos períodos de tempo, tais como erosão, manejo do solo e ganho ou perda de componentes solúveis (PENNOCK e VELDCAMP, 2006).

Tabela 2. Horizontes diagnósticos, modificado de Resende et al., 1995

<i>Horizonte</i>	Características
A chernozêmico	Horizonte espesso, escuro, rico em matéria orgânica, alta saturação por bases, macio quando seco.
A húmico	Idem, mas com baixa saturação por bases e reação ácida. Atinge, às vezes, mais de 1,5m de espessura.
B podzol	Rico em matéria orgânica e/ou óxidos de Fé e de Al, pobre em argilas. Pode ser endurecido. É ácido. Originados pela translocação de matéria orgânica e/ou óxidos do horizonte A para o B. Processo de podzolização.
B textural	Estrutura em blocos envolvidos por películas de argila silicatada (cerosidade). Ainda possui algum mineral primário facilmente intemperizável. Originado tipicamente pela translocação de argila de A para B, havendo a formação de cútans de argila em mais de 20% do material.
B latossólico	Estrutura granular com aspecto de maciça porosa (esponjosa), profundo, muito intemperizado e praticamente sem mineral primário facilmente intemperizável. Argilas 1:1 e oxídicas é que formam a fração mineral fina deste horizonte. Presente nos Latossolos. Originados pela remoção de sílica e de bases e concentração de óxidos.
B solonético	Estrutura colunar, pouquíssimo poroso, raso, de coloração acinzentada. Muito Na trocável, pH extremamente alto. Originado pela remoção de excessos de sais de um Solo Salino, deixando muito Na trocável, que dispersa a argila.
B incipiente	Estrutura variável (blocos, prismas ou maciça porosa), geralmente raso, muito mineral primário facilmente intemperizável e/ou muito silte e/ou argila mais ativa. Ainda não houve atuação marcante de nenhum processo, mas houve liberação de Fe e de Al dos cristais dos minerais, com alteração de rocha e início da formação de estrutura.
Plíntico	Mosqueados vermelhos (mais de 25%), em camada de mais de 15 cm de espessura, que se endurecem quando expostos a ciclos de umedecimento e secagem. Constituem a base de latossolos, são frequentemente acompanhados por lateritas.

Fonte: RESENDE et al., 1995

Estes sistemas também não abrangem a influência recorrente da tectônica (neotectônica), manifesta por meio das ativações/reactivações dos sistemas tensores, definindo mudanças no relevo e conseqüentemente no clima, nas paisagens e nos solos. O estudo de

solos em paisagens requer a análise de propriedades e processos relacionados ao solo que não podem ser entendidos se isolados de seu contexto espacial e temporal.

Wysocki et al. (2005) pontuam que as convenções de apresentação dos dados obtidos em levantamentos pedológicos e os sistemas taxonômicos (focados na caracterização dos horizontes A e B até uma profundidade de 2 metros) representam limitações à divulgação das informações registradas nos levantamentos de campo por pedólogos. Nestes levantamentos de campo são coletadas informações detalhadas sobre o tipo de substrato, arranjo e caracterização dos volumes de alteração que não são devidamente inseridos nas representações cartográficas ou nas classificações aceitas oficialmente.

Em paisagens policíclicas, os solos apresentam, na grande maioria das vezes, discordâncias causadas pela exumação do perfil e/ou o seu recobrimento por materiais coluvionares ou aluvionares. Estes fatos demonstram a necessidade de se adaptar os critérios e métodos já formalizados de análise e descrição dos solos para que se possa relatar estas particularidades dos solos nas paisagens policíclicas e com isso, propor seu uso e ocupação em um programa de zoneamento geoambiental.

Reconhecer os solos e os substratos a partir dos quais se desenvolvem são fatores primordiais em zoneamentos geoambientais. As interações entre relevo, solos e substratos controlam o fluxo de água e o transporte de contaminantes em uma paisagem, além de possuírem outras importantes aplicações ambientais (WYSOCKI et al., 2005).

Classificação pedostratigráfica

Nas regiões tropicais, a ocorrência de profundos mantos de alteração intempérica representa um desafio para o planejamento do uso da terra, principalmente se for mantida a idéia de que nestes ambientes, os solos são produtos finais de uma série de processos já findados que atuaram sobre uma rocha-matriz do embasamento, durante períodos de milhões de anos. Pelo contrário, o processo pedogênico é dinâmico e atual, e vem definindo alterações de caráter químico, físico e biológico em função principalmente das condições climáticas que como se sabe, foram muito variáveis ao longo do tempo geológico.

A idéia de que os solos tropicais são resultantes de processos de alteração intempérica muito antigos e que a dinâmica atual da paisagem resume-se à ação da erosão deve ser evitada. O processo intempérico é dinâmico, ocorre até os dias atuais e afeta inclusive

superfícies policíclicas em que o manto de alteração encontra-se recoberto por materiais transportados de origens e características variáveis (THOMAS, 1994).

A dinâmica dos processos de alteração intempérica e pedogênese se dá em função de agentes internos ou externos à superfície terrestre. Como fatores internos, têm-se a ação da tectônica moldando o relevo e definindo modificações à paisagem. Por sua vez, as alterações no relevo podem alterar as condições climáticas, pelo estabelecimento ou retirada de anteparos que alteram as condições de circulação atmosférica locais. Como agentes externos, têm-se as variações climáticas tanto ao longo do tempo geológico (períodos secos e úmidos alternados, por exemplo). Estes elementos dinâmicos devem ser considerados durante a avaliação dos solos.

O desenvolvimento dos solos produz horizontes ou camadas de materiais a partir de um substrato que pode incluir sedimentos inconsolidados (aluviais, glaciais, marinhos e eólicos), saprolitos e rocha matriz (alterada ou inalterada), ou mesmo outro solo. O processo pedogênico em uma paisagem pode ser afetado por episódios erosivos, com os materiais sendo removidos ou truncados e podendo recobrir outros solos. É sabido que o processo pedogênico clássico demanda certas condições de estabilidade temporal e espacial, porém, a maioria das regiões apresenta um mosaico de paisagens formadas por diversos materiais parentais, solos, ações erosivas e processos geomórficos de idades variadas. Assim, os solos superficiais, solos enterrados e os paleossolos constituem um importante registro estratigráfico da região (WYSOCKI et al., 2005). Os princípios e conceitos fundamentais da estratigrafia tais como a superposição de camadas e a possibilidade de datação relativa podem ser usados no estudo dos solos (DANIELS e HAMMER, 1992).

A utilização destas seqüências de solos na reconstrução da evolução de paisagens pode ser realizada a partir do reconhecimento dos processos pedogênicos registrados em cada camada do perfil de solo. Esta área da Ciência é chamada de Estratigrafia de Solos (*soil stratigraphy*, segundo Birkeland (1984)) ou Pedoestratigrafia (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1998; FERREIRA, 2005; NACSN, 2005; WYSOCKI et al., 2005).

O Código Estratigráfico Norte Americano (NACSN, 2005) estabelece em seu artigo 55 que uma unidade pedoestratigráfica pode ser definida por um ou mais horizontes pedológicos desenvolvidos a partir de uma unidade litoestratigráfica ou aloestratigráfica. Esta seqüência de solos/sedimentos inconsolidados até o limite com o material subjacente litificado é chamada de Geosol.

Wysocki et al. (2005) definem a pedoestratigrafia como o estudo das relações estratigráficas dos solos e suas implicações. Os autores propõem a representação dos perfis

pedostratigráficos na forma de diagramas, associados à litoestratigrafia da área. Ressalta-se neste contexto que as unidades fisiográficas representam as unidades básicas de mapeamento dos perfis pedostratigráficos.

No Brasil, são poucos os trabalhos que abordam os solos através do enfoque pedostratigráfico (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1998; FERREIRA, 2005). Nenhum dos trabalhos encontrados se utilizou deste enfoque para o mapeamento de solos em escala regional. Neste aspecto reside a originalidade desta tese, o que ao mesmo tempo justifica certa dificuldade para encontrar literatura sobre o assunto, bem como a necessidade de se adaptar o significado de conceitos já consagrados em Pedologia.

3. Caracterização da área de trabalho

Clima

As informações sobre as condições climáticas regionais tiveram como fonte Cavalcante et al. (1977). O clima da região é classificado como mesotérmico (C), segundo a classificação de Köppen. Esta classificação está fundamentada no curso anual dos valores médios da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica. Este grupo caracteriza climas com pequenas variações pluviométricas e de temperatura.

A maior parte da área apresenta clima Cwb, havendo uma porção localizada a oeste da sede do município de Poços de Caldas com clima do tipo Cwa.

As terras baixas na região de Águas da Prata apresentam o clima do subtipo Cwa – mesotérmico de inverno seco, com verões quentes e estação chuvosa no verão. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. O total das chuvas do mês mais seco é inferior a 30mm. Este tipo de clima é denominado “clima tropical de altitude”. O índice pluviométrico varia entre 1100mm e 1700mm. A estação seca ocorre entre os meados de abril ao início de setembro, sendo julho o mês em que atinge a máxima intensidade. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro, enquanto o mês mais quente apresenta temperatura entre 22°C e 24°C.

O subtipo Cwa grada para o Cwb – clima mesotérmico de inverno seco, com verões brandos e estação chuvosa no verão – aproximadamente na linha divisória dos estados de São Paulo e Minas Gerais. Neste clima a temperatura do mês mais quente não atinge 22°C, situando-se o índice pluviométrico entre 1300mm e 1700mm. O período mais seco é o mês de julho, em que ocorrem as mais baixas temperaturas médias (em torno de 16,5°C). A estação seca estende-se de maio a setembro, atingindo a evaporação níveis baixos, devido ao abrandamento da temperatura neste período. O mês mais chuvoso é, em geral, janeiro, nele atingindo o total de chuvas mais de dez vezes as do mês de julho.

Também é denominado “clima tropical de altitude”, pois é característico de terras altas. Sua diferenciação do tipo anterior (Cwa) é através da temperatura, neste não ultrapassando os 22°C no mês mais quente, ao contrário daquele, em que se situa entre 22°C e 24°C.

A Figura 4 foi elaborada a partir dos dados climatológicos médios do município de Poços de Caldas, para o período de 1921 a 1985. Nota-se que de meados de abril a meados de

setembro a evapotranspiração ultrapassa a precipitação, sendo assim, é neste período que se apresenta a estação seca quando há necessidade de suplementar a disponibilidade hídrica das culturas através de irrigação. De outubro a abril, há excedente de precipitação.

Não se espera com esta análise superficial dos fatores climáticos, retratar as condições climáticas de toda a região. Até porque não foram obtidos dados de estações meteorológicas de outros locais com exceção da estação localizada no aeroporto de Poços de Caldas.

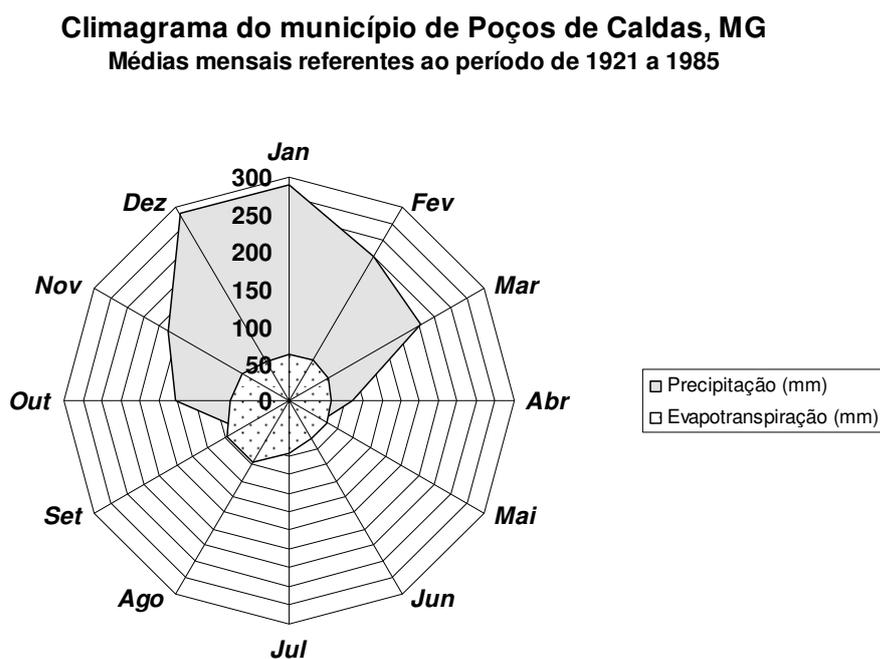


Figura 4. Climograma do município de Poços de Caldas.

Setzer (1956) apresenta algumas informações sobre as condições climáticas da região norte da área de estudo, nas proximidades da Represa da Graminha. O autor considera que as localidades na região com altitude superior a 1100 metros apresentam clima do tipo Cwb e as partes mais baixas, Cwa. Isso porque ambos são climas úmidos com inverno seco, mas o primeiro é temperado e o segundo é quente, sendo que a distinção baseia-se na temperatura média do mês mais quente, que no clima temperado é inferior a 22°C.

O gradiente térmico é da ordem de 0,65°C/100 metros durante no mês mais quente e de 0,59°C/100 metros no mês mais frio. Os meses mais secos apresentam estiagem muito forte, pois o total de precipitação de abril a setembro representa apenas 5% do total anual. Na estação chuvosa as chuvas são intensas, pois é relativamente baixo o número de dias de chuva em comparação com a alta pluviosidade.

Geologia

A área de estudo é formada pelo maciço alcalino Poços de Caldas, situado próximo ao limite nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná com os terrenos pré-cambrianos do Complexo Cristalino Brasileiro, na borda ocidental da Mantiqueira. Formou-se a partir de um complexo de rochas efusivas e principalmente intrusivas (CHRISTOFOLETTI, 1973).

A intrusão de rochas alcalinas rompeu e reorganizou antigas litologias, havendo o contato de rochas alcalinas com o embasamento composto por rochas graníticas, gnáissicas e migmatíticas. Por vezes, há o contato das alcalinas com materiais da antiga cobertura sedimentar (ELLERT, 1959; BJORNBERG, 1959). Os materiais sedimentares são atribuídos por Ulbrich (1984) ao Grupo Tubarão, de idade Neo-Paleozóica. Em outros trabalhos (LANDIM et al., 1980; THEODOROVICZ et al., 2002), estes afloramentos observados na porção oeste do município de Poços de Caldas são considerados como arenitos do Subgrupo Aquidauana do Carbonífero/Permiano Inferior (LÉXICO, 1984). Estes materiais sedimentares não se mostraram representativos na escala de trabalho adotada a ponto de definirem materiais de cobertura, zonas geoambientais ou paisagens específicas.

A parte central da área de estudo é composta pelo maciço alcalino - Planalto de Poços de Caldas, de idade Cretácica (ELLERT, 1959). Por ser a forma geológica de maior extensão e expressão na área de estudo, foi tratada com maior detalhamento em todo o estudo.

Maciço alcalino de Poços de Caldas

Por ser uma região ímpar quanto à Geologia e Geomorfologia, a região tem sido objeto de estudos desde o século XIX, quando o geólogo Derby fez uma viagem à região para estudar as rochas expostas pela abertura de estrada de ferro (WILLIAMS, 2001). Desde então, são inúmeros os trabalhos realizados sobre a geologia da região, abordando assuntos como recursos minerais, radioatividade, águas termais, solos, entre outros.

Ellert (1959) desenvolveu um dos mais importantes trabalhos sobre a geologia do planalto, tanto pelo pioneirismo quanto pela qualidade das informações fornecidas. Em seu artigo denominado “Contribuição à Geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas”, o autor apresentou uma síntese dos trabalhos anteriores àquela data que haviam sido realizados sobre a região. Cita que o primeiro trabalho sobre a geologia de Poços de Caldas foi realizado por Derby (1887), que reconheceu a natureza vulcânica da região. Guimarães (1947, 1948) e Branco (1956) apresentaram estudos petrográficos. O autor cita também alguns trabalhos que

foram publicados sobre os recursos minerais da região, principalmente sobre a bauxita, zircão e minerais radioativos.

No mesmo período, Bjornerg (1959) avaliou os sedimentos e as rochas clásticas da região. Posteriormente, Almeida Filho e Paradella (1977) realizaram estudos com sensoriamento remoto para reconhecer anomalias no relevo que indicassem a ocorrência de urânio para fins de prospecção mineral.

Além dos trabalhos citados, Frayha (1971) avaliou as condições hidrogeológicas da região. A existência de empresas de mineração como Alcoa Alumínio, CBA – Companhia Brasileira de Alumínio e INB – Indústrias Nucleares do Brasil, definiram a realização de inúmeros projetos de cunho geológico, voltados à prospecção mineral.

Mais recentemente, houve a realização de um projeto internacional denominado “*Poços de Caldas Project: natural analogues of processes in a radioactive waste repository*” (CHAPMAN et al., 1993) em que foram abordados os aspectos geológicos e hidrogeológicos da região central do planalto em que ocorrem as jazidas de urânio que eram exploradas pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB).

Evolução geológica do maciço alcalino

Durante o Mesozóico, provavelmente Cretáceo Inferior (130 a 85 Ma.) ocorreu o início da formação das caldeiras vulcânicas na região (ELLERT, 1959). A estrutura interna do complexo foi determinada pelo padrão de estruturas circulares menores (subcaldeiras) que foram truncadas uma pelas outras de acordo com suas idades relativas (ALMEIDA-FILHO e PARADELLA, 1977; VALETON et al., 1997).

O vulcanismo no complexo de Poços de Caldas teve longa duração (cerca de 30 Ma.) se comparada com os vulcões modernos, com duração de 2 – 3 Ma. (ULBRICH, 1984) assim, são visíveis alguns diques menores e estruturas circulares formadas após a subsidência da caldeira principal pela continuada intrusão de nefelina sienitos. O modelo evolutivo do complexo de Poços de Caldas proposto por Ellert (1959) é composto de seis etapas principais (modificado por SCHORSCHER e SHEA, 1991):

- a) Início do processo de intrusão causando elevação do nível de base, distensão, fraturamento e erosão;
- b) Atuação do vulcanismo (extrusivo) com a formação de fonolitos e vulcanoclásticas;
- c) Subsidência da caldeira;

- d) Intrusões de nefelínicas: tinguaitos, fonolitos, nefelina-sienitos, formando estruturas circulares menores e diques anelares;
- e) Continuação do processo de intrusão e fraturamento;
- f) Intrusão de lujauritos, chibinitos e foiaítos.

Segundo Ellert (op. cit.) os indícios de que a atividade vulcânica foi precedida ou acompanhada por levantamentos escalonados de blocos gnáissicos após a deposição dos sedimentos de arenitos da Bacia Paraná (Fm. Aquidauana) são indiretos e fundamentam-se tanto em observações geomorfológicas como em deduções geológicas.

Durante o processo inicial de intrusão ocorre elevação do nível de base regional, com a formação do maciço de Poços de Caldas, elevando a maiores altitudes as rochas sedimentares da Bacia do Paraná e blocos gnáissicos, que por vezes foram assimilados e silicificados. Observações de campo sugerem que a intrusão do magma alcalino tenha rompido antigas litologias (Bacia do Paraná e Complexo Cristalino), causando uma reorganização na litologia, o que explicaria a ocorrência de intensa silicificação de materiais pré-existentes, tais como arenitos silicificados em Águas da Prata e na estrada para Divinolândia.

Ao mesmo tempo, houve a formação dos fonolitos e vulcanoclásticas graças ao processo vulcânico predominantemente extrusivo que dominou as intrusões iniciais. Todo este conjunto de litologias sofre intenso fraturamento induzindo as mudanças nas formas do relevo. Novas intrusões formaram as estruturas circulares menores possivelmente associadas à presença de cones vulcânicos em cujas bordas ocorrem as mineralizações radioativas (ALMEIDA-FILHO e PARADELLA, 1977). Paralelamente, a parte central da caldeira maior sofre subsidência graças ao intenso fraturamento e adquire uma morfologia mais similar à existente atualmente.

Idade do maciço

Tem-se o maciço como uma estrutura de idade cretácica superior-terciária inferior (ELLERT, 1959; LÉXICO, 1984). Valetton et al. (1997) citam a realização de algumas datações isotópicas (K-Ar) que determinaram uma idade entre 87.1 e 52.9 milhões de anos. Shea (1991) a partir do método Rb-Sr definiu uma idade de 78 milhões de anos e através de Ar-Ar, uma idade de 76 milhões para flogopitas e em diques lamprofíricos que se formaram durante a evolução magmática. Segundo Thomaz Filho e Rodrigues (1999) a idade

radiométrica K/Ar das rochas alcalinas do alinhamento Poços de Caldas – Cabo Frio apresentam relativa contemporaneidade, sendo que se atribui às rochas alcalinas de Poços de Caldas uma idade média da ordem de 74,6 Ma.

Distribuição litológica e mineralogia

Os tipos litológicos principais inseridos no maciço alcalino são apresentados de forma esquemática na Figura 5. O entorno do maciço é ocupado por rochas cristalinas, como será abordado adiante.

Segundo Fraenkel et al. (1985) apud Moreira et al. (2002), destaca-se no maciço a ocorrência de rochas de filiação alcalina, com predominância de nefelina-sienitos (tinguaítos, fonólitos, foiaítos), na forma de um corpo intrusivo de idade mesozóica-cenozóica.

Segundo Valeton et al. (1997) predominam as rochas plutônicas de granulação fina e rochas do grupo das nefelina-sienitos leucocráticas subvulcânicas (tinguaíto), incluindo rochas enriquecidas por potássio, que cobrem 78% da superfície da área anelar. Sienitos de granulação média ocupam 13,5%, fonólitos 5% e rochas piroclásticas 3%. Outros tipos de nefelina sienitos perfazem 0,5%, sendo o lujaurito e chibinito.

Os diversos tipos litológicos de origem alcalina podem ser reunidos em três grupos principais: a) material vulcânico; b) rochas efusivas e hipabissais; e c) rochas plutônicas.

Material vulcânico

Representado por brechas, tufos e aglomerados, cuja ocorrência se dá na porção noroeste do maciço. Bjornberg (1959) estudou as rochas clásticas originadas pelo vulcanismo, representadas por rochas piroclásticas propriamente ditas, isto é, por rochas expelidas por vulcões e por brechas associadas às intrusões alcalinas. Segundo o autor, para fins de mapeamento geológico, as brechas aparecem frequentemente acompanhando os afloramentos de arenito em linha bordejante interna do círculo alcalino, havendo exceções localizadas no centro sul do planalto. Segundo Ellert (1959), as brechas ocorrem ao longo da estrada da Cascata à Poços de Caldas, e a presença de estratificação em vários afloramentos sugere retrabalhamento e deposição posterior.

Os tufos vulcânicos, menos freqüentes que as brechas, resultam da consolidação de materiais detríticos como: lúpili, bombas, cinzas e lavas expelidas pelos vulcões. São constituídos por fragmentos de tamanhos diversos (GUERRA, 1969) e na área de estudo

podem ser encontrados no cruzamento da rodovia que liga as cidades de Poços de Caldas a Águas da Prata, precisamente no trevo que dá acesso à Fonte Platina (BJORNBERG, 1959). Os aglomerados aparecem no Vale do Quartel, no trecho entre Cascata e Fazenda Osório e ao sul de Laranjeiras de caldas, no contato com o gnaíse (ELLERT, 1959).

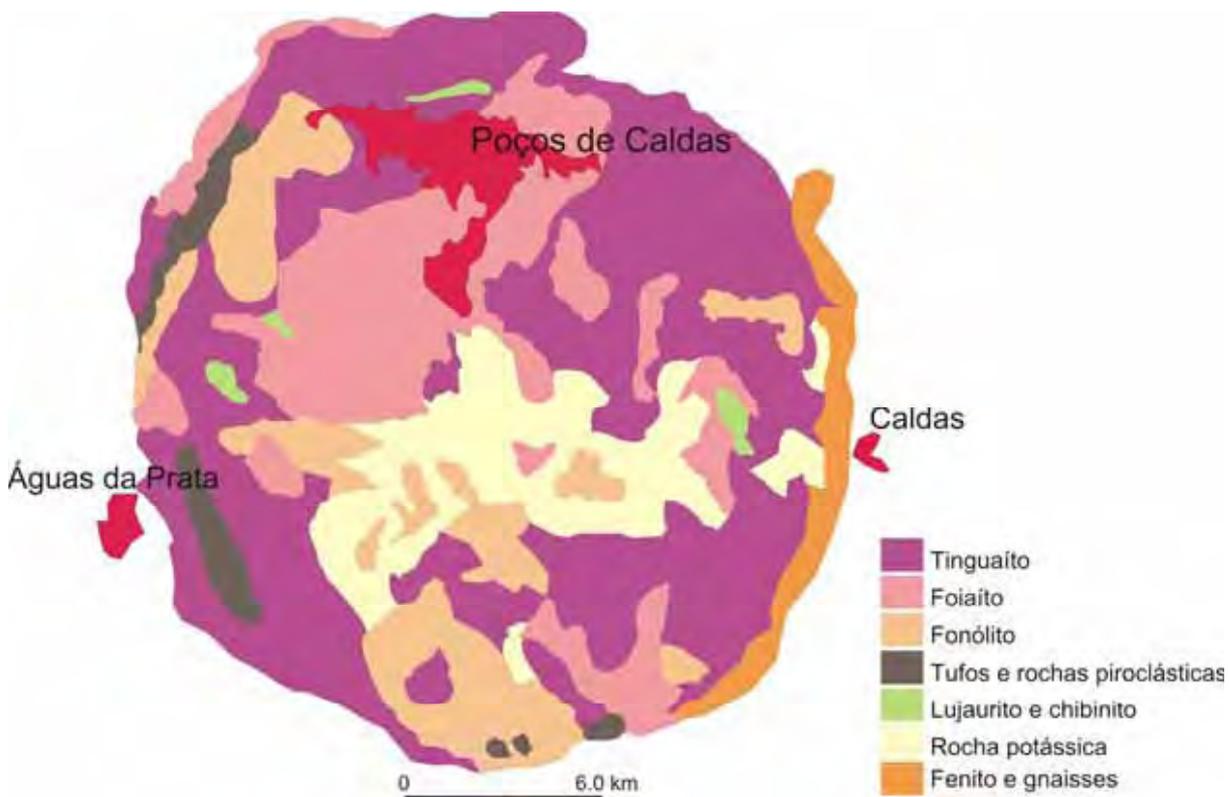


Figura 5: Representação esquemática da localização dos tipos geológicos na área de estudo. Modificado de Ellert (1959).

Rochas efusivas e hipabissais

Os principais representantes são fonólitos e tinguaítos, ambos com ampla distribuição por todo o maciço (MOREIRA et al., 2002). Uma litologia importante no maciço associada a estas rochas é resultante da alteração hidrotermal e intempérica dos tinguaítos, denominada de “rocha potássica”. As rochas potássicas definem um importante controle litológico às mineralizações radioativas. Este material constituiu fonte de urânio para a instalação da Nuclebrás (atual INB) durante a década de 70.

No sul do maciço o predomínio de fonólito em geral intemperizado define um relevo suave (ELLERT, 1959). Porém, o autor considera que a distinção entre estes tipos litológicos

seja arbitrária, pois apresentam frequentemente a passagem gradual de um tipo litológico a outro.

Rochas plutônicas

Constituídas por foiaítos, lujauritos e em menor proporção chibinitos, ocorrem encaixadas nas fácies efusivas e hipabissais (MOREIRA et al., 2002).

O contato do foiaíto com o tinguáito, a norte do aeroporto, segue direção NE, acompanhando de certo modo a crista das elevações. Ocorre também na base da Serra do Selado e ao longo do Ribeirão do Charque. Na parte norte do maciço, o lujaurito apresenta passagem gradual para chibinito (ELLERT, 1959).

As diferenças entre fonolitos, tinguáitos e outras várias nefelina-sienitos são basicamente texturais e refletem diferentes condições de esfriamento de magmas muito similares, assim sendo, o comportamento geoquímico observado na maioria destas rochas é bastante similar, segundo Valetton et al. (1997).

Rochas do Embasamento Cristalino

O maciço alcalino tem como encaixantes as rochas cristalinas formadas entre o Arqueano e o Proterozóico Superior, entre 2,6 bilhões a 570 milhões de anos. A história evolutiva das rochas cristalinas na área de estudo envolve a superposição de vários episódios tectônicos distensivos e compressivos, aos quais, em tempos pretéritos à subdivisão da Pangéia (180 Ma.), associaram-se a intenso magmatismo, vulcanismo, formação de rochas magmáticas, deposição de seqüências vulcanossedimentares, metamorfismo de médio a alto grau e choques de continentes. Em função disso, houve profundas transformações metamórficas e forte transporte tectônico, que fizeram com que litologias de diversas origens, idades e composições se recristalizassem e se imbricassem de modo que hoje estão lado a lado formando um complexo de rochas conhecido como Embasamento Cristalino ou Complexo granito-gnáissico-migmatítico (THEODOROVICZ et al., 2002).

A região localizada a noroeste do maciço - em que se situa o município de Divinolândia, SP - insere-se no chamado Complexo Varginha que é limitado a sul pela falha de Jacutinga que o põe em confronto com o Complexo Amparo. Estende-se para o estado de Minas Gerais a leste e a norte, e a oeste é recoberto por unidades da Bacia do Paraná (IPT, 1981). Localiza-se no domínio litológico de granitos-gnaisses de idade Arqueana da Província Mantiqueira, ocorrendo também alguns afloramentos isolados de rochas sieníticas de idade

cretácica formadas durante a intrusão do Planalto Alcalino de Poços de Caldas. De acordo com Ricciardi (2002), as litologias predominantes na região são migmatitos diversos de paleossomas granulíticos, calcossilicáticos, anfíbolíticos, xistosos, dioríticos e quartizíticos, incluindo ainda gnaisses com biotita e granada já bastante migmatizadas. Também são encontrados diversos núcleos, bolsões e faixas de rochas granulíticas.

O Maciço de Guaxupé é formado por terrenos antigos de alto grau metamórfico, bordejados por uma faixa de dobramentos mais jovem (faixa alto Rio Grande). As rochas são polideformadas e de evolução policíclica, estando afetadas por migmatização do Proterozóico Superior e encaixam rochas granitóides intrusivas tardi a pós-tectônicas do Proterozóico Médio a Eopaleozóico (HIRUMA e PONÇANO, 1994).

A leste do maciço alcalino situa-se o município de Caldas, que tem a Pedra Branca como feição marcante no relevo, constituído por fenitos, gnaisses, migmatitos, granitos e granitóides do Complexo Varginha.

Materiais sedimentares

Ocorrem afloramentos esparsos de rochas sedimentares na porção oeste e sul da área de estudo, nas porções externas ou nas bordas do maciço alcalino. Nas proximidades do Bairro Véu das Noivas, ocorrem os únicos afloramentos de arenitos encontrados no interior da estrutura que representam locais com elevado potencial erosivo, sendo necessárias obras de contenção, como terraços.

Os sedimentos anteriores às atividades do magma alcalino podem ser encontrados conservados entre rochas piroclásticas, lavas e tinguaiços. Estes sedimentos segundo Ellert (1959), acompanham o bordo interno do maciço e o contato com as encaixantes. Os sedimentos constituem-se na base de folhelhos com intercalações de camadas arenosas e no topo de arenitos com estratificação cruzada, estando geralmente silicificados e recristalizados, o que não se dá com os folhelhos, onde não se notam sinais de recristalização, mesmo quando cortados por diques de rochas alcalinas. As áreas de maiores afloramentos se encontram em Águas da Prata e ao norte de Andradas, onde formam pacotes de mais de 100 metros de espessura.

Existem diferentes abordagens sobre a ocorrência destes materiais sedimentares na região. Bjornberg (1959) considerou estes materiais como arenitos eólicos com intercalações secundárias de siltitos, sendo correlacionados à Formação Botucatu da Bacia do Paraná.

Almeida (1956) citado por Landim et al. (1980) notou a correlação entre estes arenitos que ocorrem em Poços de Caldas e Águas da Prata com as rochas existentes em Mato Grosso e Goiás, definindo com isto que se tratavam de arenitos Subgrupo (ou Formação) Aquidauana. Ulbrich (1984) também correlacionou as rochas sedimentares existentes na área de estudo aos arenitos do Grupo Tubarão.

O Subgrupo (ou Formação) Aquidauana é uma divisão do Grupo Itararé, que corresponde ao ciclo glacial do Super-Grupo Tubarão, formados entre o Carbonífero e o Permiano (entre 350 a 250 Ma.). Durante este período, o mar afastou-se de grande parte da bacia, havendo o recobrimento de sua maior parte por sedimentos depositados em ambiente tipicamente continental representado por um espesso pacote de arenitos finos e siltitos avermelhados, com subordinadas intercalações de sedimentos que indicam interferências deposicionais glaciais (THEODOROVICZ et al., 2002). Os arenitos da Formação Aquidauana lembram os arenitos da Formação Pirambóia; são sedimentos avermelhados entremeados por arenitos, diamictitos e ritmitos de cores acinzentadas. O limite superior do Aquidauana encontra-se no Permiano Inferior (LANDIM et al., 1980).

Motoki e Oliveira (1987) consideraram os arenitos da região de Andradas como pertencentes à Formação Corumbataí por se tratarem de siltitos lacustres enquanto que os localizados no Véu das Noivas seriam eólicos e correlacionados à Formação Botucatu.

Segundo Motoki et al. (1988) as rochas sedimentares nesta área foram corpos capturados, fragmentados e afundados no magma fonolítico, ou seja, megaxenólitos sedimentares embutidos na rocha fonolítica.

Drenagem e hidrografia

Em linhas gerais, a drenagem na área de estudo (Figura 6) apresenta alta densidade e podem ser destacados três padrões de drenagem, sendo que o principal é do tipo dendrítico a sub-dendrítico. Apresentam ocorrências mais restritas os padrões treliça em falha e anelar. Destacam-se grandes trechos de rios com padrão anelar nas proximidades das bordas do planalto, resultantes do forte controle estrutural determinado pela intrusão alcalina.

O padrão dendrítico pode ser observado no interior do planalto, em áreas de menor declividade. Segundo Silva (op. cit.), o padrão dendrítico é considerado como típico de regiões tectonicamente estáveis. Segundo Winge et al. (2001) é um padrão comum em terrenos sem estruturas importantes que condicionem a erosão dos vales. O padrão

subdendrítico reflete controle estrutural (Silva op. cit.) e ocorre nas proximidades do município de Andradas, na bacia do Rio Moji Guaçu, conforme mostra a Figura 7.

Os rios de primeira e segunda ordem organizados em padrões dendríticos a subdendríticos assemelham-se a candelabros e podem estar associados à ocorrência de variações no nível das nascentes. Isto se torna evidente quando os segmentos de primeira ordem encontram-se associados a porções isoladas de vegetação arbórea (mata de galeria).

O padrão em treliça em falha ocorre na região NNW do planalto, nas proximidades do município de Divinolândia. Indica forte controle estrutural e a ocorrência de vales profundos e encaixados, com pouco material aluvionar. A forte estruturação resulta do controle litológico e tectônico exercido por gnaisses e outros materiais anisotrópicos do embasamento cristalino, com orientação NNE, conforme mostra a Figura 8. Gradualmente em direção à Represa da Graminha, há a mudança para o padrão dendrítico subangular, o que indica ainda certa influência da estrutura.

O padrão de drenagem anelar ocorre em trechos isolados situados predominantemente no interior do maciço alcalino (Figura 9) Muitos são associados às caldeiras vulcânicas de menor porte que se formaram dentro da caldeira principal.

Ressalta-se que na maior parte dos casos, os segmentos de drenagem não apresentam os padrões básicos, mas sim modificados pela ação de eventos tectônicos (falhamentos) que definem o deslocamento de trechos ou seções destes segmentos.

Sinuosidade, angularidade e alinhamentos

Quanto à sinuosidade, predominam elementos com sinuosidade mista, embora a na porção NNW, região em que está inserido o município de Divinolândia - SP, a drenagem apresente segmentos retilíneos fortemente estruturados com direção NNE.

A angularidade predominante varia de média ($60^\circ < x < 90^\circ$) a alta ($x > 90^\circ$), com exceção de alguns trechos localizados na parte externa da borda do planalto, destacando-se região próxima ao município de Andradas – MG, cuja angularidade é baixa.

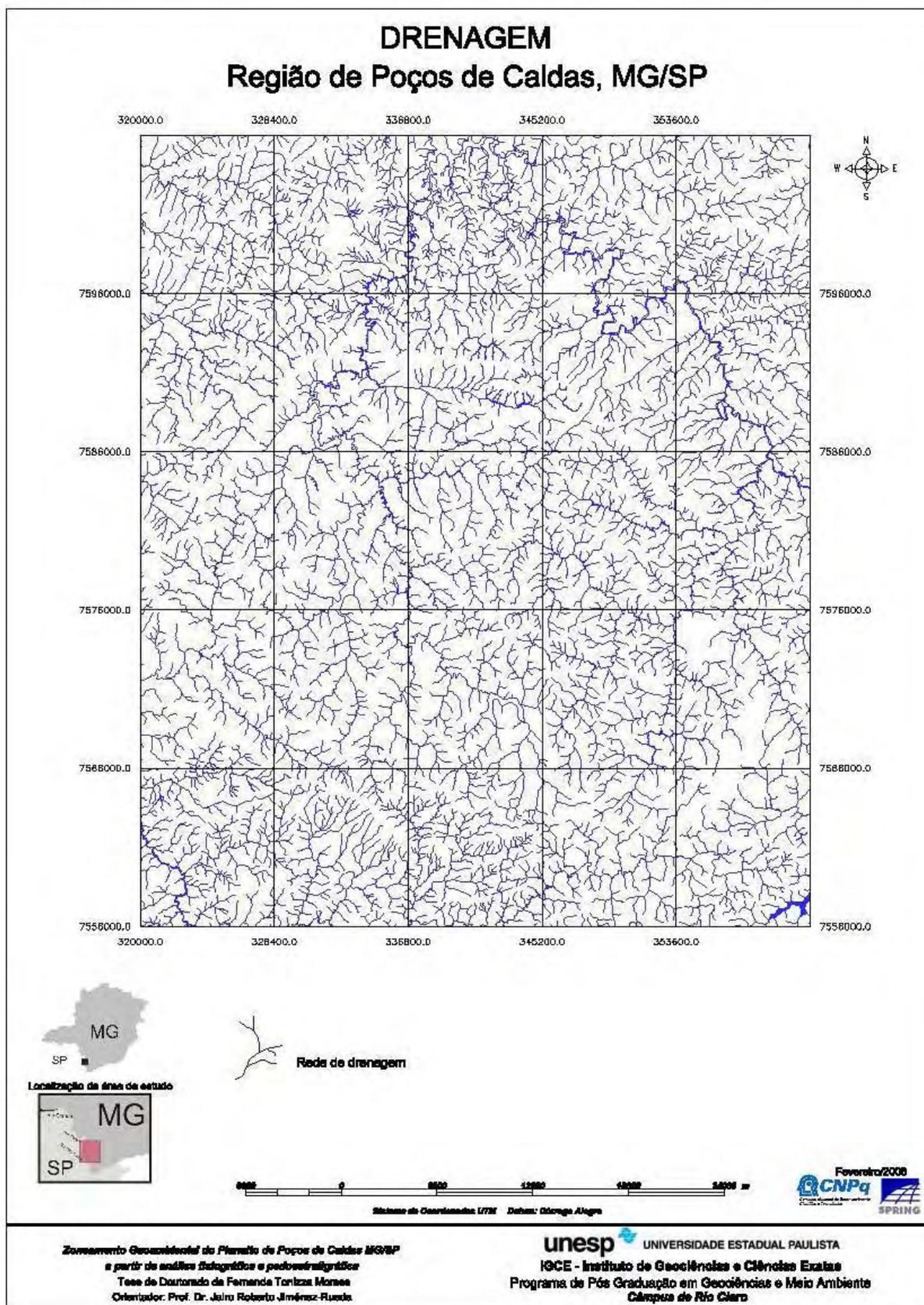


Figura 6. Mapa de drenagem da área de estudo

O sistema de drenagem regional é multidirecional e a assimetria é fraca. Destaca-se a ampla ocorrência de formas anômalas locais e de tendência regional, tais como meandros isolados (por exemplo, no Rio das Antas e no Rio da Prata), segmentos em arco e formação de cotovelos.

Os cotovelos e as capturas de drenagem reforçam a ação tectônica recente atuando na região (SILVA et al., 2006).

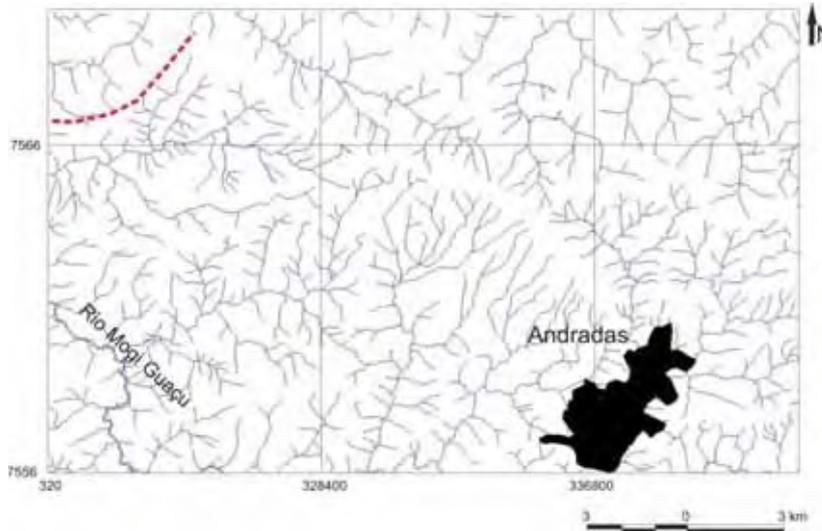


Figura 7. Drenagem com padrão dendrítico na Bacia do Rio Mogi Guaçu. A linha tracejada mostra a transição para um padrão de drenagem anelar.

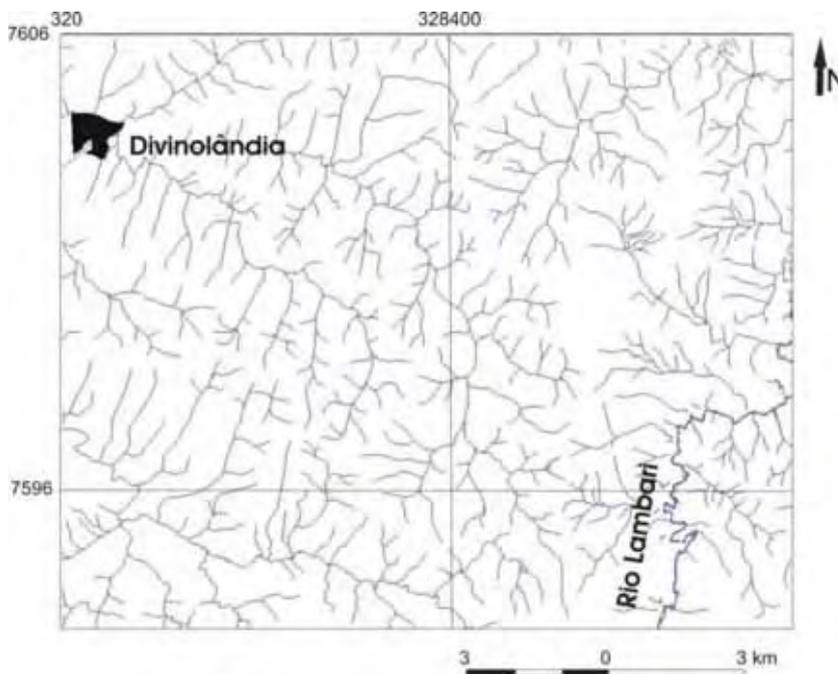


Figura 8. Padrão de drenagem em treliça na região de Divinolândia e a sua transição para o padrão dendrítico conforme se aproxima o Rio Lambari.

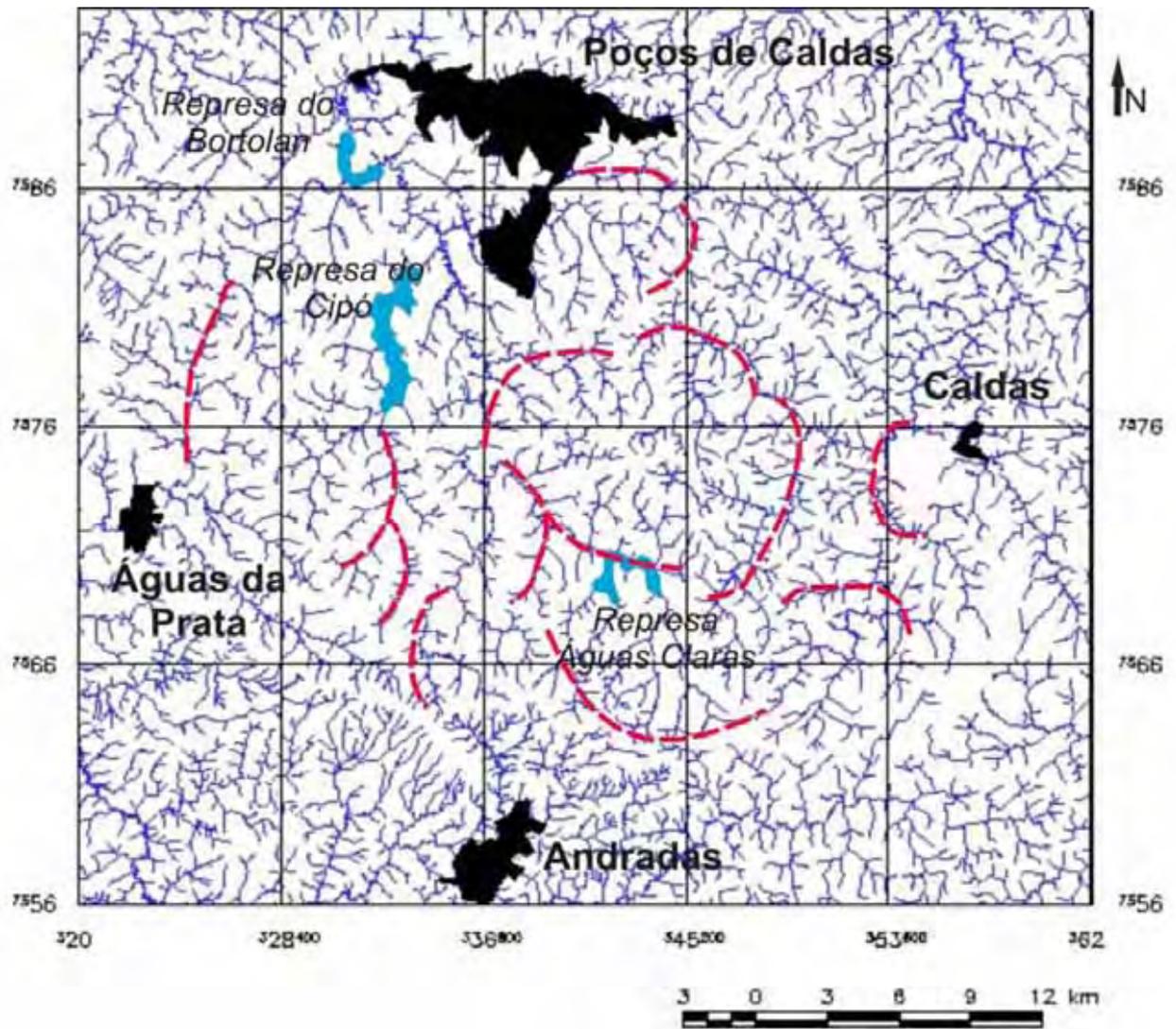


Figura 9. Trechos com drenagem anelar foram destacados na parte central da área de estudo, em que são bastante frequentes.

Geomorfologia

A compartimentação do relevo regional é mostrada na Figura 10. Destaca-se o Planalto Atlântico, no qual se insere o Planalto Sul de Minas, que por sua vez encontra-se dividido em três unidades morfológicas, denominadas de superfície do alto Rio Grande, planalto de São Pedro de Caldas e planalto de Poços de Caldas. A superfície do alto Rio Grande apresenta relevo ondulado com altitudes variando em torno de 900 metros. Em sua porção sudoeste, os terrenos da superfície do alto Rio Grande elevam-se até cotas de 1500m, originando um planalto ligeiramente mais elevado, de relevo bastante movimentado que constitui o planalto de São Pedro de Caldas. Como parte desse conjunto, eleva-se em torno de

Poços de Caldas um anel de cristas que moldura uma zona rebaixada no interior, de cerca de 800km², denominado planalto de Poços de Caldas. Este anel, salientado de 300 a 500m acima do relevo cristalino que o rodeia, concretiza-se em uma chaminé alcalina constituída principalmente de foiaítos e tinguaitos, sendo rebaixado apenas em sua parte sudeste. No centro desse anel desenvolve-se uma topografia de morros de vertentes suaves, cujos desníveis locais raramente ultrapassam 150m. As serras que envolvem o planalto de Poços de Caldas alcançam 1637m no morro do Cristo Redentor, enquanto que o interior se nivela em aproximadamente 1300m (CAVALCANTE et al, 1977).

O Planalto de Poços de Caldas é limitado a SE e ENE por um conjunto de serras de idade pré-cambriana (Serra da Mantiqueira) que constitui uma parte do cinturão Ribeira, de idade proterozóica, em que as altitudes alcançam 2000m. A oeste, o planalto é limitado pela depressão da Bacia do Paraná, com a ocorrência de uma faixa com padrão N-S formado por gnaisses, migmatitos e granitóides de idade pré-cambriana e altitude intermediária, conhecida como a porção norte cristalina do estado de São Paulo (SCHORSCHER e SHEA, 1991). Morfológicamente, o planalto de Poços de Caldas apresenta-se como unidade individualizada, sendo delimitado por um anel quase completo devido à “ascensão do magma nefelítico na periferia do maciço ao longo de fendas circulares” (ELLERT, 1959; CHRISTOFOLETTI, 1973).

A forma do maciço alcalino é ligeiramente elíptica com eixo maior de 35 quilômetros no sentido NE-SW e o menor de 30 quilômetros no sentido NW-SE. O dique anelar é saliente na topografia em três quadrantes: norte, oeste e sul. No quadrante leste, não há expressão morfológica do anel de tinguaito. Ao norte, o ponto mais alto é encontrado na serra de Poços com 1624m. Para o interior do planalto, do cimo desta serra até o centro da cidade de Poços de Caldas, numa distância de 1,5km, há desnível altimétrico de 430m. Para o exterior do dique, há desnível de 150-200m em relação aos afloramentos de chibinitos (área da Pedra Balão) e de 500-600m em relação aos afloramentos de gnaisses, formando faixa deprimida entre dois blocos foiaíticos (CHRISTOFOLETTI, 1973).

O planalto forma um conjunto morfoestrutural perfeitamente caracterizado (CHRISTOFOLETTI, 1973) se comparado às unidades e subunidades morfoestruturais adjacentes (SCHORSCHER e SHEA, 1991).

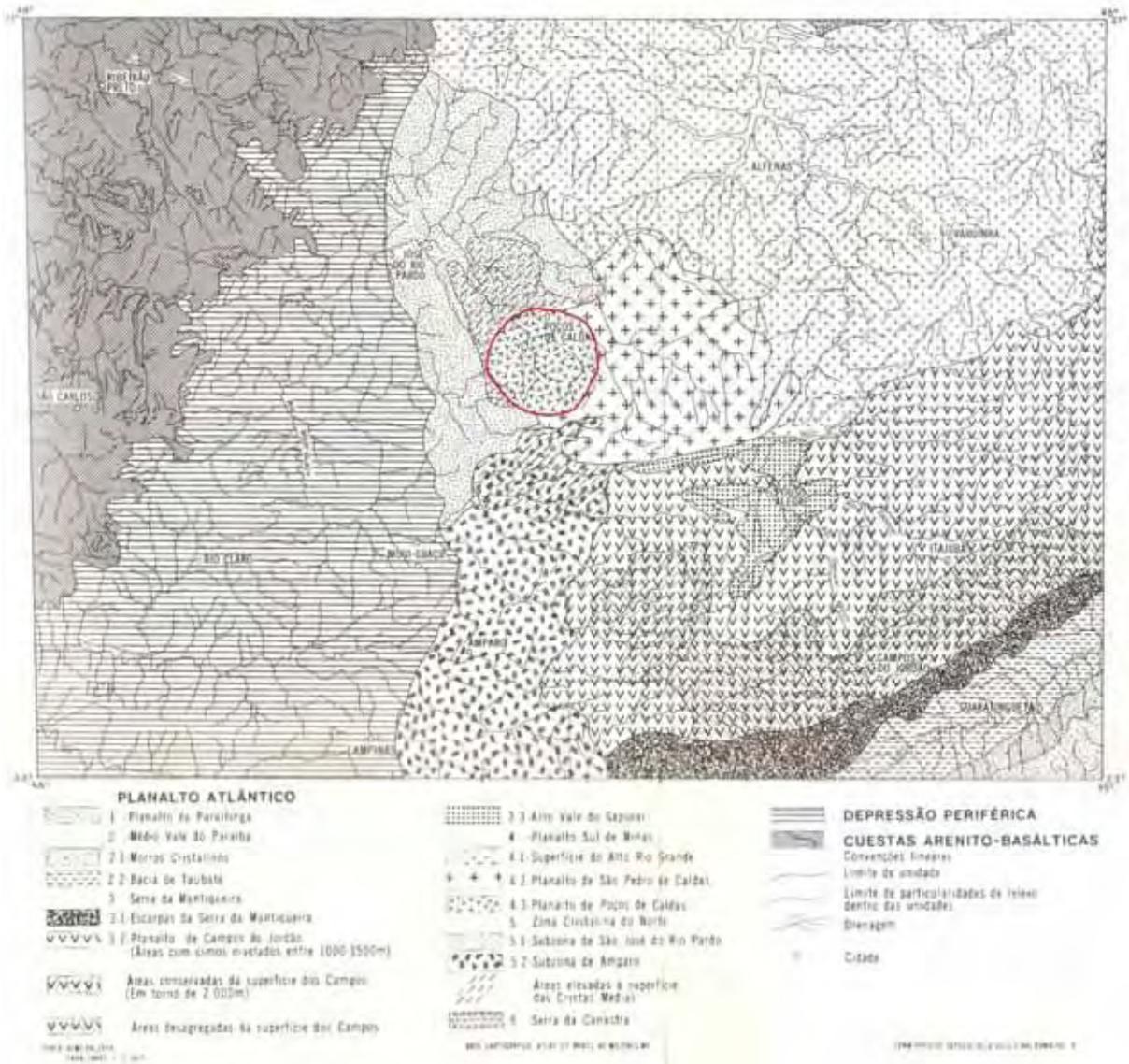


Figura 10: Mapa geomorfológico da região do Projeto Sapucaí. Sem escala. Fonte: Cavalcante et al. (1977).

Pedologia

Segundo EMBRAPA (2004), na porção mineira da área de estudo predominam os Cambissolos háplicos distróficos (CXd). A norte e oeste ocorrem respectivamente Argissolos vermelho amarelos distróficos (PVAd) e Latossolos vermelhos distróficos (LVd) (Figura 11). Na parte paulista, segundo Cavalcanti et al. (1979), há o predomínio de argissolos (podzólico) vermelho-amarelo orto e argissolos com cascalho (Figura 12).



Figura 11: detalhe do mapa de solos da porção mineira da área de estudo. Fonte: EMBRAPA (2004).

Segundo EMBRAPA (2006):

- Cambissolos são constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico com 40cm ou mais de espessura, ou horizonte A chernozêmico, quando o B incipiente apresentar argila de alta atividade e saturação por bases alta. Cambissolos háplicos não apresentam horizonte A húmico e não podem apresentar caráter flúvico dentro de 120cm a partir da superfície do solo. O caráter distrófico relaciona-se a baixa saturação por bases ($V < 50\%$).

- Argissolos são constituídos por material mineral, com a presença de horizonte B textural de argila. Grande parte destes solos apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes.

- A Ordem Latossolos compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico, exceto o hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas modificações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, apresentando baixa capacidade de troca catiônica.

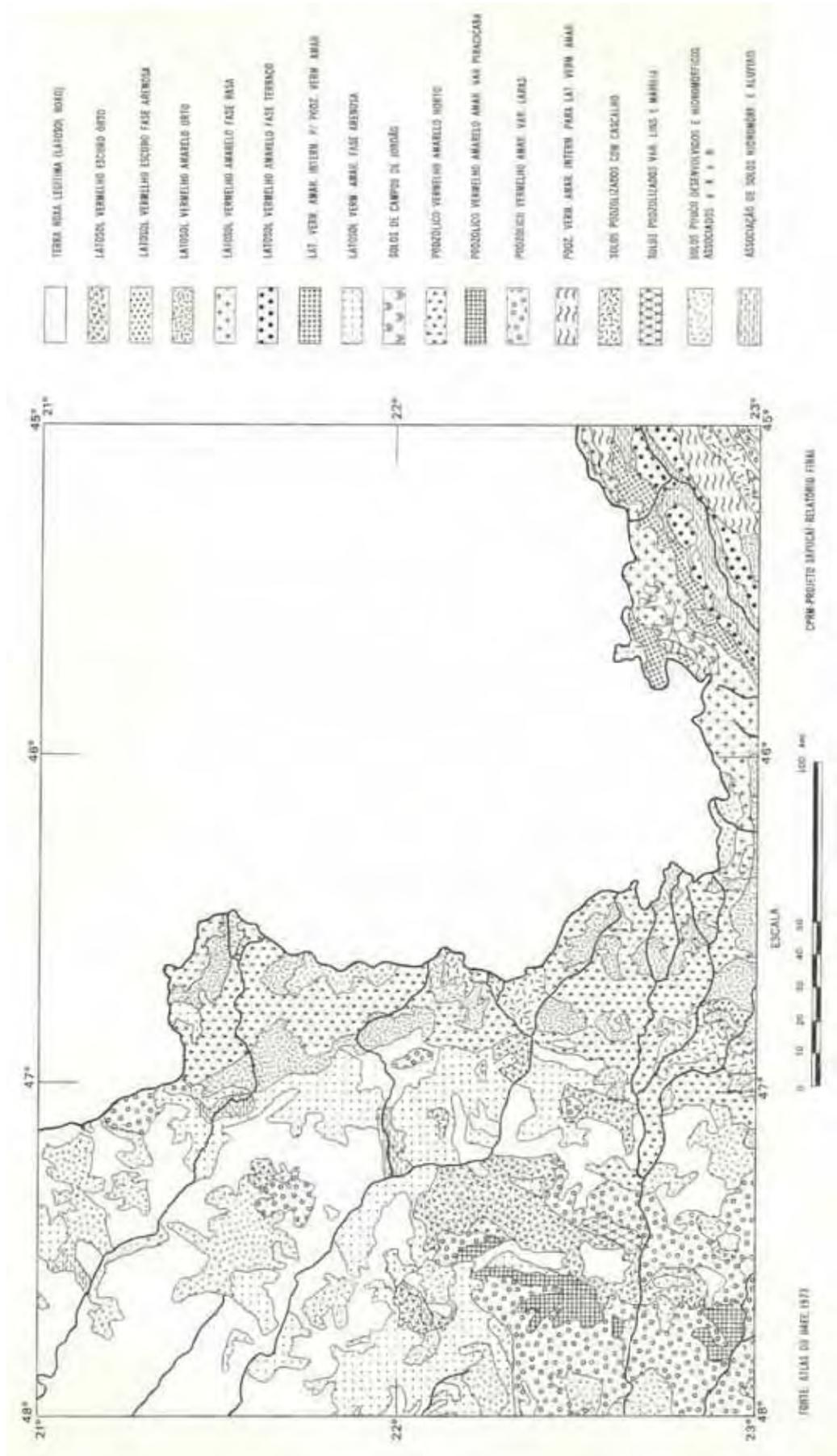


Figura 12: Solos da área do Projeto Sapucaí. Note-se que na época não haviam dados disponíveis sobre os solos do Estado de Minas Gerais. Fonte: Cavalcante et al. (1977).

4. Metodologia de trabalho

Levantamento bibliográfico

Inicialmente, foram feitas pesquisas e levantamentos de informações bibliográficas e cartográficas já existentes sobre a área de estudo. Neste aspecto, a escolha da região de Poços de Caldas para o desenvolvimento do trabalho foi muito oportuna, uma vez que há muito material bibliográfico e cartográfico disponível. O material cartográfico utilizado está listado na Tabela 3.

Em alguns casos, foi necessário ajustar as escalas dos materiais já existentes às necessidades do trabalho. A drenagem, por exemplo, foi obtida e ajustada através de cartas topográficas com escala 1: 50.000. O ajuste da drenagem consistiu na extração de drenos de primeira ordem definidos pelas curvas de nível, aumentando seu detalhamento. As cartas topográficas com a drenagem foram integradas através do aplicativo AutoCad 2002 para posteriormente serem incorporadas no banco de dados georreferenciado.

Procedimentos de geoprocessamento e criação do banco de dados

Para o ajuste ou a elaboração de documentos de suporte técnico, tais como documentos cartográficos, foram utilizadas imagens de satélite LANDSAT 5 TM (órbita 219, ponto 75; data de passagem: 03 de maio de 2004, bandas disponíveis de 1 a 7) para a confecção de composições coloridas que se adequassem à melhor visualização dos alvos. Na época da aquisição das imagens (2004), não eram disponíveis imagens obtidas pelo Landsat 7 ou CBERS.

Todas as operações para constituição do banco de dados, bem como as análises das imagens para elaboração das cartas temáticas foram realizadas através do aplicativo SPRING 4.3.3 (INPE, 2006) e versões anteriores, a elaboração final das cartas através do SCARTA. O ajuste das demais figuras foi executado através do aplicativo Corel Draw X3.

Para que integrassem o banco de dados, as imagens foram registradas (georreferenciadas) com a utilização das cartas topográficas digitalizadas do IBGE (Tabela 3) na escala 1:50.000. Após o registro, executou-se o processamento das imagens a partir das opções de contraste fornecidas pelo aplicativo Spring. O contraste linear foi utilizado como padrão e algumas bandas foram submetidas a outros processamentos, como a equalização do

histograma e raiz quadrada. A banda 5 foi mais utilizada para as análises por exibir com maior qualidade as feições geológicas superficiais.

Tabela 3: Bases cartográficas integradas ao banco de dados

Mapas integrados ao banco de dados

Mapa de drenagem do município de Poços de Caldas, escala 1:10.000, formato digital (DMAE, 1997).

Mapa geológico do planalto de Poços de Caldas (ELLERT, 1959).

Mapa geológico do Planalto de Poços de Caldas (INB, 1975).

Carta do Brasil. POÇOS DE CALDAS. Escala 1:50.000. Folha SF-23-V-C-VI-4 (IBGE, 1972).

Carta do Brasil. CALDAS. Escala 1:50.000. Folha SF-23-V-D-IV-3 (IBGE, 1972).

Carta do Brasil. CACONDE. Escala 1:50.000. Folha SF-23-V-C-VI-2 (IBGE, 1972).

Carta do Brasil. BOTELHOS. Escala 1:50.000. Folha SF-23-V-D-IV-1 (IBGE, 1972).

Carta do Brasil. SANTA RITA DE CALDAS. Escala 1:50.000. Folha SF-23-Y-B-I-1 (IBGE, 1972)

Carta do Brasil. PINHAL. Escala 1:50.000. Folha SF-23-Y-A-III-2 (IBGE, 1972).

Após o geoprocessamento das imagens orbitais, buscou-se a elaboração de cartas temáticas para apresentação na escala de 1:200.000 (para impressão em A3) e 1:300.000 (para impressão em A4), embora durante a análise as imagens tenham sido analisadas mediante escalas variáveis, sendo a escala mais utilizada próxima a 1:100.000, chegando ao nível de maior detalhe, a 1:50.000.

As imagens obtidas foram avaliadas segundo uma metodologia composta por três etapas (modificada de GOOSEN (1968), RICCI e PETRI (1965), SOARES e FIORI (1976), VENEZIANI e ANJOS (1982)):

1. reconhecimento e identificação dos elementos da imagem com os objetos e sua repartição - FOTOLEITURA;

2. análise das relações entre as imagens associando e ordenando as partes das imagens - FOTOANÁLISE,

3. descoberta e avaliação do significado e função dos objetos e suas relações por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado (função e relação dos objetos correspondentes às imagens) – FOTOINTERPRETAÇÃO.

As cartas digitais já existentes foram ajustadas e incorporadas ao banco de dados, tais como drenagem, topografia e litologia. Estas cartas foram georreferenciadas com a aquisição dos pontos pelo teclado.

O banco de dados foi gerado no ambiente do aplicativo SPRING (INPE, 2006). Neste banco de dados foram confeccionados e/ou ajustados os mapas conforme a necessidade da análise. A confecção deste material demandou a utilização dos aplicativos:

- Auto Cad 2002 – para georreferenciamento, digitalização, adequação e criação de mapas em meio digital.
- Pacote Spring 4.3 e versões posteriores – análise de imagens orbitais para confecção e/ou adequação de mapas. Criação de um banco de dados para integração das informações. Através do Scarta, elaboração e apresentação de mapas produzidos para impressão.
- Corel Draw X3 – arte final das figuras apresentadas.
- Global Mapper 6 – elaboração de perfis topográficos e visualização em 3D, como auxílio na definição da fisiografia.

Metodologia para análise da drenagem

A análise dos segmentos anelares de drenagem é fundamental para a análise morfoestrutural, tendo sido necessário o estudo detalhado da rede de drenagem, através da análise das curvas de nível no aplicativo AutoCad. A Figura 13 fornece uma representação de como foi feito o ajuste da drenagem às curvas de nível, para que se obtivesse uma mapa com a rede de drenagem completa.

Após ser completada a drenagem, esta foi sobreposta às imagens LANDSAT no banco de dados do aplicativo Spring para eventuais ajustes.

Avaliaram-se os padrões de drenagem ocorrentes na área segundo os critérios propostos por Howard (1967) modificado por Silva (1997).

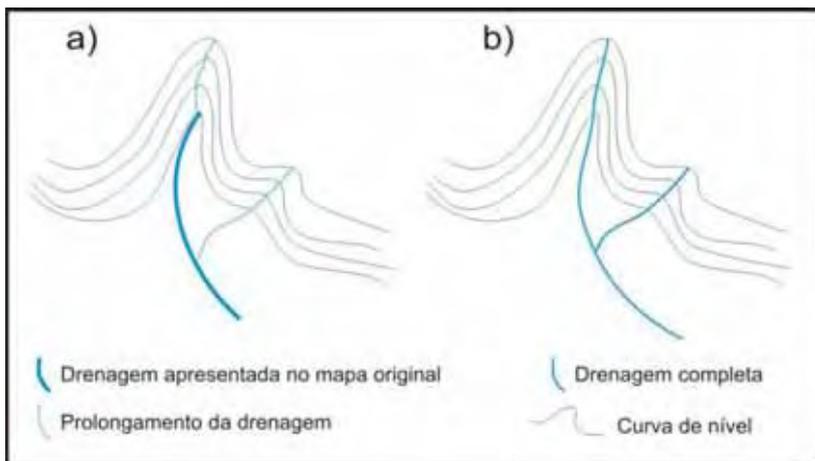


Figura 13. Esquema apresenta como foi completada a rede de drenagem.

Procedimentos para análise geológica

Análise morfoestrutural e morfotectônica

A Figura 14 apresenta um esquema com os padrões de assimetria-simetria das bacias hidrográficas e das feições de drenagem anelares e radiais, que muitas vezes encontram-se truncados ou recortados devido a ocorrência de lineamentos e falhas. Estes padrões devem ser localizados e destacados nas imagens com o auxílio do mapa de drenagem detalhado.

Para facilitar o reconhecimento destes padrões, um primeiro passo é destacar segmentos de drenagem de maior ordem com padrão circular, atentando-se que nem sempre esta estrutura se encontrará inteiramente preservada, podendo estar truncada por falhamentos mais recentes (MATTOS et al., 1982; MORAES e JIMÉNEZ-RUEDA, 2005a).

Posteriormente, passa-se à análise dos segmentos de menor ordem, ou efluentes destes segmentos com padrão circular. Nesta análise deve comparar a média dos comprimentos dos segmentos internos ou externos à estrutura, conforme a Figura 14. Quando os segmentos internos são maiores e mais ramificados, tem-se um alto estrutural. Caso os segmentos externos sejam maiores, tem-se um baixo estrutural.

No esquema apresentado pela Figura 14, na linha A, tem-se a estrutura completa. Em B, há a ausência de um segmento de drenagem, porém, mantêm-se os aspectos indicadores da estrutura. Em C a estrutura radial foi truncada por algum falhamento e apresenta-se deformada. De A para C, diminui a certeza de se tratar de alto ou baixo estrutural, nestes casos as análises fisiográficas e pedológicas servirão para confirmar a classificação sugerida.

Traços de juntas

Definiram-se como traços de juntas ou fraturas os segmentos homogêneos com extensão aproximada de 300 metros. As fraturas foram traçadas a partir da banda 5, alternando-se a visualização desta imagem com contraste linear ou equalizado, exibida em modo monocromático ou em composições coloridas. Nestes casos, utilizou-se esta banda no vermelho, para realçar este tipo de estrutura. Após traçar as fraturas, realizou-se a análise da direção dos lineamentos através da frequência absoluta para a geração da roseta.

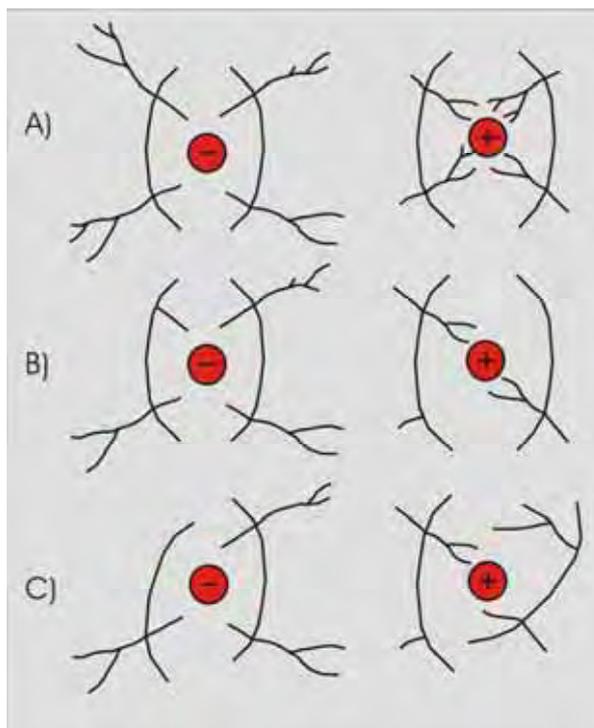


Figura 14. Esquema representando os padrões de drenagem associados a baixos e altos estruturais, indicados respectivamente pelos sinais - e +.

Lineamentos

Foram considerados lineamentos estruturais os segmentos devidamente alinhados e retilíneos maiores do que 600 metros. Os procedimentos para o traçado foram os mesmos utilizados para os traços de juntas.

Análise fisiográfica

A análise fisiográfica da área de estudo iniciou-se com um levantamento bibliográfico sobre a compartimentação do relevo regional e a busca por um sistema de classificação hierárquico que atendesse às peculiaridades da área de estudo. Optou-se por tomar como base

os trabalhos desenvolvidos por Goosen (1971), Villota (2005), Barbosa et al. (2005) que utilizaram a metodologia de análise fisiográfica para o levantamento de solos proposta pelo CIAF (Centro Interamericano de Fotointerpretación) e apresentada pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) (GOOSEN, 1968).

O sistema hierárquico adotado compreende: PROVÍNCIA FISIAGRÁFICA, REGIÃO FISIAGRÁFICA, SUB-REGIÃO FISIAGRÁFICA, PAISAGEM e UNIDADE FISIAGRÁFICA, cujas definições são apresentadas e discutidas nos resultados.

A definição da província fisiográfica seguiu a classificação de províncias geoestruturais (ALMEIDA et al., 1981; SAADI et al., 2005). A delimitação das regiões fisiográficas deu-se a partir das diferenças no tipo de embasamento litológico na área de estudo.

Para destacar os principais tipos de cobertura vegetal e definir as subregiões, desenvolveu-se a classificação supervisionada de composições coloridas de imagens LANDSAT 5 TM no pacote do aplicativo SPRING (INPE, 2006). Considerou-se a divisão dos tipos de cobertura vegetal em três categorias:

- **Floresta:** caracterizada pela predominância de indivíduos arbóreos adultos e dossel fechado, com composição de espécies indefinida, ou seja, enquadram-se nesta categoria tanto as formações vegetais com espécies nativas quanto os plantios comerciais de espécies exóticas como eucaliptos e pinus. Também se enquadram nesta categoria os cafezais.
- **Capoeira:** denominação local dada às áreas que possuem cobertura vegetal intermediária entre campos e florestas, ou seja, possuem o solo coberto por vegetação herbácea (gramíneas predominantemente) e indivíduos de porte arbustivo a arbóreo que não formam um dossel completamente fechado. Enquadram-se nesta categoria as áreas em estágio de sucessão intermediário, conhecidas popularmente por “campos sujos”, uma alusão às formações típicas de Cerrados pela sua semelhança.
- **Campos:** Nesta categoria enquadram-se as áreas com vegetação rasteira, predominantemente herbácea. Incluindo-se campos de altitude nativos, pastagens e terrenos limpos para loteamentos. Nestas áreas é comum a ocorrência de queimadas para controle do “mato” e indução da rebrota para a alimentação de bois e de cavalos.

Após a classificação supervisionada, por meio do aplicativo SPRING executou-se o cálculo da área (km²) ocupada por cada categoria.

Para proceder à análise altimétrica, utilizou-se o aplicativo Global Mapper (2005) para gerar as curvas de nível equidistantes de 20m. As imagens para esta análise foram fornecidas

pelo projeto Brasil em Relevo da Embrapa (MIRANDA, 2005). Estas curvas foram salvas em formato shape e importadas pelo aplicativo SPRING para a confecção da grade regular e fatiamento com passo de 100 metros.

Os perfis topográficos sentido N-S e W-E, bem como a imagem tridimensional foram gerados a partir das mesmas imagens da Embrapa pelo aplicativo Global Mapper (2005).

Com as curvas de nível, gerou-se uma grade de declividade e procedeu-se ao fatiamento de declividade que deu origem ao mapa apresentado, utilizando-se os limites das classes sugeridas por Castro (1965) e Resende et al. (2005).

A dissecação foi avaliada através de critérios de fotointerpretação e com o auxílio do mapa de fraturas. Foram estabelecidas três classes de dissecação: 1 - levemente dissecado, 2 – moderadamente dissecado, 3 – fortemente dissecado. A Figura 15 demonstra as diferenças na intensidade de fraturas para o estabelecimento destas classes.

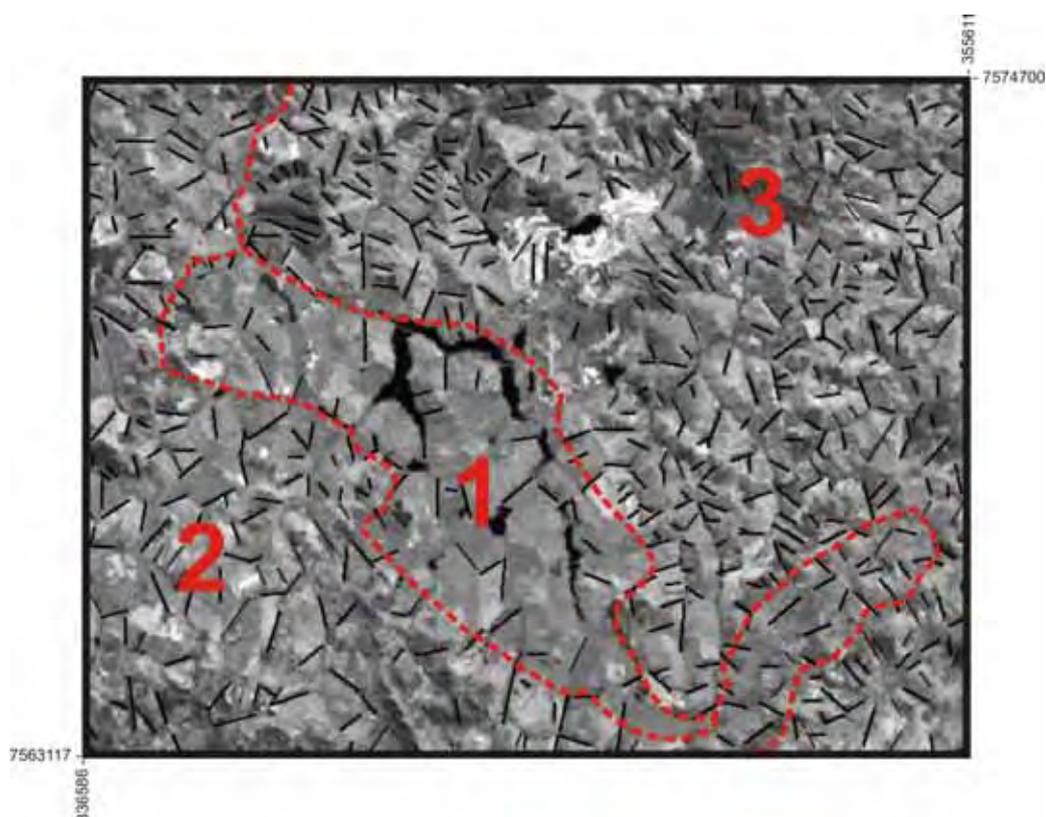


Figura 15: Intensidade de fraturas define diferentes níveis de dissecação do terreno: 1 – levemente dissecado; 2 – moderadamente dissecado e 3 – fortemente dissecado.

Tendo os mapas altimétrico, de declividade e de fraturas como base, passou-se à classificação das paisagens através da fotointerpretação de imagens LANDSAT 5 TM, buscando-se delimitar as diferentes paisagens através de padrões de cor e textura, em um

processo de clássico de fotointerpretação (RICCI e PETRI, 1965). Os parâmetros avaliados foram as diferentes texturas, variações nos arranjos do relevo, tipos litológicos, densidade e sinuosidade dos elementos de drenagem, densidade e a orientação de fraturas, intensidade de lineamentos estruturais e demais atributos físicos que permitiram efetuar a compartimentação do terreno. Cada compartimento delimitado foi então, avaliado em maior detalhe para que se estabelecesse o processo de origem daquela paisagem, sendo que na área de estudo foram verificadas as paisagens de origem planáltica e aluvial.

Os planaltos foram classificados em função da altimetria (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) e da dissecação do terreno. Associados às paisagens planálticas, foram destacados os taludes e sua morfologia (retilíneos, côncavos, convexos e mistos), além de leques coalescentes. Foram destacadas também a ocorrência de morfologias bem definidas como colinas em forma de meia-laranja ou alongadas associadas aos planaltos.

Nas paisagens aluviais, destacaram-se as planícies de inundação atual e subatual. A planície de inundação atual pode ser delimitada em função da presença do terraço fluvial e dique marginal ativos, já as planícies de inundação subatuais foram delimitadas pela presença de lagoas marginais temporárias associadas a paleocanais abandonados, terraços fluviais e diques escalonados e abandonados. Estes elementos de paisagem foram reconhecíveis à escala de fotointerpretação (de 1:50.000 a 1:100.000) e no campo, porém não foi possível representá-los na escala de apresentação (1:200.000 a 1:300.000). A comprovação da ocorrência de um sistema de paleodrenagem que justificasse uma planície de inundação subatual foi feita através da análise pedoestratigráfica, conforme será discutido adiante. A terminologia subatual segue o estabelecido por Barbosa et al. (2005).

Eventuais dúvidas sobre a morfologia e os limites das paisagens eram sanadas por consultas ao aplicativo Google Earth (2007).

Análise pedoestratigráfica

Os solos compreendidos como coberturas de alteração intempérica (CAI), volumes de alteração intempérica (VAI) e unidades de alteração intempérica (UAI) foram avaliados com base na bibliografia e nos levantamentos de campo. Buscou-se através deste procedimento definir de forma preliminar os principais processos pedogênicos que atuam ou atuaram na área de estudo, permitindo uma análise geral e o reconhecimento das principais associações de solos possíveis na região.

Para o mapeamento das unidades pedoestratigráficas, utilizou-se a compartimentação do terreno obtida pela análise fisiográfica discutida anteriormente. Cada unidade fisiográfica foi visitada e teve perfis de solo avaliados, relacionando-se sempre as seqüências de solos encontradas aos processos formadores da paisagem – integrando-se desta forma, a análise fisiográfica à pedoestratigráfica. Considerando-se que cada unidade de paisagem é o resultado dos diferentes processos envolvidos na gênese do terreno e que os solos comportam-se como registros destes processos (GOOSEN, 1968), resulta que cada unidade de paisagem apresenta uma associação de solos (e uma seqüência pedoestratigráfica) típica.

Os perfis selecionados foram descritos segundo o “Manual técnico de pedologia” (IBGE, 2005). O enquadramento dos materiais superficiais no primeiro nível categórico (ordem) e do caráter daqueles materiais subjacentes foram feitos segundo os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006).

A localização dos perfis avaliados e o resumo da descrição de alguns destes perfis encontram-se no Anexo 1.

Para a caracterização das seqüências de solos/horizontes diagnósticos em cada perfil foi necessário atribuir especial atenção à origem do material, se autóctone ou alóctone. Como na literatura não há uma nomenclatura específica para diferenciar estes casos, adotou-se os termos **saprolítico** ou **regolítico**, respectivamente para materiais autóctones ou alóctones/discordantes.

Consideraram-se como saprolíticos os materiais residuais alterados *in situ* a partir da rocha matriz do embasamento. A definição do termo saprolítico deriva de saprolito ou saprólito, sendo definido como um solo originado da alteração *in situ* de uma rocha. Segundo Winge et al. (2001) é uma rocha original alterada na dependência do clima.

Segundo Marcos (1982), entende-se como regolito (do grego *rhego* = coberta), a camada superficial que recobre a rocha consolidada e que resulta da ação dos processos de intemperismo sobre a rocha, podendo ser residual ou *transportado*. O fato de o termo regolito poder se associar a materiais transportados foi a justificativa para considerar os materiais discordantes/alóctones como regolíticos. É importante destacar que os volumes regolíticos encontram-se saprolitizados de acordo com as condições pedogênicas que caracterizam sua localização atual. Definir os volumes discordantes como regolíticos é importante para que se perceba a evolução da paisagem e a ocorrência de processos erosivos e deposicionais intensos no passado.

Nos levantamentos de campo, os solos foram considerados saprolíticos nos casos em que não foram registradas no perfil alterações bruscas nas condições do ambiente pedogênico,

comprovadamente sem a atuação de remoção ou deposição de partículas alóctones (ausência de truncamento ou soterramento de horizontes).

Consideraram-se como regolíticos os solos formados a partir de materiais discordantes (principalmente alóctones) que apresentavam evidências durante a análise do perfil de solo, de que não haviam sido desenvolvidos a partir da própria rocha do embasamento. Como evidência de origem alóctone foi considerada a ruptura no processo pedogênico, evidenciada pela presença de cascalho e/ou concreções discordantes no perfil do solo, bem como por mudanças abruptas na cor, estrutura e composição do material.

Concreções segundo Tardy et al. (1993) correspondem a ferricretes, calcretes e silcretes formados pela cimentação (do latim *con-crescere*: cimentar ou crescer junto), sendo que em alguns casos podem exibir uma estrutura concêntrica. Segundo o SiBCS, horizonte **concrecionário** é aquele constituído de 50% ou mais, por volume, de material grosseiro com predomínio de petroplintita, do tipo nódulos ou concreções de ferro ou de ferro e alumínio, numa matriz terrosa de textura variada ou matriz de material grosseiro. Neste estudo foram considerados concrecionários os materiais com mais de 10% de concreções em volume. Eram anotadas a presença de películas de argila e/ou de óxido de ferro ou alumínio recobrimo-as.

A denominação regolítico é considerada uma subordem do Neossolos - “Neossolos regolíticos” pelo SiBCS (EMBRAPA, 2006). Este termo foi utilizado neste trabalho não somente para os Neossolos, mas também para solos classificados em outras ordens.

No campo também foram anotadas as presenças de lateritas, plintitos ou outros indícios de intensa laterização, bem como a localização do perfil em relação à topografia (OLLIER e PAIN, 1996). A ocorrência de raízes fósseis e de horizontes orgânicos enterrados (Ab) recebeu atenção especial, pois segundo Retallack (2001) estes elementos indicam a existência de paleossolos que se encontram recobertos por materiais mais jovens.

O método para proceder à classificação pedoestratigráfica em campo está representado pela Figura 16.

Para a caracterização da pedoestratigrafia da área de estudo, estabeleceu-se a distinção das seqüências modais de solos em *seqüências regolíticas* ou *seqüências saprolíticas*.

Definiu-se uma *seqüência saprolítica* como caracterizada por material saprolítico desenvolvido a partir do próprio substrato litológico em toda a extensão do perfil, sendo estas condições predominantes em toda a unidade fisiográfica.

Enquanto que as *seqüências regolíticas* são constituídas a partir de materiais regolíticos (coluvionares, aluvionares, marinhos, eólicos, etc.) que podem estar mais ou

menos saprolitizados de acordo com seu ambiente de pedogênese, podendo também sofrer resaprolitização em seu novo sítio de deposição.

Para a elaboração do mapa pedoestratigráfico, foram criados blocos (formato bitmap) representando os volumes de alteração intempérica (VAI's) existentes. A cor dos blocos representando cada um dos VAI's segue o padrão do SiBCS (EMBRAPA, 2006). Cada unidade fisiográfica foi colorida com a cor que representa a cobertura superficial de maior expressão.

Os volumes subsuperficiais foram representados por blocos hachurados na cor correspondente ao processo pedogênico. Por exemplo, volumes Bt que representam a argilização/argiluviação associada à formação de Argissolos foram representados por blocos coloridos em laranja. Quando este material encontrava-se soterrado, foi representado por um bloco laranja hachurado. Na existência de um volume B gleico na base deste perfil, um bloco de cor lilás também hachurado foi colocado abaixo do bloco laranja, como apresenta a Figura 17.

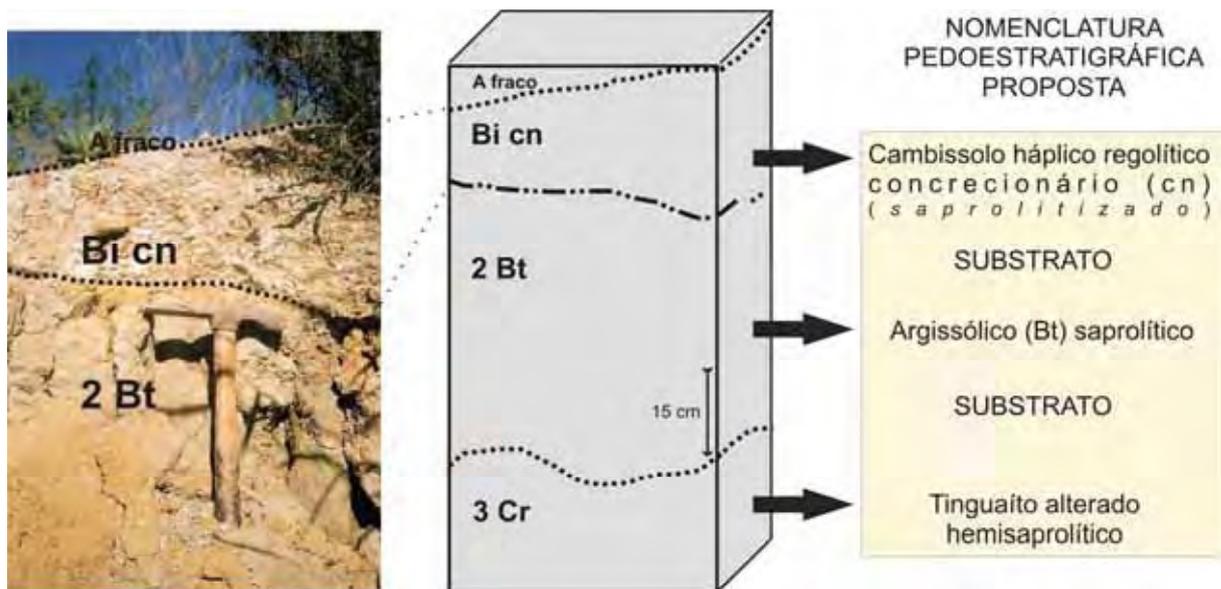


Figura 16: Classificação pedoestratigráfica do perfil. O perfil (foto) foi analisado segundo os critérios clássicos de pedologia, dando origem ao perfil esquemático (em cinza). Cada camada de solo recebeu uma classificação adaptada do Sistema Brasileiro de Classificação de solos. A palavra “substrato” confere a relação correta entre materiais superiores e inferiores, estabelecendo a sequência pedoestratigráfica. O perfil localiza-se no ponto 24 do Anexo 1.

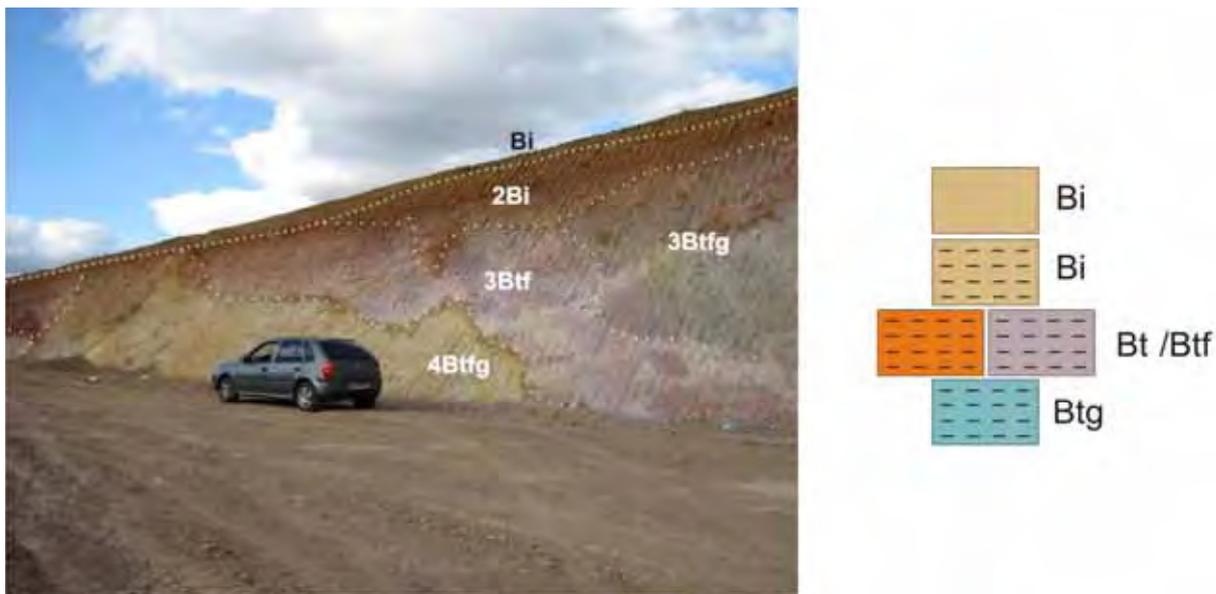


Figura 17: Perfil amostrado e sua representação na forma de diagramas. Os blocos hachurados correspondem aos materiais subsuperficiais. Classificado como Cambissolo háptico regolítico substrato cambissólico saporolítico substrato argissólico gleico substrato gleico.

Outras representações utilizadas no mapa foram as siglas Ns, Cs e As, indicando Neossolos, Cambissolos e Argissolos saporolíticos, derivados da própria rocha do embasamento. As siglas estão posicionadas próximo às áreas onde estes volumes foram avaliados.

Este modelo de representação foi adaptado de Jiménez-Rueda et al. (1998) e Wysocki et al. (2005).

Delimitação das zonas e subzonas geoambientais

As zonas geoambientais foram delimitadas com base nas características dos volumes de alteração intempérica superficiais que compõem as seqüências pedoestratigráficas típicas de cada unidade fisiográfica associadas aos tipos litológicos. As subzonas geoambientais foram caracterizadas pela associação entre morfoestrutura e morfometria (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993).

A lógica para o estabelecimento das zonas geoambientais (apresentada de forma esquemática na Figura 18) pode ser resumida da seguinte forma: a partir da fotointerpretação e integração de informações do banco de dados digital, tem-se a divisão da área de estudo em unidades fisiográficas. Cada unidade fisiográfica apresenta uma associação pedoestratigráfica

típica, estabelecida sobre uma litologia basal variável. A delimitação das associações pedoestratigráficas e sua litologia subjacente define as zonas geoambientais.

Para definir as subzonas, sobrepôs-se os mapas morfoestrutural e altimétrico ao mapa de zonas geoambientais. As subzonas foram delimitadas de acordo com a sua situação morfoestrutural e topográfica - alto ou baixo estrutural, alto ou baixo topográfico (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993). Esta metodologia foi desenvolvida a partir dos trabalhos de Jiménez-Rueda et al. (1989, 1993, 1998); Ohara et al. (1995, 2003) e Oliveira et al. (1989).

Para facilitar a leitura das aptidões ao uso da terra, cada zona recebeu uma classificação numérica adaptada de Lepsch (2002).

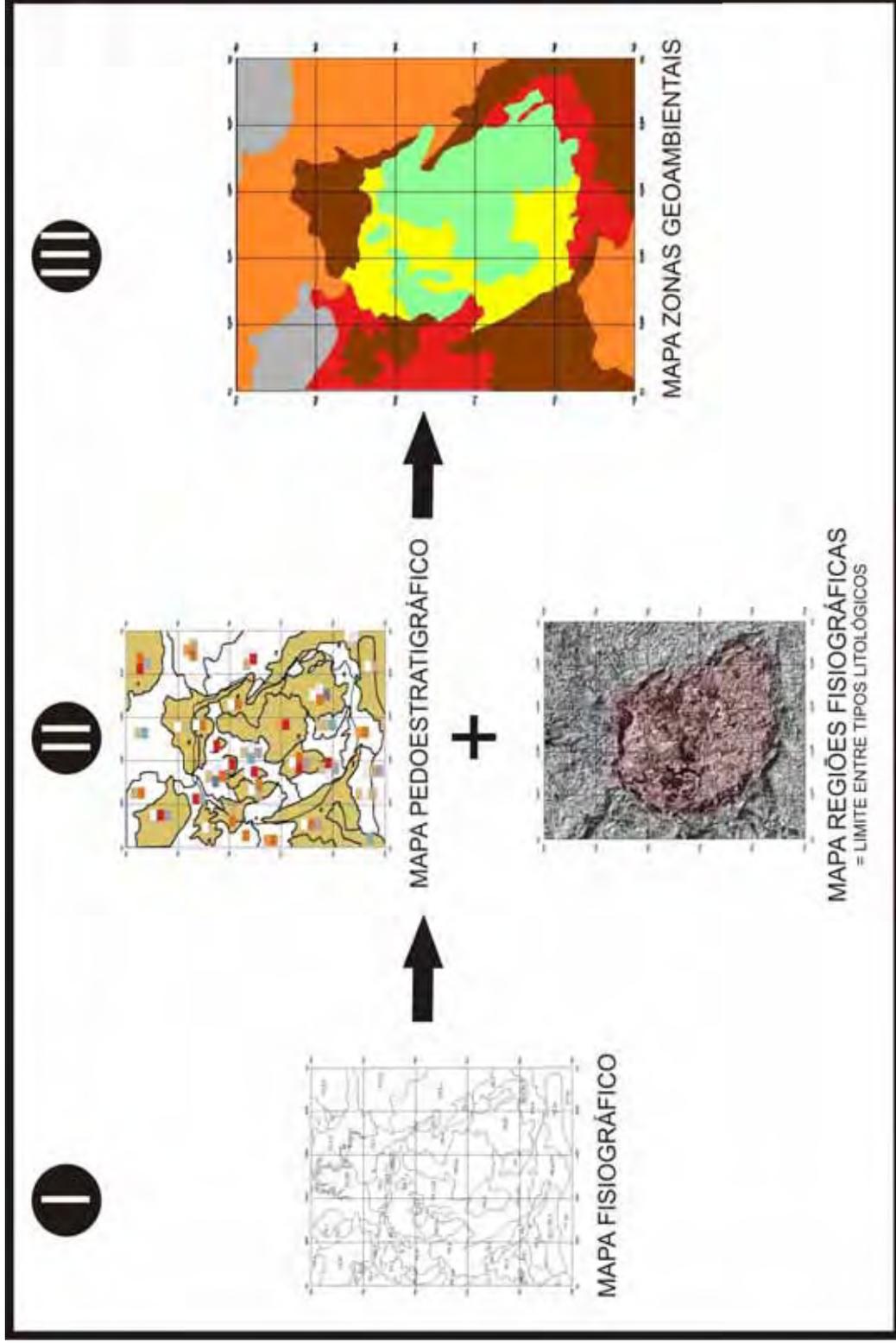


Figura 18: Resumo da metodologia para estabelecimento das zonas geoambientais. A partir do mapa fisiográfico, pode-se estabelecer o mapa pedostratigráfico. Este, somado aos limites entre tipos litológicos apresentados no mapa de regiões fisiográficas, permitem a delimitação e a caracterização das zonas geoambientais.

5. Resultados e discussões

Análise morfoestrutural e morfotectônica

A ocorrência da intrusão alcalina e seu posterior abatimento conforme proposto por Ellert (1959) definiu a instalação de antiformes e sinformes de menor extensão no interior e nas adjacências da cratera. Posteriormente, houve a ocorrência e/ou reativação de falhamentos gerando pequenos *horsts* e *grabens* funcionais pelo soerguimento/abatimento de blocos instalados muitas vezes em altos ou baixos estruturais maiores. Estes são os principais eventos que definem o arranjo morfoestrutural da área de estudo. Os blocos que foram elevados e rebaixados na parte interna do planalto comportam-se como altos e baixos estruturais de menor extensão, que associados ao relevo determinam fisiografias variadas.

Através da Figura 19, é possível verificar a localização dos altos e baixos estruturais na área de estudo. Cabe destacar que a grande ocorrência de lineamentos estruturais representou dificuldade no traçado dos antiformes e sinformes, pois estes se encontram, em grande parte, truncados e deslocados.

Altos e baixos estruturais apresentam comportamentos distintos quanto às reações intempéricas e processos geoquímicos, definindo condições heterogêneas para a pedogênese. Em altos estruturais, predominam os processos de laterização e oxidação intensa, resultando em um lavado mais eficiente do solo e a formação de óxidos/hidróxidos de ferro, alumínio e titânio. Nos baixos, o impedimento à drenagem que a própria estrutura rochosa impõe, define um ambiente relativamente redutor, um lavado menos eficiente pelas soluções intempéricas e a formação de argilas do grupo das ilitas, esmectitas e montmorillonitas (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993; FASSBENDER, 1975).

Estas condições geoquímicas em altos e baixos estruturais são também influenciadas pelo grau de fraturamento do terreno, altimetria e tipo litológico, entre outros parâmetros fisiográficos, de modo que sua simples localização não resulta em conclusões acerca do comportamento geoquímico do ambiente. Porém, sua delimitação em programas de zoneamento geoambiental é mais uma ferramenta que deve ser somada às demais análises do meio físico para a compreensão holística do ambiente.

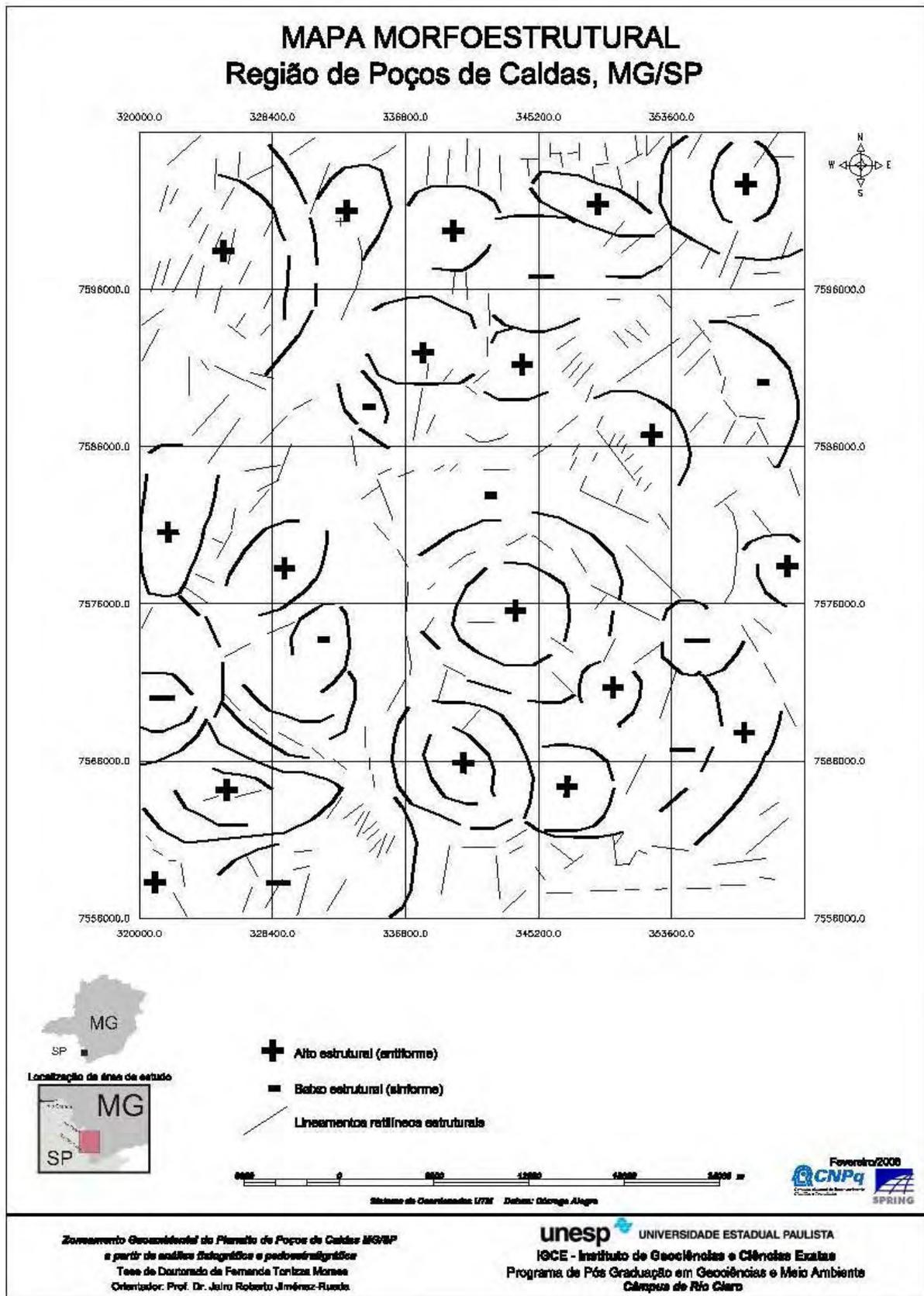


Figura 19. Mapa morfoestrutural da área de estudo.

As fraturas traçadas a partir de imagens de satélite da área de estudo são apresentadas na Figura 20. A análise da orientação das fraturas na área de estudo encontra-se na roseta, em que se podem notar as orientações preferenciais em ordem decrescente NØ-10W; N30-40W; N30-30W, E-W; N50-60E.

Os lineamentos estruturais extraídos a partir da análise de imagens de satélite e a roseta com análise das direções encontram-se na Figura 21. As orientações preferenciais dos alinhamentos foram em ordem decrescente: N30-40W, N50-60W, N20-30E, N20-30W, N40-50E E NS.

Dentre as orientações preferenciais, a ocorrência de direções próximas a N30E e N30W, é coincidente com a orientação de duas das inúmeras intrusões alcalinas que cortaram o sul do Brasil (ELLERT, 1959). A maior frequência de lineamentos estruturais se dá no sentido N30-40W, o que coincide com uma direção predominante observada para as fraturas.

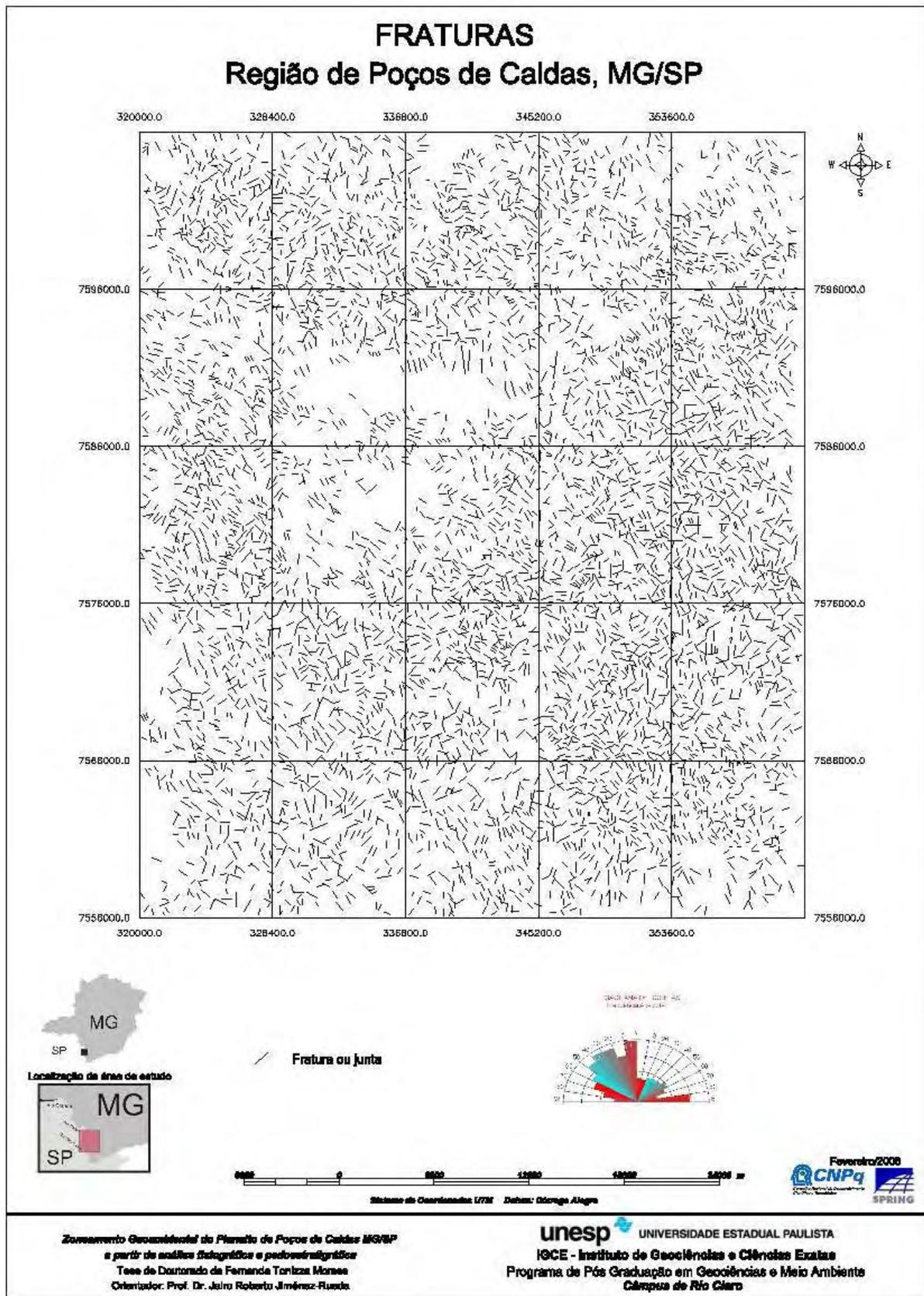


Figura 20. Mapa de fraturas da área de estudo.

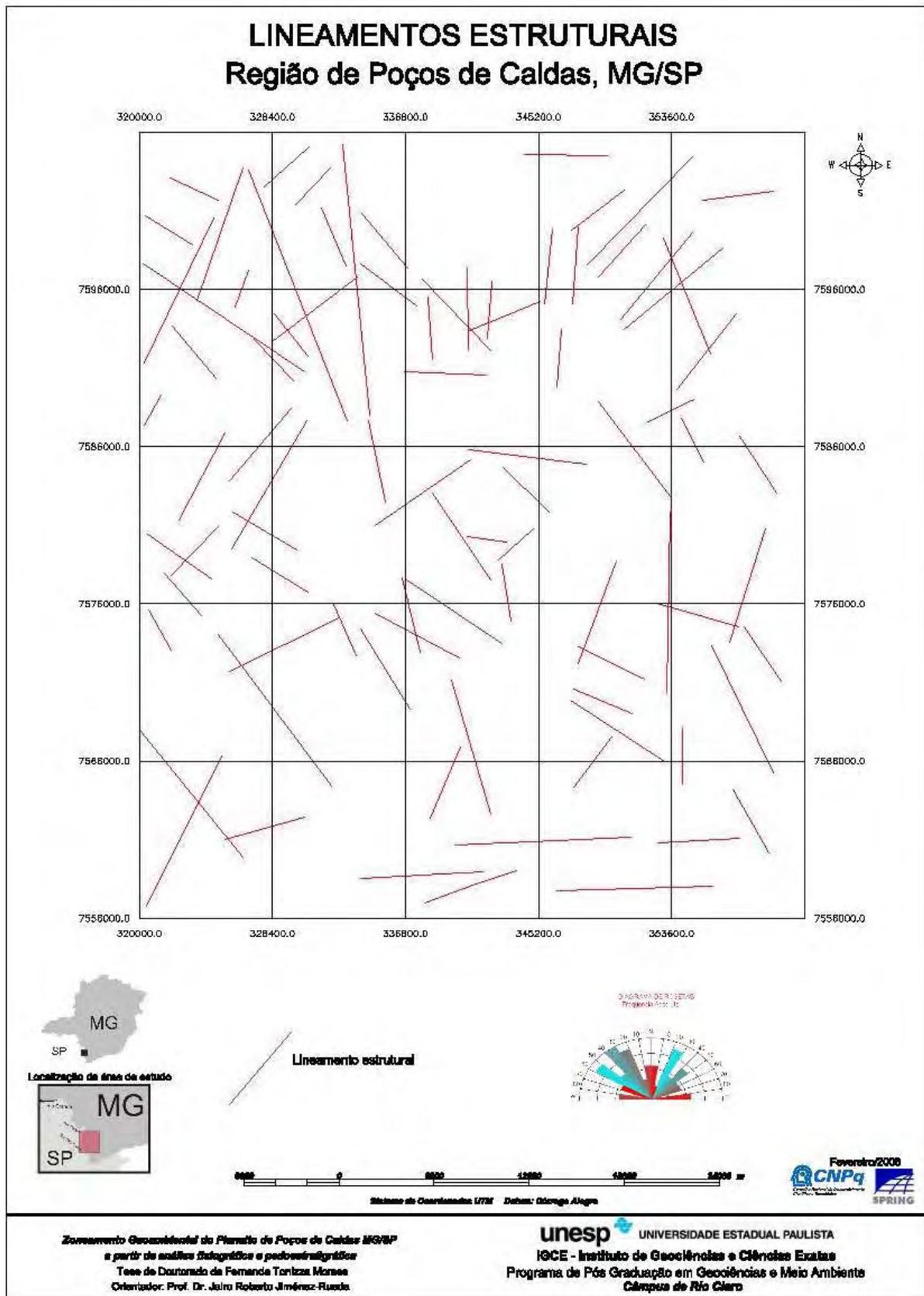


Figura 21. Lineamentos estruturais na área de estudo.

Fisiografia

Sistema hierárquico de classificação fisiográfica

O sistema hierárquico proposto está esquematizado na Figura 22.

O primeiro nível de enquadramento no sistema hierárquico para análise fisiográfica a que uma área deve ser associada é a *Província Fisiográfica*, definida primariamente por fatores endógenos (tectônicos).



Figura 22. Hierarquia para classificação fisiográfica da área de estudo. Adaptado de Botero (1978) e Goosen (1971).

Após o enquadramento à *Província Fisiográfica*, passa-se à *Região Fisiográfica*, cuja delimitação/diferenciação se dá através de características associadas ao relevo regional. Ou seja, regiões que podem ser individualizadas através de um componente estrutural mais decisivo na paisagem - no caso da área de estudo, tem-se a intrusão do magma alcalino e a formação do maciço de Poços de Caldas, que pode ser perfeitamente individualizado na província fisiográfica Serra da Mantiqueira.

Esta região fisiográfica, definida até então através dos fatores endógenos, será dividida em *Sub-regiões Fisiográficas* pela análise dos fatores climáticos e bióticos associados, expressos pela cobertura vegetal, ou seja, os fatores exógenos atuando em um sistema geológico estrutural. Para a definição das sub-regiões, utilizou-se o conceito de domínio morfoclimático proposto por Ab'Saber (1970), segundo o qual "os domínios morfoclimáticos dependem de uma evolução relativamente moderna – predominantemente pós-pleistocênica na

qual agiram processos geoclimáticos, pedológicos e biogeográficos”. Assim, as sub-regiões resultam das interações dos fatores exógenos com os endógenos, porém, esta análise deve considerar que tais fatores são dinâmicos e que fatores endógenos atuais (neotectônicos) podem se sobrepor a feições definidas por agentes exógenos anteriores. Ou seja, as sub-regiões resultam de uma “evolução integrada complexa – de evolução ora lenta, ora rápida e desfigurante – participando de sua constituição uma ossatura rochosa básica, uma roupagem de produtos de intemperismo e solos, determinadas coberturas vegetais e uma fisiologia específica, relacionada com a dinâmica climática e ecológica”, segundo Ab’Saber (*op cit.*), sendo todo este conjunto sujeito a intervenções tectônicas no passado, no presente e no futuro. Inseridas nas sub-regiões encontram-se as *Paisagens*, que se configuram de acordo com o agente de origem específico, neste caso pode-se inserir a ação aluvial, fluvial, planáltica, eólica, glacial, montanhosa, vulcânica e tectônica. Tais processos são responsáveis pela geração de elementos típicos - as *Unidades fisiográficas* – tais como planícies, terraços e diques em paisagens fluviais; serras e montanhas em paisagens montanhosas. Os planaltos tectônicos são unidades fisiográficas que demonstram a ação tectônica no passado causando o soerguimento do terreno (GUERRA, 1969), eventualmente uma paleoplanície, sendo um bom exemplo da sobreposição de processos genéticos que ocorre em uma paisagem. Esta complexa evolução pode ser inferida a partir das análises de solo com enfoque pedostratigráfico, ou seja, a análise do perfil de solo é voltada ao reconhecimento de camadas/volumes de solo cujas características e esquemas de sobreposição permitam a compreensão de diferentes momentos de equilíbrio ecogeodinâmico.

Província fisiográfica

Jiménez-Rueda et al. (1989) consideraram as províncias estruturais como equivalentes às províncias fisiográficas para o zoneamento agroecológico da Serra do Mar. A relação entre estrutura geológica e compartimentação geomorfológica/fisiográfica fica explícita na Figura 23. Pode-se observar que a área de estudo enquadra-se no domínio geoestrutural da Serra da Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1969). Segundo Saadi et al. (2005), a comparação dos mapas representando as Províncias Geoestruturais e os Compartimentos de Relevo Brasileiros (Figura 23) exhibe um alto grau de correspondência entre os limites e a extensão de ambos. Assim, como um reflexo do domínio estrutural, a morfogênese ao longo da faixa Mantiqueira define a ocorrência de planaltos fortemente dissecados.

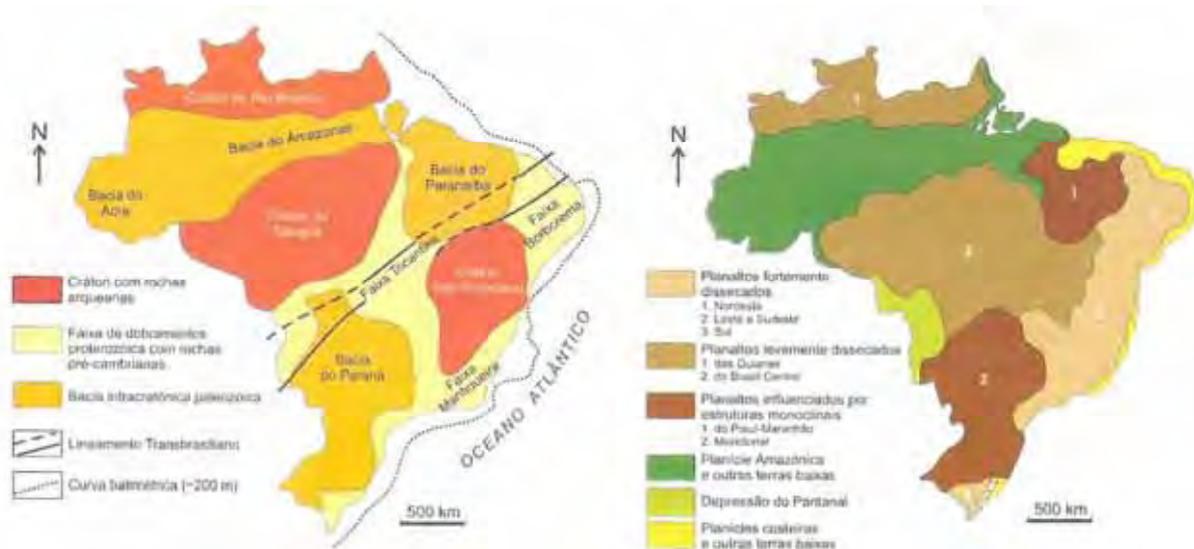


Figura 23: a) Províncias geoestruturais do Brasil segundo Almeida et al. (1981) e b) compartimentos de relevo de primeira ordem de grandeza, conforme Ab’Saber (1964). Fonte: SAADI et al., 2005.

A Serra da Mantiqueira está inserida na Porção Sul-Oriental do Escudo Brasileiro, sendo composta por materiais de idade Pré-Cambriana. Segundo Ab’Saber (1970) apresenta um padrão estrutural definido por áreas de montanhas de blocos falhados, fragmentando velhas abóbadas. Estende-se pelo leste do Estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e sudoeste do Rio de Janeiro, sendo um divisor de águas entre as bacias do rio Grande, em Minas Gerais, e a do rio Paraíba do Sul, em São Paulo e Rio de Janeiro (BRAGA, 2005).

Nesta província predominam as rochas magmáticas e metamórficas pré-cambrianas de diversos tipos petrográficos. Estas rochas encontram-se extremamente alteradas, e graças ao seu alto nível de dissecação favorecem a formação de um relevo em geral montanhoso, com vertentes relativamente íngremes e com vales encaixados ou relativamente largos e planos, devido a transcorrências.

Boa parte destas montanhas foi sendo alterada pela erosão e pela ação tectônica, estruturadas e modeladas, originando formas mais aplainadas ou arredondadas, bem como discontinuidades causadas por falhas e fraturas, definindo sistemas de horsts e grabens.

Segundo Ab’Saber (1970) estas montanhas correspondem a abóbadas muito antigas, soerguidas e complexas que durante o Terciário foram atingidas pelos efeitos tectônicos, definindo seu desgaste e o estabelecimento de um sistema estrutural composto por montanhas em bloco e fossas tectônicas. Estas formas ao serem erodidas deram origem às colinas de vertentes suavizadas que atualmente predominam por toda a área de estudo, em que são marcantes também as variações altimétricas. Também em virtude dos processos estruturais e o desencadeamento da ação erosiva, há a ocorrência de coberturas formadas por sedimentos

terciários e quaternários acumuladas nas partes baixas e/ou nos grabens originados pelo falhamento, que podem encontrar-se atualmente em situações de altos topográficos pelo efeito do retrabalhamento tectônico recente.

Embora ocorram alguns afloramentos de arenitos da Formação Aquidauana na porção oeste da área de estudo, estes afloramentos não chegam a definir os solos e as paisagens existentes, uma vez que se encontram truncados por materiais alcalinos ou cristalinos.

Regiões fisiográficas

As Regiões Fisiográficas são agrupamentos de paisagens relacionadas geograficamente. Estes agrupamentos regionais encontram-se diferenciados e definidos pelas estruturas de notoriedade na região, como é o caso da presença do cone vulcânico de Poços de Caldas (definindo a *Região do Maciço de Poços de Caldas*) definindo *fronts* de falhas e cuestas com a geração de sedimentos gravitacionais associados a relevos montanhosos; sendo estes elementos facilmente diferenciáveis das depressões associadas a terraços planos e colinas alongadas ao redor do maciço que caracterizam o relevo da região definida por *Serras Cristalinas*.

Assim, para diferenciar as regiões fisiográficas, avaliou-se a ocorrência de fenômenos estruturais dentro da província que possam determinar variações significativas no contexto fisiográfico geral. Neste caso, tem-se uma divisão na província Mantiqueira, com a ocorrência de duas grandes regiões (Figura 24), sendo importante destacar que os não se buscou estabelecer com exatidão a localização dos contatos entre as grandes regiões fisiográficas.

- Região do Maciço de Poços de Caldas: possui relevo e paisagens definidas em grande parte pelo processo de intrusão de rochas alcalinas durante o Cretáceo Superior que deu origem ao maciço anelar e a outras subcaldeiras menores, havendo em menor frequência a ocorrência de derrames e rochas extrusivas.

A evolução fisiográfica da Região Fisiográfica de Poços de Caldas inicia-se graças à intrusão do magma alcalino definindo o soergimento do terreno na forma de uma grande caldeira e estruturas menores, havendo em alguns trechos a formação de cones vulcânicos associados à geração de rochas extrusivas. Tais eventos ocorridos durante o Cretáceo Superior

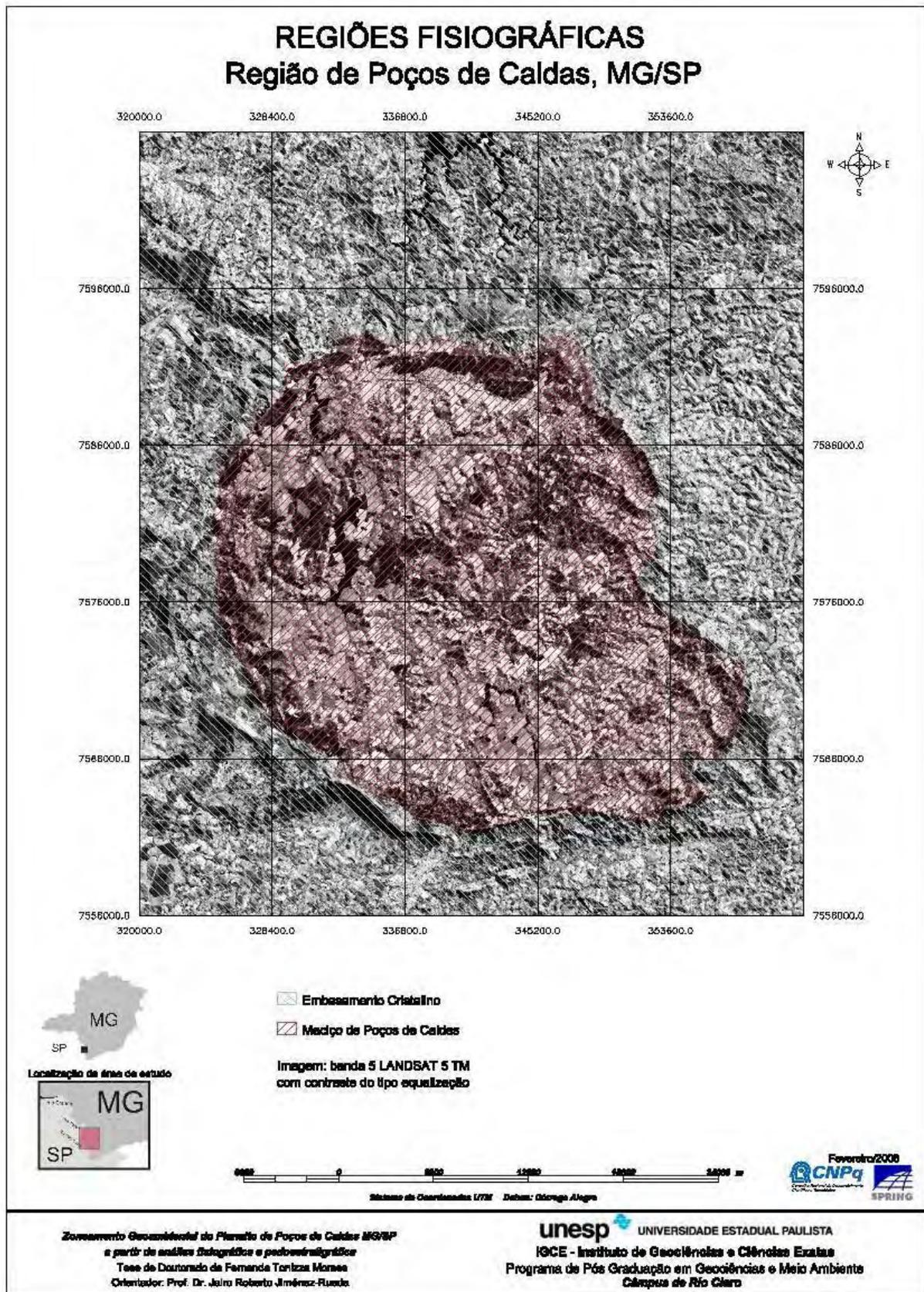


Figura 24. Regiões fisiográficas da área de estudo.

a 72,4 Ma (THOMAZ FILHO e RODRIGUES, 1999), foram responsáveis pela fácil distinção da região de Poços de Caldas das demais adjacentes, pela formação de paisagens inicialmente vulcânicas. Estas paisagens compõem-se de montanhas íngremes e altamente fraturadas, com alternância de *horsts* e *grabens* localizados ao longo de suas falhas. Os solos típicos apresentam camadas regolíticas quando em *grabens* e nos *horsts*, há a formação de Neossolos saprolíticos a partir das rochas matrizes.

Uma etapa posterior à ascensão do magma pode ser explicada pela subsidência da parte central do maciço aliada ao intemperismo e erosão (ELLERT, 1959) somada a uma combinação de processos citados por Frayha (1971) como o hidrotermalismo, intemperismo químico seletivo e a decomposição de rochas hidrotermais e a ação freqüente de um sistema abundante de drenagem. A evolução da paisagem do planalto deve-se em grande parte a estas atividades ocorridas após a atividade magmática que ocasionou a formação da caldeira alcalina, incluindo atividades tectônicas recentes (SCHORSCHER e SHEA, 1991).

Nesta etapa teve-se a formação de uma enorme bacia circundada pelas serras, atuando como um depositário para os sedimentos trazidos pelos rios mais volumosos. Esta hipótese baseia-se na ocorrência de uma extensa paleoplanície ao longo do Ribeirão das Antas, principal rio do interior da estrutura. Nesta paleoplanície ocorrem volumes de solos orgânicos enterrados (Ab) (Figura 25), além de seixos (Figura 26), calhaus e eventualmente matacões alóctones de forma subarredondada envoltos por matrizes argilosas e o afloramento de turfas na porção noroeste do maciço.

Os perfis mostrados pelas Figuras 25 e 26 localizam-se na bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas. Sendo o primeiro situado nas dependências do jardim botânico de Poços de Caldas, estudado por Moraes e Jiménez-Rueda (2005b) e o segundo localizado ao lado do aterro municipal de Poços de Caldas. Em toda esta paleoplanície, são comuns as lagoas temporárias e a ocorrência de materiais regolíticos colúvio-aluvionares nos perfis de solos. Estes solos evidenciam a ação erosiva e a deposição de materiais colúvio-aluvionares típicos de ambientes planálticos. A presença de solos orgânicos enterrados corrobora a hipótese destes planaltos serem resultantes do soerguimento de paleoplanícies. Tais constatações evidenciam a já discutida relação entre fisiografia e ocorrência de solos.

Bolders e calhaus podem ser vistos em vários trechos da área de estudo, sendo freqüentes os bolders de granitos no município de Águas de Prata, SP; bolders de gnaisses e alcalinas em Divinolândia, MG entre outros, além da formação de leques na Serra de São Domingos, em Poços de Caldas e na Serra do Gavião em Andradas, que evidenciam a atuação dos processos denudacionais e gravitacionais na definição das paisagens da região.

No interior do planalto nota-se a ocorrência de planícies subatuais com paleolagoas, principalmente na Bacia do Ribeirão das Antas. Atualmente, estas planícies configuram-se em terraços e planaltos baixos definindo um relevo movimentado, porém com baixa amplitude altimétrica.

Esta associação entre processo orogênico seguido por períodos de denudação e depósitos gravitacionais com a formação dos planaltos e a ação de processos fluviais e lacustres sobre estas paisagens anteriores caracteriza a Região Fisiográfica do Maciço de Poços de Caldas. Os solos associados a estas unidades fisiográficas podem ser resumidamente descritos pela presença de camadas de cascalhos e materiais alóctones (ou regolíticos) soterrando volumes de alteração lateríticos autóctones (saprolíticos) em planaltos mais antigos. Nos planaltos baixos, mais recentes, além das camadas de cascalho, são freqüentes a ocorrência de materiais orgânicos soterrados (MORAES et al., 2007), indicando a ocorrência de um paleossistema de drenagem mais denso que o atual e com a presença de extensas lagoas e ambientes lânticos.

- Região das Serras Cristalinas: serras que circundam o maciço alcalino em todas as direções. Formadas por materiais como blocos de granitos, gnaisses e migmatitos que definem a formação de colinas alongadas (no caso de gnaisses e migmatitos) e de colinas na forma de meia-laranja (devido ao sentido perpendicular das fraturas, que define uma grade na qual se desenvolvem colinas de dimensões proporcionais e com topos arredondados pela erosão). Ao sul desta região, há áreas em que houve o contato do magma alcalino com as rochas sedimentares, principalmente arenitos e siltitos do Grupo Tubarão (Formação Aquidauana) de idade Carbonífero Superior/Permiano Superior.

Esta região fisiográfica caracteriza-se por montanhas e serras com vertentes acentuadas e drenagem associada à estrutura geológica, podendo ser anisotrópica pela ocorrência de gnaisses, migmatitos e demais rochas metamórficas. A anisotropia e a drenagem associada à estrutura geológica atingem máxima expressão nas proximidades do município de Divinolândia em que se estabelece uma drenagem na forma de treliça.

As montanhas possuem orientação estrutural e a drenagem se encaixa em vales estreitos, que são delimitados por vertentes quase sempre íngremes e elevadas (Figura 27). Nos topos das elevações podem ocorrer afloramentos litólicos que foram preservados do processo de denudação (Figura 28).

O alto grau de dissecação do terreno favorece o intemperismo que pode alcançar grandes profundidades como é mostrado na Figura 29, em que a estrutura da rocha com camadas/veios horizontalizados foi mantida.

Na porção leste da área de estudo, em que se situa o município de Caldas, o relevo assume o modelado típico de mar de morros, com a formação de uma drenagem dendrítica e bastante ramificada em função do sistema de fraturas em granitos que assumem a forma de meia laranja, definindo colinas arredondadas. Estas colinas muitas vezes apresentam drenos abandonados que foram sendo soerguidos pela ação tectônica (Figura 30).



Figura 25. Ocorrência de volume Ab na paleoplanície do Ribeirão das Antas. Localização: Ponto 65 no Anexo 1.



Figura 26. Exibe detalhe do perfil de solo analisado nas adjacências do Aterro Municipal de Poços de Caldas. Localização: Ponto 59 no Anexo 1.



Figura 27. Panorama das serras cristalinas na Bacia do Ribeirão do Quartel, que margeia a estrada Poços-Águas da Prata. Próximo ao Ponto 06 do Anexo 1.



Figura 28. Rocha exposta na região de Ibitiúra de Minas, extremo sudeste da área de estudo. Próximo ao Ponto 22 do Anexo 1.



Figura 29. Perfil de solo na cidade de Botelhos, situada na porção NNE da área de estudo. Localização: Ponto 44 do Anexo 1.



Figura 30. Colinas de topos arredondados (mamelonares) com drenos abandonados na região de Caldas, MG. Próximo ao Ponto 03 do Anexo 1.

Nas porções oeste, sul e sudoeste há algumas ocorrências de afloramentos de rochas sedimentares da Bacia do Paraná (Figura 31) com a formação de solos com maiores contribuições de areia e silte provenientes da Formação Aquidauana. Em grande parte das ocorrências de contatos registradas, os afloramentos de arenitos encontravam-se silicificados, ou seja, era evidente a ação do magma alterando o material original e em alguns casos, expondo-o em seções montanhosas.

O contato entre estas regiões fisiográficas acompanha o contato litológico, porém devido ao caráter do processo intrusivo, a delimitação dos tipos litológicos e das regiões fisiográficas nestas áreas de contato é dificultada, tendo sido realizada com base em Ellert (1959) aliado à fotointerpretação.

Sub-regiões fisiográficas

As categorias superiores de classificação fisiográfica basearam-se principalmente em fatores de caráter estrutural e litológico, já para a definição das sub-regiões é importante que se estabeleçam os domínios morfoclimáticos, definidos por Ab'Saber (1970) como dependentes da interação local de processos geoclimáticos, pedológicos e biogeográficos. A interação destes processos – que definem os domínios morfoclimáticos – pode ser percebida pelos tipos de cobertura vegetal existentes. Segundo o autor, a área de estudo insere-se no domínio de mares de morros florestados com fortíssima e generalizada decomposição de rochas, densas drenagens perenes, extensiva mamelonização, agrupamentos eventuais de “pães de açúcar” em áreas mal diaclasadas, planícies de inundação meândricas e extensos setores de solos superpostos (Figura 32).

A distribuição das formações vegetais se estabelece de acordo com as condições ambientais, que segundo Rizzini (1979) podem ser agrupadas em climáticas, edáficas, fisiográficas e bióticas, assim, ao analisar a vegetação, pode-se obter informações sobre estes parâmetros e vice-versa. De fato, o objeto da Ecologia é o estudo das relações dos seres vivos entre si e com o meio (ODUM, 1988; RICKLEFS, 2003), assim, tanto o meio define a biota como a biota define o meio. Dessa forma, esta etapa de caracterização fisiográfica é um trabalho de Ecologia por definição, que busca integrar as informações mesológicas e relacioná-las com os seres vivos que ali habitam.



Figura 31. Afloramento da Formação Aquidauana em Águas da Prata, SP. O material da base é siltito, recoberto pelo arenito que aflora também em Poços de Caldas. Próximo ao Ponto 41 do Anexo 1.

Vegetação da área de estudo

A vegetação florestal predominante na área pode ser denominada segundo Rizzini (1979) como floresta pluvial de altitude, inserida nos domínios da Mata Atlântica, que no Brasil austro-oriental é denominada de Floresta Atlântica. O autor considera as florestas pluviais como as formações de máximo desenvolvimento na Terra, exigindo clima sempre úmido e sem frio acentuado. Embora suas árvores não sejam as maiores e mais idosas existentes, esta formação vegetal inclui arbustos, palmeiras, lianas, epífitos numerosos e ervas macrofilas, sendo que esta diversificação é possível devido à estratificação dos ambientes.

A formação de floresta pluvial montana reveste as serras entre 800 e 1500-1700 metros de altitude. Localiza-se sobre a característica paisagem formada principalmente por morros mamelonares, de contorno hemisférico; entre eles ocorrem cristas (agudas) e

lombadas (alongadas e planas), com rochas cristalinas decompostas típicas dos planaltos da Serra do Mar e da Mantiqueira (RIZZINI, op. cit.).

A Floresta Atlântica ocorria no Brasil desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, atualmente encontra-se restrita a algumas manchas e fragmentos isolados (PRIMACK e RODRIGUES, 2001), que em 2004 representavam cerca de 7% de sua área original (ISA, 2004).

A área de estudo localiza-se em uma faixa de transição (Figura 32) no que se refere aos domínios morfoclimáticos e fitogeográficos, assim sendo, ocorrem elementos que são típicos de florestas secas (campos cerrados e cerradões) e de florestas de araucárias, que funcionam como indícios de tempos pretéritos (Pleistoceno?) em que o clima regional apresentava-se mais frio.

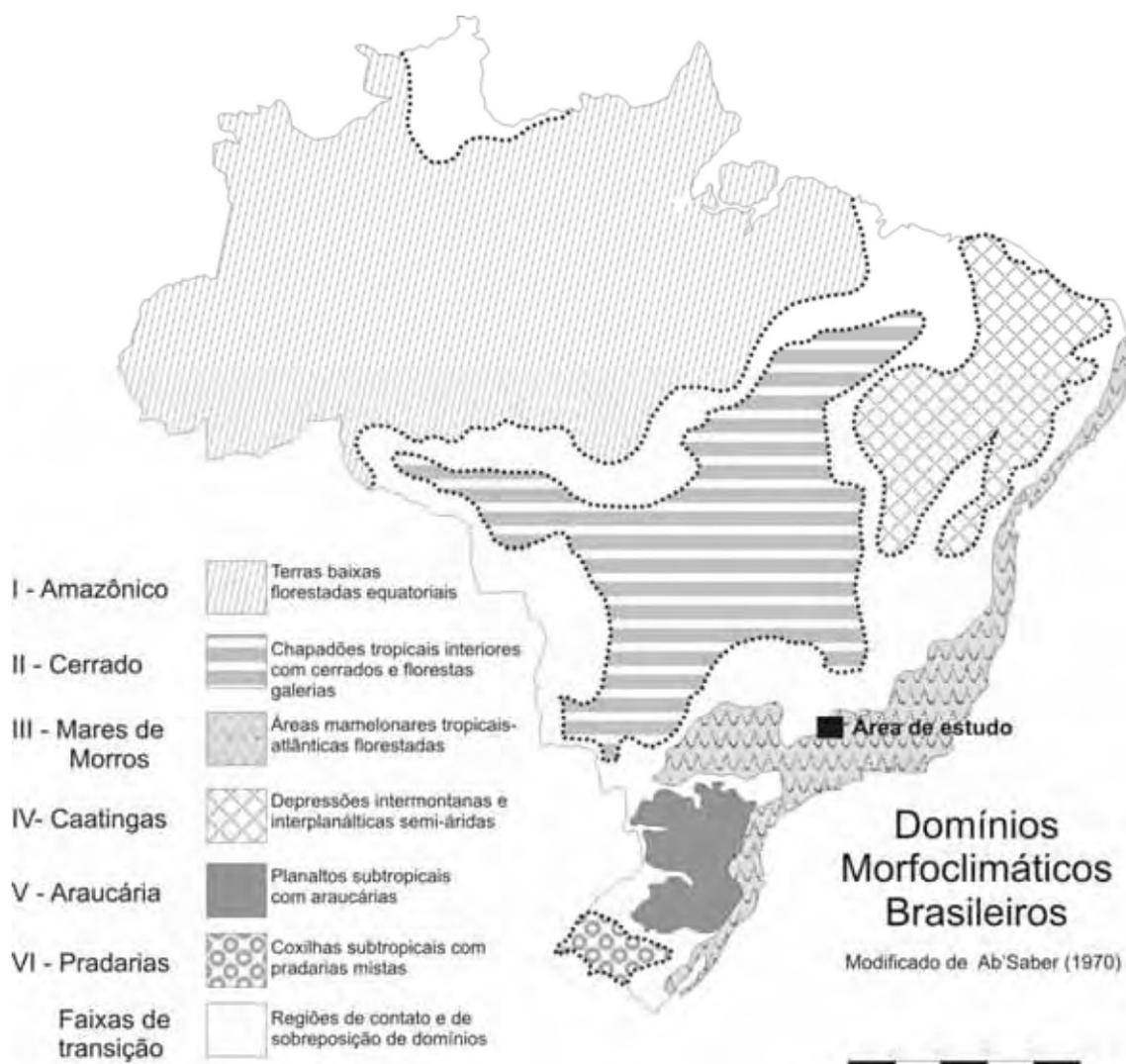


Figura 32. Mapa de domínios morfoclimáticos modificado de Ab'Saber (1970).

De modo geral, as áreas florestadas caracterizam-se pela presença de estratos variados com dossel atingindo por volta de 15 metros de altura em solos nem sempre profundos e sub-bosque formado por espécies de crescimento intermediário, predominantemente pertencentes às Famílias Asteraceae, Poaceae e Melastomataceae, nivelando-se a menos de 8 metros de altura (MORAES, 2003).

Definição das sub-regiões fisiográficas

Através do processo de classificação supervisionada desenvolvido, foi possível individualizar três tipos de cobertura vegetal na área de estudo, conforme apresentado pela Figura 33. As sub-regiões fisiográficas se encontram distribuídas de forma heterogênea, porém, alguns padrões gerais de ocorrência das coberturas vegetais puderam ser estabelecidos:

- a ocorrência de formações vegetais nativas predominantemente arbóreas, com dossel formado, corresponde a aproximadamente 850km² da área de estudo, sendo que os maiores maciços florestais nativos ocorrem em taludes íngremes e associados às galerias de rios (Figura 34). Nestes casos, a vegetação nativa foi mantida pelas dificuldades de se estabelecer uso antrópico. Sendo assim, foi evitado o seu corte e derrubada já que não havia potencial para uso urbano e para agropecuária intensiva. Após a instituição do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4771/1965) estas áreas passaram a ser protegidas legalmente, o que auxiliou a sua manutenção. Destaca-se através das observações de campo o crescimento da atividade de cultivo do eucalipto em toda a área de estudo, principalmente na porção central do maciço (Figura 35), contribuindo para totalizar os 850km² citados anteriormente e a redução dos cafezais.

- as chamadas capoeiras e campos associados são caracterizados pela presença de indivíduos arbóreos isolados. Distribuem-se por cerca de 620km², sendo que no interior do maciço ocorrem espécies com características de pioneiras tardias a secundárias, indicando a evolução dos campos com vegetação exclusivamente herbácea. A Figura 36 apresenta uma área neste estágio evolutivo.

- os campos e pastos recobrem aproximadamente 440km² da área de estudo (Figura 37), sendo que na porção centro-sul da Região Fisiográfica Poços de Caldas, os campos são considerados nativos, havendo contaminação biológica causada por espécies herbáceas

exóticas que foram introduzidas e tornaram-se dominantes (capim braquiária – *Brachiaria decumbens* e capim gordura – *Melinis minutiflora*).

Foi possível estabelecer que a ocorrência de campos nativos esteja restrita às paisagens paleoaluviais. Estudos estão sendo conduzidos para avaliar esta hipótese (MORAES et al., 2007). Caso confirmada, esta hipótese poderá comprovar que a vegetação de campos típica do interior do planalto encontra-se em equilíbrio com as paisagens paleoaluviais e que sua substituição por mata arbórea será decorrente do abandono das condições aluviais para o estabelecimento de condições planálticas. Neste sentido, estes campos seriam resultado da própria evolução da paisagem e não uma decorrência do desmatamento causado por ação antrópica, como também não teriam relação com o bioma Cerrado.

Paisagens

Segundo Botero (1978), as paisagens constituem unidades fundamentais na análise fisiográfica. São definidas pelas unidades fisiográficas que as compõem. O termo paisagem utilizado neste trabalho refere-se à forma da terra (*landform*), aos seus processos de origem e às formas de uso da terra estabelecidas (PENNOCK e VELDKAMP, 2006).

As paisagens exprimem o resultado final dos processos morfogenéticos que dão ao terreno feições típicas e certo ar de “familiaridade” (AB’SABER, 1970) que facilita seu reconhecimento em qualquer local. Estas feições são as unidades fisiográficas. Por exemplo, em paisagens fluviais/aluviais, os terraços, diques e planícies de inundação configuram-se como unidades fisiográficas típicas.

Em alguns casos pode haver sobreposição de processos, por exemplo, um terraço fluvial pode ser abandonado pelo leito do rio e ao sofrer a ação da tectônica, ser soerguido configurando um planalto baixo. Por isso a pedostratigrafia deve ser executada conjuntamente à análise fisiográfica, pois o solo, formado por diferentes volumes de alteração intempérica, será o registro destes diversos momentos de estabilidade pedogenética e suas rupturas.

Alguns parâmetros como altimetria, topografia, declividade e dissecação favorecem a análise e a demilitação das unidades fisiográficas, já que definem mudanças no balanço morfogênese/pedogênese, definindo-se a estabilidade da paisagem (TRICART, 1977). Outros fatores como cobertura vegetal e uso da terra também devem ser considerados em uma unidade fisiográfica. Esta análise corresponde ao nível de subpaisagem no sistema de

classificação fisiográfica CIAF (Centro Interamericano de Aerofotointerpretación) (BARBOSA et al., 2005).

- Altimetria e Topografia

A área de estudo apresenta uma grande variação altimétrica, conforme o mapa apresentado pela Figura 38.

Destacam-se as grandes elevações que definem a cratera vulcânica principal, variando de 1200 a 1500 metros de altitude em sua maior parte, com elevações pontuais atingindo 1700 metros de altitude. A parte central do maciço alcalino com amplitude altimétrica menor, variando de 1200 a 1400 metros sendo, porém, mais elevada que o entorno externo à cratera, havendo desnível em direção à porção sudeste no interior do maciço. Nas áreas externas ao maciço, a porção leste nivela-se de 900 a 1100 metros de altitude, com exceção do Planalto da Pedra Branca que atinge 1700 metros de altitude, sendo parte uma outra cratera vulcânica. A norte a altimetria é mais estável, mantendo-se por volta de 1000 metros, a sul e sudoeste de 800 a 1000 metros. Na porção noroeste tem-se intenso escalonamento do relevo, com altitudes que variam de 900 a 1500 metros.

A Figura 39 apresenta uma imagem tridimensional da área de estudo que facilita a percepção da variação altimétrica. Nesta imagem foram traçados dois perfis topográficos, um a partir de corte sentido W-E (perfil A) e outro com sentido N-S (perfil B).

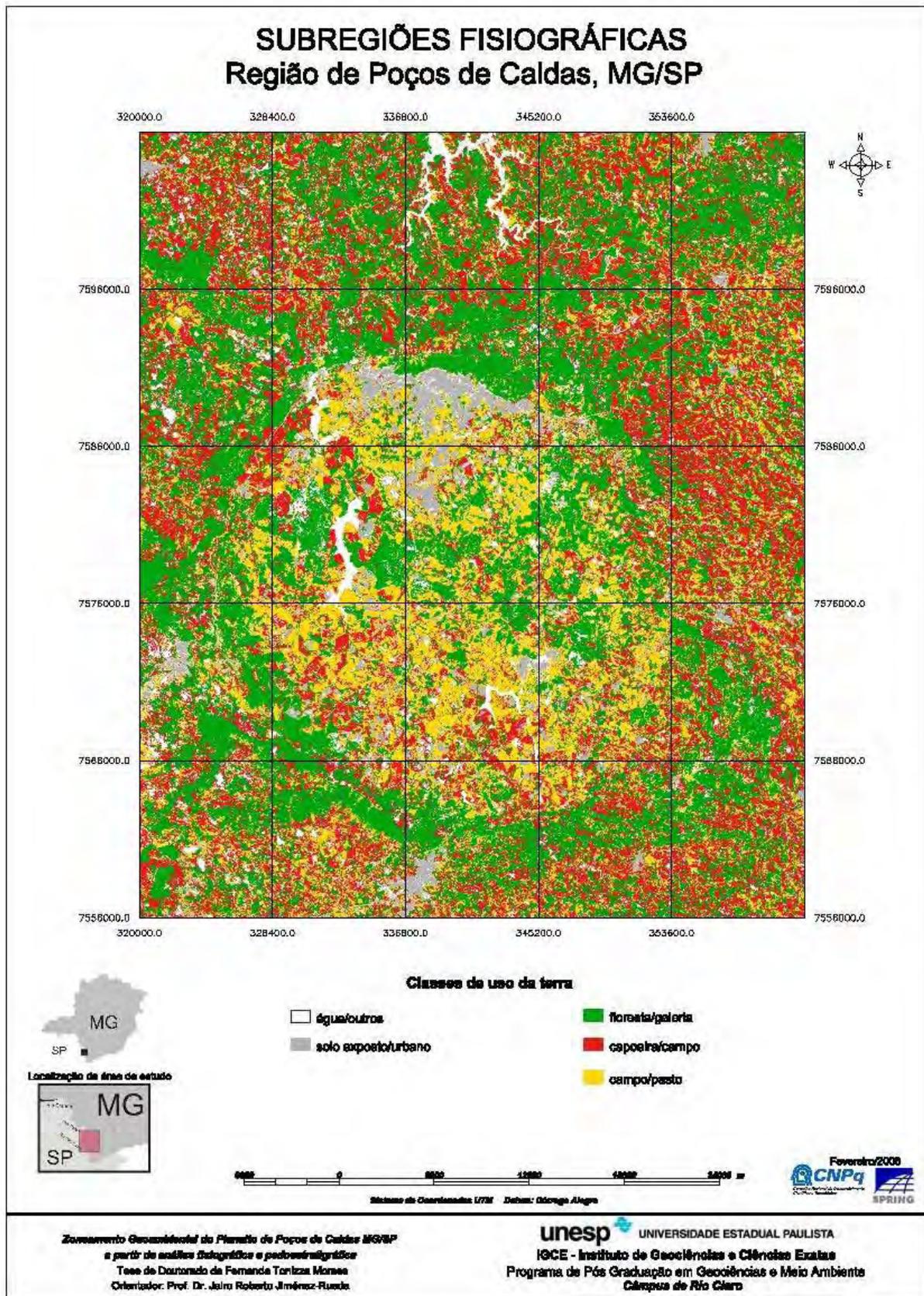


Figura 33. Mapa de cobertura vegetal/uso e ocupação da terra



Figura 34. Vegetação florestal nativa e formada por eucaliptos. Localização: Próximo ao ponto 34 no Anexo 1.



Figura 35. Plantio de eucalypto na parte centro-sul do planalto de Poços de Caldas. Localização: Próximo ao ponto 62 no Anexo 1.



Figura 36. Capoeira em estágio de sucessão inicial, com vegetação arbórea incipiente.
Localização: Próximo ao ponto 75 no Anexo 1.



Figura 37. Domínio de campos na porção central do planalto de Poços de Caldas. **Localização:** Próximo ao ponto 59 no Anexo 1.

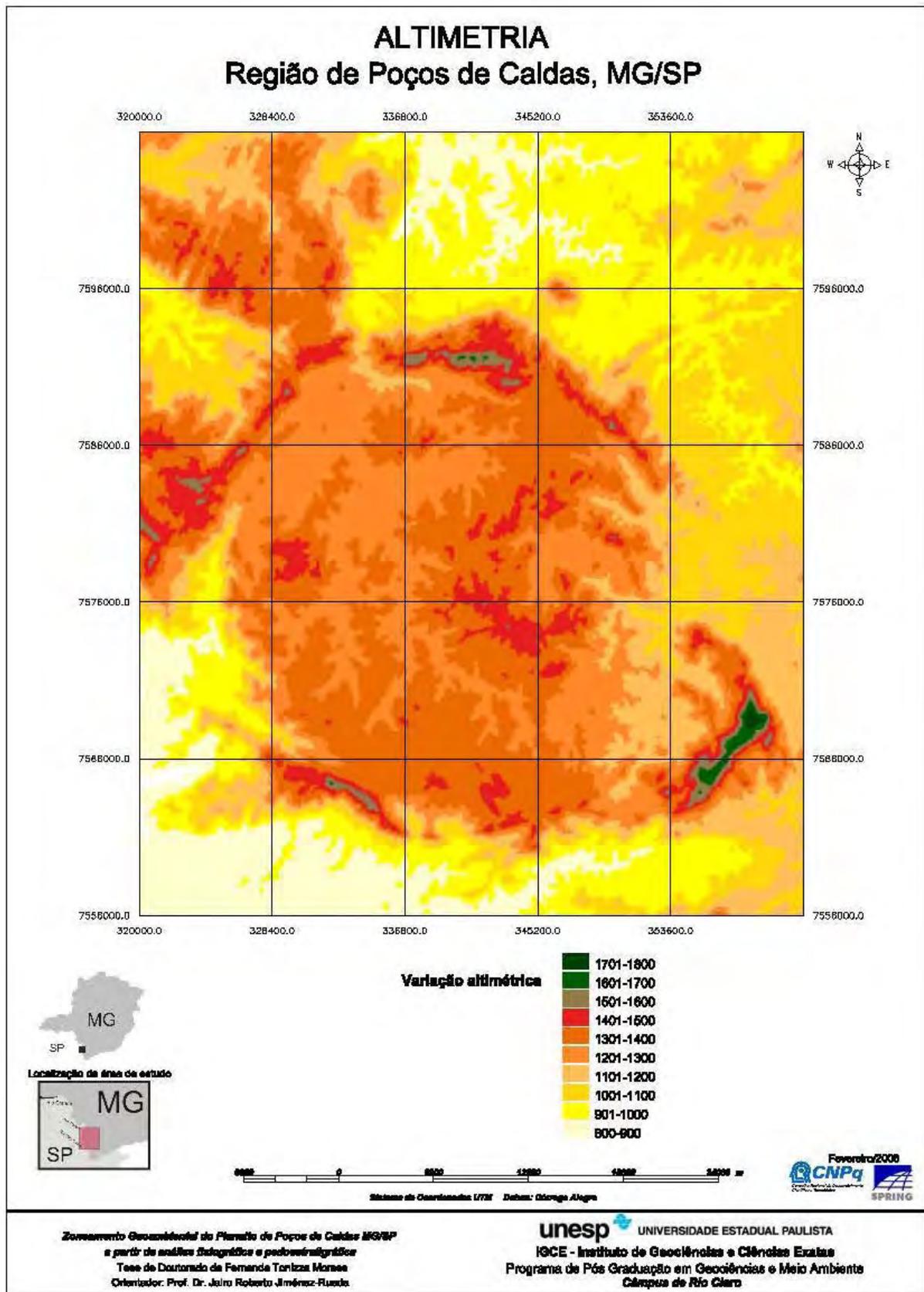


Figura 38. Mapa altimétrico da área de estudo

- Declividade

A Figura 40 apresenta o mapa de declividade da área de estudo, considerando-se a divisão em classes de declividade baseadas em Castro (1965) para regiões montanhosas e Resende et al. (2002) para regiões da Mata Atlântica. Na Tabela 4, pode-se verificar a extensão de áreas existentes com os diferentes intervalos de declividade.

Terrenos planos (Grupo I) perfazem pouco mais de 10% da área de estudo, dentro do maciço estão associados às planícies de inundação do Ribeirão das Antas, Córrego das Vargens e das Amoras. Na área externa ao maciço ocorrem com maior frequência na porção sudoeste e sul, na região entre São João da Boa Vista e oeste de Andradas, pertencendo à Bacia do Rio Mogi Guaçu (Figura 41). Nestas regiões, a probabilidade de ocorrência de barramentos de drenagem e enchentes é maior. Pode haver insuficiência de oxigênio no solo devido ao encharcamento. Do ponto de vista da cobertura vegetal e uso da terra, estes terrenos estão associados principalmente a formações de campos com vegetação herbácea predominante, sendo usadas para cultivo de gado e em alguns casos, como às margens do Ribeirão das Vargens, para a construção de loteamentos populares, como o Jardim Kennedy, resultando em enchentes que afetam a população desfavorecida.

Os terrenos dos Grupos II (3,1 a 6%) e III (6,1 a 8%) são os que possuem menores restrições aos diferentes usos da terra. Estas classes correspondem a cerca de 20% da área de estudo e o seu uso agrícola pode ser feito mediante técnicas muito simples de manejo para manutenção de sua fertilidade e estrutura, tais como aplicação de fertilizantes e adubos orgânicos, calagem, rotação de culturas e adubação verde (CASTRO, 1965). Porém, na área de estudo ocorrem de forma fragmentada, como pequenas manchas isoladas, o que representa limitação para o planejamento de grandes obras de infraestrutura, bem como para o plantio mecanizado de culturas como a cana-de-açúcar, atividades que são favorecidas por terrenos com declividade suave.

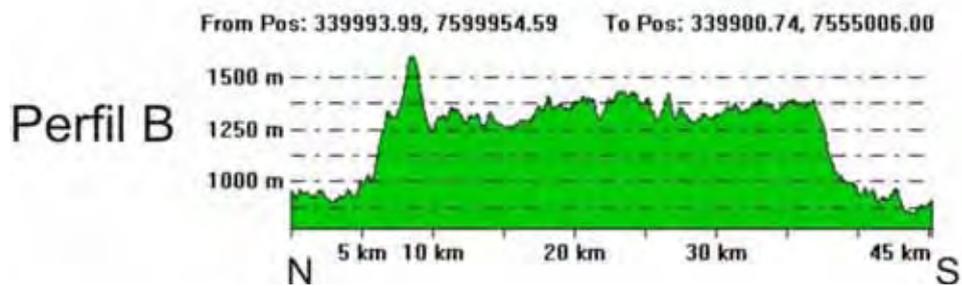
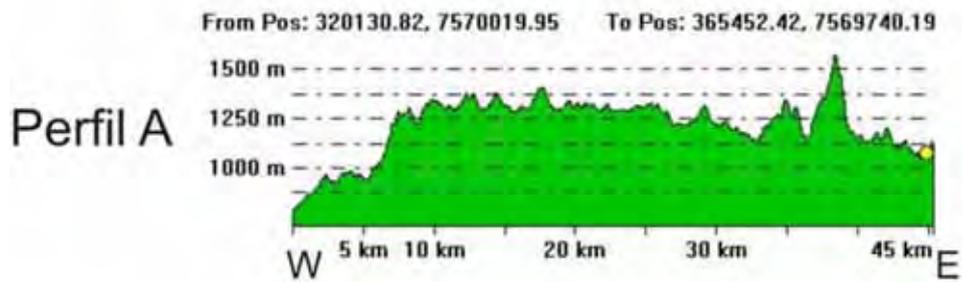
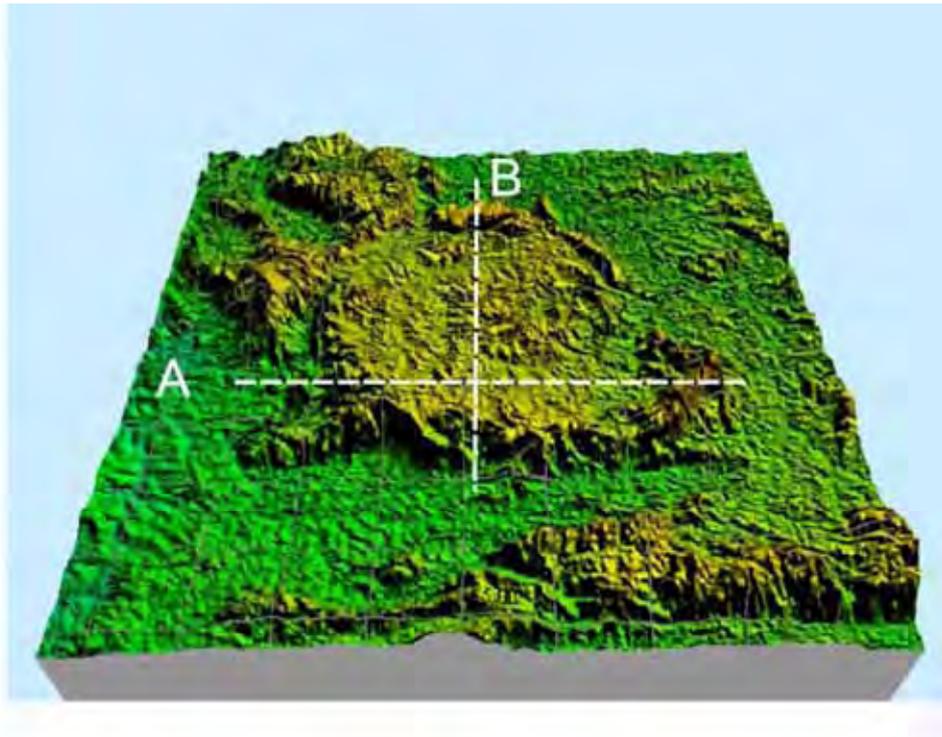


Figura 39. Imagem tridimensional da área de estudo e perfis topográficos gerados pelo aplicativo Global Mapper (2005).

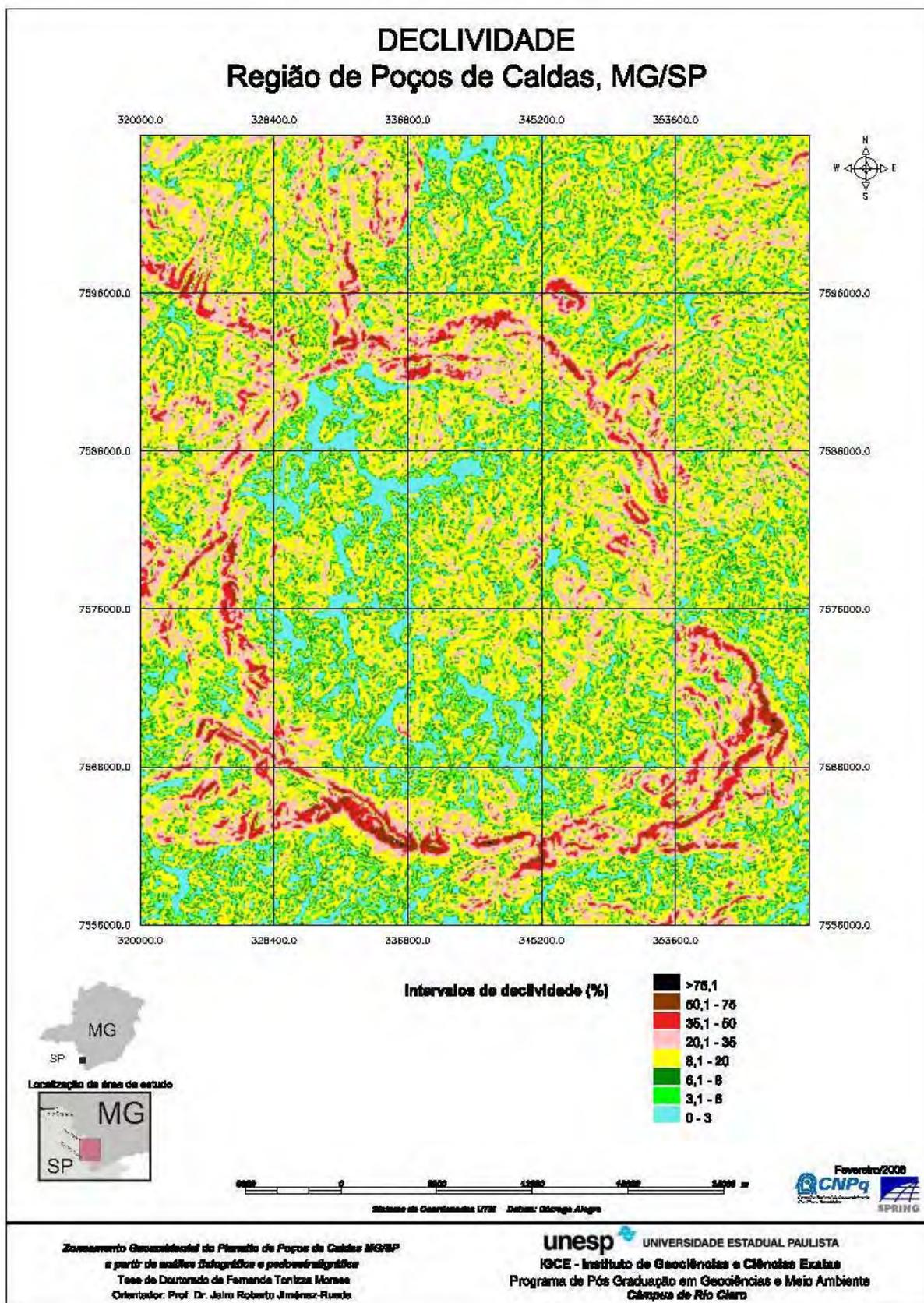


Figura 40. Mapa de declividade da área de estudo

Tabela 4. Análise de declividade na área de estudo

Grupo	Limites de declividade	Termos descritivos	Área (km²)	Representatividade regional (%)
I	de 0 a 3%	Terreno plano	228,07	10,86
II	De 3,1 a 6%	Declividade suave	195,44	9,31
III	De 6,1 a 8%	Terreno ondulado	218,36	10,40
IV	De 8,1 a 20%	Declividade mediana	998,06	47,53
V	De 20,1 a 35%	Declividade forte	352,09	16,77
VI	De 35,1 a 50%	Terreno íngreme	94,52	4,5
VII	De 50,1 a 75%	Terreno muito íngreme	13,30	0,63
VIII	Acima de 75%	Terreno escarpado	0,1	0,0
		Área total	2100	100,00

Fonte: limites dos grupos modificados de Castro (1965) e Resende et al. (2002).



Figura 41. Baixa declividade na região de São João da Boa Vista. Localização: Próximo ao ponto 40 no Anexo 1.

O Grupo IV, formado por terrenos com declividade mediana (de 8,1 a 20%) ocupam quase a metade (47,53%) da área de estudo. São terras apropriadas para cultivos mediante o uso de técnicas simples de conservação de solos, além das citadas anteriormente deve-se realizar o cultivo em terraços seguindo as curvas de nível, com controle da drenagem e quebra-ventos (CASTRO, 1965). Especificamente a cana de açúcar demanda terrenos com declividade máxima da ordem de 12%, sendo assim as áreas um pouco mais íngremes vêm sendo historicamente utilizadas para cultivo do café e outras culturas perenes, como frutíferas.

São áreas que não representam grandes barreiras para obras de infraestrutura e urbanização, desde que observadas as práticas de conservação do solo para evitar a ocorrência de erosão e deslizamentos.

O Grupo V tem sua ocorrência associada principalmente às bases dos taludes de maior altitude, nos chamados “pés da serra”. Correspondem a 16,77% e seu uso deve ser feito mediante práticas intensivas de conservação, que nem sempre são observadas na área de estudo, levando a perdas de solo com prejuízo à produtividade e ao meio ambiente. Na Figura 42, tomada a partir da estrada que liga Águas da Prata a Poços de Caldas, é possível verificar o plantio feito a favor da declividade, intensificando o processo erosivo com a formação de voçoroca como se pode ver representado pela letra A. A letra B demonstra a utilização de concreto como medida de proteção do talude para conter antiga voçoroca, demonstrando uma pré-disposição da área para a ocorrência deste tipo de movimento de massa.



Figura 42. Plantio foi realizado contra o sentido das curvas de nível. Como resultado, em A ocorre a retomada do processo erosivo intenso que em B foi contido através do uso de concreto. Localização: Próximo ao ponto 34 no Anexo 1.

Os demais grupos (VI, VII e VIII) ocorrem nas vertentes mais elevadas, associadas às principais serras da área de estudo e apresentam limites para o uso e ocupação devido ao custo

elevado que seu manejo representa, devendo ser mantidas como áreas de preservação ambiental e atividades de ecoturismo.

- Dissecação

As diferenças no nível de dissecação podem ser decorrentes da resistência litológica e tectônica e da incidência de climas úmidos ou secos sobre estas litologias, pois mesmo em litologias friáveis, a ausência de períodos úmidos define uma dissecação incipiente (CASSETI, 2007). Assim, quanto maior a umidade, a instabilidade tectônica e a friabilidade do material rochoso, maior o grau de dissecação. Conforme apresentado anteriormente na Figura 15, as unidades fisiográficas da área de estudo foram classificadas em três categorias de dissecação do terreno, definidas a partir de fotointerpretação e análise do mapa de fraturas:

- nível de dissecação 1: observado frequentemente nas áreas aluviais recentes e eventualmente nos maciços (escudos) rochosos imbricados.

- nível de dissecação 2: situação de dissecação intermediária, categoria mais frequente na área de estudo.

- nível de dissecação 3: dissecação forte definida pela ação erosiva em terrenos com atividade tectônica mais recente (morfogênese maior que pedogênese).

A classificação quanto ao nível de dissecação é apresentada em conjunto com o mapa de paisagens e unidades fisiográficas (Figura 43).

-Paisagens na área de estudo

As paisagens da área de estudo foram divididas em função de sua gênese, assim, teve-se a delimitação exposta pela Figura 43.

- Paisagem Planáltica:

O início da história fisiográfica da área de estudo dá-se durante o Cretáceo Superior, com o processo de intrusão alcalina (ELLERT, 1959), definindo inicialmente a formação de paisagens montanhosas, caracterizadas pelo predomínio de formas de relevo estruturais pela ação do vulcanismo e tectônica (SUERTEGARAY, 2003). Porém o efeito progressivo dos processos morfodinâmicos degradacionais conduziu à modificação parcial ou total destes

elementos de relevo pelas diferentes condições climáticas ao longo do tempo geológico, definindo o estabelecimento de *Paisagens Planálticas*.

As superfícies planálticas são superfícies erosivas provenientes da denudação de antigas planícies agradacionais ou do aplainamento diferencial de antigas paisagens montanhosas, determinado por uma ação prolongada dos processos erosivos (VILLOTA, 2005). Na área de estudo, a ação denudacional definiu a alternância entre topos de morros com diversos níveis de aplainamento e a formação de taludes com tamanho e inclinação variável, como é mostrado na Figura 43.

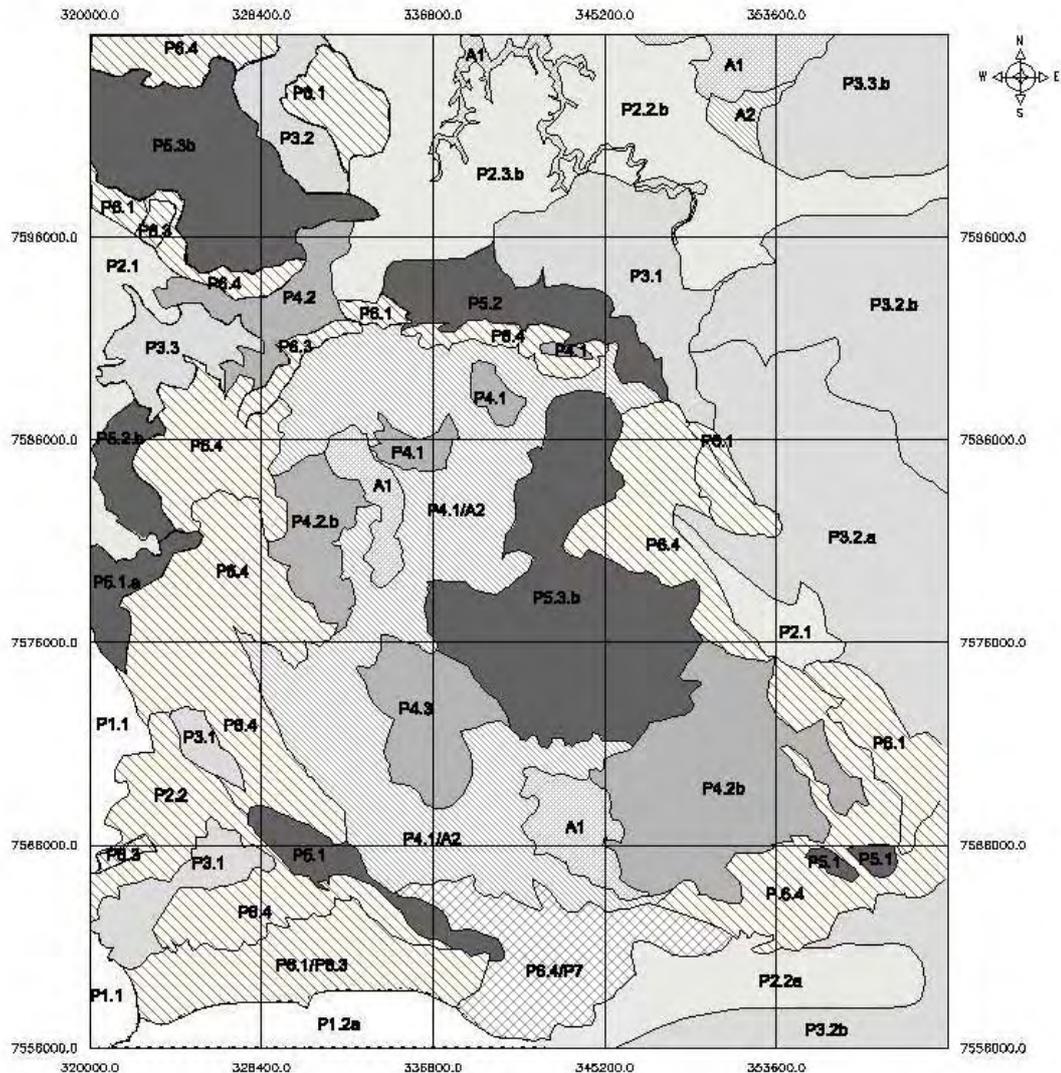
Conforme discutido anteriormente, cada unidade fisiográfica é definida em função de sua gênese e apresenta elementos morfológicos característicos. As unidades fisiográficas de maior expressão nas paisagens planálticas são os **planaltos** e os **taludes**, sendo que os planaltos podem apresentar um topo com **morfologia** determinada pela presença de colinas em formato de meia-laranja ou colinas alongadas, o que remete ao embasamento litológico/estrutural e ao sistema morfotectônico. As colinas alongadas estão associadas a materiais metamórficos como os gnaisses e os migmatitos, enquanto as colinas arredondadas associam-se à laterização de granitóides e rochas alcalinas. Havendo também nestes modelados o controle estrutural definindo o sistema tensor atuante (unidirecional: colinas alongadas, multidirecional: colinas em forma de meia-laranja). Ocorrem também planaltos que não estão associados a nenhuma geoforma específica.

- **Planaltos**

Segundo Villota (2005), os planaltos são unidades genéticas de relevo de extensão regional que compreendem todo tipo de antigas terras planas que foram soerguidas, deixando de lado o comportamento agradacional que apresentavam anteriormente. Os planaltos se encontram em diferentes altitudes, apresentando coberturas/estratos horizontalizados formados por sedimentos e/ou materiais vulcânicos. Cabe ressaltar que as planícies soerguidas podem ter origem marinha, fluvio-marinha, lacustre, aluvial, vulcânica, estrutural, entre outras. As coberturas existentes nos planaltos vêm sendo submetidas, por diferentes períodos e mediante diferentes intensidades, ao ataque gradual de um conjunto de processos degradacionais, incluindo-se uma forte meteorização e desenvolvimento pedogenético, e posteriormente, a ação da erosão fluvial e algumas formas de remoção em massa, que vão transformando sua morfologia inicial.

PAISAGENS E UNIDADES FISIOGRAFICAS

Região de Poços de Caldas, MG/SP



Paisagem planáltica

- P1 - planalto muito baixo (600-800m)
 - P1.1 - levantamento dissectado
 - P1.2 - moderadamente dissectado
 - P1.3 - fortemente dissectado
- P2 - planalto baixo (900-1000m)
 - P2.1 - levantamento dissectado
 - P2.2 - moderadamente dissectado
 - P2.3 - fortemente dissectado
- P3 - planalto médio (1000-1200m)
 - P3.1 - levantamento dissectado
 - P3.2 - moderadamente dissectado
 - P3.3 - fortemente dissectado

- P4 - planalto alto (1200-1400m)
 - P4.1 - levantamento dissectado
 - P4.2 - moderadamente dissectado
 - P4.3 - fortemente dissectado
- P5 - planalto muito alto (>1400m)
 - P5.1 - levantamento dissectado
 - P5.2 - moderadamente dissectado
 - P5.3 - fortemente dissectado

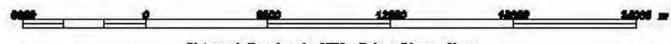
Morfologia associada aos planaltos:

- a. colinas arredondadas
- b. colinas alongadas

- P6 - tabuleiros
 - Morfologia associada aos tabuleiros:
 - P6.1 - rollinscos
 - P6.2 - côncavos
 - P6.3 - convexos
 - P6.4 - mistos
- F7 - lagoas coalescentes

Paisagem aluvial

- A1 - planície de inundação atual
- A2 - paleoplanície de inundação



Zonamento Geomorfológico do Planalto de Poços de Caldas MG/SP
 a partir de análises fisiográficas e pedoestratigráficas
 Tese de Doutorado de Fernanda Tonizza Moraes
 Orientador: Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Ruiz

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
 IGCE - Instituto de Geociências e Ciências Exatas
 Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente
 Campus de Rio Claro

Figura 43. Paisagens e unidades fisiográficas da área de estudo.

Durante a transformação morfológica ocorre a subdivisão da geoforma inicial em porções menores separadas por vales encaixados, ou a dissecação intensa através da atuação de uma vasta rede de drenagem. Neste sentido há a formação de colinas em formato de meia-laranja ou colinas alongadas no topo dos planaltos ao invés de superfícies planas.

Em terrenos cujo substrato é formado por rochas metamórficas e vulcânicas com a presença de dobras (*folded strata*), como na área de estudo, os estágios iniciais de erosão serão mais intensos nos antiformes ou nos blocos mais soerguidos, definindo a formação de topos de morros e colinas. Encaixando-se entre estes os vales estreitos que se formarão nos sinformes e nos blocos abatidos (HAMBLIN e CHRISTIANSEN, 1995).

Durante as etapas iniciais de denudação, os planaltos são cortados por cursos d'água que escorrem livremente sobre os taludes pouco íngremes, definindo um modelo de drenagem dendrítico. A densidade da drenagem depende da consistência das rochas e da permeabilidade dos estratos superiores do solo. Se os planaltos são muito elevados e as vertentes muito íngremes, os rios maiores escavam rapidamente profundas galerias, que vão se tornando cada vez mais amplos, passando a degradar os taludes e formando as chamadas *mesas*. Esta situação permanece até que se obtenha o equilíbrio da paisagem na forma de colinas com topos aplainados, especialmente se a paisagem estiver submetida a um clima seco (VILLOTA, 2005).

Nos planaltos que possuem baixa variação altimétrica, são menos marcantes o encaixe e o escavamento dos taludes pela drenagem, que neste caso também apresenta padrão dendrítico, porém com segmentos mais homogêneos em relação ao comprimento e profundidade, porém, com diferenças tanto na densidade quanto na forma e extensão dos interflúvios. Em todos os casos, porém em diferentes velocidades, o avanço da denudação define a formação um relevo maduro cujas características são, em um primeiro estágio, colinoso com topos estreitos e concordantes, posteriormente se reduzem os níveis interfluviais, a paisagem adquire formas arredondadas com taludes extensos, e finalmente, atinge uma forma aplainada com suaves ondulações (VILLOTA, op. cit.).

Através das Figuras 38 e 39 foi possível avaliar a grande amplitude altimétrica existente na área de estudo, que fez com que os planaltos pudessem ser divididos em cinco categorias na Figura 39:

P1 – planaltos muito baixos (800-900m)

Ocorrem na porção sul e sudoeste da área de estudo, estando inseridos na Região Fisiográfica Serras Cristalinas. Apresentam dissecação baixa a moderada, não havendo este

tipo de planalto fortemente dissecado. Correspondem às paleoplanícies da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, sendo, portanto, unidades fisiográficas que passaram de aluviais a planálticas. Registros do passado aluvial são os solos contendo grãos de quartzo e seixos com formato subarredondado a subangular e a ocorrência de canais abandonados nas proximidades de Santo Antônio do Jardim, por exemplo.

P2 – planaltos baixos (900-1000m)

Ocorrem em terrenos cristalinos associados à Represa da Graminha, norte da área de estudo, em que apresentam colinas alongadas definidas por material gnáissico-migmatítico e níveis de dissecção que variam de moderado a forte. Na paisagem à oeste da represa, a forte dissecção resulta do domínio morfoestrutural (alto estrutural) e favorece a formação de solos profundos e bem drenados quando associada a baixa declividade. Já a leste da represa, permanecem as colinas alongadas, porém a dissecção é moderada e a morfoestrutura é de baixo topográfico. A elevada dissecção é reflexo de reativação tectônica atual associada ao principal sistema tensor da área de estudo (NW).

A sudoeste, leste e sudeste, ocorrem pequenos planaltos baixos em terrenos cristalinos. A presença de colinas em forma de meia-laranja é devido ao domínio granítico e ao sistema tensor com fraturas perpendiculares. O nível de dissecção varia de fraco a moderado.

A noroeste ocorre um planalto baixo adjacente aos taludes que delimitam o planalto de Divinolândia (planalto muito alto). Este planalto baixo apresenta dissecção fraca e comporta-se como uma planície agradacional por receber sedimentos coluvionares provenientes do planalto muito alto adjacente. Porém, a oeste da deste planalto baixo, fora dos limites da área de estudo, ocorrem planaltos mais baixos que este, definindo desta forma seu comportamento como denudacional.

P3 - planaltos médios (1000 – 1200m)

Planaltos de grande expressão na porção leste da área de estudo, em que apresentam dissecção moderada, podendo ser delimitados pelo sistema de colinas associadas, havendo áreas com colinas em forma de meia-laranja e áreas com colinas alongadas. As colinas em forma de meia-laranja ocorrem mais próximas do contato do embasamento cristalino com as rochas sieníticas, já as colinas alongadas ocorrem em áreas cristalinas.

A nordeste ocorre o planalto em que se localiza a cidade de Botelhos, apresentando alta dissecção e m alto estrutural com formação de solos profundos e bem drenados.

Há planaltos médios também na porção noroeste, próximos ao planalto de Divinolândia, com dissecação moderada a forte em terrenos cristalinos com ação tectônica atual.

P4 – planaltos altos (1200 – 1400m)

Os principais planaltos altos da área de estudo correspondem às paleoplanícies inseridas no maciço, apresentando comportamento denudacional após soerguimentos, o que lhes conferem a classificação como planaltos altos fracamente dissecados. Representam o nível de base no interior da estrutura alcalina.

Sendo que o P4.2b adjacente (a leste) à planície de inundação da Represa Águas Claras está mais baixo em relação aos demais planaltos no interior do maciço, tendo sido este o último estágio da paleolagoa que deve ter sido drenada para o Rio Pardo. Tanto que apresenta expressivos volumes orgânicos enterrados.

Outros planaltos altos de menor extensão assemelham-se a morros residuais cobertos por material cascalhento no interior do maciço.

A baixa dissecação e a ausência de estruturação do relevo em formas definidas como colinas, por exemplo, indicam que os depósitos superficiais são muito recentes e que não há reativação tectônica atual, o que permite, de certa forma, uma datação relativa destas paleoplanícies e a reconstrução da evolução da paisagem. Ocorrem pequenos planaltos altos com dissecação moderada inseridos nestas paleoplanícies.

Há também um planalto alto destacado na Serra de São Domingos (norte da cidade de Poços de Caldas) que corresponde ao Retiro Branco, corpo de minério de bauxita muito explorado desde a década de 1970.

Não ocorrem estas unidades fisiográficas em terrenos cristalinos, um planalto alto próximo ao Planalto de Divinolândia situa-se no contato entre o embasamento cristalino e as alcalinas. Assim, os planaltos altos são feições características da Região Fisiográfica do Planalto de Poços de Caldas.

P5 – planaltos muito altos (acima de 1400m)

Representados pelas maiores elevações na área de estudo, que em alguns pontos ultrapassam 1600 metros de altitude: 1636m de altitude no Pico do Gavião em Andradas (SO), 1679m no maciço da Pedra Branca em Caldas (SE) e 1636m na Serra de São Domingos, em Poços de Caldas (N). Nestes planaltos, situados no contato entre os sienitos e as encaixantes, a dissecação varia de fraca a moderada e devido às altas declividades, são freqüentes as exposições de maciços rochosos associados a Neossolos saprolíticos.

Um planalto muito alto localizado fora do contato está situado bem ao centro da área de estudo, sendo resultante de diques e sills provenientes de uma intrusão alcalina de menor intensidade que definiu a formação de uma caldeira vulcânica que atualmente encontra-se extremamente dissecada. Esta região sofreu a ação do processo de hidrotermalismo e concentra grande parte das jazidas de minerais radioativos existentes na área de estudo.

Outro planalto muito alto é o de Divinolândia, já em domínio de materiais cristalinos, predominantemente gnaisses e migmatitos, com grande controle estrutural definindo a formação de colinas alongadas e drenagem em forma de treliça. A forte dissecção e a posição de alto estrutural alto topográfico favoreceram a concentração de minério de bauxita nesta unidade fisiográfica.

P6 - Taludes

Os taludes (ou vertentes) foram estudados intensamente pelos geomorfólogos, como resultado tem-se numerosos estudos sobre a origem e sobre a nomenclatura destas formas de relevo (DANIELS e HAMMER, 1992).

Neste estudo, consideraram-se como taludes as superfícies inclinadas do terreno associadas a depósitos de detritos (GUERRA, 1969). Na área de estudo, os taludes constituem importante feição fisiográfica, uma vez que são numerosos, embora não tenha sido possível representar todos os taludes existentes na escala deste trabalho.

A forma e a declividade dos taludes são fatores que interferem no potencial erosivo. Quanto à forma dos taludes, são possíveis muitas formas e arranjos complexos. Porém, para fins de análise, os formatos dos taludes foram agrupados em quatro categorias, representadas pela Figura 44.

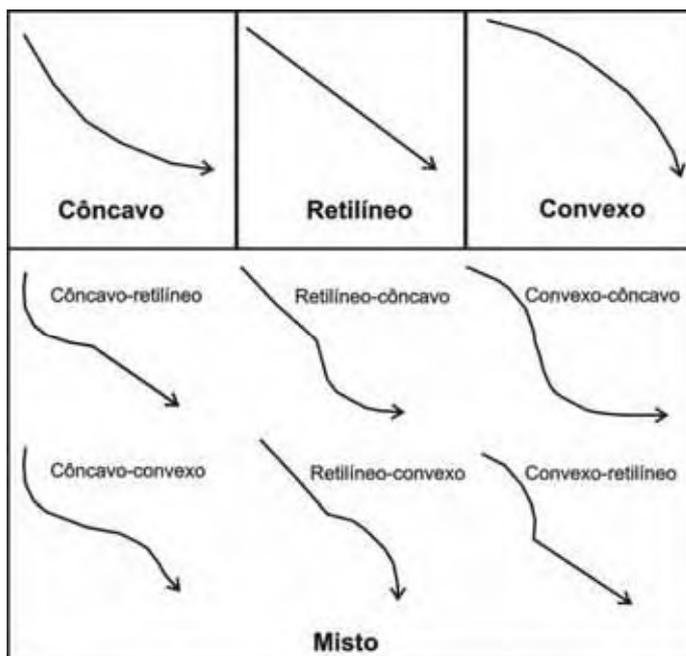


Figura 44. Morfologias de taludes

Segundo Daniels e Hammer (1992), simulações computacionais mostraram que os taludes côncavos apresentam menor potencial erosivo que os taludes convexas. Porém, os taludes mistos e curtos apresentaram maior potencial erosivo do que os taludes convexas ou retilíneos, porém nestes casos o total de sedimentos carregados é menor. Tanto os taludes côncavos quanto os mistos possuíam áreas de depósitos de sedimentos em suas bases, ou seja, nas áreas em que o potencial erosivo apresentava-se reduzido. Quanto à evolução destas formas, as simulações demonstraram que os taludes côncavo e misto mantiveram suas formas iniciais após a exposição a 50 episódios erosivos. Já os taludes retilíneo e convexo desenvolveram formas convexo-côncavas após a mesma exposição. Os dados também indicaram a ocorrência de erosão mais intensa na porção média do comprimento dos taludes, enquanto a maior deposição de sedimentos ocorre nas porções côncavas.

Na área de estudo, predominam os taludes mistos, como na Figura 45 em que um talude localizado na Serra do Pico do Gavião (região de Andradas) apresenta três formas diferentes ao longo da seção. De uma forma generalizada, são mais freqüentes os arranjos entre porções convexa e retilínea como é mostrado na Figura 46, nas proximidades de Águas da Prata. Os taludes côncavos muitas vezes são estreitos e restritos às chamadas “galerias” de drenagem que ocorrem em meio às vertentes convexas ou retilíneas de maior extensão.



Figura 45. Talude misto nas proximidades de Andradas. Localização: Próximo ao ponto 05 no Anexo 1.

Os depósitos de detritos que ocorrem associados aos taludes inseridos em paisagens planálticas na área de estudo são constituídos em grande parte por material coluvionar de transporte gravitacional. O colúvio se origina de deslizamentos, desmoronamentos, fluxos terrosos e desprendimentos. Em consequência, depositam-se a curta distância de sua fonte, e os fragmentos não chegam a modificar suas arestas angulares, sua distribuição é caótica sem estratificação, dando origem a uma topografia irregular, inclinada a ondulada (VILLOTA, 2005).

Na área de estudo o material coluvionar é formado por fragmentos de rochas alcalinas ou cristalinas (dependendo do embasamento) e sua angularidade reflete a distância em que sofreu transporte gravitacional. Quanto mais anguloso e de maiores proporções, menor a distância de origem. Também são materiais coluvionares comumente encontrados os fragmentos de lateritas e latossolos exumados, que ao se depositarem e intervindo os fatores bioclimáticos podem promover a retrogênese nos perfis. É importante salientar que estes materiais coluvionares muitas vezes recobrem unidades de origem fluvial e que não estão restritos aos taludes, mas também aos planaltos. Estes materiais, ao se depositarem, favorecem o desenvolvimento de solos a partir de material regolítico.



Figura 46. Talude convexo na estrada Poços de Caldas – Águas da Prata (Santa Rita do Quartel).
Localização: Próximo ao ponto 30 no Anexo 1.

Deve-se destacar a ocorrência de material coluvionar bem característico distribuído em todo o interior e nas bordas do maciço. Este material é formado por fragmentos de rochas alcalinas e lateritas, ambos com formato angular a subarredondado e tamanho centimétrico, dificilmente ultrapassando 10 cm quando expostos na superfície, conforme mostrado pelas Figuras 47, 48 e 49.

A Figura 47, tomada na porção centro-sul do interior do maciço mostra em detalhe o material coluvionar, a Figura 48 tomada próxima à Represa Águas Claras (INB) mostra uma ocorrência deste material coluvionar em meio ao perfil de solo, constituindo o volume BC. No volume 3Bicn é destacado em branco um pequeno seixo deste material coluvionar encontrado em porção inferior do perfil, indicando a ocorrência de depósitos coluvionares sucessivos.

A Figura 49 foi tomada nas dependências do jardim botânico de Poços de Caldas, próximo à Represa do Bortolan, porção noroeste do maciço, em que este mesmo material coluvionar é encontrado soterrando um material argilúvico (MORAES e JIMÉNEZ-RUEDA, 2005b) e recoberto por volume câmbico com argilização.

- Leques coalescentes

Os **leques coalescentes** ou depósitos de *piemonte* são formados pela ocorrência sucessiva de cones de deslizamento e outros depósitos coluvionares na base de uma vertente (VILLOTA, 2005). Na área de estudo, estes leques são muito frequentes e podem ser

reconhecidos através da fotointerpretação por sua localização e pelas formas arredondadas, porém, em grande parte dos casos, estes leques já se encontram incorporados aos planaltos e/ou aos taludes.

Embora nos cones possa não haver seleção de materiais, por serem formados muitas vezes por movimentos rápidos e de grande energia, em alguns casos, quando o transporte é mais lento, torna-se possível visualizar a sequência de sobreposição de deslizamentos por diferenças na textura. Por vezes, a diferenciação é possível através da análise da composição e granulometria do depósito, demonstrando diferentes pulsos de deposição em um relevo policíclico, como na Figura 50 em que há uma fraca seleção do colúvio quanto à granulometria.



Figura 47. Colúvio superficial na porção interna do maciço. Localização: Próximo ao ponto 48 no Anexo 1.



Figura 48. Material coluvionar definindo volume BC. Localização: Perfil 48 no Anexo 1.



Figura 49. Material coluvionar soterrando material argilúvico. Localização: Perfil 25 no Anexo 1.



Figura 50. Perfil de solo em leque coalescente na serra ao norte da cidade de Andradas. Localização: Perfil 52 no Anexo 1.

- Paisagens Aluviais:

Nestas paisagens predominam os processos de agradação, tendo como principal agente modelador a atuação da água impulsionada pela força da gravidade, agindo tanto no transporte quanto do depósito de sedimentos. O depósito destes sedimentos ocorre nos locais em que a redução da declividade impõe menor energia e velocidade ao fluxo da água (VILLOTA, 2005).

As águas correntes fluindo preferencialmente através das fraturas do terreno fortalecem seu entalhe e erosão, sendo responsáveis pelos diferentes graus de dissecação do terreno, conforme discutido anteriormente. A ocorrência de barramentos de drenagem favorece seu acúmulo, definindo a formação de ambientes lacustres.

As unidades fisiográficas que caracterizam as paisagens fluviais, aluviais e lacustres são as **planícies de inundação**, podendo ser delimitadas na área de estudo pela presença de elementos morfológicos como terraços, diques marginais, áreas alagáveis e canais

abandonados. Estes elementos foram avaliados durante a fotointerpretação, porém não foi possível representá-los na escala de apresentação.

As **planícies** são superfícies mais ou menos planas, onde os processos de agradacão superam os de degradação (GUERRA, 1969). Podem ser formadas por sedimentos oriundos de atividade eólica, marinha, fluvial, lacustre e/ou glacial. Sendo que a origem do sedimento é responsável pela diferenciação na classificação das planícies, como planícies fluvial, lacustre, litorânea e de ablação ou glacial.

As planícies de inundação são representadas pela parte do vale que se encontra um pouco elevada em relação ao canal fluvial, sendo uma área sujeita a enchentes e transbordamentos periódicos (GUERRA, op. cit.).

As planícies de inundação podem ser divididas em planície **atual** e **paleoplanícies**. As planícies de inundação atual (A1) correspondem às áreas que são banhadas por canais atuais, apresentando os depósitos inconsolidados cenozóicos que as delimitam. A falta de estruturação destes depósitos faz com que se apresentem nas imagens com uma textura lisa e uniforme, fracamente dissecada, facilitando a sua delimitação. Na área de estudo estão associadas ao terraço fluvial da Represa da Graminha (extremo norte da área), ao terraço e lagoas marginais do Ribeirão das Antas (parte central do maciço). No extremo sudoeste da área, nos limites do município de São João da Boa Vista, os planaltos baixos levemente dissecados (P1.1) encontram-se associados a planícies de inundação da bacia hidrográfica do Rio Moji-Guaçu.

As paleoplanícies de inundação foram soerguidas e não apresentam o comportamento agradacional que possuíam no passado, representando a transição entre planície atual e planalto muito baixo. Apresentam remanescentes de unidades fisiográficas típicas de ambientes fluviais, como terraços escalonados, diques marginais e paleocanais ou paleolagoas abandonadas.

As paisagens podem ser datadas de forma relativa segundo os critérios muito antigo/antigo/subrecente/recente/subatual/atual (BARBOSA et al., 2005), desta forma as paleoplanícies que ocorrem na área de estudos foram consideradas como planícies de inundação subatuais (A2).

As planícies de inundação atual (A1) encontradas interior do maciço associam-se ao Rio das Antas, no centro-sul da área de estudo, abrangendo a Represa de Águas Claras, onde se origina o Rio das Antas e na porção noroeste, ainda associada a este rio. Também as planícies de inundação subatuais estão associadas ao Rio das Antas, sendo que nestas planícies ocorrem lagoas marginais temporárias que dificultam o uso da terra, mas apresentam

importante papel ecológico na manutenção dos ecossistemas típicos de áreas alagáveis. As paleoplanícies apresentam terraços que foram soerguidos e comportam-se atualmente como pequenos planaltos, delimitados por taludes de forma e extensão variável (MORAES e JIMÉNEZ-RUEDA, 2005b).

As planícies de inundação atual que ocorrem na porção sudoeste, na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, possuem grande contribuição arenosa, o que confere ao solo boa textura em conjunto com as argilas.

Ao norte da área de estudo, uma planície atual é representada pela Represa da Graminha, em que o principal contribuinte a leste é o Rio Pardo e a oeste, o Rio Lambari (chamado de Rio das Antas em sua montante). Há também planícies menores próximas à cidade de Botelhos, sendo uma atual e uma subatual. Uma análise superficial das imagens de satélite indica que na bacia do Rio Pardo ocorre erosão mais intensa pela alta concentração de sólidos em suspensão nestes drenos em comparação com os da bacia do Rio Lambari.

Todas estas planícies apresentam canais abandonados e paleolagoas de pequena extensão que se tornaram muito ricas pela decomposição química dos minerais sem erosão e pela retenção de boa parte da riqueza química lixiviada dos morros e encostas adjacentes (SETZER, 1956).

Evolução fisiográfica da área de estudo

As oscilações climáticas (Figura 51) e as reativações tectônicas ao longo do tempo foram imprimindo à paisagem e aos solos características que permitem acessar este histórico evolutivo.

A partir das evidências obtidas em campo, apresenta-se a seguir uma proposta de evolução fisiográfica da área de estudo. O aspecto mais importante desta proposta reside na característica policíclica de formação das paisagens. Ou seja, por inúmeras vezes os processos pedogênicos se alteraram graças à ação tectônica e mudanças climáticas (THOMAS, 1994; SALGADO-LABORIAU, 2004) associadas. Esta proposta deverá ser confirmada pela realização de datação cronológica absoluta.

O processo de maior importância e que marca um início para a definição das paisagens da área de estudo foi o vulcanismo do Cretáceo Médio ao Cretáceo Superior, dominado pela intrusão de rochas alcalinas que ao penetrarem litologias mais antigas, promoveram uma reorganização nas unidades fisiográficas já existentes, definindo uma sobreposição dos processos e das paisagens existentes. Através de pulsos tectônicos teve-se a formação de

serras e montanhas definindo as bordas de caldeiras vulcânicas, diques e sills (ELLERT, 1959) graças ao sistema de falhas que foram criadas ou reativadas em decorrência da intrusão alcalina. Neste período, o clima quente e seco (70 a 65 Ma.) induziu à formação de bauxita silicosa em pH alcalino, com a solubilização dos compostos de Al^{+3} e SiO_4 .

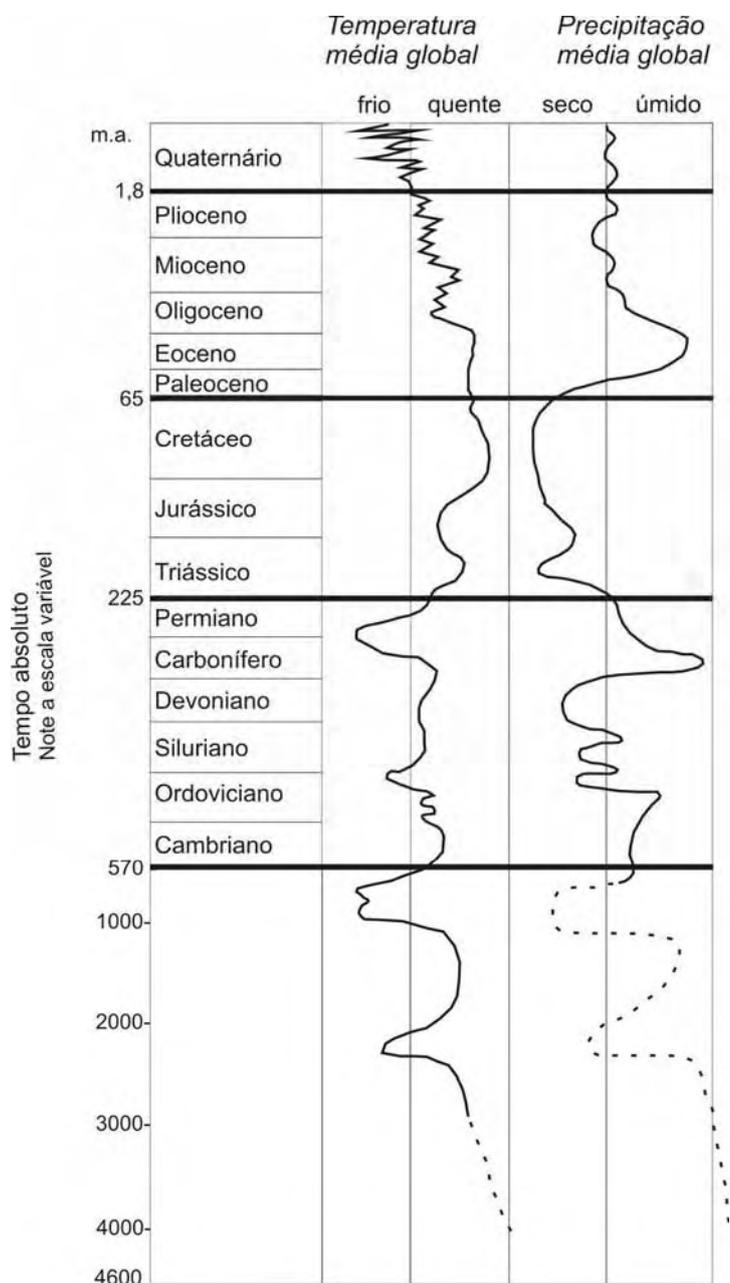


Figura 51: Oscilações climáticas ao longo do tempo geológico. Fonte: Bradley (1985).

Os terrenos que circundam a estrutura alcalina também foram alterados pela intrusão. Na região sudoeste da área de estudo, nas proximidades do município de Águas da Prata, as bordas da caldeira alcalina configuram-se em serras íngremes e com declividades acentuadas, impondo limitações ao desenvolvimento agrícola e ocupação urbana. Estas serras são

formadas por rochas alcalinas intrusivas como o tinguaíto, mas são também frequentes as extrusivas como tufos e brechas, que podem ser avistados nas adjacências da Fazenda Santa Rita do Quartel e do Bairro Fonte Platina. Estas rochas encontram-se alternadas com arenitos e siltitos da Bacia do Paraná e rochas cristalinas, sendo que estes contatos não são nítidos, pois aparentemente, o processo de intrusão alcalina definiu uma silicificação dos materiais pré-existentes. Na porção leste a transição de rochas alcalinas para cristalinas se deu de forma gradual e não houve a formação de serras e montanhas que delimitassem o limite exato da borda vulcânica a norte do município de Caldas. Nesta região, é visível o escalonamento do terreno devido a falhas e a formação de sistemas alternados de soerguimento e abatimento de blocos.

Ao final do Cretáceo superior – início do Terciário inferior, houve a instalação de clima tropical típico com altas precipitações e temperaturas. Estas condições acidificam o solo e induzem à precipitação de ferro (Fe_2O_3) e lixiviação de SiO_4 , gerando as lateritas férricas típicas de perfis latossólicos. A latossolização foi profunda e acompanhada pela formação de materiais plínticos, sendo que este processo se sobrepôs às bauxitas silicosas e por vezes definiu a formação de uma nova crosta bauxítica, desta vez sem a presença de sílica.

Do Eoceno médio ao Oligoceno médio o clima tropical permite a continuidade do processo de latossolização intenso acompanhado pela laterização profunda. Porém, entre o Eoceno inferior e Eoceno superior, a ocorrência de eventos tectônicos causa a reativação vulcânica (abatimento da porção central e formação das crateras pequenas) e a mudança climática associada (ambiente se torna seco – carbonatos em Itaboraí e Curitiba), favorecem os processos erosivos, levando ao desmantelamento parcial da Superfície Sul Americana. O clima árido/xerofítico originou carbonatos e promoveu silicificações inclusive das lateritas, gerando novos depósitos de bauxita neste tipo de ambiente e, portanto, promovendo o desenvolvimento inclusive de ambientes propícios à laterização.

No Oligoceno médio ao superior houve a retomada do clima tropical e a volta dos processos de latossolização e laterização intensa, com a formação de laterita ferruginosa de grande porte e amplamente distribuída na região.

Ao final do Oligoceno superior instalou-se o clima temperado frio, pela ação tectônica que determinou também a inversão do relevo e a geração de ambientes lacustres com matéria orgânica associada.

Durante o Mioceno o clima se torna quente e seco, definindo a Superfície das Velhas pela intensa erosão.

Do Plioceno ao Pleistoceno (Neógeno) ocorreu a retomada do tropicalismo, definindo a latossolização com formação das lateritas imaturas (estreitas e associadas a cascalheiras).

Do Pleistoceno médio ao Holoceno, ocorre nova inversão do relevo, com a formação de um lago que recebe os sedimentos coluvionares gerados pela erosão dos planaltos e taludes que se encontravam nas porções laterais da cratera principal. A formação de um paleoambiente aluvial, com inúmeras planícies e terraços que configuravam um ambiente fluvial típico, tem como evidências as lagoas marginais na bacia do Ribeirão das Antas e os Organossolos associados a paleoterraços.

Estes materiais coluvionares tratam-se de lateritas e concreções bauxíticas que se encontram amplamente distribuídas por todo o interior e bordas do planalto, recobrando perfis de solos mais antigos que foram truncados pela erosão. Esta cobertura concrecionária e coluvionar é típica do interior e das bordas do maciço (Figura 52).

Durante todo o processo de evolução da paisagem, a reorganização estrutural ocorrida por pulsos tectônicos resultaram no soerguimento de blocos que ficaram expostos aos processos erosivos, sendo a denudação dos *horsts* seguida pela deposição nos *grabens*. Assim, teve-se por várias vezes o rompimento de perfis lateríticos profundos e a exumação das partes superiores, gerando materiais cascalhentos que atualmente são amplamente distribuídos.

Os perfis que foram exumados são encontrados atualmente com registros em suas partes basais, estes registros são representados por volumes plínticos (Cf, Bf) e lateritas (Fm) fragmentadas.

Assim, as variações das condições climáticas conduziram a processos alternados de formação de carbonatos, bauxitização, laterização, latossolização e argilização, sendo que estes últimos vêm sendo retomados recentemente com a predominância do clima tropical. Estas alternâncias ocorreram por diversas vezes após as intrusões alcalinas, determinando o revezamento entre períodos com a predominância de processos de erosão e deposição de camadas regolíticas com períodos mais estáveis para lixiviação intensa e formação de argissolos em sinformes e latossolos em antifformes. Porém, devido a reativações ocorridas durante o Cenozóico, houve um retrabalhamento estrutural destas paisagens, definindo a instalação/reactivação de falhamentos que por sua vez, levaram ao soerguimento e abatimento de blocos e alterações em cursos de rios. Estes elementos e seus solos típicos são muito comuns na área de estudo e atuam como registros de situações ecogeodinâmicas anteriores, e sua datação permitirá que se confirme esta proposta de evolução da área de estudo.



Figura 52. Cascalhos formados por concreções e fragmentos de lateritas. Localização: Próximo ao ponto 69 no Anexo 1.

Pedologia e pedostratigrafia

O levantamento dos solos da área de estudo teve como guia o mapa de unidades fisiográficas, partindo-se do pressuposto que cada unidade fisiográfica apresentaria uma seqüência pedostratigráfica típica e que as seqüências de solos/volumes de alteração sobrepostos seriam utilizadas como testemunhos dos processos de gênese e evolução das paisagens.

Foram avaliados o total de 75 perfis. Devido à extensão da área e por se tratar de um levantamento exploratório e o primeiro a ser realizado com enfoque pedostratigráfico, o grau de detalhamento para a descrição dos perfis foi variável e não foram realizadas análises laboratoriais. Ao término do programa de doutorado, pretende-se selecionar alguns perfis mais característicos de cada unidade fisiográfica para proceder às análises químicas, mineralógicas e datações para que se possam comprovar as hipóteses levantadas, bem como aumentar a confiabilidade dos levantamentos de campo realizados.

Caracterização pedogenética dos materiais de cobertura

A caracterização das Coberturas de Alteração Intempérica (CAI), Volumes de Alteração Intempérica (VAI) e Unidades de Alteração Intempérica (UAI) associada às normas clássicas de descrição de solos são capazes de abranger de forma generalizada os processos envolvidos na pedogênese, que por sua vez associam-se à formação da paisagem. Desta forma, são apresentadas algumas considerações sobre estes materiais na área de estudo.

- Coberturas de alteração intempérica (CAI)

As CAI podem ser entendidas como o resultado da interação de processos exógenos e endógenos na formação de solos. Os processos exógenos são provocados fundamentalmente pela interação dos elementos do clima – radiação solar, temperatura, umidade relativa, precipitação, vento e gelo, responsáveis pela geração de paisagens áridas e desérticas ou pluviais e fluviais, assim como marinhas, dunares e glaciares. Os processos endógenos referem-se à geração de rochas, vulcanismo e deformações tectônicas que vêm atuando/interatuando durante o tempo e originando diferentes formas de relevo (OHARA et al., 2003).

Associam-se às CAI grandes processos pedogênicos tais como podzolização, calcificação, laterização, gleização, salinização, solonização e solodização (BOCKHEIM et al., 2005). Segundo Resende et al. (1995) os grandes processos são cinco: podzolização, latossolização, calcificação, hidromorfismo e halomorfismo, sendo que cada um dos processos está associado a um conjunto de reações físicas/químicas principais no solo que são conduzidas pelas condições da paisagem em que este se insere (Tabela 5).

No planalto de Poços de Caldas e suas adjacências predominaram inicialmente as CAI lateríticas formadas durante períodos tropicais úmidos determinando a ocorrência de hidrólise total e parcial e a formação de latossolos com lateritas de coloração avermelhada/amarelada com estrutura prismática. Muitos destes latossolos foram sendo exumados por ciclos erosivos, sendo que atualmente encontram-se apenas os seus registros através dos volumes plínticos e lateritas fragmentadas amplamente distribuídas.

Mais recentemente, as condições climáticas favoreceram o processo de argiluviação, com a formação de volumes Bt e a argilização de volumes Bw, por exemplo, que pode ser verificado pela presença de volumes argilúvicos a partir dos quais se formam frentes de penetração profundas. Também a atuação do hidromorfismo definindo atualmente os volumes glei e no passado, a formação de volumes orgânicos que se encontram enterrados. As mudanças nos processos pedogênicos são esperadas em um ambiente policíclico e demonstram a importância da análise pedoestratigráfica.

A dominância destes processos sobre os demais se deve em grande parte às condições morfoclimáticas regionais discutidas anteriormente para a definição fisiográfica da área de estudo. Ressalta-se que a presença dos mares de morros deve-se ao estabelecimento de condições aceleradas de intemperismo, ao mesmo tempo em que favorece o intemperismo. Assim, como regra geral, tem-se atualmente sobre clima tropical a laterização em altos estruturais e a argilização em baixos estruturais, como será discutido adiante.

A laterização associada ao hidromorfismo é marcante em paisagens definidas por planícies de inundação (Rio Pardo, Rio Moji-Guaçu e Ribeirão das Antas/Rio Lambari/Represa da Graminha), além da ocorrência de horizontes glei associados a drenagens de menor porte, como por exemplo, ao longo do Ribeirão do Quartel. Ao longo do Ribeirão das Antas, há a formação de paleolagoas (Figura 53) e o afloramento de volumes gleicos espessos. Também ocorrem organossolos enterrados e turfas próximos à Represa do Bortolan e da Represa de Águas Claras.

Estes volumes de materiais orgânicos enterrados e preservados são um indício de que em tempos pretéritos a região deveria apresentar uma drenagem muito mais densa, definindo

a formação de inúmeras lagoas marginais que foram sendo abandonadas conforme ocorria o desvio do curso e da vazão do rio para os moldes atuais. Estas paleolagoas hoje se configuram como terraços e planaltos.

Considerando-se a proximidade com rios atuais de grande porte, como o Moji Guaçu e Pardo, pode-se levantar a hipótese de que no passado, estes rios desaguaram e/ou se originaram no interior do maciço alcalino e configuravam um sistema de drenagem bem mais volumoso que o atual. A interrupção deste sistema de drenagem antigo pode ter ocorrido com a elevação das caldeiras menores através de pulsos tectônicos, definindo novos divisores de águas. Esta hipótese será trabalhada futuramente pela equipe do Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda mediante datação dos sedimentos e materiais orgânicos associados, bem como análises palinológicas.

Outro trecho que apresenta a formação de lagoas marginais e paleocanais abundantes situa-se ao longo do Rio Moji Guaçu. Suas planícies de inundação são extensas e dissecadas, apresentando processos erosivos em terraços atuais. Especificamente no trecho da bacia do Rio Prata (que ocupa o extremo sudoeste da área de estudo) são comuns as planícies subatuais com formação de lagoas marginais.

A argiluviação é intensa nas bordas do maciço e nas porções externas, havendo também argilização menos intensa no interior do maciço. O processo de argiluviação opera muitas vezes sobre volumes característicos de outros processos pedogênicos, sendo freqüente a argilização de materiais regolíticos e de latossolos exumados. Assim, registrou-se a ocorrência de volume Bit ou Bwt, ou seja, argiluviação em volume B câmbico ou B latossólico, o que demonstrou o direcionamento da pedogênese atual, mas representou dificuldade para a classificação dos perfis de solo.

No trecho sul da área estudada, o processo de laterização atuando em materiais cristalinos define a formação de sedimentos grosseiros e arenosos, nos quais em muitos casos foi sobreposto o processo de argilização. Os horizontes claros superficiais são materiais alóctones provenientes do intemperismo de granitos e gnaisses (pelo alto teor de quartzo) intensamente lavados que se depositam sobre Argissolos e Cambissolos exumados vermelhos e vermelho-amarelos.

Do ponto de vista econômico, a ampla ocorrência da laterização e das acumulações dos depósitos concrecionários lateríticos provindos das laterizações anteriores e dos processos de retrabalhamento no maciço são responsáveis pelas extensas jazidas de bauxita que se encontram mais freqüentemente em altos estruturais na porção norte e nordeste da área de

estudo. Na porção central do maciço, a bauxita ocorre muitas vezes associada a argilas (VALETON et al., 1997) o que encarece seu beneficiamento.

Tabela 5. Características dos processos pedogênicos que definem as Coberturas de Alteração Intempérica (CAI's)

<i>Processos pedogênicos</i>	<i>Reações principais</i>	<i>Ambientes típicos de ocorrência</i>
Podzolização (argilização)	Translocação de material (argila, matéria orgânica e óxidos de Fe e Al) dos horizontes superficiais e provável acúmulo em horizontes inferiores	Regiões frias com vegetação de coníferas ou regiões tropicais com condições intermediárias de percolação e escoamento da água
Laterização (latossolização)	Remoção de sílica e de bases do perfil, podendo haver a formação de lateritas (concentração de minerais lixiviados)	Regiões com alta pluviosidade e boas condições de percolação e escoamento da água
Calcificação	Translocação de CaCO ₃ no perfil	Precipitação moderada e grande acúmulo de matéria orgânica
Hidromorfismo	Redução de elementos metálicos como Fe e Mn e baixa velocidade de decomposição da matéria orgânica	Ambientes com más condições de drenagem ou em constante contato com o lençol freático
Halomorfismo	Concentração de sais pela evaporação da água gera solos salinos.	Depressões com excesso temporário de água e de sais em clima quente e árido.

Fonte: modificado de Resende et al (1995).

Com a participação do hidromorfismo, há a formação de argilas que são exploradas por olarias e empresas de beneficiamento.

Algumas exceções aos processos pedogenéticos já discutidos são as ocorrências de solos com estrutura fortemente colunar, definida pela predominância de processos de salinização e carbonatação devido ao clima seco e evaporativo, reflexo das mudanças climáticas no Terciário inferior. Em alguns locais observa-se material alóctone recobrendo solo com forte estrutura colunar. São visíveis estas estruturas na Serra do Pico do Gavião, apresentando contato abrupto com depósito de materiais coluvionares. O perfil foi apresentado anteriormente na Figura 16 e demonstra também que as estruturas colunares foram geradas anteriormente ao depósito, pois a mesma estruturação não é vista no depósito superior.

Devido ao relevo acidentado e aos fortes eventos tectônicos ocorridos durante o modelado da paisagem na área e conjuntamente, os processos pedogenéticos, são comuns o truncamento de materiais alóctones e autóctones. Muitas vezes foram encontrados em campo depósitos sucessionais de materiais alóctones, o que representa um grande desafio do ponto de

vista geotécnico para a compreensão do comportamento físico/mecânico do substrato, que não é derivado da rocha subjacente e nem pode ser retratado apenas por seus horizontes superficiais (OLLIER e PAIN, 1996).



Figura 53. Planície de inundação do Ribeirão das Antas. Localização: Próximo ao ponto 60 no Anexo 1.

- Volumes de alteração intempérica (VAI)

O registro de processos pedogênicos específicos se dá nos horizontes/volumes diagnósticos, definidos como volumes de alteração intempérica (VAI), que guardam indícios dos processos de transformação, adição, subtração ou translocação de minerais (JENNY, 1941).

A diferenciação entre volumes de alteração intempérica e horizontes diagnósticos reside no fato de que em alguns casos, os elementos fundamentais para elucidar os processos pedogênicos não se encontram na forma de camadas ou horizontes (como já mostrado na Figura 50), mas na forma de volumes de materiais diferenciados dentro do perfil. Embora em muitos casos haja uma equivalência entre horizontes diagnósticos e VAI's, o conceito de VAI é mais abrangente que o de horizontes diagnósticos, incluindo o que segundo o SiBCS, são atributos diagnósticos, tais como caráter, contato, entre outros (IBGE, 2005)

Os VAI's mais representativos da área de estudo estão listados a seguir. Suas principais características são comentadas conforme IBGE (2005) e EMBRAPA (2006).

- Ab: este volume é definido pela ocorrência de horizonte orgânico enterrado/soterrado por materiais necessariamente alóctones mais recentes. Quando localizado em regiões distantes da drenagem atual, sua ocorrência implica na existência de um paleossistema de drenagem, uma vez que a matéria orgânica necessita de ambiente redutor (saturado por água) para se acumular. Assim, é um VAI típico de paleoplanícies de inundação.

- Bi: horizonte B com desenvolvimento incipiente, ou B câmbico, indica a ocorrência de solos jovens nos quais o processo pedogenético ainda não imprimiu feições características como desenvolvimento de cor e estrutura. Podem ocorrer em materiais alóctones ou autóctones, sendo mais frequentes nos primeiros. Em alguns casos relatou-se a ocorrência de volumes Bit ou ainda Bith (h = húmico).

- Bt: horizonte B com acumulação de argila e cerosidade (devido à presença de cútans de argila) em mais de 20% da amostra. Ocorrem em solos maduros com estrutura prismática (mais comum). Sua presença define os Argissolos e/ou materiais argilúvicos.

- Bg: Horizonte B glei, usado para designar desenvolvimento de cores cinzentas ou mosqueamento decorrentes da redução do ferro em ambiente saturado com água. São comuns ao longo dos rios e em planícies de inundação atuais.

- Crf: horizonte C com plintificação. A segregação de minerais secundários, pouca ou nenhuma matéria orgânica e concentração de quartzo e argila caracterizam a plintificação, que é um processo pedogenético típico na frente de latossolização, ou seja, sobre um plintito desenvolve-se uma laterita e um latossolo, que no caso da área de estudo, não se encontram *in situ* por terem sido truncados e carregados.

- BC: ocorrência de horizonte cascalhento regolítico em matriz argilosa, formado por seixos e cascalhos grosseiros de materiais diversos que serão intemperizados e saprolitizados, dando origem a um solo discordante do que se desenvolveria a partir do material autóctone. Esta discordância pode ser estrutural, cor, granulometria, etc.

-AC: cascalheira superficial associada a matéria orgânica.

- CrFm: Lateritas que podem ser acompanhadas por volume B latossólico, material extremamente intemperizado caracterizado pela presença de óxidos/hidróxidos. Ausência de minerais primários e secundários, na área de estudo há ocorrência de lateritas bauxíticas (Fm).

Os VAI's podem ser usados como indicadores do equilíbrio geoquímico (termodinâmico) destes volumes, que são caracterizados pelas Unidades de Alteração Intempérica (UAI).

- *Unidades de alteração intempérica (UAI)*

As unidades de alteração intempérica (UAI) tratam de processos de reorganização plásmica, especificamente alitização, monossilificação e bissialitização, sendo que estes processos são determinados durante a laterização pela ocorrência de hidrólise total (alitização) ou parcial (mono ou bissialitização). O processo de alitização induz à formação e concentração de óxidos e hidróxidos, a monossilificação geralmente leva à formação de argilas de baixa atividade do grupo das caulinitas (1:1) e a bissialitização, à formação de argilas de alta atividade do grupo das esmectitas e montmorillonitas (2:1) (Costa, 2004; FASSBENDER, 1975).

Estes processos são definidos pelo conjunto das condições climáticas, fisiográficas e litológicas e estruturais associadas.

Como efeito das condições climáticas, a precipitação na borda do planalto é apreciavelmente maior do que no centro ou nas porções externas à caldeira alcalina. Em função da maior precipitação, tem-se nas bordas do planalto a ocorrência do processo de bauxitização (alitização), que também é favorecida pela ocorrência de fases climáticas alternadas (secas e úmidas), como as que ocorrem na região. A drenagem rápida por taludes íngremes cria um efeito da alternância entre períodos secos e chuvosos, favorecendo ainda mais a alitização (WEBER. 1959).

Nas planícies ou locais com algum impedimento à drenagem, a alitização é substituída pela formação de argilas monossilíticas ou bissialíticas (VALETON et al., 1997).

Quanto aos aspectos litológicos e estruturais, os sienitos são mais porosos que os fonolitos, mas como ambos são cortados por fraturas e as fraturas são os principais pontos de ataque para a água das chuvas, apresentam boas condições à alitização para a formação de bauxita (WEBER op. cit.).

Waber (1991) avaliou a composição da fração argila associadas às rochas fonolíticas, detectando o predomínio de illite e secundariamente caulinita (Figura 54). Weber (1959) cita a formação de minerais caulíníticos na base de perfis bauxíticos.

A illite se forma a partir das micas como a muscovita, apresentando menos potássio e mais água de hidratação entre lâminas, sendo também denominada de mica hidratada. É uma argila com capacidade de troca catiônica (CTC) intermediária (10 – 50meq/100g de argila). Não apresenta expansibilidade. Através da acumulação de água intraplacas e meteorização que ocorre em alguns casos, produz-se a seguinte ordem mineralógica: Mica ↔ illite ↔ vermiculita ↔ montmorillonita . A caulinita geralmente é derivada de feldspatos ortoclásios e albita. Possui um alto grau de estabilidade e se encontra em solos extremamente meteorizados. Não é expansível e apresenta baixa CTC (3-10meq/100g de argila) (FASSBENDER, 1975).

A dominância da illite indica a ocorrência de solos jovens, ao passo em que a caulinita associa-se a solos antigos. A ocorrência destes dois argilominerais é um indício de ambiente poligênico.

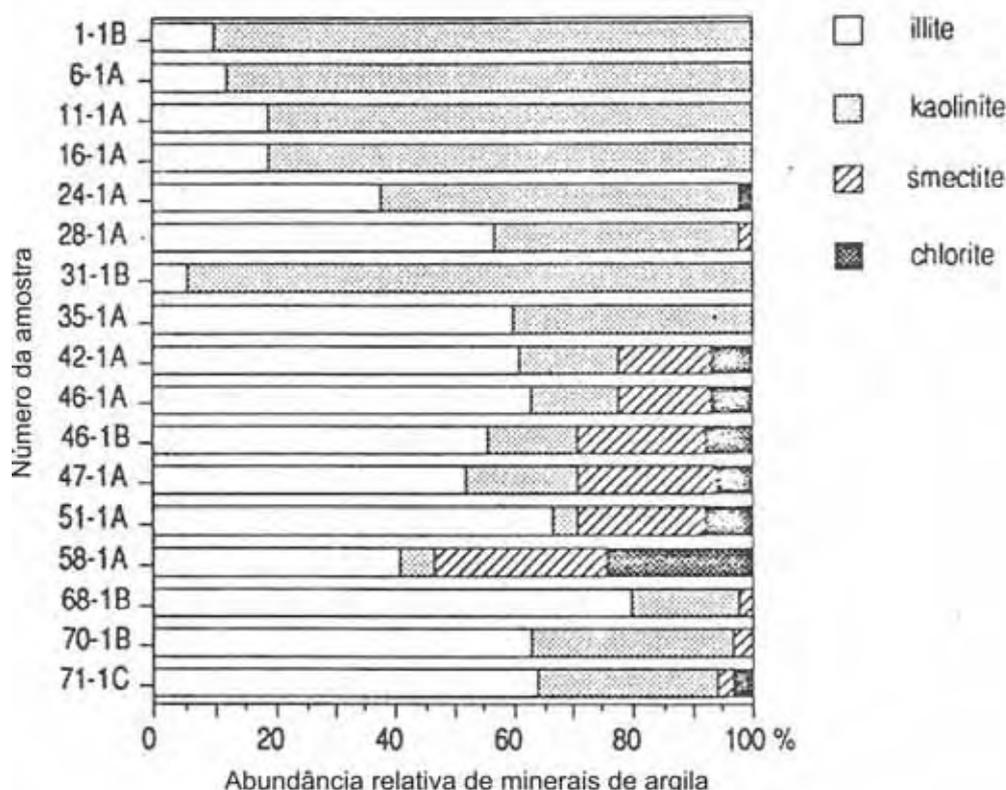


Figura 54: Composição mineralógica da fração argila em solos desenvolvidos a partir de fonólitos. Fonte: Waber (1991).

Análise pedoestratigráfica

A partir dos levantamentos de campo, foi possível estabelecer as seqüências pedoestratigráficas representadas no mapa exposto na Figura 55. Conforme discutido anteriormente, as seqüências pedoestratigráficas foram definidas em função da presença de uma ou várias seqüências de horizontes diagnósticos e/ou volumes de alteração intempérica (VAI's) assim como das evidências (marcas/registros) das interações dos fatores e processos pedogênicos em cada uma das unidades fisiográficas.

Os VAI's regolíticos mais importantes e representativos da área de estudo possuem diferentes características e apresentam diferentes estágios de evolução. Três VAI's alóctones foram recorrentes na área de estudo. Suas características e posição no perfil pedoestratigráfico permitem o estabelecimento de uma datação relativa, considerando-se as condições climáticas que são necessárias para a formação de cada tipo de VAI em seu ambiente pedogênico.

 **VAI regolítico (REG 1):** Caracterizado pela presença de *Neossolos regolíticos concrecionários* de origem gravitacional atuais, localizados na porção superficial dos perfis (Figura 47, exibida anteriormente).

Neossolos correspondem aos agrupamentos de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido. São solos em via de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos ou por características inerentes ao material originário, como maior resistência ao intemperismo. Ou devido à composição químico/mineralógica e influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo) que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. Permite exígua diferenciação de horizontes, com horizonte A seguido de C, Cr ou R. Alguns solos podem apresentar ainda horizonte B, mas com insuficiência de requisitos para caracterizar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Predomínio de características herdadas do material original (EMBRAPA, 2006).

Na parte central da área de estudo, a ocorrência de Neossolos regolíticos e concrecionários associa-se às planícies de inundação atual e subatual principalmente. Em alguns casos, soterrados por estes Neossolos ocorrem volumes B gleicos e A enterrados.

Nas outras áreas, os Neossolos regolíticos são constituídos por cascalheira gravitacional amplamente distribuída, configurando volumes AC ou BC regolíticos e geralmente concrecionários encontrados soterrando volumes câmbicos também regolíticos (REG 2). Deve-se destacar que em alguns dos perfis avaliados, foi possível perceber a atuação da pedogênese definindo a transição de materiais cascalhentos (AC, BC) para Bit ou Bith,

com argilização e materiais húmicos em seções dos perfis demonstrando a neoformação de argilas atual.

Nas áreas externas ao maciço, este material está associado às principais planícies de inundação e aos principais sistemas tensores regionais (NW ao norte da área de estudo, NE na porção oeste e NS nas áreas sul e oeste). Nestas áreas, devido à ação tectônica, a morfogênese é mais significativa que a pedogênese (TRICART, 1977) e o alto grau de dissecação se impôs aos materiais superficiais atuais, mesmo estes sendo recentes.

Fora do maciço alcalino, os materiais superficiais colúvio-aluvionares são também provenientes de depósitos gravitacionais. Assim pode-se enquadrar estes Neossolos na subordem *Neossolos regolíticos* que “inclui a presença de minerais primários alteráveis no cascalho” (EMBRAPA, 2006). O material grosseiro de origem colúvio/aluvionar referido como regolítico apresentou tamanho centimétrico a decimétrico, sendo que as frações mais finas (milimétrica a centimétrica) ocorrem em meio a matriz argílica e já passam a configurar volumes câmbicos (Bi) em cambissolos regolíticos (REG 2).

Estes materiais em muitos casos recobrem volumes orgânicos (Ab) e glei (Bg) que podem estar associados à formação de uma grande paleolagoa quaternária. Thomas (1994) relata que foram realizadas datações com ^{14}C na Serra dos Carajás, em uma paleolagoa, em que os depósitos inferiores de materiais orgânicos apresentaram idade de 51200 AP e os depósitos mais superficiais, cerca de 10460 AP.

No interior do maciço de Poços de Caldas, constituem a cobertura característica dos planaltos baixos a altos, recapando outros depósitos de materiais regolíticos. Podendo ser representados pelas siglas AC ou BC, correspondem a horizontes de transição entre volumes cascalhentos (“stone lines”) e horizontes com presença de matéria orgânica ou argilização/argiluviação.

Estes neossolos são pouco espessos e formados por material coluvionar composto por fragmentos de lateritas férricas, bauxíticas e mangânicas de tamanho centimétrico, além de minerais primários resistentes ao intemperismo, definindo-se uma matriz mais grosseira, arenosa. Nas serras cristalinas, são formados por quartzo e apresentam forma mais angular.

Geralmente ocorrem à superfície e o contato com o horizonte inferior é claro e abrupto. Estas concreções lateríticas apresentam-se consolidadas, com tamanho centimétrico ou decimétrico e formato subangular a subarredondado, recobertos por camadas de materiais minerais que indicam a ação da relaterização. A ocorrência de argilização inicial pode estar associada ao de clima atual, caracterizado por ser tropical de altitude com estação úmida e quente prolongada. Datação relativa: Holoceno atual.

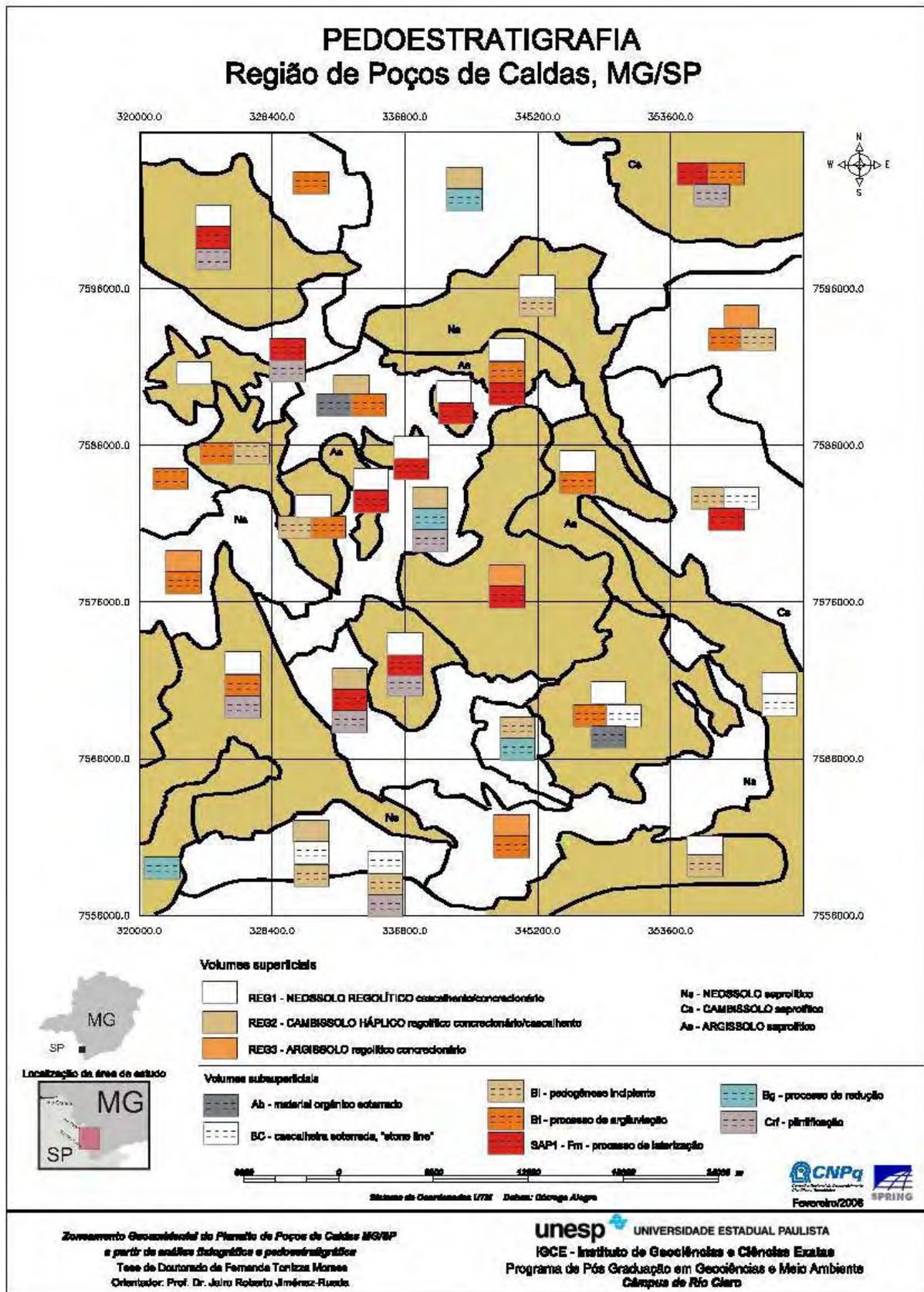


Figura 55: Mapa pedoestratigráfico da área de estudo.

 **VAI regolítico 2 (REG2):** Cobertura superficial ou subsuperficial concrecionária e cascalhenta, característica do interior do maciço de Poços de Caldas e unidades fisiográficas limítrofes. Presença de Cambissolos regolíticos concrecionários (e eventualmente Neossolos) associados a cascalho de lateritas férricas e mangânicas exumadas de paleolatosolos.

Os Cambissolos amplamente distribuídos na porção central da área de estudo são regolíticos e apresentam concreções de origem colúvio/aluvionar. Estes materiais por vezes constituíam depósitos profundos, nos quais se iniciava o estabelecimento de uma macroestrutura incipiente, muitas vezes recobertos por neossolos regolíticos (REG1). Em alguns casos, os volumes foram considerados como Bit, ou seja, um Bi passando a sofrer processo de argiluviação. De modo geral, os Cambissolos da área de estudo podem ser enquadrados na subordem Cambissolos Háplicos. Na parte central do maciço, estes materiais ocorrem associados aos taludes mistos que delimitam a caldeira vulcânica, quase sempre recobrimo volumes Bt nos taludes norte e oeste. Nas proximidades das planícies e paleoplanícies, pode-se caracterizar alguns Cambissolos como húmicos.

Os volumes Ab, Bg, Bt, Bw, Crf estão associados a estes VAI1's regolíticos, definindo seqüências pedoestratigráficas particularizadas.

Este material, na maioria das vezes, soterra perfis saprolíticos, apresentando contato abrupto (Figura 56). No volume total pode ser observada a argilização inicial e argiluviação associada a matéria orgânica quando em paisagens aluviais ou paleoaluviais (Figura 57). O estágio um pouco mais avançado de argilização pode indicar que a sua formação tenha se iniciado durante o domínio de clima subtropical de altitude do Pleistoceno médio ao Holoceno inferior.



Figura 56: Contato abrupto entre volumes de alteração intempérica. Localização: Próximo ao ponto 23 Anexo 1.



Figura 57: Argiluviação associada a matéria orgânica na porção superficial do perfil. Localização: Perfil número 55 no Anexo 1.

 **VAI regolítico 3 (REG 3):** Presença de Argissolos (e Cambissolos) regolíticos concrecionários (Figura 58) provenientes da exumação das superfícies SAP1 e SAP2 que por vezes se encontram recobertos por materiais mais recentes.

Estes Argissolos regolíticos concrecionários podem ter tido como material de origem os Argissolos e Latossolos saprolíticos do Terciário inferior, que foram erodidos e configuraram depósitos soterrando volumes mais antigos. Estes depósitos ao sofrerem a ação de clima temperado e úmido sofreram reagilização/argiluviação e configuram este VAI regolítico (REG3). Estes depósitos foram novamente soterrados por materiais mais recentes (REG2 e REG1) configurando Cambissolos regolíticos (fraca argilização) ou Argissolos regolíticos que geralmente contém concreções de sienitos ou grãos de quartzo milimétricos. Ocorrem em subsuperfície associados principalmente aos planaltos muito altos (P.5) e seus taludes.

O contato com os materiais subjacentes é gradual ou difuso. Estes solos possuem concreções subarredondadas a subangulares distribuídas de forma irregular e em baixa frequência no perfil (menos que 10% do total). As concreções são geralmente de quartzo branco a leitoso, recobertas por filmes de argila, sesquióxidos ou matéria orgânica, possuem tamanho milimétrico a centimétrico. Associados ao clima subtropical de altitude do Pleistoceno superior por comportarem-se como materiais argilúvicos e definirem línguas de penetração de argila nos perfis inferiores.

Os diferentes VAI's regolíticos podem encontrar-se sobrepostos como no caso da Figura 59 em que os neossolos associados ao VAI regolítico REG1 desenvolvem-se sobre cambissolos REG 2 que por sua vez encontram-se sobre REG 3. Estas sobreposições de materiais regolíticos foram muito frequentes na área de estudo, o que mais uma vez justifica o enfoque pedoestratigráfico.

Em se tratando de VAI's saprolíticos, os materiais formados a partir da alteração das rochas alcalinas possuem grande importância por estarem associados aos depósitos de lateritas bauxíticas que são exploradas economicamente na região.



Figura 58: Argissolos regolíticos concrecionários assentados sobre Argissolos saprolíticos. Localização: Perfil número 57 no Anexo 1.

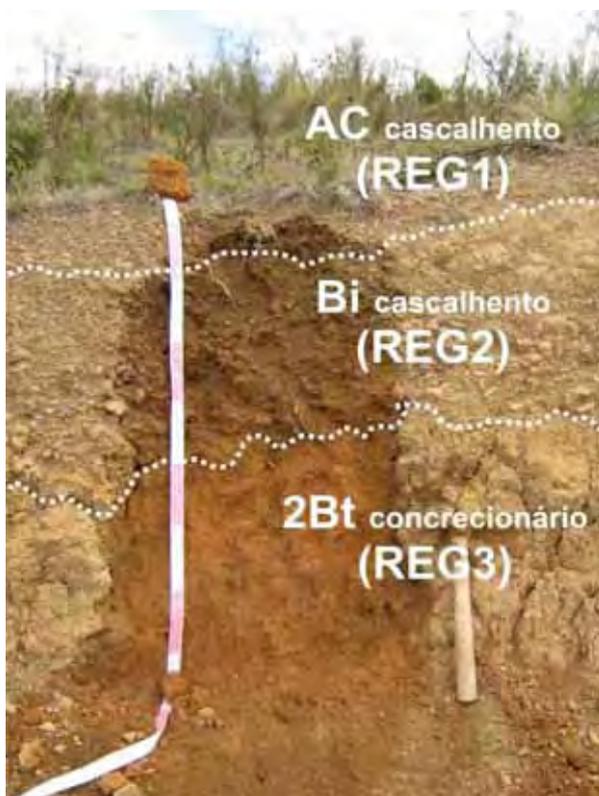


Figura 59: Perfil exibindo três volumes regolíticos sobrepostos. Localização: Perfil número 69 no Anexo 1.

Alguns VAI's saprolíticos bauxíticos foram avaliados e representam estágios recentes de bauxitização cuja existência já havia sido estabelecida por Weber (1959). Segundo o autor, além da bauxita gerada por um ciclo direto a partir do embasamento rochoso, há também bauxitização indireta, passando por um estágio de argila saprolítica (caulinítica) que posteriormente passa a bauxita (gibbsita) pela melhora na condição de drenagem do perfil e rejuvenescimento da drenagem. Este estágio intermediário segundo o autor, corresponde a 65% da bauxita existente no planalto. Evidência do ciclo indireto e da idade recente do processo de bauxitização é a formação de bauxita a partir de um sedimento aluvial com ocorrência limitada a terraços fluviais, sendo composto por argila grosseiramente estratificada, com pequenas lentes de cascalho e de argila negra decorrente da formação em um ambiente palúdico local por ocasião da deposição.

Estas informações corroboram a hipótese da ocorrência de um grande lago no interior do maciço de Poços de Caldas, conforme discutido anteriormente em que se trata da evolução fisiográfica da área de estudo.

A datação relativa proposta para os volumes regolíticos (REG1, REG2 e REG3) e para o volume saprolítico (SAP1) - Holoceno a Terciário superior – pode ser contrária ao que estabelecem alguns autores como Tardy et al. (1993) para os quais são necessários milhões ou dezenas de milhões de anos para haver a formação de lateritas bauxíticas. Porém, Weber (op cit.) considera que

“a maior parte da laterização da região parece ter ocorrido depois que a rede de drenagem foi submetida a algum rejuvenescimento e abaixada até quase o seu nível atual. Este fato é geologicamente recente. O fenômeno da bauxitização está ainda em progresso em algumas localidades. A idade recente torna desnecessárias as inferências sobre as condições ao tempo da bauxitização. Elas são em essência aquelas reinantes agora na região”.

Weber (1959, p. 23).

Os perfis bauxíticos mais antigos, formados diretamente pela laterização das rochas alcalinas, cuja idade remontaria ao Cretáceo Superior/Terciário inferior, não foram encontrados durante os trabalhos de campo. Poderiam ter se formado no passado, acima dos volumes plínticos mais espessos existentes na área de estudo (SAP2), porém, a sua erosão e exumação poderia ter sido a fonte de materiais que hoje constituem as coberturas superficiais regolíticas já descritas.

Para a comprovação das datações relativas propostas, estão sendo desenvolvidos estudos que buscam compreender as condições paleoclimáticas na bacia do Ribeirão das Antas, principal corpo d'água do maciço (MORAES et al., 2007).

Idades recentes para sedimentos e solos na região sudeste têm sido encontradas por alguns autores. Datações por ^{14}C de amostras de carvão obtidas em sedimentos no interior do estado de São Paulo mostraram concentração entre 6.500 e 8.500 anos A.P. Nas mesmas áreas em que foram coletados os carvões, foram feitas datações radiométricas do nível orgânico de depressões fechadas – paleolagoas, apontando uma idade de 37.640 anos. (MELO et al., 1996).

Assim, os VAI's saprolíticos de maior importância na área de estudo são:



VAI saprolítico (SAP1): Laterização parcial de sienitos, definindo a formação de latossolos (alitização) ou argissolos (monossilicizados/bissialicizados) saprolíticos em clima úmido e quente durante o Terciário Superior a Pleistoceno Médio.

Estes materiais foram formados pela laterização parcial de sienitos, definindo a formação de latossolos (alitização) ou argissolos (monossilicização/bissialicização) saprolíticos em clima úmido e quente durante o Terciário Superior. Configuram os latossolos conservados amplamente distribuídos na porção central da área de estudo, recobertos por depósitos mais recentes. As relaterizações não deram lugar à formação de lateritas bauxíticas, indicando plintificação fraca.

Nenhum dos perfis avaliados apresentou latossolos ou argissolos saprolíticos aflorantes, em todas as ocorrências encontravam-se soterrado por materiais regolíticos (Figura60).

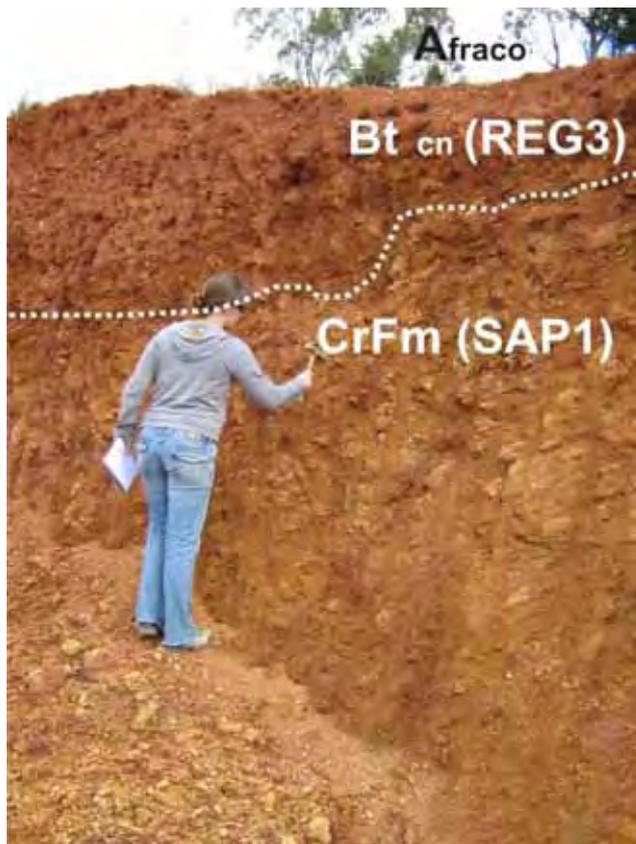


Figura 60: Ocorrência de lateritas bauxíticas saprolíticas soterradas por materiais argissólicos regolíticos. Localização: Perfil número 72 no Anexo 1.



VAI saprolítico 2 (SAP2): Laterização intensa, alitização e plintificação profunda do substrato rochoso em clima tropical muito úmido e quente do Terciário inferior ao Terciário médio.

Laterização intensa, alitização e plintificação profunda do substrato rochoso em clima tropical muito úmido e quente do Terciário inferior ao Terciário médio. Formação de latossolos e lateritas típicas que foram erodidos e formam as fontes de materiais aqui denominados de REG 1, 2 e 3. Os resquícios deste processo erosivo intenso são os volumes plínticos conservados. Entretanto tais materiais vêm sendo remanejados sucessivamente durante os vários ciclos de erosão referentes a mudanças climáticas e ação tectônica, em ambientes policíclicos dando origem às variadas seqüências pedoestratigráficas.

Os maiores processos de erosão destes materiais afetaram principalmente as VAI's saprolíticos 1 e 2, tanto que atualmente são encontrados somente seus resquícios, na forma de volumes plínticos que seriam a base dos paleolatossolos e paleolateritas que foram exumados.

Estes materiais inicialmente exumados e posteriormente retrabalhados constituem as coberturas regolíticas representadas pelas seqüências alóctones 1, 2 e 3.

Dessa forma, pode-se concluir que os solos da área de estudo, especialmente aqueles inseridos no interior do maciço de Poços de Caldas, são poligênicos e relativamente recentes, definidos em grande parte por processos de erosão e deposição de sedimentos, definindo a formação de depósitos cascalhentos ou concrecionários bastante freqüentes, inclusive nos planaltos muito altos.

Após estas análises, torna-se possível propor qual teria sido a evolução pedogênica através dos diversos VAI's, uma vez que cada volume associa-se a um determinado ambiente pedogênicos que se instalou na área de estudo. Estes dados cruzados com dados paleoclimáticos e fisiográficos (Figura 51 exposta anteriormente) permite que se estabeleça a datação relativa apresentada na Figura 61.

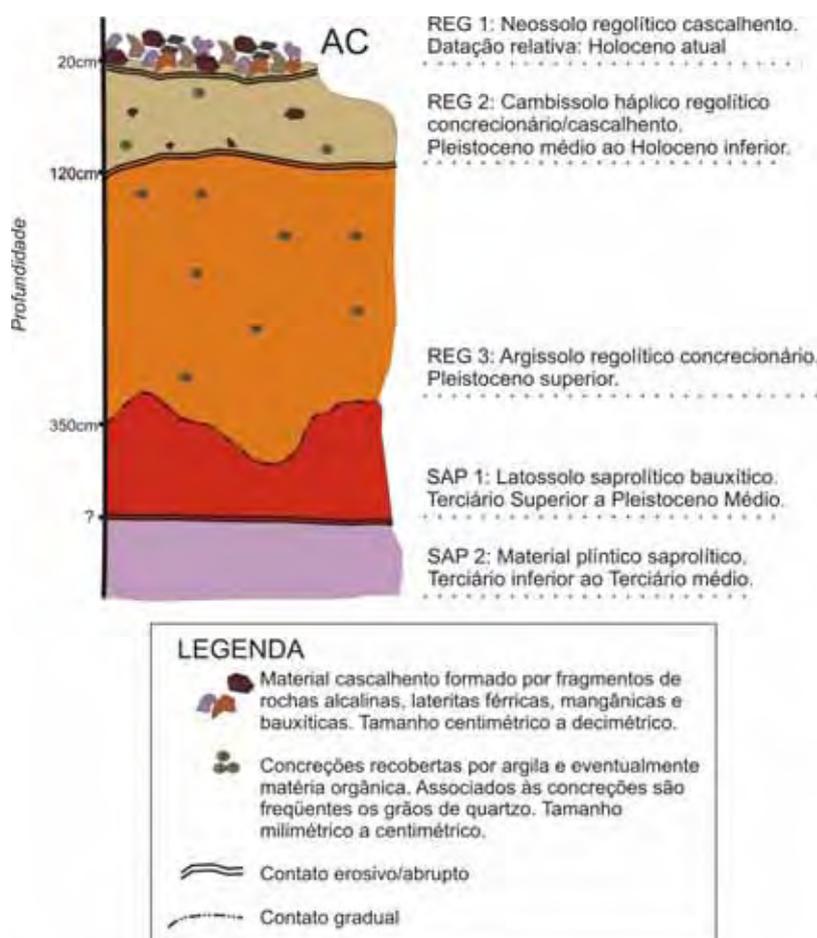


Figura 61: VAI's que representam a sequência pedoestratigráfica típica do Maciço de Poços de Caldas.

Além das coberturas superficiais formadas por volumes regolíticos, ocorrem também em menor proporção, solos superficiais saprolíticos, representados no mapa pelas siglas Ns, Cs e As, respectivamente: Neossolo saprolítico, Cambissolo saprolítico e Argissolo saprolítico. Os solos originados a partir de rochas alcalinas apresentam os feldspatos sódico-cálcicos e as micas biotitas como alguns minerais residuais bastante freqüentes.

Síntese dos aspectos pedológicos/pedoestratigráficos da área de estudo

A região apresenta predomínio de solos superficiais jovens, tal constatação pode ser feita através da análise do mapa pedoestratigráfico, através do qual é possível notar a ampla ocorrência de Neossolos e Cambissolos na escala de apresentação. Em campo, foram encontrados também perfis níticos associados a falhamentos onde se encaixa a drenagem atualmente.

O predomínio de solos superficiais jovens aponta uma fertilidade potencial elevada, uma vez que solos jovens possuem muitas vezes minerais primários que ao serem alterados, liberarão nutrientes importantes para as plantas. Porém, de forma geral, há restrições ao uso agrícola pela baixa profundidade do solo e a ocorrência de camadas de cascalho.

Predominam os solos formados por materiais regolíticos, estes materiais mostram-se discordantes no perfil e poderiam ter tido origem alóctone ou residual com a ação de soluções percolativas definindo a cimentação de argilas em fragmentos maiores.

Tardy e Roquin (1992) consideram que em perfis lateríticos, a ocorrência de camadas diferenciadas com concentração de elementos químicos e minerais podem ser resultantes tanto da ação de soluções percolativas ou como produtos da bioturbação, sendo produtos autóctones em sua maioria. Porém, na maior parte dos casos da área de estudo, a ocorrência de truncamento e/ou soterramento de materiais mostrou-se como processo mais evidente, uma vez que os materiais que compõem o cascalho possuíram formato semi-angular, indicando transporte gravitacional.

Como exemplo desta ocorrência, a Figura 62 apresenta a camada 2BC formada por cascalho de origem colúvio-aluvionar, sendo que o material subjacente a esta camada, denominado de Bi, trata-se de material regolítico, visto que também apresenta fração cascalhenta e está assentado sobre material de origem alóctone.

Já a Figura 63 apresenta um solo desenvolvido diretamente a partir da rocha do embasamento, neste caso, tinguaito. Note que a camada Bi/Cr apresenta traços da estrutura da rocha de origem. Neste caso, trata-se de um Cambissolo saprolítico.



Figura 62. Perfil de solo avaliado na região de Divinolândia. Os materiais indicados por Bi e 2BC são alóctones (regolíticos) e 3Bi2, autóctone (saprolítico). Localização: Perfil número 58 no Anexo 1.

Para a análise e classificação de perfis saprolíticos como o representado pela Figura 63, o método pedológico clássico é suficiente.

Porém, ao analisarmos o perfil exibido na Figura 62 pelo método clássico, os volumes representados por Bi e 2BC não fariam parte da classificação do solo. Apenas o volume 3Bi2 seria considerado para atribuir a nomenclatura do solo, por ser o único que atende ao requisito de espessura para compor um horizonte diagnóstico. Se esta classificação viesse a ser utilizada por um agricultor, por exemplo, estaria omissa a existência da camada cascalhenta superficial, o que representa uma restrição à utilização de máquinas agrícolas. As usinas de cana-de-açúcar que arrendam terras na região fazem a avaliação da compactação e do adensamento do solo utilizando somente a fração fina do solo. Estes materiais cascalhentos são descartados da análise já pelos funcionários de campo e não há referência a sua existência nos formulários de campo que são preenchidos e entregues ao laboratório. Após as análises laboratoriais, a terra é bem avaliada e ao iniciarem-se as operações de cultivo, os custos com manutenção das máquinas pode ser aumentados pela presença desta camada cascalhenta. Este custo não é computado no valor da terra.

Este é apenas um dos exemplos de problemas reais decorrentes do sistema clássico de classificação pedológica. Wysocki et al. (2005) defendem a abordagem pedostratigráfica para evitar a perda de dados e informações sobre os solos que ocorrem quando as anotações de campo são transformadas em classes de mapeamento.



Figura 63. Perfil de solo avaliado nas dependências do Jardim Botânico de Poços de Caldas (MORAES e JIMÉNEZ-RUEDA, 2005b). Todo o perfil é derivado da rocha do embasamento, sendo considerado como um Cambissolo saprolítico. Localização: Perfil número 29 no Anexo 1.

Como o material mais superficial encontrado (REG1), portanto mais recente, apresenta cascalho formado por fragmentos de rochas e lateritas retrabalhadas, de formato subangular, acredita-se que tais discordâncias sejam devidas à ação de transporte gravitacional em função de pulsos de origem tectônica. Além disso, os contatos entre os materiais são abruptos, evidenciando modificações bruscas no sistema pedogênico, que podem ser atribuídas a processos de erosão e soterramento de volumes de alteração.

Devido ao intenso sistema de falhamento instalado, uma reativação pode ter levado ao basculamento de blocos, havendo a formação de pequenos *horsts* e *grabens* funcionais que atuaram como fontes e depósitos de sedimentos coluvionares. Estes depósitos determinaram processos como ressilificação e reargiluviação nos materiais das camadas inferiores, o que explica a ocorrência de volumes Bit.

Alternam-se em superfície Neossolos regolíticos cascalhentos e concrecionários (REG1) com Cambissolos háplicos regolíticos também concrecionários e eventualmente cascalhentos (REG2).

Em subsuperfície, predominam Argissolos regolíticos concrecionários que soterram materiais saprolíticos, por vezes Latossolos bauxíticos. Associados à paleoplanície de inundação do Ribeirão das Antas, há a ocorrência de volumes orgânicos e gleicos.

Os solos de toda a área de estudo são poligênicos, caracterizados pela erosão e deposição seqüencial devido a pulsos tectônicos, uma vez que nos perfis avaliados, frequentemente há sobreposição de depósitos regolíticos, cada um definido por condições e momentos ecogeodinâmicos distintos.

Os processos de laterização e argilização intensa continuam se estabelecendo, a laterização ocorre em área de drenagem livre com a alitização dos minerais primários e a argilização associa-se a áreas com impedimento da drenagem, como planícies de inundação e baixos estruturais. Momentos de intensa laterização já haviam sido instalados em tempos pretéritos pela presença de plintitos e formação de lateritas, sendo que estes materiais foram truncados posteriormente e recobertos por materiais discordantes, geralmente gravitacionais e concrecionários. Volumes plínticos soterrados são a confirmação dos processos de laterização no passado.

A ocorrência de VAI's orgânicos enterrados (Ab) bem como de Organossolos por vezes aflorantes (detectados na planície de inundação do Ribeirão das Antas) indica que a área anteriormente comportava-se como um grande baixo estrutural – baixo topográfico. Desta forma é possível comparar o interior do maciço a um paleolago (ou sistema de lagos) que era abastecido por um sistema de drenagem mais denso que o atual.

Como foi representado no mapa pedoestratigráfico, o predomínio do REG1 (Neossolos regolíticos superficiais) indica os terrenos com cobertura atual em função de tectônica mais ativa ou as planícies de inundação atuais a subatuais. Os terrenos indicados por REG2 são cobertos por Cambissolos háplicos, portanto com idade intermediária. REG 3 ocorre em subsuperfície, indicando que este material encontra-se soterrado por materiais regolíticos que compõem os Neossolos e Cambissolos regolíticos atuais.

Em meio e estes materiais, ocorrem volumes Ab, Bg, Bt, Bw, Crf, AC, BC superficiais ou subsuperficiais associados. A presença de volume Bg e Ab indicam a atuação de uma paleodrenagem muito mais intensa, definindo a formação de uma paleolagoa de grande dimensão. Há também subvolumes Bit e Bwt que demonstram a argilização atual que pode ser sido induzida por retrogênese.

Embora predominem as coberturas regolíticas, ocorrem também os solos saprolíticos, ou seja, desenvolvidos a partir da própria rocha do embasamento. Estes solos são representados no mapa pelas siglas Ns, Cs, As, respectivamente Neossolos, Cambissolos e Argissolos litólicos.

Os resultados obtidos demonstram que a união da análise fisiográfica ao método pedostratigráfico mostrou-se adequada e eficiente para a aplicação em mapeamentos de solos em escala regional. Através das técnicas apresentadas, obteve-se a caracterização dos solos superficiais e subsuperficiais da área de estudo e seus limites de ocorrência.

6. Zoneamento Geoambiental

Após o desenvolvimento das informações sobre clima, geologia, drenagem, morfotectônica, morfoestrutura, cobertura vegetal, fisiografia e análise pedoestratigráfica, pode-se proceder à definição das zonas geoambientais.

A análise pedoestratigráfica mostrou-se como elemento principal na definição das zonas geoambientais, e aliada aos limites dos tipos litológicos principais (rochas alcalinas – sienitos e rochas cristalinas – granitos, gnaisses e migmatitos), foi a responsável pelo apontamento de seis zonas geoambientais na área de estudo, apresentadas na Figura 64.

As restrições à elaboração de diretrizes particularizadas de caráter agrícola, urbano, geotécnico, entre outros, foram impostas pela escala de trabalho. Para exemplificar, na escala trabalhada, em paisagens altamente dissecadas, a distância entre uma fratura e outra é da ordem de 500 metros. Assim, mesmo em áreas classificadas como fortemente dissecadas, é possível executar obras de engenharia e atribuir-se outros usos no espaço entre fraturas.

Portanto, o objetivo deste zoneamento foi estabelecer as características mais marcantes de cada zona geoambiental e a partir disso, discutir algumas potencialidades e restrições ao uso da terra. Para orientar sobre o uso da terra, as zonas receberam uma classificação que vai de I a VIII, cujas potencialidades e restrições para o uso da terra podem ser consultadas na Figura 65 (LEPSCH 2002).

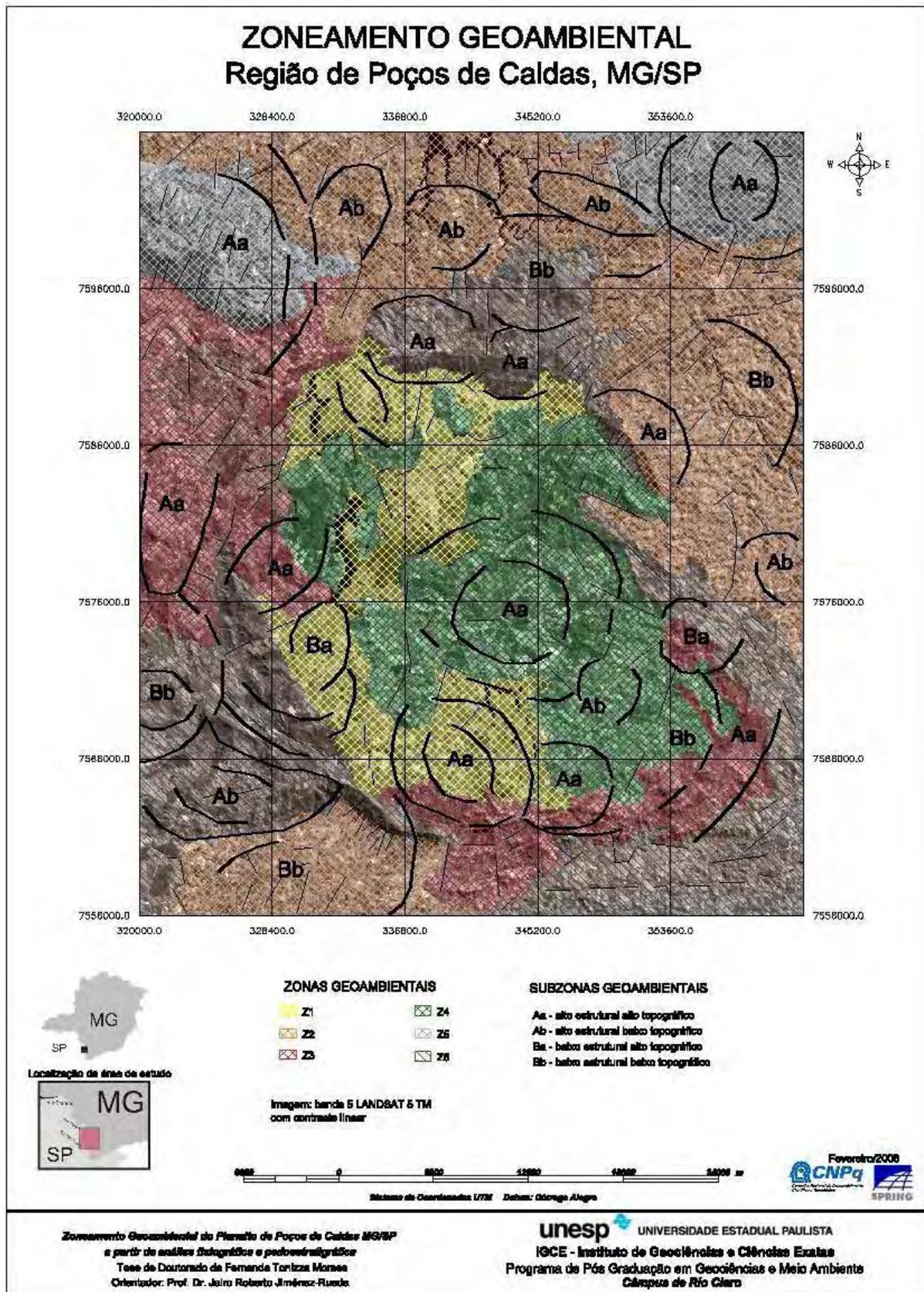


Figura 64. Mapa de zonas e subzonas geoambientais.

ZONAS GEOAMBIENTAIS



Z1 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Cascalhento/concrecionário gravitacional associado a sienitos – Aptidão ao uso da terra: **CLASSE II (ver Figura 65)**

Esta zona caracteriza-se por apresentar seqüências pedoestratigráficas com os neossolos regolíticos cascalhentos/concrecionários (referido anteriormente como REG1) na sua parte superficial. Encontra-se na parte central do maciço de Poços de Caldas, associada à paleoplanície de inundação do Ribeirão das Antas.

As principais características são: a) presença de solos argilosos profundos recobertos por material cascalhento, b) os solos profundos apresentam freqüentemente volumes orgânicos ou gleicos associados, decorrentes da ação do hidromorfismo, c) terrenos com fraca dissecação, d) terreno plano ou com declividade suave, e) ocorrência de lagoas marginais temporárias, f) solo coberto por vegetação herbácea predominantemente.

Em virtude destas características, podem ocorrer restrições ao cultivo agrícola intensivo devido à pedregosidade. Ocorrem minerais primários preservados no cascalho, indicando fertilidade potencial a longo prazo.

O embasamento sienítico e a dissecação leve a moderada definem resistência aos processos erosivos, sendo que o uso e a ocupação destes terrenos para obras de engenharia é pouco restritivo. Com exceção de alguns trechos que são inundáveis e de locais com volumes orgânicos enterrados, que conferem ao solo baixa resistência à carga.

Nas partes mais profundas dos perfis, Latossolos enterrados podem representar deficiência de nutrientes. Caso ocorra volume Bt enterrado, representa potencial a ser explorado pela silvicultura, pois as raízes profundas conseguirão manterem-se úmidas em meio a este material.

A cobertura vegetal herbácea favorece a pecuária extensiva.



Z2 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Cascalhento/concrecionário gravitacional associado a rochas do Complexo Cristalino – Aptidão ao uso da terra: **CLASSE III (ver Figura 65)**

Assim como Z1, esta zona caracteriza-se por apresentar seqüências pedoestratigráficas com os neossolos regolíticos cascalhentos/concrecionários (referido anteriormente como REG1) na sua parte superficial.

As principais características são a presença de solos com textura argilosa a barro recobertos por material cascalhento, porém, a composição do material concrecionário ou cascalhento recebe maior contribuição de quartzo do que em Z1.

Esta zona geoambiental encontra-se representada em duas áreas díspares, a N-NE e SW.

Nas porções N e NE ocorrem planaltos baixo a médios com dissecação moderada a forte. A forte anisotropia se reflete no relevo, pela presença de colinas alongadas. Neste planaltos, os Neossolos regolíticos encontram-se soterrando materiais cambissólicos a argissólicos, sendo que ao extremo norte ocorrem volumes gleicos e solos amarelados como resultado de restrições à drenagem. Já a NE predominam materiais vermelhos, argissólicos. Ou cambissolos a partir de gnaisses bandados.

Dissecação elevada pode acelerar os processos erosivos superficiais. Uso agrícola é recomendado mediante práticas conservacionistas como adubação verde, plantio direto e em níveis. Deve-se evitar o uso de implementos agrícolas pesados, pois a presença de areias pode levar à compactação do solo.

A SW, esta zona é representada por um planalto baixo moderadamente dissecado com colinas arredondadas resultantes da alteração do granito do embasamento. Os Neossolos regolíticos superficiais assentam-se sobre cambissolos regolíticos e em meio às seqüências de materiais, são comuns as linhas de seixos de quartzo “stone lines”. Esta área está sob influência da planície de inundação atual do Rio Moji Guaçu, apresenta baixa declividade e a ocorrência de volumes gleicos soterrados. Em Santo Antônio do Jardim há a exploração econômica destas argilas.



Z3 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Cascalhento/concrecionário gravitacional associado a taludes em áreas de contato litológico – Aptidão ao uso da terra: CLASSE VII (ver Figura 65)

Áreas associadas aos taludes mistos que englobam parte dos planaltos muito altos existentes na área de estudo, como o Planalto da Pedra Branca em Caldas, a Serra do Mirante em Águas da Prata e a Serra de Andradas. Altas declividades impõem restrições à ocupação humana. Considerando-se a presença de fragmentos florestais pouco alterados nestas áreas, devem ser destinadas a atividades de ecoturismo, turismo rural e eventualmente silvicultura.

Estas áreas apresentam Neossolos regolíticos com concreções e cascalhos formados por fragmentos de rochas alcalinas, sedimentares e cristalinas, uma vez que se situam em áreas de contato litológico.

Os volumes subsuperficiais são predominantemente argilúvicos. Os Argissolos são acompanhados por Nitossolos em áreas próximas a falhamentos. O estágio relativamente avançado de evolução pedogênica necessário para a formação dos Argissolos pode ser possível pois a parte basal destes perfis de solo corresponde aos trechos que foram soerguidos quando da intrusão alcalina.

A formação de leques coalescentes define a formação de seqüências pedoestratigráficas bastante heterogêneas.



Z4 – CAMBISSOLOS HÁPLICOS regolíticos, associados ao embasamento de sienitos – Aptidão ao uso da terra: **CLASSE III (ver Figura 65)**

Áreas formadas por planaltos alto e muito alto e seus taludes, apresenta dissecação moderada a forte, o que define potencial erosivo principalmente nas áreas de taludes com maiores declividades. Representam áreas importantes do ponto de vista de recarga dos aquíferos por situarem-se em alto estrutural alto topográfico.

Os Cambissolos háplicos possuem concreções e cascalhos de lateritas e rochas alcalinas com tamanho centimétrico a decimétrico, o que pode representar restrições ao uso agrícola da terra. A matriz que compõe estes cambissolos é predominantemente argilosa, estando em grande parte dos casos associada com matéria orgânica o que define a cor brunada.

Os volumes subsuperficiais são argissólicos/argilúvicos em sua maioria, sendo que espessos volumes orgânicos podem ser encontrados no planalto alto (P4.2). O acúmulo de matéria orgânica confere condições de instabilidade por liquidificar o solo, ou seja, vibrações podem induzir ao escorregamento. Ocorrem também lateritas bauxíticas com argiluviação recente. Estas lateritas são muito porosas e friáveis e quebram-se na forma de pastilhas. Esta área está associada aos fonolitos que sofreram a ação do hidrotermalismo.



Z5 – CAMBISSOLOS HÁPLICOS regolíticos, associados ao embasamento de rochas do Complexo Cristalino- Aptidão ao uso da terra: **CLASSE IV (ver Figura 65)**

As principais características são: a) presença de lateritas recobertas por cambissolo concrecionário e cascalhento, b) na base dos perfis ocorrem volumes plínticos associados, c) terrenos com elevada dissecação, d) terreno plano ou com declividade suave na porção superior, delimitado por taludes íngremes, configurando planaltos típicos, e) solo coberto por vegetação arbórea e capoeiras predominantemente.

As áreas com alta dissecação, em função da posição de alto estrutural alto topográfico são importantes para a recarga de aquíferos.

Os Cambissolos superficiais são concrecionários e cascalhentos, em matriz argilosa a areno-argilosa. Os materiais subsuperficiais são constituídos por lateritas bauxíticas ou férricas, sendo que na base dos perfis encontram-se muitas vezes volumes plínticos a partir da alteração de gnaisses. Na região de Botelhos, os Cambissolos háplicos são vermelhos e recobrem perfis hemisaprolíticos. Assim, os *solum* são pouco espessos.

As rochas metamórficas impõem elevado grau de estruturação, sendo que a drenagem encontra-se encaixada em vales profundos e as colinas assumem formas alongadas.



Z6 - CAMBISSOLOS regolíticos cascalhentos, associados às áreas de contatos litológicos – Aptidão ao uso da terra: **CLASSE VII (ver Figura 65)**

As principais características são: a) presença de Cambissolos regolíticos cascalhentos e concrecionários alternando-se com Neossolos também cascalhento, b) os materiais subsuperficiais são Cambissolos e Neossolos regolíticos, sendo que na ocorrem também materiais argissólicos com elevada plasticidade na região da serra de Águas da Prata, c) as concreções e as cascalheiras são formadas por fragmentos de quartzo angulares recobertos por películas de argila, d) terreno é íngreme ou muito íngreme, associado a taludes retilíneos ou mistos predominantemente, e) solo coberto por vegetação arbórea e capoeiras predominantemente.

Áreas com restrições ao uso e ocupação devido à declividade. Se houver ocorrência de volumes mais estruturados em subsuperfície (Bt), podem ser indicados para silvicultura e reflorestamentos. Os volumes Bt subsuperficiais avaliados nestas zonas mostraram-se extremamente plásticos, pegajosos e colapsíveis.

Classe de capacidade de uso	Aumento da intensidade do uso →							
	Vida silvestre e ecoturismo	Refloresta-mento	Pastoreio		Cultivo			
			Moderado	Intensivo	Restrito	Moderado	Intensivo	Muito intensivo
I	Apto para todos os usos. O cultivo exige apenas práticas agrícolas mais usuais.							
II	Apto para todos os usos, mas práticas de conservação simples são necessárias se cultivado.							
III	Apto para todos os usos, mas práticas intensivas de conservação são necessárias para cultivo.							
IV	Apto para vários usos, restrições para cultivos.							
V	Apto para pastagem, reflorestamento ou vida silvestre.							
VI	Apto para pastagem extensiva, reflorestamento ou vida silvestre.							
VII	Apto para reflorestamento ou vida silvestre. Em geral, inadequado para pasto.							
VIII	Apto, às vezes, para produção de vida silvestre ou recreação. Inapto para produção econômica agrícola, pastagem ou material florestal.							

Figura 65. Recomendações para o uso do solo segundo a classe de aptidão ou capacidade de uso (extraído de Lepsch, 2002)

Subzonas geoambientais

Estas zonas podem apresentar situações morfoestruturais específicas, definindo em alguns casos a ocorrência de subzonas. A análise da situação morfoestrutural associada à morfometria definem subzonas geoambientais fornecem informações sobre as condições ambientais de cada caso (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993), conforme apresentado na Tabela 6.

As subzonas **AA** (áreas situadas em alto estrutural alto topográfico) apresentam solos profundos e bem drenados, geralmente com baixa fertilidade, associados ao processo de latossolização e bauxitização. Representam importantes áreas de recarga dos aquíferos profundos, devendo receber manejo conservacionista em função de sua importância hidrogeológica. Em função da eficiência da drenagem dos perfis de solo, há o favorecimento dos processos de alitização e monossialitização. Como resultado, as obras de engenharia e a mecanização agrícola são favorecidas, porém deve-se evitar a construção de aterros pois estes solos tendem a ser porosos e permeáveis, não impedindo a contaminação dos aquíferos.

As subzonas **AB** (áreas situadas em alto estrutural baixo topográfico), possuem a estrutura aberta típica de um antiforame, sendo favorecida a formação de óxidos/hidróxidos associados a argilas como a caulinita e eventualmente a esmectita. Nestes locais, deve ocorrer

gibbsita associada a caulinita, representando a bauxitização direta típica dos campos, com menor pureza de alumínio. Estas áreas apresentam fertilidade baixa a moderada e oferecem condições moderadas para edificações e estradas.

Nas áreas situadas em baixo estrutural baixo topográfico (**BB**) há o impedimento à drenagem e o intemperismo é fraco, havendo a concentração de minerais que define elevada fertilidade ao solo. Porém podem ocorrer alagamentos temporários, impondo restrições ao uso agrícola e definindo a formação de um ambiente redutor favorável à bixialitização. Como resultado, os solos apresentarão minerais de argila com elevada plasticidade e capacidade de expansão/contração, definindo a inadequação destas terras para obras de engenharia como estradas e grandes edificações.

As áreas situadas em baixo estrutural alto topográfico (**BA**) possuem intemperismo acentuado causado pelo lavado intenso, mas as condições de baixo estrutural favorecem a concentração de minerais de argila e a sua posterior argiluviação, caracterizando coberturas com atuação da podzolização. São as áreas mais indicadas para a localização de aterros e depósitos de efluentes, porém, na presença de dissecação elevada comporta-se como alto estrutural permitindo a percolação dos contaminantes.

Tabela 6. Características das subzonas geoambientais

Morfoestrutura x morfometria	Alto estrutural Alto topográfico	Alto estrutural Baixo topográfico	Baixo estrutural Baixo topográfico	Baixo estrutural Alto topográfico
Sigla	AA	AB	BB	BA
Características Pedológicas				
Intemperismo e fertilidade	Intemperismo muito forte. Fertilidade atual e potencial muito baixa.	Intemperismo muito forte. Fertilidade atual e potencial baixa/média.	Intemperismo fraco. Fertilidade atual e potencial muito alta.	Intemperismo moderado/forte. Fertilidade atual e potencial média alta.
Processos dominantes	Pedogênese maior que morfogênese.	Morfogênese maior que pedogênese.	Morfogênese maior que pedogênese.	Pedogênese maior que morfogênese.
Solos predominantes	Oxissolos Ultissolos	Oxissolos Ultissolos Inceptissolos Entissolos	Vertissolos Entissolos Inceptissolos Histossolos Aridissolos	Ultissolos Alfissolos Molissolos Inceptissolos Entissolos Aridissolos
Características Pedogeoquímicas				
Minerais de argila	Argila, Caulinita, Gibbsita, Gibbsita/Caulinita	Argila, Caulinita, Gibbsita, Esmectita	Argila, Esmectita, Caulinita, Esmectita/Caulinita	Caulinita, Esmectita, Caulinita/Esmectita
Coberturas de alteração intempérica	Alitização Latossolização Ferritização Ferruginização Laterização	Alitização Latossolização Laterização Podzolização Melanização Laterização	Melanização Gleização Salinização Sodificação Carbonatação	Podzolização Latossolização
Processos especiais	Bauxitização Hidrólise total Oxidação total Dessilicificação	Hidrólise total/parcial Silicificação parcial Argilização parcial Oxidação parcial	Hidrólise incipiente Silicificação intensa Redução intensa Argilização intensa	Hidrólise parcial/total Óxido/redução moderada Argilização
Unidades de alteração intempérica	Alíticas Monossilíticas	Monossilítica Alítica Bissilítica	Bissilítica Monossilítica	Monossilítica/bissilítica Bissilítica/monossilítica Mono/ali/bissilítica
Engenharias				
Civil	Estradas boas, edificações boas	Estradas boas/moderadas, edificações boas/moderadas	Estradas inadequadas, edificações inadequadas	Estradas e edificações moderadas/inadequadas
Sanitária	Aterros e efluentes: restrito	Aterros e efluentes: restrito/inadequado	Aterros e efluentes: inadequado	Aterros e efluentes: adequado

Fonte: JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993.

7. Conclusões

A Geologia da área de estudo pode ser definida por intrusões de rochas alcalinas que se iniciaram no Cretáceo superior e definiram a formação de várias caldeiras vulcânicas de extensões e idades variadas. Estas intrusões definiram a ocorrência de sienitos, com predomínio de tinguaito. Nas bordas da caldeira vulcânica principal, há o contato com as rochas encaixantes que se constituem principalmente de granitos, gnaisses e migmatitos do Complexo Cristalino.

Puderam ser definidos na área através de fotointerpretação e análise da rede de drenagem, altos e baixos estruturais que se encontram truncados e deformados por um sistema morfotectônico caracterizado por juntas e lineamentos estruturais com direção predominante N30E.

Através de fotointerpretação e análises de campo, as paisagens da região estudada foram classificadas em paisagens planálticas e aluviais. Devido à grande variação altimétrica, os planaltos puderam ser divididos em planaltos muito baixos, baixos, médios, altos e muito altos. Além dos planaltos, as paisagens planálticas são caracterizadas pelas unidades fisiográficas de taludes e leques coalescentes. Os planaltos podem apresentar dissecação fraca, intermediária ou forte. Podem estar associados a colinas arredondadas ou alongadas, de acordo com os tipos litológicos e suas deformações.

As paisagens aluviais apresentam como unidades fisiográficas típicas as planícies de inundação atual e subatual. Nas planícies de inundação subatual, foram encontrados volumes de materiais orgânicos soterrados por materiais cascalhentos recentes com sedimentos conglomeráticos oxídicos e eventualmente bolders de sienitos.

As pesquisas bibliográficas e de campo realizadas sobre os solos permitiu sua caracterização em termos de processos pedogênicos (definindo-se as coberturas de alteração intempérica – CAI), registro destes processos em volumes de materiais específicos (volumes de alteração intempérica – VAI) e informações sobre as condições geoquímicas e de reorganização plásmica (definido-se as unidades de alteração intempérica).

As principais CAI's da área de estudo são lateríticas, havendo a sobreposição de processos de argilização e hidromorfismo em grande parte destes materiais. Os VAI's mais freqüentes em superfície foram os câmbicos (Bi) com a presença de concreções (Bicn) e cascalheiras (AC ou BC), indicando Cambissolos Háplicos ou Neossolos Regolíticos.

A maior parte dos perfis de solo avaliados apresentaram discordâncias que foram consideradas como resultantes do processo de deposição de materiais alóctones. Para analisar estes perfis de solo com a presença de discontinuidades como camadas de cascalhos, concreções, volumes orgânicos enterrados, entre outras, propôs-se o enfoque pedoestratigráfico, que consiste na aplicação de alguns princípios básicos da estratigrafia às técnicas clássicas de Pedologia. Uma vez que as técnicas pedoestratigráficas ainda não estão consagradas, foi necessário adaptar alguns termos e convenções para representação das informações obtidas em campo.

Neste sentido, propôs-se a utilização do termo *regolítico* como referente a volumes de materiais discordantes no perfil, sendo estas discordâncias associadas a ocorrência de deposição de materiais alóctones, predominantemente gravitacionais e secundariamente colúvio-aluvionais. Para os materiais autóctones, ou seja, formados a partir da própria rocha do embasamento, cunhou-se o termo *saprolítico*. Deve-se deixar explícito que os materiais regolíticos são também influenciados pelas condições pedogênicas do ambiente em que foram depositados sendo assim, os materiais regolíticos encontram-se “saprolitizados”.

Foram identificados três volumes regolíticos concrecionários principais na área de estudo. O primeiro e menos evoluído (REG1) é caracterizado por Neossolos Regolíticos cascalhentos e concrecionários, sendo os cascalhos de tamanho centimétrico a decimétrico, composto por fragmentos de rochas alcalinas e lateritas bauxíticas, férricas e mangânicas e em menor proporção, fragmentos de quartzo branco ou fumê. Estes materiais superficiais apresentam espessura média de 20cm e encontram-se recobrendo diferentes seqüências pedoestratigráficas, sendo que se destacaram a presença de materiais também regolíticos em subsuperfície (volumes denominados REG2 e REG3).

O volume regolítico denominado REG2 é formado por Cambissolos Háplicos também regolíticos e concrecionários, eventualmente cascalhentos, encontram-se em superfície ou subsuperfície. Estes materiais apresentam-se amplamente distribuídos em toda a área de estudo, com espessura entre 30 e 100cm, em média. Apresentam argiluviação inicial e quando situados em paisagens aluviais (atuais ou paleo) possuem matéria orgânica associada o que lhes define cores brunadas.

O volume REG3 é caracterizado pela ocorrência de Argissolos regolíticos concrecionários com distribuição predominantemente subsuperficial, sendo recobertos pelos REG2 e REG1. São volumes que variam de 100 a 250cm de espessura em média.

Os volumes saprolíticos residuais mais freqüentes na área de estudo (SAP1 e SAP2) podem ser caracterizados pela laterização, que em SAP2 foi mais intensa do que em SAP1,

definindo a formação de lateritas férricas e alumínicas, plintificação e latossolização. Estes materiais lateríticos foram truncados por processos erosivos e seus materiais compõem o que atualmente foram classificados como volumes regolíticos.

A caracterização morfológica destes materiais apoiada nos princípios de estratigrafia permitiu o estabelecimento de uma datação relativa destes volumes de alteração, iniciando-se durante o Terciário inferior e médio com a laterização profunda típica de clima quente e úmido, definindo os volumes SAP2, passando por SAP1 de idade Terciário Superior a Pleistoceno médio. Os volumes regolíticos REG3 são típicos de clima subtropical do Pleistoceno superior, REG2 do Pleistoceno inferior ao Holoceno inferior e REG1 do Holoceno atual.

A datação relativa destes volumes acompanha uma proposta de evolução fisiográfica para a área, que se inicia pela intrusão alcalina definindo caldeiras vulcânicas e a formação de paisagens epirogênicas que passaram a ser alteradas pelos processos erosivos, seguindo-se a subsidência da parte central da caldeira e a posterior formação de um ambiente lacustre. Paralelamente, a reativação e deformação de origem tectônica causaram o soerguimento e o abatimento de blocos, ao mesmo tempo definindo processos de rejuvenescimento da drenagem. Nestes episódios, os perfis de solo autóctones foram sendo recobertos por materiais alóctones cascalhentos e concrecionários, que passaram a ser saprolitizados no local de deposição.

Após estas análises, foram estabelecidas seis zonas geoambientais em função da associação pedostratigráfica reinante na unidade fisiográfica e nos limites entre tipos litológicos principais. As subzonas foram definidas em função da altimetria associada a morfoestrutura.

Três zonas caracterizam-se pela presença de Neossolos Regolíticos cascalhentos/concrecionários superficiais, sendo variável o embasamento litológico e a fisiografia: Z1 em rochas alcalinas - sienitos, Z2 em rochas do Complexo Cristalino e Z3 nos taludes em que se encontram os contatos entre os dois tipos litológicos citados anteriormente. As outras três zonas possuem Cambissolos regolíticos concrecionários superficiais, sendo que a variação em função da litologia e fisiografia define Z4 em rochas alcalinas - sienitos, Z5 em rochas do Complexo Cristalino e Z6 nos taludes em que se encontram os contatos entre os dois tipos litológicos citados anteriormente.

As subzonas geoambientais apresentam-se como subdivisões das zonas devido a situação morfoestrutural e morfométrica. Assim, ocorrem subzonas caracterizadas por AA (áreas situadas em alto estrutural alto topográfico) com solos profundos e bem drenados,

geralmente com baixa fertilidade, associados ao processo de latossolização e bauxitização; **AB** (áreas situadas em alto estrutural baixo topográfico) em que a percolação da água e soluções intempéricas é favorecida pela condição morfoestrutural, apesar de localizarem-se em baixos estruturais; **BB** (situadas em baixo estrutural baixo topográfico) apresentam elevada fertilidade, podendo apresentar alagamentos temporários e **BA** (baixo estrutural alto topográfico) são indicadas para a localização de aterros e depósitos de efluentes, desde que não estejam muito fraturadas.

Assim, pode-se confirmar a eficiência do método de análise pedoestratigráfica associada à fisiográfica para o estabelecimento de zonas geoambientais.

8. Referências bibliográficas

AB'SABER, A.N. O relevo brasileiro e seus problemas. In: Azevedo, A. (coord.). **Brasil, a terra e o homem**. São Paulo: Companhia Editora Nacional. V.1. p. 135-250.

AB'SABER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, n.18, 1969.

AB'SABER, A.N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, n.20, 1970.

ALMEIDA, F.F.M. O Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. **Bol. Paul. Geogr.**, n. 24, p.3-34, 1956.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews*, v.17, issues 1-2, p. 1-29, 1981. Disponível em:http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=605146751&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=f3da70f32fb73565f275bbd86c38f849. Acesso 15 mar.2006.

ALMEIDA FILHO, R.; PARADELLA, W.R. **Estudo do maciço alcalino de Poços de Caldas através de imagens Landsat com ênfase em mineralizações radioativas**. INPE, 111 – TPT/060. 1977.

BARBOSA, O.A.; BERTANI, L.A.; FERNANDEZ, F.R.H.; MENDOZA, R.P. Analisis fisiografico para el levantamiento pedológico semidetallado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p. 191-198, 2005.

BIRKELAND, P.W. **Soils and geomorphology**. New York: Oxford . 1984. 372p.

BJORNBERG, A.J.S. Rochas clásticas do planalto de Poços de Caldas. **Bol. Fac. Fil. Ciên. Letras USP**, São Paulo, n. 237, v.18, p.64-121, 1959.

BOCKHEIM, J.G. GENNADIYEV, A.N.; HAMMER, R.D.; TANDARICH, J.P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, v.124, p. 23-36, 2005. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/geoderma>>. Acesso em 06 abr. 2006.

BOHRER, C.B.A. Vegetação, paisagem e o planejamento do uso da terra. **GEOgraphia** – AnoII, n.4, 103-120, 2000.

BOTERO, P.J. Fisiografía y estudios de suelos. **Centro Interamericano de Fotointerpretación**, Bogotá, v.30, n.47, 1978.

BRADLEY, R.S. **Quaternary paleoclimatology: methods of paleoclimatic reconstruction**. Londres: Chapman and Hall. 1985.

BRAGA, F.M.S.; ANDRADE, P.M.. Fish distribution in the Ribeirão Grande Basin, Eastern Serra da Mantiqueira, São Paulo, Brazil. **Iheringia**, Sér. Zool., v.95, n.2, p.121-126. 1995.

BRANCO, J.J.R. **Notas sobre a geologia e petrografia do planalto de Poços de Caldas, MG.** Belo Horizonte, Universidade de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Inst. Pesq. Radioativas, publ. n.5, 72p. 1956.

BUNTING, B.T. **Geografia do solo.** Coleção A Terra e o Homem. Rio de Janeiro: Zahar, 1971, 259p.

CAETANO, N.R. **Procedimentos metodológicos para o planejamento de obras e usos: uma abordagem geotécnica e geoambiental.** 2006, 163p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CASSETI, V. **Introdução à Geomorfologia.** Disponível em <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap1/index.php>>. Acesso em 01 jun. 2007.

CASTRO, F.S. **Conservación de suelos.** 2ed. Barcelona: Salvat, 1965. 319p.

CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.L.; COUTINHO, M.G.N.; HAMA, M.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí: relatório final – Geologia**, v.1. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1977.

CHAPMAN, N.A. et al. (eds). **The Poços de Caldas Project: natural analogues of processes in a radioactive waste repository.** 1993. Disponível em <http://www.elsevier.com/wps/find/bookdescription.cws_home/524288/description#description>. Acesso em 05 ago. 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. A unidade morfoestrutural do planalto de Poços de Caldas. **Not. Geomorf.**, Campinas, v.13, n.26, p.77 – 85, 1973.

COSTA, J.B. **Caracterização e constituição do solo.** 7ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 2004. 527p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 14-19 abr. 1996, INPE, p. 129-135.

DANIELS, R.B.; HAMMER, R.D. **Soil geomorphology.** New York: John Wiley & Sons, 1992. 236p.

DERBY, O.A. On nepheline rocks in Brasil, with special reference to the association of phonolyte and foyaite. **Quart. Jour. Geol. Soc.**, London, v. 43, p.457-473, 1887.

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto. **Levantamento aerofotogramétrico digital, município de Poços de Caldas, MG.** Escala 1:10.000, 1997.

DERRUAU, M. **Geomorfologia.** Barcelona: Ariel, 1966. 442p.

ELLERT, R. Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. **Bol. Fac. Fil. Ciên. Letras USP**, São Paulo, v. 237, n.18, p.5-63, 1959.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1995. 116p.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: 2ed. EMBRAPA, Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos**. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1975, 398p.

FERREIRA, S.R. **Análise pedostratigráfica das formações Rio Claro e Piraçununga, no centro-leste do estado de São Paulo**. Tese (Doutorado).- 1995. 157p. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

FRAENKEL, M.O.; SANTOS, R.C.; LOURENÇO, F.E.V.L.; MUNIZ, W.S. Jazida de urânio no planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais. In: **Principais depósitos minerais do Brasil**. DNPM, v.1, cap.5, p. 89-103, 1985.

FRAYHA, R. Geologia geral e recursos minerais. In: **Poços de Caldas – Plano de Desenvolvimento Integrado**. Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, v.1,p.141:170, 1971.

FREITAS, R.O. Relevos policíclicos na tectônica do Escudo Brasileiro. **Bol. Paulista Geografia**, São Paulo, v.7, p.3-19, 1951.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Zoneamento**. Disponível em:<<http://www.funceme.br/DERAM/>>. Acesso em: 16 mai. 2007.

GLOBAL MAPPER Software LCC. V. 6. 08. 2005. Disponível em: <<http://www.globalmapper.com/>>. Acesso em: 10 mai. 2007.

GOOSEN, D. **Interpretacion de fotos aereas y su importancia en levantamiento de suelos**. Boletin sobre Suelos, n.6. Roma: Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, 1968. 58p.

GOOSEN, D. **Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colombia**. Enschede: Publications of the International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC), 1971. 199p.

GUERRA, A.T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE. 1969. 440p.

GUIMARÃES, D. Origem das rochas alcalinas. **Inst. Tec. Ind. Minas Gerais**, Belo Horizonte, n.5, 1947.

GUIMARÃES, D. The zirconium ore deposits of the Poços de Caldas Plateau, Brasil and zirconium geochemistry, **Inst. Tec. Ind. Minas Gerais**, Belo Horizonte, n.6, 1948.

HAMBLIN, W.K.; CHRISTIANSEN, E.H. **Earth's dynamic systems**. 8ed. New Jersey: Prentice-Hall. 1995. 710p.

HIRUMA, S.T.; PONÇANO, W.L Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfológicos na área do alto Rio Pardo - SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.15, n.1, p.49-57, 1994.

HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: summation. *Bulletin American Association of Petroleum Geologist*, n.51, v.11, p.2246-2259, 1967.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta do Brasil – escala 1:50.000. 1972.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**, 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. 300p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 17 dez. 2007.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING 4.3.3**. Aplicativo. 2006.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**; escala 1:500.000. v1 (texto) e v2 (mapa). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 1981

ISA - Instituto Socioambiental. **Quem faz o que pela Mata Atlântica 1990-2000**: projeto avaliação dos esforços de conservação, recuperação e uso sustentável dos recursos naturais da mata atlântica. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2004. 59p.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: Dover. 1994. Disponível em < <http://soilandhealth.org/01aglibrary/010159.Jenny.pdf>>. Acesso em 18 mai. 2007.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; PESSOTTI, J.E.S.; MATTOS, J.T. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento agroecológico da região da Serra do Mar no estado de São Paulo. **Anais do IV Simpósio Latinoamericano de Sensoriamento Remoto**, Bariloche, Argentina, v.1. 1989.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. Caracterização fisiográfica e morfoestrutural da Folha São José de Mipibu, RN. **Geociências**, São Paulo, v.12, n.2, p.481-491, 1993.

JIMÉNEZ- RUEDA, J.R.; LANDIM, P.M.B.; MATTOS, J.T. Gerenciamento Geoambiental. In: Tuk-Tornisielo, S.M.; Gobbi, N.; Foresti, C.; Lima, S.T. (orgs.) **Análise Ambiental: estratégias e ações**. São Paulo: T.A. Queiroz, Fundação Salim Farah Maluf; Rio Claro, SP: Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995. p. 327-329.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; PESSOTTI, J.E.S.; MATTOS, J.T. Modelo para o estudo da dinâmica evolutiva dos aspectos fisiográficos dos pantanais. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.33, Número Especial, p. 1763-1773, 1998.

KELLER, E.; PINTER, N. **Active tectonics: earthquake, uplift and landscape**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 338p.

LANDIM, P.M.B.; SOARES, P.C.; GAMA JUNIOR, E.G. **Estratigrafia do nordeste da bacia sedimentar do Paraná**. Rio Claro: UNESP/IGCE; São Paulo: IPT. 1980.

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

LÉXICO – Léxico Estratigráfico do Brasil de 1984. Disponível em: <<http://intra.cprm.gov.br/bases/lexico/frameinternet.htm>> Acesso em 03 de outubro de 2006.

LOCZY, L.; LADEIRA, L.A. Falhas de gravidade, grabens e horsts. In: **Geologia estrutural e introdução à geotectônica**. Rio de Janeiro: CNPQ. 1980, p.112-121.

MATTOS, J.T.; BALIEIRO, M.G.; SOARES, P.C.; BARCELLOS, P.E.; MENESES, P.R.; CSORDAS, S.M. **Análise morfoestrutural com uso de imagens MSS-LANDSAT e radar para pesquisa de hidrocarbonetos no estado de São Paulo**. INPE, RTR/015, São José dos Campos, 1982, 167p.

MELO, M.S.; COIMBRA, A.M.; YBERT, J.P.; BRANDT NETO, M. Evidências paleoclimáticas e sedimentos neocenozóicos da porção centro-leste do estado de São Paulo. **Publicatio UEPG – Ciências Exatas e da Terra**, v.2, n.1., 71-84, 1996.

MIRANDA, E.E. (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em 01 abr. 2007.

MORAES, F.T. **Heterogeneidade ambiental e lepidópteros frugívoros como bioindicadores em áreas reflorestadas após mineração de bauxita em Poços de Caldas, MG**. 2003. 89p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

MORAES, F.T.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Caracterização morfoestrutural do município de Poços de Caldas, MG, visando ao estabelecimento de zonas geoambientais. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, p.3837-3841, 2005a.

MORAES, F.T.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Importância de estudos fisiográficos no planejamento municipal: exemplo do Jardim Botânico de Poços de Caldas, MG. **Geociências**, São Paulo, v.24, n.3, p.255-266, 2005b.

MORAES, F.T.; GONÇALVES, R.M.; JIMENEZ-RUEDA, J. R.; NEREGATO, R. Paleoambientes da bacia do Ribeirão das Antas, Poços de Caldas, MG. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 2007, Búzios. **Anais do 20º Congresso Brasileiro de Paleontologia**, 2007. p. 220-220.

MOREIRA, F.R.S.; ALMEIDA-FILHO, R.; CÂMARA, G. Aplicação da abordagem de importação semântica (IS) para caracterização de contatos litológicos em modelos de inferência espacial. **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, n.55, v.4, p.301-306, 2002.

MOTOKI, A.; OLIVEIRA, J.L.S. Reconsiderações vulcanológicas sobre a hipótese de caldeira vulcânica no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, MG. Parte I: rochas

sedimentares como corpos capturados, fragmentados e afundados no magma fonolítico. **An. IV Simp. Geol. Minas Gerais**, 1987, p. 420-433.

MOTOKI, A.; VARGAS, T.; CHIANELLO, E.; CORREA, F.J.G.; OLIVEIRA, J.L.S.; KLOTZ, M. Nível de denudação atual do complexo alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. **Boletim do Congresso Brasileiro de Geologia**, 1988.

NACSN - NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE. North American Stratigraphic Code. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**. v.89, n.11, p.1547-1591, 2005. Disponível em: <<http://ngmdb.usgs.gov/Info/NACSN/Code2/code2.html>>. Acesso em 25 jul. 2007.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1988. 434p.

OHARA, T. **Zoneamento geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul, SP, com sensoriamento remoto**. 1995. 235p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

OHARA, T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T. Análise correlativa de dados geoquímicos com as anomalias morfoestruturais para a caracterização pedogenética da região do alto-médio Paraíba do Sul. **Anais do Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo**, n.13, Águas de Lindóia, 1996. CD-ROM.

OHARA, T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T.; CAETANO, N.R. Zoneamento geoambiental da região do Alto-Médio Rio Paraíba do Sul e a carta de aptidão física para a implantação de obras viárias. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.33, s.2, p.173-182, 2003.

OLLIER, C.; PAIN, C. **Regolith, soils and landforms**. Chichester:John Wiley and Sons. 1996. 316p.

OLIVEIRA, W.J.; MATTOS, J.T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Contribuição para o mapeamento geológico da região sudeste do estado de Rondônia através de uma sistemática de estudos usando dados de satélite. **Anais do IV Simpósio Latinoamericano de Sensoriamento Remoto**, Bariloche, v.1, 1989.

PENNOCK, D.J.; VELDCAMP, A. Advances in landscape-scale soil research. **Geoderma**, v.133, p.1-5. 2006.

POPP, J.H. **Geologia geral**. 5ed. Rio de Janeiro: LTC. 1998, 400p.

PRIMACK, R.B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001. 327p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549p.

PUPIM, F.N.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.J.; MATTOS, J.T. Caracterização do potencial natural de erodibilidade através da sistemática morfoestrutural e morfotectônica aplicada a obras lineares – dutovias. **4º PDPETRO**, Campinas, SP. 21-24 de outubro de 2007.

RETALLACK, G.J. **Soils of the past: an introduction to paleopedology**. 2ed. Eugene: Blackwell Science. 2001. 404p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 336p.

RESENDE, M.; LANI, J.L.; REZENDE, S.B. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.261-269, 2002.

RICCI, M.; PETRI, S. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1965. 491p.

RICCIARDI, C.T.R. **Mapa Geológico**. In: PROMINER Projetos S/C Ltda. EIA – Estudo de impacto ambiental: Lavra de bauxita para fabricação de alumínio, Divinolândia, SP para Companhia Geral de Minas. Processos DNPM 807.681/77, 807.682/77 e 807.683/77. São Paulo, Prominer Projetos S/C , 2002.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. 5^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503p.

RIEDEL, P.S.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T. Estudo das coberturas de alteração de parte do centro-leste paulista através de dados de sensoriamento remoto. **Anais do IV Simpósio Latinoamericano de Sensoriamento Remoto**. Volume 1. Bariloche, Argentina. 1989.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos**. 2º vol. São Paulo: HUCITEC, Editora da Universidade de São Paulo. 1979. 374p.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.14, p.69-77, 2001.

RODRIGUES, T. E. **Caracterização e gênese de solos brunos do maciço alcalino de Poços de Caldas (MG)**. 1984. 225 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. 1991. 285p. Tese (Professor Titular) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SAADI, A.; BEZERRA, F.H.R.; COSTA, R.D.; IGREJA, H.L.S.; FRANZINELLI, E. Neotectônica da plataforma brasileira. In: Souza, C.R.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.S.; Oliveira, P.E. (eds.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 211-234.

SALGADO-LABORIAU, M.L. **História ecológica da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher. 1994. 307p.

SCHORSCHER, H.D.; SHEA, M.E. The regional geology, mineralogy and geochemistry of the Poços de Caldas alkaline complex, Minas Gerais, Brazil. Poços de Caldas Report nº 1. In: **NAGRA, SKB, UK DOE**. Poços de Caldas Project. 1991.

SETZER, J. A natureza e as possibilidades do solo no vale do Rio Pardo entre os municípios de Caconde, SP e Poços de Caldas, MG. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n.3, p.3-37, 1956.

SHEA, M.E. Isotopic geochemical characterization of selected nepheline syenites and phonolites from the Poços de Caldas alkaline complex, Minas Gerais, Brazil. Poços de Caldas Report nº 4. In: **NAGRA, SKB, UK DOE**. Poços de Caldas Project. 1991.

SHIMBO, J.Z. **Zoneamento geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária**. Estudo de caso: Assentamento rural Pirituba II (SP). Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

SILVA, C.L. **Aspectos neotectônicos do médio vale do Rio Mogi-Guaçu: Região de Piraçununga**. 1997. 185p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SILVA, L.G.T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; BONOTTO, D.M.; MORENO, M.M.S.; PACCOLA, A.A. Caracterização das coberturas de alteração superficial que ocorrem na região de Marabá, PA. **Bol. Mus.Emílio Goeldi**, série Ciências da Terra, n.7, p.309: 329, 1995.

SILVA, T.M.; MONTEIRO, H.S.; CRUZ, M.A.; MOURA, J.R.S. Anomalias de drenagem e evolução da paisagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP). **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol 29, n. 2, p.210-224, 2006. Disponível em: http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2006_2/anuario_2006_v29_2_210_224.pdf. Acesso em 01 fev. 2007.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71–104, 1976.

SOIL SURVEY MANUAL. United States Department of Agriculture. Disponível em: <http://soils.usda.gov/technical/manual/contents/chapter1.html>. Acesso em 04 de outubro de 2006. 1993.

SOUZA, A.A.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Análise fisiográfica e morfoestrutural no reconhecimento de padrões de solos no município de Porto Velho, RO. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, INPE, p. 6981 – 6985. 2007.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Terra: feições ilustradas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 263p.

TARDY, Y.; ROQUIN, C. Geochemistry and evolution of lateritic landscapes. In: Martini, I.P.; Chesworth, W. **Weathering, soils and paleosols**. Developments in Earth surface processes 2. New York: Elsevier, 1992, p. 407-443.

TARDY, Y.; BOEGLIN, J.L.; NOVIKOFF, A.; ROQUIN, C. Petrological and geochemical classification of laterites. **Proceedings of the 10th International Clay Conference**. Adelaide, Australia, July 18 to 23, 1993.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A.M.G.; CANTARINO, S.C. (coord.) **Atlas Geoambiental das Bacias dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil; Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado São Paulo. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. São Paulo: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Coordenadoria de Planejamento Ambiental. 2002. 77p.

THOMAS, M.F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chinchester: John Wiley & Sons, 1994. 460p.

THOMAZ FILHO, A.; RODRIGUES, A.L. O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 29, n.2, p189-194, 1999.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97p.

ULBRICH, H.H.G.J. **A petrografia, a estrutura e o quimismo de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG – SP**. 1984. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VALETON, I.; SCHUMANN, A.; VINX, R. WIENEKE, M. Supergene alteration since the upper Cretaceous on alkaline igneous and metasomatic rocks of the Poços de Caldas ring complex, Minas Gerais, Brazil. **Applied Geochemistry**, vol.12, p. 133-154, 1997.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982. 54 p.

VILLOTA, H. El sistema CIAF de clasificación fisiográfica del terreno. **Revista CIAF**, vol. 13, n.1, p.55-70, 1992

VILLOTA, H. **Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras**. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005. 184p.

WABER, N. Mineralogy, petrology and geochemistry of the Poços de Caldas analogue study sites, Minas Gerais, Brazil. II. Morro do Ferro. Poços de Caldas Report nº 3. In: NAGRA, SKB, UK DOE. **Poços de Caldas Project**. 1991.

WEBER, B.N. Bauxitização no distrito de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, v.8, n.1: 17-30, 1959.

WILLIAMS, D.D. Geologia do Planalto de Poços de Caldas. In: **Memorial da Companhia Geral de Minas: história da mineração no planalto de Poços de Caldas**. Poços de Caldas: ALCOA, 2001.

WINGE, M.; CRÓSTA, A.P.; ALVARENGA, C.J.S.; DANNI, J.C.M.; BLUM, M.L.B.; SANTOS, M.D.; PIMENTEL, M.M.. BOGGIANI, P.C.; D'AVILA, R.S.F. **Glossário Geológico Ilustrado**. Disponível em <http://www.unb.br/ig/glossario/>. 2001. Acesso em 23 de abril de 2005.

WYSOCKI, D.A.; SCHOENEGER, P.J.; LAGARRY, H.E. Soils surveys: a window to the subsurface. **Geoderma**, v.126, p.167-180, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 12 mar. 2007.

Anexo 1

Descrição resumida de alguns dos perfis de solo avaliados

A Figura 66 apresenta a localização dos 75 perfis de solo avaliados. Além da descrição clássica dos perfis, sempre que possível foram feitas anotações sobre a fisiografia, geologia, vegetação e outros aspectos locais relevantes. As coordenadas planas x e y foram obtidas através de GPS ou locadas no mapa. Foram georreferenciadas segundo *datum* Córrego Alegre.

Abaixo são apresentadas informações sobre alguns destes perfis.

Ponto nº 01

Classificação: Argissolo regolítico substrato gleico argissólico saprolítico.

Ocorrência de vários depósitos indicam discordâncias de fluxo vulcânico (Figura 67), com mergulho predominante N30W. Em alguns pontos, os derrames vulcânicos foram depositados sobre estruturas prismáticas colunares – provavelmente uma bacia do período Cretáceo. Falhamentos deslocaram horizontes gleicos. Este pacote é recoberto por um argissolo regolítico com a presença de concreções milimétricas recobertas por argila e matéria orgânica.

Ponto nº 03

Localização: BR 459 – Poços de Caldas a Caldas

Classificação: Neossolo regolítico húmico argilúvico (Figura 68)

Demonstra a evolução policíclica dos solos e da paisagem, uma vez que apresenta sistemas deposicionais bastante diferenciados (de alta e baixa energia) que incidiram em uma paleobacia composta por gleissolos enterrados. O conglomerado exposto indica depósito de alta energia.

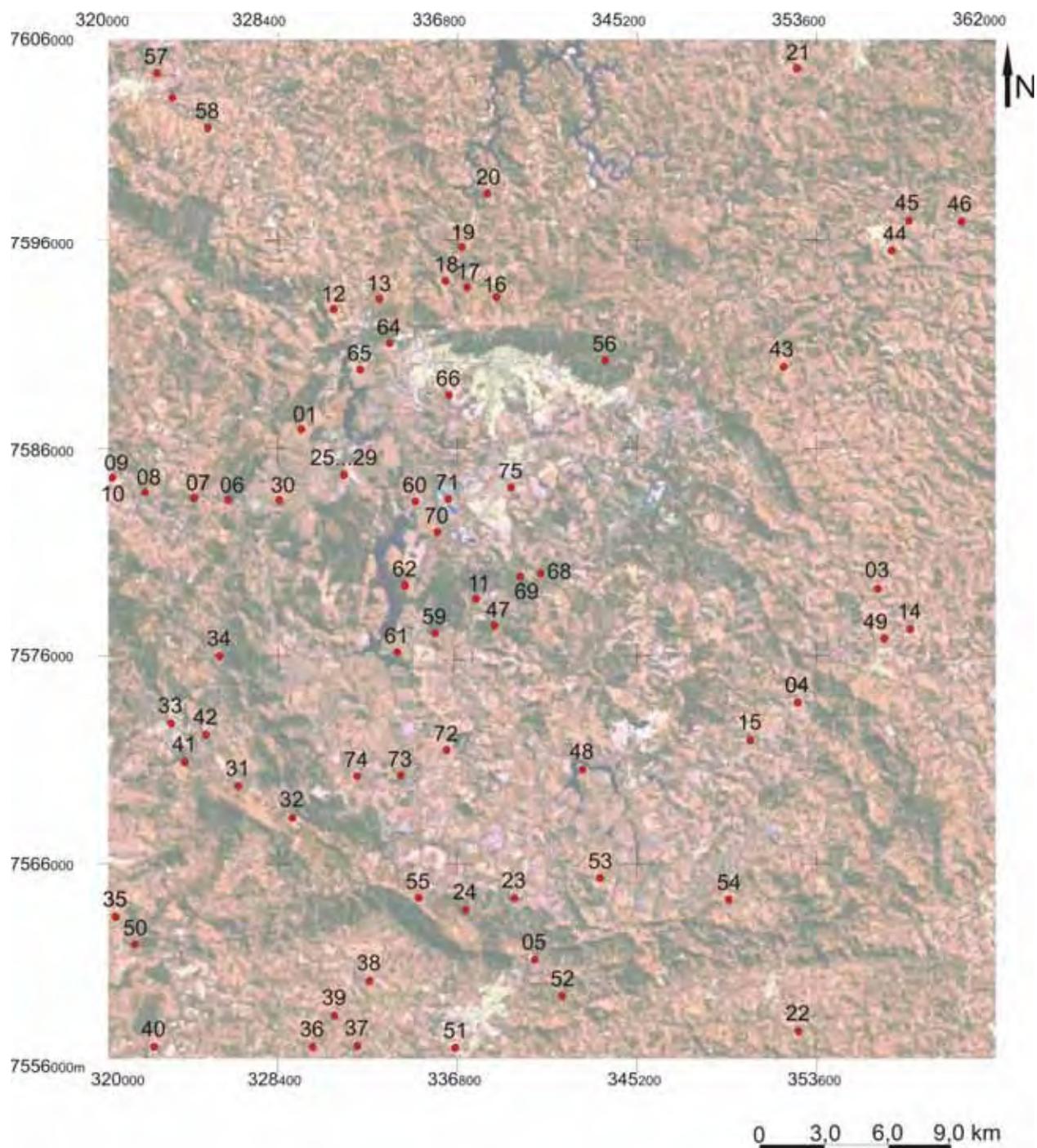


Figura 66: localização dos 75 perfis de solo avaliados.



Figura 67: Perfil de solo indicado pelo número 1.



Figura 68: Perfil avaliado no ponto 3

Ponto nº 06

Localização: próximo ao marco divisório, na entrada da estrada para São Roque da Fartura

Classificação: Cambissolo regolítico concrecionário substrato paleolacustre (Figura 69)

A parte superior do afloramento é um depósito proveniente de granitos e gnaisses com ocorrência de lateritas com espessura de 1 a 3cm e grandes grãos de quartzo. A parte inferior do perfil trata-se de uma bacia que foi enterrada – presença de arenito, lamito e matéria orgânica. Alternância de momentos de tranquilidade e de maior energia em um ambiente lacustre.



Figura 69: Perfil avaliado no ponto 6.

Ponto nº 09

Localização: estrada para São Roque da Fartura.

Classificação: Cambissolo regolítico concrecionário substrato granítico/gnáissico (Figura 70).

A parte inferior do perfil, saprolítica, apresenta grãos de quartzo do granito/gnaiss e caulinição dos feldspatos. A parte superior possui concreções centimétricas de origem coluvionar. Sequência de horizontes: Ap (ócrico) – Bi – Ccn – 2Bi – Cr.

Ponto nº 13

Localização: estrada Poços de Caldas – Campestrinho, divisa estados MG e SP, do lado direito da pista, na área de exploração de bauxita desativada.

Classificação: Neossolo húmico concrecionário regolítico substrato bauxítico saprolítico.

Na mina propriamente dita, observa-se migração de Fe associada e argilas com ocorrência de plintificação nas cores vermelho, amarelo e branco, com predominância das duas últimas. A presença de bolders evidencia a ocorrência de movimentos de massa de grande porte, sendo que os bolders são formados por sienitos ainda não alterados com cristais (cm) envoltos na matriz plíntica, nos quais se observa intemperismo de aspecto “acebolado”. Formação de laterita em estágio inicial limita o último depósito da topossequência.

Perfil constituído por dois depósitos coluvionares, sendo o colúvio formado por plintito silicificado de idade cretácica. O depósito superior apresenta horizonte AC húmbrico. Sequência de horizontes: Ap – AC húmico – Bicn – Crf/Rrf

Ponto nº 15

Localização: estrada de terra entre Pocinhos do Rio Verde e INB

Classificação: Neossolo regolítico concrecionário substrato paleoargilúvico regolítico paleoplíntico.

Ocorrência de solos regolíticos encobrendo litólicos, pouco colúvio, evidenciando terrenos com gênese mais antiga. Baixo estrutural largo com atuação de processos erosivos intensos.

O ponto analisado apresenta na parte inferior plintito sendo argilizado, formando horizonte Bt. Este horizonte Btf está soterrado por um horizonte Btcn, sendo o contato irregular com a ocorrência de cascalheira.

Sequência de horizontes: Ap – Bt – 2Bt2 – 3Btf. Sendo A fraco ócrico. Bt – Argissolo vermelho amarelo eutrófico. 2Bt2 - Argissolo argilúvico regolítico coluvionar. Grãos de quartzo, cujo material de origem é o granito. Estrutura prismática arredondada. Limite inferior formado por concreções angulares de lateritas. 3Btf - Estrutura prismática arredondada a partir de rochas alcalinas

Próximo à Represa das Águas Claras, os paleoterraços comportam-se como planaltos, a orientação do relevo se dá em função de uma falha (NS).

Ponto nº 20

Localização: depois da fazenda Lambari, lado direito da pista, eucalipto cortado.

Classificação: Cambissolo concrecionário gleizado substrato litólico (Figura 70)

Paisagem aluvial formada por paleodiques e paleoterraços soterrando paleoplanície (em algumas partes ainda há corpo d'água).

Ocorrência de depósitos sucessivos enterrando horizonte glei concrecionário. Os limites entre os depósitos são difusos.



Figura 70: Perfil de solo avaliado no ponto 20

Seqüência de horizontes: Ap – ACcn – Bcn2 – 2Bcn3 – 3Bgn4. Sendo Bcn2 vermelho amarelo. 2Bcn3 amarelo pardo e 3Bgn4 cinza com concreções.

Em todos os horizontes, o material concrecionário é formado por grãos de quartzo subarredondados e feldspatos. Nos depósitos amarelos superficiais, ocorrem cristais de mica fragmentados.

Percorrendo a estrada, passando a Represa da Graminha, o solo de amarelo pardo vai adquirindo coloração avermelhada. Faixas de seixos angulares são delimitadas em uma faixa no perfil, evidenciando pulso de depósito bem definido.

A Bacia do Rio pardo apresenta solos mais vermelhos que a Bacia do Rio Lambari.

Ponto n° 22

Localização: estrada rural saindo do município de Ibitiúra de Minas para sul

Classificação: Cambissolo regolítico concrecionário coluvionar substrato cambissolo regolítico concrecionário

Horizonte B superficial é claro com concreções, perda de argila por eluviação, porém, não caracteriza horizonte E. Na porção média do ponto, ocorre um depósito vermelho concrecionário. As concreções são de quartzo.

Seqüência de horizontes: Ap – BC – Bicn1 - 2BC – 2Bicn2 – Rr. Sendo BC com pouca argila e concentração de quartzo. Bicn1 com concreções de quartzo de tamanho milimétrico a centimétrico. 2BC formado por colúvio centimétrico a decimétrico com cristais de quartzo branco subangulares. 2Bicn2 com concreções de quartzo (mm a cm) e Rr é granito alterado com fantasmas de feldspatos.

Em toda a estrada de Andradas a Ibitiúra de Minas, ocorre um material vermelho, profundo, com a presença de uma forte discordância representada por uma camada regular ondulada de cristais de quartzo, tamanho cm a dm.

A paisagem conta com muitos bolders de granito gnaisse acinzentado, com tamanho métrico a decamétrico. Os bolders apresentam-se arredondados pelo intemperismo acebolado.

Ponto nº 24

Localização: estrada de Andradas para o Pico do Gavião, descendo em direção à vala

Classificação: Neossolo regolítico concrecionário substrato argilúvico plintico granítico

Estrutura colunar com cabeça arredondada na base do ponto – Idade Cretácica, plintificação de material granítico. Com o avanço do intemperismo, o material fica marrom escuro e são visíveis os feldspatos e cristais intactos de mica. Trata-se de alteração do material litólico. Este material está recoberto por regolito com a presença de colúvio cm subangular de laterita mangânica (REG1).

Ponto nº 25

Classificação: Argissolo regolítico concrecionário substrato argilúvico húmico

Ocorrência de ponto com argila escura (roxa) e muito plástica (2:1?). Alta plasticidade e adesividade. Ação de raízes alcança alta profundidade no ponto (80cm). Argila húmica com poucas (0 a 1%) “concreções” de caulinita. Trata-se de um solo homogêneo com grande contribuição de matéria orgânica. Seqüência de horizontes: Ap – Bt húmico – BCcn – Cf (Figura 71). Sendo A profundo (80cm) com raízes. BCcn com concreções centimétricas de rochas alcalinas envoltas por capa argilosa, com formato subarredondado.



Figura 71: perfil de solo avaliado no ponto 25.

Ponto nº 32

Classificação: Argissolo concrecionário (grãos de quartzo arredondados) recobre argissolo câmbico/cambissolo concrecionário (material mais grosseiro que o anterior, com a ocorrência de carvão (?)) substrato Bw regolítico concrecionário, com textura de pó-de-café.

Seqüência de horizontes:

Ai – menor que 5cm

Bi húmico – 5 a 10cm

Bt cn fino – 20 a 50cm

Bt cn grosseiro com carvão – 30 a 70cm (estrutura prismática)

Bw cn – 40cm

Ponto nº 34

Ocorrência de solos litólicos rasos nos topos e de grandes bolders e afloramentos extremamente saprolitizados. O material da base trata-se de material originado *in situ*, gerando argissolos com nódulos e concreções a partir das rochas de origem (tinguaítos). A paisagem apresenta um diversidade de paisagens em função de diversos processos fisiográficos sobrepostos, tem-se a ocorrência de montanhas e serras com afloramentos rochosos em altitudes elevadas (1300 a 1400 metros de altitude). As partes mais baixas

compõem-se de planícies tectonizadas, configurando-se em planaltos modernos, com os elementos fisiográficos típicos de paisagens planálticas, tais como os diques marginais e terraços (Figura 72). Este sistema fisiográfico paleo-fluvial acompanha o Córrego do Quartel, que atualmente encontra-se encaixado, mas que no passado deveria apresentar uma maior área de inundação, o que pode ser evidenciado pela ocorrência de solos com volumes “glei” em porções atualmente elevadas do terreno.



Figura 72: paisagem típica de planaltos entre Poços de Caldas e Águas da Prata.

Ponto nº 35

Classificação: Neossolo regolítico concrecionário substrato cambissolo saporlítico.

Seqüência de horizontes: Ap – BCcn – Bi – Cr. Sendo BCcn – camada regolítica alúvio-coluvionar com espessura mínima de 10cm, com cristais de quartzo branco, âmbar e vermiculita. Matriz argilo-arenosa. Bi – vermelho com caulínização intensa. Cr – saporlito a partir de gnaisse.

Ponto nº 43

Classificação: Cambissolo húmico regolítico substrato cambissolo saporlítico (granito gnaisse).

Paisagem com a ocorrência de formas côncavas e convexas alternadas devido à presença de gnaisses e migmatitos. Falta de acumulação de matéria orgânica na paisagem indica atuação de processo erosivo. Cobertura vermelha superficial alternadamente com afloramentos

litológicos. Ocorrência de bolders e blocos angulares evidenciam atuação conjunta de processos gravitacionais e glaciais. Relevo é formado por colinas alongadas definidas por sistema de falhamento transcorrente.

No perfil: material vermelho com blocos e calhaus de gnaiss alterado. Alteração de piroxênio a anfibólio atribui coloração amarelada. Seqüência de horizontes: Ap – Bi– 2BC – 3Bi – Cr – Rr. Sendo Bi sem estrutura e vermelho-pardo (presença de mica biotita) e 3Bi mais plástico e suscetível a movimentos de massa, de coloração vermelho-amarelo (presença de anfibólio). Cambissolo húmico regolítico substrato cambissolo substrato granito gnaiss.

Seqüência de horizontes: Ap – Bi – BC – Cr – Rr. Cambissolo húmico substrato granito gnaiss.

Ponto nº 44

Classificação: Neossolo regolítico substrato cambissolo regolítico substrato gnaiss saprolitizado com plintificação típica de baixo estrutural fraturado.

Ponto de dobra com bandas de cor amarela (anfíbólio alterado) e lilás (alteração de Mn em condições um pouco reduzidas, se fosse ambiente oxidante o Mn estaria da forma de óxido, com cor preta, o que está preenchendo as fraturas do sistema).

Manto de alteração é profundo – latossolização de clima quente e úmido favorece liberação de Si e outros minerais, o que agrega fertilidade aos solos. Predominância de argilas 2:1, o que define plasticidade ao solo.

Seqüência de horizontes: Ap – A/C – C cascalhento – 2 Bi – C2 – 3Cr/Rr – Crf/Rrf. Neossolo regolítico substrato cambissolo regolítico substrato gnaiss saprolitizado com plintificação típica de baixo estrutural fraturado.

Seqüência de horizontes: Ap – Btn (concreções de quartzo sub-arredondadas) próximo à falha. Material alóctone composto por sedimento sesquioxídico, proveniente da erosão de latossolos. Este material quando seco tem cor 2,5YR 4/8 e quando molhado 10R 4/6. Quando seco é ligeiramente duro, úmido se torna muito friável e quando molhado é colapsível.

Ponto nº 47

Classificação: Neossolo regolítico concrecionário cascalhento argilúvico regolítico substrato argilúvico lacustre (ritmito) substrato sienito plintificado.

Depósitos sucessionais semi-horizontais. Plintificação na base (sienito) com intensa caulinição. Volumes de sedimentos mais finos alternados com volumes mais grosseiros. Presença de cinza vulcânica (Andossolos?).

Seqüência de horizontes: Ap – Bcn – 2Bt – 3Bt – Crf/Rrf.

Ponto nº 56

Perfil de área próxima à mineração de bauxita – Retiro Branco

Cambissolo concrecionário regolítico substrato tinguáito argilúvico bauxítico.

Ap – Bcn – 2Bt - Cr – Rr

Ponto nº 57

Cambissolo húmico pardo-amarelado regolítico sobre argissolo regolítico com grãos de quartzo, substrato argissolo saprolítico granitóide.

Ap – AB – Bi – 2Bt – 3Bt2 – Cr – Rr – R

Ponto nº 58

Neossolo regolítico concrecionário sobre argissolo húmico regolítico substrato argissolo plíntico saprolítico granítico-gnáissico. Ocorrência de volumes Bi e Rr na matriz Bt.

Ap – AB – Bt – BC - 2Btf – Crf

Ponto nº 61

Cambissolo regolítico substrato laterítico plíntico sienítico saprolítico.

Ap – Bcn – 2Bw – Cf

Ponto nº 62

Neossolo/Cambissolo regolítico substrato latossolo litólico sienítico

A fraco – Bi ou BC – 2Bw - Cr



Figura 73: Perfil número 61.



Figura 74: Perfil número 74.