

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

THAÍS MINATEL TINÓS

MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A PARTIR DE
METODOLOGIA DE ANÁLISE INTEGRADA: ENSAIO DE
APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro - SP

2011

THAÍS MINATEL TINÓS

MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A PARTIR DE
METODOLOGIA DE ANÁLISE INTEGRADA: ENSAIO DE
APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente

Comissão Examinadora

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO ZAINE

IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. CENIRA CENIRA MARIA LUPINACCI DA CUNHA

IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. FREDERICO GARCIA SOBREIRA

UFOP/Ouro Preto (MG)

RESULTADO APROVADA

Rio Claro, SP 10 de maio de 2011

624.151 Tinós, Thaís Minatel
T591m Mapeamento geológico-geotécnico a partir de
metodologia de análise integrada: ensaio de aplicação no
município de Poços de Caldas - MG / Thaís Minatel Tinós. -
Rio Claro : [s.n.], 2011
139 f. : il., figs., tabs., quadros, mapas + 2 mapa

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: José Eduardo Zaine

1. Geologia de engenharia. 2. Planejamento e gestão do
meio físico. 3. Planejamento urbano. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. José Eduardo Zaine, pela estima e confiança depositadas em mim, pelos ensinamentos, apoio e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Cnpq pelo auxílio através da bolsa de mestrado pelo programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente.

Aos professores Mara Lúcia Marques, Cenira Maria Lupinacci da Cunha e Frederico Garcia Sobreira pelas valiosas contribuições no exame de qualificação e defesa.

Aos queridos funcionários Rosângela Vacello, Darlene Armbrust, Cesário e Claudinho sempre dispostos a ajudar e resolver os mais diversos problemas.

Aos colegas Sabrina Cristina Martins e Helio Antonio Scalvi pela grande ajuda no trabalho de campo e troca de conhecimentos, além dos momentos de descontração no Recanto da Tilápia.

A mais que amigaaaaa Cibele Poioivisky pela ajuda na reta final e por todos os momentos de alegria e também de desespero.

A meus pais Dirceu e Neuza e minha queridíssima vó Neide pelo amor, carinho e por proporcionarem oportunidades que me trouxeram até aqui.

A meus queridos amigos e familiares, os que estão perto e os que estão longe, obrigada pelo apoio, amizade, momentos de descontração e por terem de alguma forma estado presentes em minha vida.

Por fim, ao meu namorado e melhor amigo, Mateus, pela grande ajuda com o software ArcGis e principalmente pela infinita paciência, compreensão e incentivo.

***“Eu quase que nada não sei.
Mas desconfio de muita coisa.”***

(Guimarães Rosa)

RESUMO

O mapeamento geológico-geotécnico é um instrumento fundamental para o planejamento e gestão do meio físico, fornecendo as informações essenciais para a tomada de decisão. Este trabalho teve como objetivo a elaboração de um mapa geológico-geotécnico das principais áreas urbanas e de expansão do município de Poços de Caldas - MG. A metodologia empregada focou a análise integrada dos elementos do meio físico a partir do uso de fotografias aéreas e trabalhos de campo, para a compartimentação fisiográfica de unidades do terreno. A etapa seguinte foi a caracterização geotécnica de cada unidade e uma avaliação de adequabilidade quanto ao uso urbano. Como produtos finais são apresentados um mapa geológico-geotécnico da área, um perfil de cada unidade, além de suas principais características e processos geológicos ocorrentes. Tais elementos são instrumentos essenciais para o planejamento urbano e territorial do município.

Palavras-chave: Mapeamento geológico-geotécnico; Análise integrada; Planejamento Urbano.

ABSTRACT

The geological-geotechnical mapping is a fundamental tool for planning and managing the physical environ, providing essential information for decision making. This study aimed to development a geological-geotechnical map of Poços de Caldas major urban areas and expansion. The methodology focused on the integrative analysis of the physical environ and the use of air photographs to section the area by physiographical features. The next step was the geotechnical characterization of each unit and an assessment of their capabilities and limitations as to urban use. As a final products are presented a geological-geotechnical map of the area, a profile of each unit, besides its main characteristics and geological processes occurring. These elements are essential tools for urban and territory planning of the municipality.

Key-words: Geological-geotechnical mapping; Integrative approach; Urban planning.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	15
Figura 2 - Sequência de eventos geológicos conforme modelo de cratera proposto por Ellert (1959).21	
Figura 3 - Mapa de Substrato Rochoso do município de Poços de Caldas elaborado por Frayha (1970), por ocasião do plano de desenvolvimento municipal.	23
Figura 4 – Mapa de compartimentos geomorfológicos adaptado do Projeto Sapucaí. Fonte: Cavalcanti et alli, (1979).	26
Figura 5 - Distribuição da drenagem na área de estudo.	30
Figura 6- Principais sub-bacias de recarga de aquíferos em Poços de Caldas.	33
Figura 7 - Mapa da expansão urbana entre 1991 e 2000.	37
Figura 8 - Imagens ilustrando a expansão urbana nas proximidades do aeroporto e Rodovia do Contorno.	37
Figura 9 - A. Assoreamento em ribeirão do Jd. Kennedy; B. Escorregamento de terra em margem do Ribeirão das Antas; C. Córrego com margens erodidas na Avenida Platina; D. Alagamento na área central; E. Desestabilização de encosta para construção residencial; F. Construções invadindo a Serra de São Domingos; G. Cratera no asfalto no Bairro São José.	39
Figura 10 - Aplicação da técnica de avaliação do terreno.	52
Figura 11 - Esquema representativo dos aspectos técnicos que relacionam a ocupação urbana e o meio ambiente. Fonte: Adaptado de Zuquette e Gandolfi (2004).	56
Figura 12 - Fluxograma para a identificação de tipos de solo. Fonte: Vaz,(1996).	60
Figura 13 - Perfil de alteração segundo Vaz (1996).	62
Figura 14 - Fluxograma das etapas de trabalho.	66
Figura 15 – Sub-zonas geomorfológicas e limites da área de estudo.	85
Figura 16 - Distribuição das Unidades na área de estudo.	86
Figura 17 - Ficha 1 - Unidade 1. Planícies aluviais.	88
Figura 18 - Ficha 2 - Unidade 2. Depósitos de talús e colúvios em sopé de montanha.	90
Figura 19 - Ficha 3 - Unidade 3. Rampas colúvio-eluviais.	92
Figura 20 - Ficha 4 - Unidade 4. Tinguaitos em relevo montanhoso.	94
Figura 21 - Ficha 5 - Unidade 5. Tinguaitos em relevo de morros.	96
Figura 22 - Ficha 6 - Unidade 6. Tinguaitos em topos de morro.	98
Figura 23 - Ficha 7 - Unidade 7. Foiaítos em relevo de morros e morrotes.	100
Figura 24 - Ficha 8 - Unidade 8. Foiaítos em relevo colinoso.	102
Figura 25 – Distribuição das fraturas nas unidades geológico-geotécnicas.	103
Figura 26 - A. Rachaduras na rua em decorrência da erosão das margens de um córrego no Jd. Kennedy; B. Erosão na margem do Ribeirão dos Poços; C. Erosão das margens e material arrastado por enchente em afluente no Córrego das Vargens; D. Assoreamento em córrego próximo ao aeroporto.	109
Figura 27 - A. Muro de gabiões amparando residência em corte instável de talude; B. Corte mal executado em encosta com depósito de talús gerando área de instabilidade.	110

Figura 28 - Área de corte e rapagem em rampa-coluvial próxima ao aeroporto com início de processo erosivo em solo exposto.....	111
Figura 29 - A. Canal de drenagem passando entre as casas; B. Ravinamento em canais de drenagem; C. Feições de rastejo; D. Bloco de tinguaito rolado.	112
Figura 30 - A. Corte em talude para a construção de residência; B e C. Escorregamentos em cunha no sopé de morro; D. Diversos cortes e aterros para a construção civil.	114
Figura 31 - Feições de rastejo em área de cultura “morro acima”na unidade 6.....	115
Figura 32 - A. Feições de rastejo em encosta lateral a Av. Alcoa; B. Sulcamento em terreno vizinho a Represa Saturnino de Brito; C. Escorregamento em margem do Ribeirão da Serra contido por muro de gabiões; D. Escorregamento em talude na Av. Francisco Salles; E. Aterro e corte de talude ao lado de cabeceira de drenagem.....	116
Figura 33 - A (Proximidades da Rodovia do Contorno) e B (Proximidades do aeroporto) Áreas que sofreram erosão laminar e tiveram as camadas mais superficiais do solo removidas; C. Formação inicial de sulcos erosivos em aterro para construção de residências.....	117

ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 - Sequência de eventos geológicos e modelos propostos sobre a origem do Maciço Alcalino de Poços de Caldas.	22
Tabela 1 – Breve análise das bacias hidrográficas do Ribeirão das Antas e sub-bacia do Córrego das Vargens	31
Quadro 2- Conceitos de mapa, planta e carta geotécnicos.....	44
Quadro 3 - Definições de termos empregados em mapeamentos geotécnicos.....	44
Quadro 4 - Correlação entre escalas e respectivas finalidades proposta por Zuquette (1987).	46
Quadro 5 - Correlação entre escalas e respectivas finalidades proposta por Cerri et. al (1996).	46
Quadro 6 - Lista de atributos considerados na formulação de análises do ambiente, nos procedimentos de seleção e verificação de locais para a ocupação urbana.	57
Quadro 7 - Materiais cedidos pela Prefeitura de Poços de Caldas.	68
Quadro 8 - Materiais de fontes diversas.	68
Quadro 9 - Sequência de procedimentos proposta por Zaine (no prelo) para análise e fotointerpretação geomorfológica e geológica, baseada em Soares e Fiori (1976) e Ponçano et al. (1981) e associação com as propriedades geotécnicas.....	71
Quadro 10 - Conjuntos de sistemas de relevo propostos por Ponçano et al (1981)	72
Quadro 11 - Relação entre os níveis taxonômicos utilizados e as condições morfoambientais e genéticas da área.	73
Tabela 2 - Classes de permeabilidade.....	78
Tabela 3 - Classes de relação escoamento superficial / infiltração.....	78
Tabela 4 - Classes de espessura do manto de alteração.....	78
Tabela 5 - Classes de alterabilidade.	79
Quadro 12 - Classes de declividade.	83
Tabela 6 - Densidade de fraturas por unidade geológico-geotécnica	104
Quadro 13 - Classificação das unidades geológico-geotécnicas quanto ao grau de fraturamento e permeabilidade fissural.	105
Quadro 14 - Caracterização das unidades quanto a suas propriedades geotécnicas.	107

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	12
2 - OBJETIVOS.....	14
3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	15
3.1 – LOCALIZAÇÃO.....	15
3.2 – CLIMA	16
3.3 – GEOLOGIA.....	16
3.3.1 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	16
3.3.2 - TRABALHOS ANTERIORES	17
3.3.3 - EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS	19
3.3.4 - DISTRIBUIÇÃO LITOLÓGICA E MINERALOGIA	22
3.4 – GEOMORFOLOGIA	25
3.5 – SOLOS	28
3.6 – HIDROGRAFIA	29
3.6.1 - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	31
3.7 – Uso e OCUPAÇÃO.....	33
4 – EMBASAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO	40
4.1 – PROBLEMAS DECORRENTES DO DESCONHECIMENTO DO MEIO FÍSICO NA OCUPAÇÃO URBANA.....	40
4.2 – MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE INTEGRADA	42
4.2.1 – AVALIAÇÃO DE TERRENO (<i>TERRAIN EVALUATION</i>)	50
4.2.2 – SISTEMAS DE RELEVO	53
4.2.3 - COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA.....	54
4.3 – INFERÊNCIAS GEOTÉCNICAS	55
4.3.1 - PERFIL DE ALTERAÇÃO TROPICAL.....	58
4.4 – SENSORIAMENTO REMOTO	63
5 – MATERIAIS E MÉTODOS	66
5.1 – ETAPAS DE TRABALHO	66
5.2 – DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	67
5.2.1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	67
5.2.2 - SELEÇÃO/AQUISIÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS.	67
5.2.2.1 - CORREÇÃO DAS BASES CARTOGRÁFICAS.....	68

5.2.2.2 - ELABORAÇÃO DO MDE, MAPA DE DECLIVIDADE E MAPA DE RELEVO SOMBREADO	69
5.2.3 - FOTOINTERPRETAÇÃO	69
5.2.3.1 - NÍVEIS TAXONÔMICOS	73
5.2.4 – TRABALHO DE CAMPO	74
5.2.5 – DIGITALIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	75
5.2.6 - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	76
5.2.7 – AVALIAÇÃO DA ADEQUABILIDADE A OCUPAÇÃO URBANA.....	80
<u>6 – RESULTADOS.....</u>	82
6.1 - MAPA DE DECLIVIDADE	82
6.2 – SUB-ZONAS GEOMORFOLÓGICAS	84
6.3 – UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.....	86
6.4 – MAPEAMENTO DAS FRATURAS.....	103
6.5 – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	106
6.6 – AVALIAÇÃO DA ADEQUABILIDADE A OCUPAÇÃO URBANA.....	118
<u>7 – CONCLUSÕES</u>	121
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</u>	123

1 – INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, notou-se que a intensificação do processo de urbanização, aliado ao contínuo crescimento populacional e a demanda por infraestrutura acarretou inúmeros impactos ao sistema natural. Em grande parte dos municípios, sobretudo nos países em desenvolvimento como o Brasil, a expansão urbana ocorre sem planejamento, de modo desordenado, desencadeando conflitos ambientais ou situações de desequilíbrio entre o meio natural e a ocupação humana.

Prandini et al (1995) afirmam que, em nosso país, a aceleração da expansão urbana ocorre quase que exclusivamente sob o ponto de vista da especulação do mercado, ignorando as reais potencialidades e limitações do meio ambiente. No entanto, o conhecimento das aptidões da superfície terrestre, para sustentar os diferentes usos do solo, é imprescindível para garantir o controle de fenômenos geodinâmicos indesejáveis, como movimentos de massa, erosão, assoreamento, enchente, dentre outros, os quais podem ser naturais ou induzidos pela ocupação do território (ROSS, 1995).

Nesse sentido, considerar as características do meio físico é um mecanismo eficiente de análise ambiental, pois as estratégias para o planejamento baseiam-se na avaliação acurada da capacidade de sustentação do território e da sua recuperação frente à atividade humana. A organização territorial cria, então, situações apropriadas ao desenvolvimento econômico de seus habitantes, em consonância com as condições naturais (SÃO PAULO, 1992).

O mapeamento geológico-geotécnico é um importante instrumento do planejamento, pois engloba um conjunto de ações que visa o levantamento, caracterização e análise dos componentes do meio físico, destacando-se rochas, solos, águas, relevo e suas relações. Os mapas ou cartas geológico-geotécnicos permitem uma revisão da interação entre ocupação e meio físico, assim como dos próprios conflitos entre as diferentes formas de uso territorial, além de orientar medidas preventivas e corretivas objetivando minimizar prejuízos e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

Grande parte dos mapeamentos geológico-geotécnicos é elaborada a partir de uma metodologia de análise multi-temática, ou seja, um conjunto de produtos cartográficos obtidos separadamente é cruzado para a obtenção de um mapa de síntese final. No entanto, diversos autores têm apontado vantagens na utilização da

metodologia de análise integrada, destacando a economia em termos de custo, tempo e vasta aplicabilidade. Assim, nesta dissertação buscou-se aplicar a metodologia de análise integrada, que segundo Ross (1995) permite a elaboração de um produto cartográfico único, onde os elementos ambientais (solo, relevo, geologia, vegetação, uso do solo) são analisados integradamente para a identificação de diferentes unidades, que podem refletir limites concretos no espaço, podendo ser orientada para diferentes fins.

Para execução do trabalho foram empregadas fotografias aéreas, que possuem grande potencial de utilização na compartimentação fisiográfica. As etapas de trabalho executadas consistiram fundamentalmente na fotointerpretação, compartimentação fisiográfica, caracterização geológico-geotécnica das unidades e avaliação das potencialidades e limitações da área a ocupação urbana.

O município de Poços de Caldas foi escolhido como área de estudo dada a grande diversidade de dados disponíveis, além de apresentar inúmeros problemas referentes a falta de um efetivo planejamento urbano, como inundações, escorregamentos, assoreamentos, processos erosivos, entre outros. O mapeamento geológico-geotécnico vem como ferramenta de extrema relevância para identificar, analisar e propor soluções e alternativas a estes locais.

2 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como principal objetivo geral a elaboração de um mapa geológico-geotécnico de área urbana e principais áreas de expansão de Poços de Caldas – MG a partir de metodologia de análise integrada dos elementos do meio físico e utilização de produtos de sensoriamento remoto.

Como objetivos específicos buscou-se realizar uma compartimentação fisiográfica e uma caracterização geotécnica da área, além de uma avaliação da adequabilidade a ocupação urbana de acordo com as potencialidades e limitações de cada unidade geológico-geotécnica. Espera-se que as informações geradas contribuam para o planejamento urbano e territorial do município.

3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

3.1 – Localização

O município de Poços de Caldas localiza-se ao sul do Estado de Minas Gerais, na divisa com o Estado de São Paulo. Sua sede localiza-se na latitude $21^{\circ}50'20''$ Sul e na longitude $46^{\circ}33'53''$ Oeste, a uma altitude de 1.186 metros. A área total do município é de 544,42 Km² e a população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2009, era de 151.449 habitantes. Este trabalho opta por focar sua análise em um recorte da área do município, que abrange grande parcela da cidade e as principais áreas de expansão urbana. Assim, a área de estudo abrange 84,45437 km², como ilustra a Fig. 1.

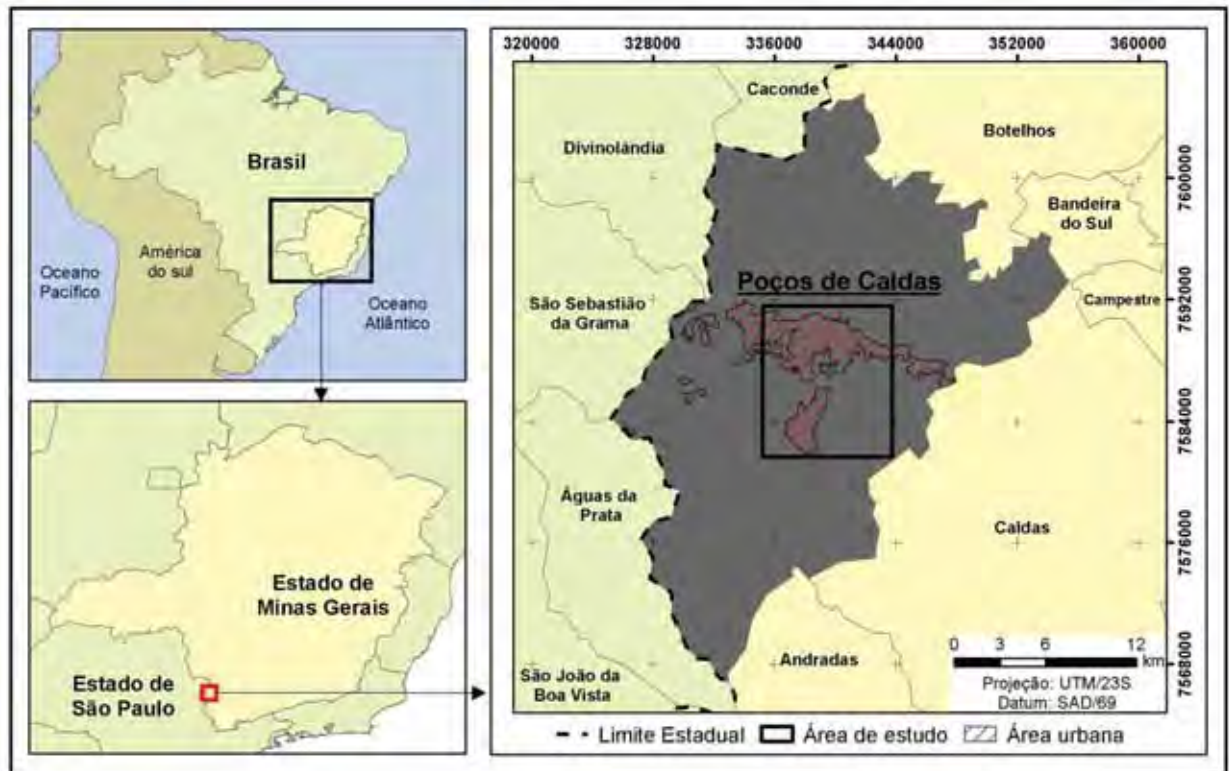


Figura 1 - Localização da área de estudo.

3.2 – Clima

Pela classificação de Koppen, cuja fundamentação está nos valores médios da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, o clima da área estudada pode ser enquadrado no grupo C (mesotérmico), subtipo Cwb, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco, com verões brandos e estação chuvosa no verão.

De acordo com Calvalcante et al. (1979), neste subtipo de clima, também denominado de “tropical de altitude”, a temperatura média anual é em torno dos 19,9°C e a pluviosidade fica entre 1300 mm e 1700 mm.

A estação seca estende-se de maio a setembro, atingindo a evaporação índices baixos, devido ao abrandamento da temperatura neste período. A temperatura média da estação é 18°C e as chuvas atingem um total de 282 mm. O mês mais seco é julho e também no qual ocorrem as menores temperaturas, sendo a mínima absoluta registrada de - 6°C.

O verão, que representa o período chuvoso, vai de outubro a março, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações (temperatura média do período 21°C e total de 1200 mm. de chuvas). O mês mais chuvoso, em geral, é janeiro, quando o total de chuvas pode atingir 10 vezes mais que julho. A temperatura máxima absoluta registrada foi de 31, 7°C

A umidade relativa média é de 79% e o número de dias de chuva de aproximadamente 190. Ocasionalmente podem ocorrer geadas, prejudicando principalmente as lavouras de café. Os ventos se apresentam como moderados, na direção NE e com velocidade de 10 a 15 Km/hora. Com a entrada de frentes frias no Planalto, a direção dos ventos pode se inverter passando a SW-W (PREFEITURA DE POÇOS DE CALDAS, 1993).

3.3 – Geologia

3.3.1 - Contexto Geológico Regional

No contexto regional, a área de estudo está inserida na intrusão alcalina de Poços de Caldas, que constitui uma das maiores estruturas do gênero conhecidas, ocupando uma área de cerca de 800 km². Também denominada como Maciço Alcalino, apresenta uma conformação subcircular, com diâmetro médio de 30 km, abrangendo partes dos municípios de Poços de Caldas, Caldas, Andradas e Águas da Prata.

O maciço formou-se a partir de um complexo de rochas efusivas e principalmente intrusivas (CHRISTOFOLETTI, 1973) e situa-se na borda oriental da Bacia Sedimentar do Paraná, assim como a grande maioria das ocorrências alcalinas mesozóicas e terciárias localizadas no SE brasileiro e limita-se com os terrenos pré-cambrianos do Complexo Cristalino Brasileiro, na borda ocidental da Mantiqueira (ELLERT, 1959).

De acordo com Moraes (2007), 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 da Bacia do Paraná (ELLERT, 1959; BJORNBERG, 1959). Os materiais sedimentares são atribuídos por Ulbrich (1984) ao Grupo Tubarão, de idade Neo-Paleozóica e a Formação Botucatu, de idade triássica-jurássica.

O maciço alcalino destaca-se por suas feições peculiares, pois considerando que a altitude média das rochas encaixantes é de 800 m, enquanto que a parte interna do planalto apresenta cota média de 1300 m, existe um desnível mínimo de 500 m, representado pela intrusão. Entretanto, o anel circundante apresenta altitudes oscilando entre 1500 e 1700 m (CAVALCANTE et al., 1979).

3.3.2 - Trabalhos anteriores

Por ser uma área bastante diferenciada quanto às características geológicas e geomorfológicas, 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.

Derby (1887) e Machado (1888) realizaram os primeiros trabalhos de cunho geológico interpretativo, descrevendo os principais tipos litológicos. O primeiro autor reconheceu o caráter vulcânico do maciço inteiro e atribuiu a ele uma provável idade pós Carbonífera.

Barbosa (1934, 1936, 1948) apresenta novas descrições de rochas e análises químicas, além de ressaltar a relevância econômica das jazidas minerais da área e estabelecer relações de idades entre as principais unidades litológicas. Guimarães

(1947, 1948) apresenta uma série de estudos petrográficos da área e um mapa geológico da borda W do maciço é elaborado por Branco (1956), que também verifica a semelhança entre arenitos da Serra do Mirante com os da Formação Botucatu.

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 publicou o primeiro mapa geológico do maciço na escala 1:75.000 e descreveu as principais litologias representadas, além de apresentar um relato dos mecanismos de intrusão e um modelo de cratera vulcânica com abatimento central, que foi apoiado pelos estudos de Bjornberg (1959) sobre as rochas sedimentares do Planalto de Poços de Caldas.

Como contribuições importantes para a mineralogia e petrologia do maciço, citam-se ainda Ashry (1962) e Gorsky & Gorsky (1974). Posteriormente, Almeida Filho e Paradella (1977) realizaram estudos com sensoriamento remoto para identificar feições lineares no interior e arredores do maciço, associadas à maioria a ocorrência de urânio para fins de prospecção mineral.

Também devem ser ressaltados os trabalhos de mapeamento geológico realizados pela Comissão de Energia Nuclear (CNEN) nos anos sessenta e pela Empresas Nucleares Brasileiras S.A. – NUCLEBRÁS (NUCLEBRÁS, 1975), assim como as contribuições de Resk Frayha e Carlos Augusto Parisi, cujos trabalhos foram incorporados no mapa geológico da NUCLEBRÁS (1975). Mais recentemente, a porção paulista do planalto foi mapeada pela Universidade Estadual Paulista – UNESP (1984), e os corpos de nefelina sienitos foram objeto de cartografia e estudos detalhados por Ulbrich (1984). O autor apresentou considerações gerais de cunho geológico sobre a história do maciço e em particular, sobre a evolução dos nefelinas sienitos.

Por fim, Motoki e Oliveira (1987), Motoki et al (1988) e Motoki e Vargas (1991) reestudaram o modo de ocorrência das rochas sedimentares do maciço e sugeriram que a erosão diferencial gerou as formas de relevo hoje observadas. Os autores discordam de Ellert (1959) ao afirmarem que o que aflora hoje é a parte superior de um corpo intrusivo raso; a exposição atual do referido complexo não pode representar um "vulcão" ou uma "caldeira", mas sim, um corpo intrusivo de "magmatic stoping".

Em 1991, Chapman et al identificou três sistemas principais de falhas dentro da caldeira, os quais são importantes controles no sistema de drenagem local. O primeiro tem direção N60°W, estende-se através da caldeira e foi ativado durante o soerguimento do complexo. O segundo tem direção N40°E, e está relacionado ao colapso da caldeira. O terceiro é um conjunto de falhas radiais e subcirculares relacionado a várias intrusões.

A existência de empresas de mineração como Alcoa Alumínio, CBA – Companhia Brasileira de Alumínio e INB – Indústrias Nucleares do Brasil, definiu 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).

3.3.3 - Evolução geológica do Maciço Alcalino de Poços de Caldas

Dois modelos geológicos propostos pela literatura explicam a origem e a evolução geológica do Maciço alcalino de Poços de Caldas: 1. Modelo de Corpo Intrusivo Erodido e 2. Modelo de Caldeira. Abaixo serão discutidas as principais características de cada modelo.

O Modelo de Corpo Intrusivo Erodido foi proposto por Motoki e Oliveira (1987), Motoki et al.(1988) e Motoki e Vargas (1991). Os autores afirmam que o Maciço Alcalino é resultado de uma intrusão rasa submetida à erosão. Segundo os mesmos, o arenito Botucatu estaria imerso no magma fonolítico, e suas lavas seriam manifestações subvulcânicas com cristalização de nefelina sienitos (MOTOKI & OLIVEIRA, 1987), embora essas rochas apresentem, localmente, disposição fluidal. Da mesma forma, haveria um brechamento tardio, resultando em brechas e tufo vulcânicos, interpretados como “brechas de conduto”. No entanto, não fica claro se os autores propõem a formação de um diápiro (em 1987), ou intrusão colocada (em 1988), ou se o corpo se apresenta em forma de funil (apresentação oral em 1991).

O Modelo de Cratera é o mais aceito e foi proposto Ellert (1959) e reiterado por Fraekel et al. (1985) e Ulbrich (1984). Todos seguem basicamente a mesma sucessão de eventos, exceto por algumas divergências.

O processo iniciou-se durante o Mesozóico, provavelmente Cretáceo Inferior (130 a 85 Ma.), quando ocorreu a 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 & 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 (MORAES, 2007). O modelo evolutivo do complexo de Poços de Caldas proposto por Ellert (1959) é composto de seis etapas principais (modificado por SCHORSCHER & SHEA, 1991) como é descrito a seguir e ilustrado na Fig. 2:

- 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: tinguaítos, 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 (1959), 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.

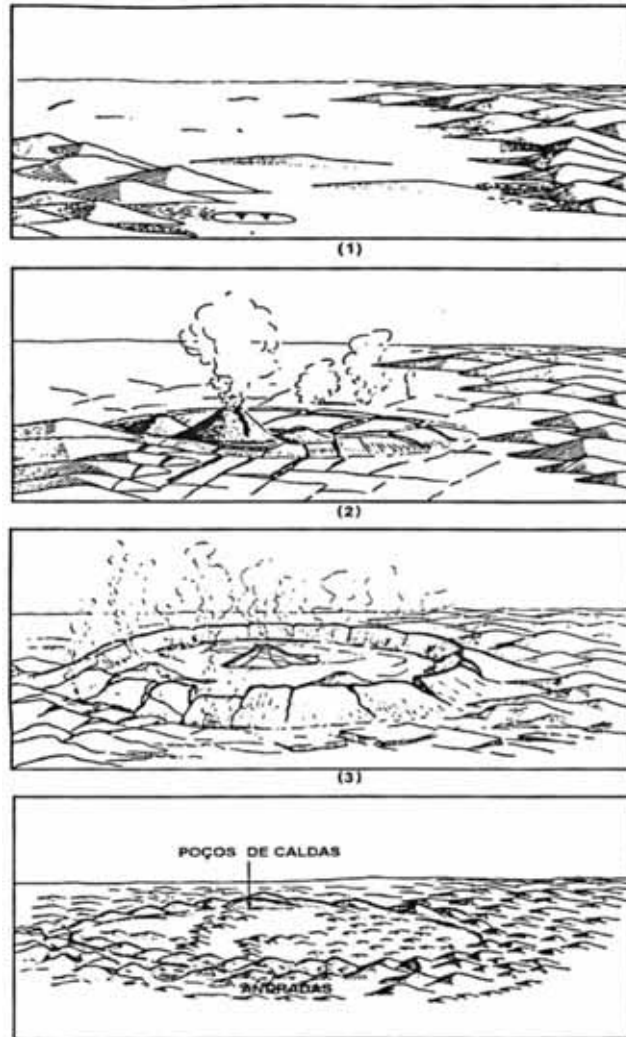


Figura 2 - Sequência de eventos geológicos conforme modelo de cratera proposto por Ellert (1959).

Para Fraenkel et al.(1985), houve uma segunda etapa de soerguimento com invasão de tinguaitos e foiaítos. Nos estágios finais, ambos os autores tem idéias semelhantes, quando constataam a formação de diques anelares, seguida de intrusão de lujauritos, chibinitos e foiaítos, associados à atividade hidrotermal.

Ulbrich (1984; 1990; 1992) não prevê o domeamento inicial, mas sim, a presença de diques de diabásio da Formação Serra Geral, seguida da intrusão de nefelina sienitos, fonólitos e pseudoleucitas, tanto no interior como nas bordas do maciço, gerando os diques anelares e posterior alteração hidrotermal e brechamentos tardios resultantes da última invasão de fonólitos.

O quadro 1 ilustra a sequência de eventos geológicos e modelos propostos sobre a origem do Maciço Alcalino de Poços de Caldas.

Quadro 1 - Sequência de eventos geológicos e modelos propostos sobre a origem do Maciço Alcalino de Poços de Caldas.

ELLERT et al. (1959)	FRAEKEL et al. (1985)	MOTOKI & OLIVEIRA (1987) MOTOKI et al. (1988)	ULBRICH (1984); ULBRICH & M. ULBRICH (1992)
<ul style="list-style-type: none"> - Invasões de lujauritos, chibinitos e outros foiaítos marginais - Formação de diques anelares, concomitantes com cristalização de rocha fina - Cristalização de tinguaitos, fonólitos e foiaítos centrais, superposição de eventos - Subsidência da parte central e intrusão de tinguaitos etc. - Atividade vulcânica inicial (lavas e piroclásticas intercaladas), derrames fonolíticos ao sul - Levantamento do embasamento devido a falhas escalonadas. Arenitos e siltitos do Botucatu. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intrusões de lujauritos, chibinitos e foiaítos (marginais?), atividade hidrotermal (brechamento, ação de águas termais, etc.) - Formação de diques anelares - Segunda fase de soerguimento com invasão de tinguaitos e foiaítos centrais - Subsidência central, com reajustes graduais, brechamento e milonitização Longo período de atividade vulcânica piroclástica (lavas, brechas, tufos, etc.) - Soerguimento do embasamento e sedimentos, formação de falhamentos escalonados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Brechamento tardio (faixa piroclástica de Vale do Quartel, vários condutos, etc.) - Em parte, intrusão de nefelina sienitos - Intrusões de fonólitos e cristalização de nefelina sienitos - Arenitos Botucatu e Corumbataí. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vários brechamentos tardios (piroclásticas de conduto e supracrustais; alteração hidrotermal e mineralizações – U, Zr, Mo, etc.) - Intrusões de psseudoleucita, fonólitos e fonólitos tardios - Intrusão de nefelina sienitos diferenciados (agpaíticos) e não diferenciados (miasquíticos) - Intrusão subvulcânica de egrina fonólitos e fonólitos porfiríticos (?), formando-se também os anéis topográficos - Rochas piroclásticas e derrames (Vale do Quartel e Represa Bortolan) - Não prevê domeamentos. Arenitos com siltitos laminados da Formação Botucatu.

Fonte: Adaptado de Liporaci (1994).

3.3.4 - Distribuição litológica e mineralogia

Os principais tipos litológicos inseridos na área de estudo são apresentados em forma esquemática, na Figura 3.

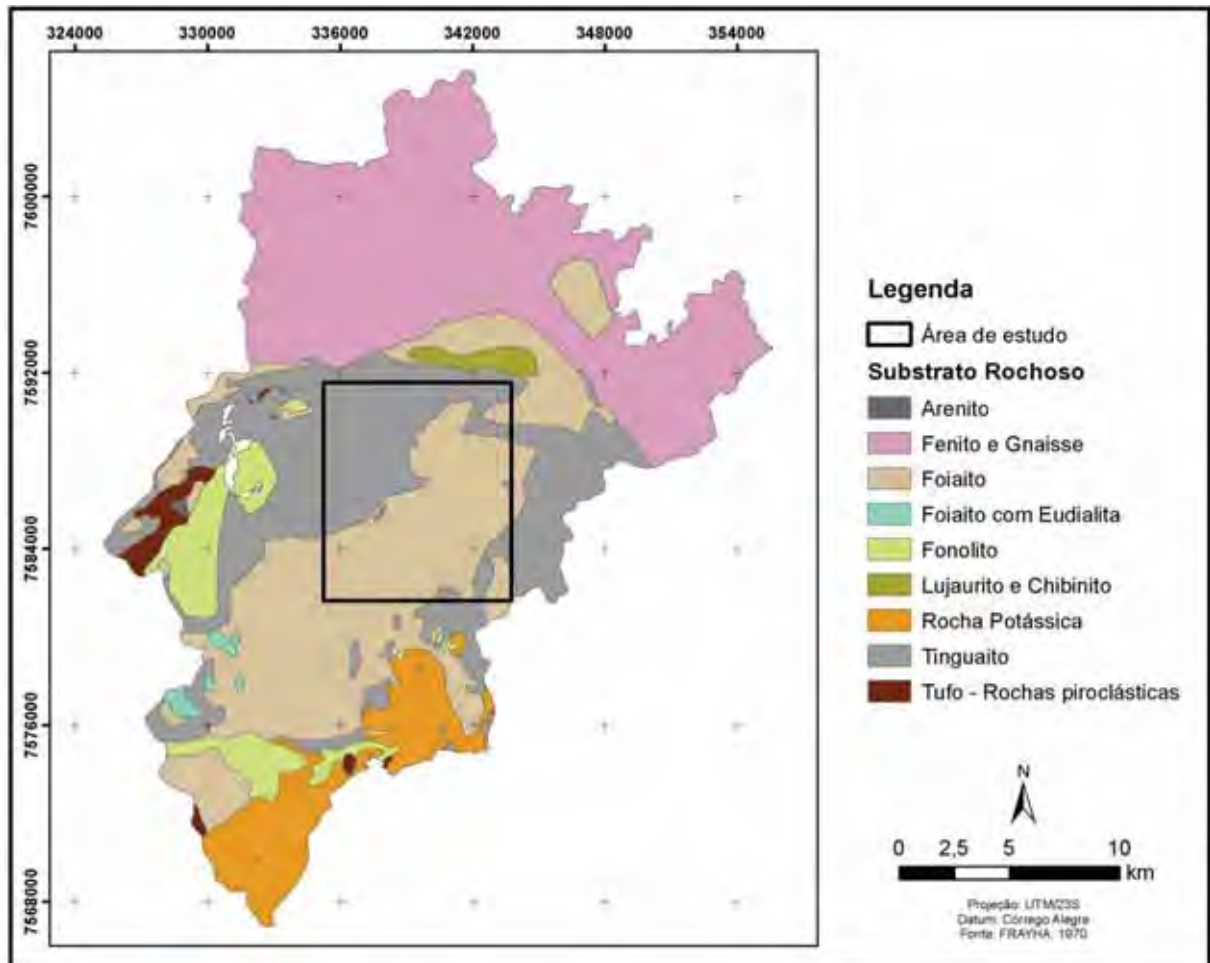


Figura 3 - Mapa de Substrato Rochoso do município de Poços de Caldas elaborado por Frayha (1970), por ocasião do plano de desenvolvimento municipal.

No planalto de Poços de Caldas ocorrem inúmeros tipos litológicos de filiação alcalina, sendo predominantemente rochas alcalinas efusivas e intrusivas da família dos nefelinas sienitos (tinguaítos, fonólitos, foiaítos) na forma de um corpo intrusivo de idade mesozóica-cenozóica.

Ellert (1959) identificou 4 grupos de litotipos:

- 1) Brechas, Tufos e Aglomerados;
- 2) Rochas Efusivas e Hipoabissais (Tinguaito e Fonolitos);
- 3) Rochas Plutônicas (Nefelina Sienitos, Lujauritos e Chibinitos);
- 4) Rochas Potássicas (associadas a processos metassomáticos).

Datações realizadas por Amaral et al. (1967) e Hasui (1968), pelo método K/Ar de algumas rochas alcalinas da região, mostram idade de, aproximadamente, 80 a 63 Ma.

Segundo Valetton 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.

Segue uma descrição detalhada dos dois grupos de rochas ocorrentes na área de estudo:

A. Rochas efusivas e hipoabissais

Os principais representantes deste grupo são fonólitos e tinguaítos, ambos com ampla distribuição por todo o maciço (MOREIRA et al., 2002). Ellert (1959) usou o termo fonólito para rochas de textura afanítica ou porfírica, e para as rochas de textura grosseira ou sacaróide o termo tinguaíto.

As diferenças entre fonólitos, tinguaítos 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 Valeton et al. (1997).

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.

Essas rochas estão hidrotermalizadas e intemperizadas, porém, as rochas da porção interna (predominantemente, tinguaítos/fonólitos e foiaítos) apresentam perfis de alteração caracterizados por capa superficial de laterita, seguida por saprolitos, e mais profundamente, rocha sã. Este processo de alteração supergênica propicia formação de jazidas de bauxita, associada aos níveis lateríticos e saprolíticos.

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.

B. Rochas plutônicas

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

Ellert (1959) afirma que os foiaítos comumente apresentam textura granular grosseira e em geral são intrusivos nos tinguaítos, mas ocorrem também zonas de

transição de um tipo para outro. Christofolletti (1972) identificou que a área de maior ocorrência dos foiaítos é uma faixa no sentido NE-SW, na zona centro-norte do maciço.

O contato do foiaíto com o tinguaióto, 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.

O lujaurito é formado por feldspatos alongados, com disposição paralela, enquanto o chibinito é de granulação grosseira, com textura traquitóide e freqüente intercrescimento de feldspatos e piroxênio. Ambos afloram na borda norte do maciço, em forma crescente (ELLERT, 1959).

3.4 – Geomorfologia

Dentro das divisões geomorfológicas da região Sudeste do Brasil, a região de Poços de Caldas situa-se na província geomorfológica denominada Planalto Sul de Minas. Como ilustra a Fig. 4, essa província é subdividida em três zonas morfológicas: a superfície do alto rio Grande, o planalto de São Pedro de Caldas e o planalto de Poços de Caldas. Ao norte do município de Poços de Caldas ocorre também a província geomorfológica denominada Zona Cristalina do Norte, que mantém um relevo de transição entre as terras altas do planalto do Sul de Minas e da Mantiqueira para a região rebaixada da depressão Periférica e é subdividida em duas zonas: a de Amparo e a de São José do Rio Pardo (CAVALCANTE et al, 1979).

No contexto geral, as zonas que abrangem o município são três: o Planalto de Poços de Caldas, que engloba a área de estudo deste trabalho, o Planalto de São Pedro de Caldas, e a subzona de São José do Rio Pardo.

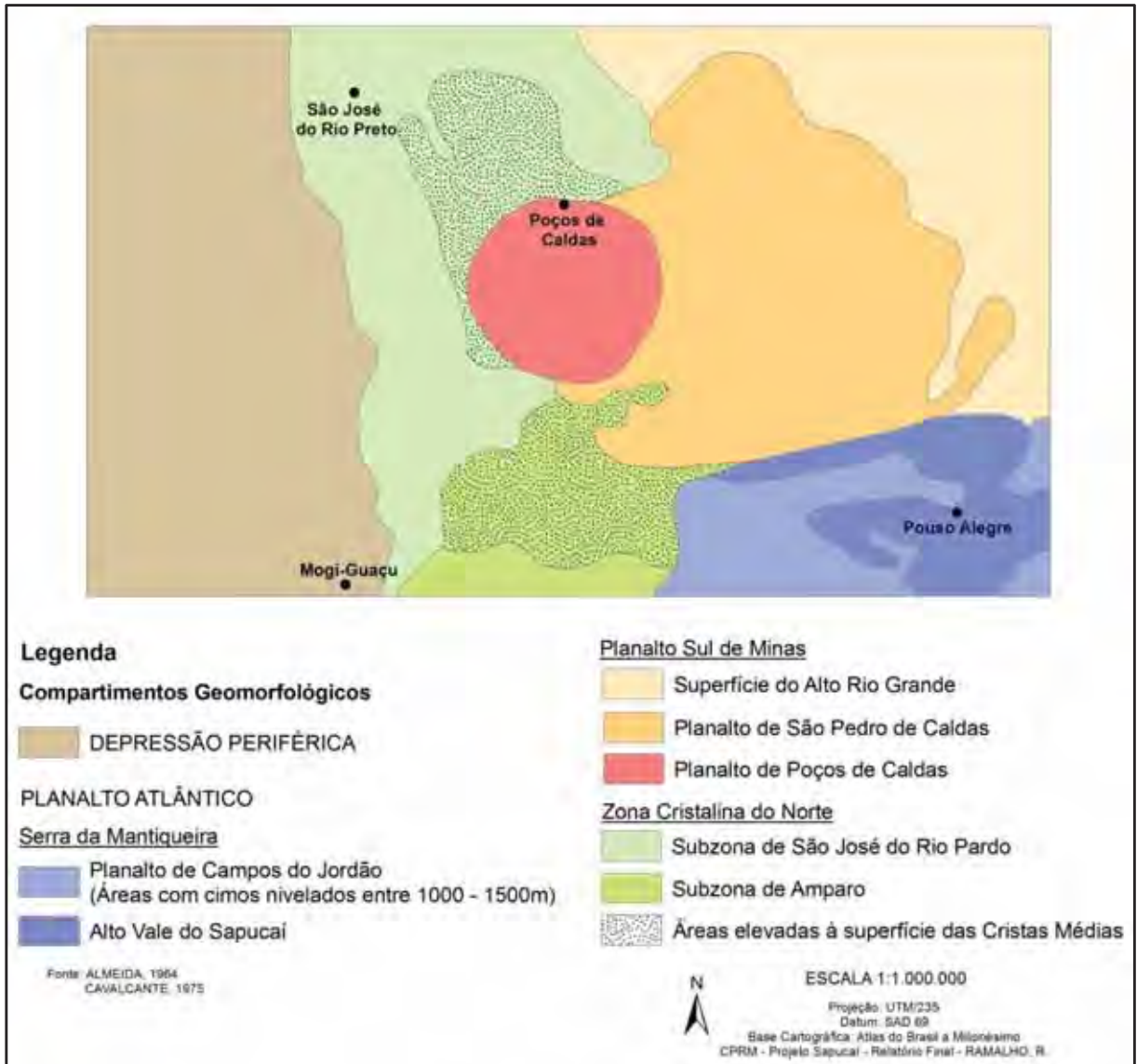


Figura 4 – Mapa de compartimentos geomorfológicos adaptado do Projeto Sapucaí. Fonte: Cavalcanti et alli, (1979).

Eleva-se em torno de Poços de Caldas um anel de cristas que moldura uma zona rebaixada no interior, de cerca de 800 km². Este anel, também denominado dique anelar, está salientado de 300 a 500 m acima do relevo cristalino que o rodeia, com um forma ligeiramente elíptica e eixo maior de 35 quilômetros no sentido NE-SW e o menor de 30 quilômetros no sentido NW-SE. Ele concretiza-se em uma chaminé alcalina constituída principalmente de foiaítos e tinguaiítos, sendo rebaixado apenas em sua parte sudeste. No centro desse dique anelar desenvolve-se uma topografia de morros e colinas, cujos desníveis locais raramente ultrapassam 150 m. As serras que envolvem o Planalto de Poços de Caldas alcançam 1630 m no morro

do Cristo Redentor, enquanto que o interior se nivela em aproximadamente 1300 m (CAVALCANTE et al, 1979).

Ao norte, a partir do ponto mais alto encontrado na serra de Poços com 1637m, área de contato com a zona cristalina, há desnível de 500-600 m em relação aos afloramentos de gnaisses. Para o interior do planalto, de cima desta serra até o centro da cidade de Poços de Caldas, numa distância de 1,5 km, há desnível altimétrico de 430 m. (CHRISTOFOLETTI, 1973).

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. De acordo com Liporaci (1994), são constituintes do dique anelar: a NO, Serra de Poços de Caldas (1575 m), ao norte tem-se a Serra de São Domingos (1635 m) e o pico do Cristo Redentor (1637 m), a NE localizam-se a Serra do Selado (1500 m) e do Serrote Maranhão (1519 m), a SO estão a Serra do Gavião (1663 m), do Caracol (1557m) e da Forquilha.

Segundo Moraes (2007), o Planalto de Poços de Caldas é limitado a SE e NE por um conjunto de serras compostas por rochas de idade pré-cambriana (Serra da Mantiqueira) que constitui uma parte do cinturão Ribeira, de idade proterozóica, em que as altitudes alcançam 2000 m. 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).

Christofoletti (1972) caracteriza superficialmente o relevo do interior planaltino. O autor identifica uma área de topografia movimentada na porção oriental, perfeitamente distinta das demais áreas planaltinas. Esta porção limita-se ao sul pelo Rio das Antas, segue na direção SE-NW e finaliza um pouco ao norte da confluência do córrego Tamanduá com o Rio das Antas. Apresenta níveis altimétricos elevados, em torno de 1400 m e vertentes cujas declividades comumente atingem valores superiores a 20°. A drenagem, embora condicionada por linhas tectônicas, apresenta vales encaixados com rupturas de declives e presenças de várzeas estreitas e pouco alongadas.

No restante do interior do planalto, o autor afirma visualizar uma topografia menos movimentada, onde as declividades das vertentes tornam-se mais suaves e percebe-se a presença constante de topos aplainados e largos. Os rios, com

declividades de baixo valor, apresentam inúmeros meandros e por vezes, amplas várzeas. Esta paisagem é dominante na área drenada pelo Rio das Antas e no alto curso do Córrego do Quartel.

A maior suavização topográfica é encontrada nas proximidades do aeroporto. Christofolletti (1973) afirma que a partir de fotos aéreas conseguiu analisar com facilidade as influências das linhas estruturais no controle hidrográfico.

3.5 – Solos

Os solos da região têm suas características condicionadas, principalmente, aos tipos litológicos sobre os quais atuaram os processos pedogenéticos. De acordo com Calvalcante et al. (1979), na área ocorrem latossolos vermelho-amarelo álico e vermelho escuro distróficos, argissolos vermelho-amarelo e cambissolos háplicos e distróficos. Predominam os solos com horizonte B latossólico, dominando o latossolo vermelho-amarelo álico (alta saturação de alumínio) e baixa saturação em bases, apresentando graves problemas para o desenvolvimento da agricultura, devido aos baixos teores de nutrientes. Este solo caracteriza-se pela grande capacidade de infiltração e permeabilidade, porém elevado grau de acidez.

No Complexo Alcalino, em geral, o solo é argiloso, com pequenas ocorrências de arenito, e intercalado com jazidas consideráveis de bauxita e argila refratárias, os produtos minerais mais importantes no Município. As cores dos solos transicionam do Bruno ao vermelho-escuro e ao amarelo-avermelhado.

Os litotipos vulcânicos originam solos com texturas diferenciadas, como latossolo vermelho-escuro, que difere dos latossolos vermelho-amarelo, por apresentarem textura mais argilosa e cores mais avermelhadas. Em decorrência de ambiente oxidante nessa região, tais solos são profundos, muito drenados e ocorrem em manchas de extensão significativas, limitadas pelas faixas de lateritas, decorrentes do maior teor de alumina. Nesse caso, o relevo é geralmente mais suave, favorecendo a lixiviação e o empobrecimento do solo. Nas faixas de podzólicos e latossolos avermelhados, o relevo tende a ser mais movimentado e, portanto mais sujeito a focos erosivos, dificultando seu bom aproveitamento agrícola (PREFEITURA DE POÇOS DE CALDAS, 2010).

Além desses, também ocorrem, de forma restrita, os solos argilosos de cor escura, em decorrência da matéria orgânica acumulada, localizados nos fundos dos vales, nas zonas embrejadas.

Carvalho (2007) afirma que a predominância dos latossolos, formados *in situ*, por efeito do intemperismo, é característico de regimes pluviométricos torrenciais com duas estações bem marcadas. Esse fenômeno é também responsável pelas extensas formações superficiais de bauxita na área, favorecido pela ausência de quartzo das rochas sieníticas.

A espessura do manto de decomposição das rochas é bastante variável, pois enquanto o solo, superficial maduro e sub-superficial residual jovem, tem espessura de até alguns metros, a rocha decomposta alcança até 100-150 m de profundidade em determinados locais (CARVALHO, 2007).

3.6 – Hidrografia

Por ser uma região vulcânica, o Planalto de Poços de Caldas tem sua hidrografia fortemente controlada pelo sistema de fraturas. Esse sistema hídrico é fechado dentro do planalto, pois é recarregado pelas águas das chuvas que caem sobre esta região. Três bacias principais drenam a área: do Ribeirão das Antas, do Rio Verde e do Córrego do Quartel.

A Bacia do Ribeirão das Antas constitui a maior e principal bacia hidrográfica do planalto, abrangendo toda a sua porção centro ocidental e, conseqüentemente, a área de estudo deste trabalho. Ela drena 422,96 Km² através de variada litologia, como áreas de lavas fonolíticas, trechos com rochas foiaíticas como no Córrego das Vargens, aglomerados vulcânicos, mas na maior parte dominam rochas tinguaíticas.

O rio principal nasce nas escarpas interiores do dique meridional a uma altitude de 1400 metros, percorre 55 km dentro do planalto e sai do mesmo ao norte a uma altitude de 1180 metros, em um local denominado de Cascata das Antas. O Ribeirão das Antas é afluente do Rio Pardo e recebe uma série de afluentes, destacando-se entre eles: Córrego do Cipó, Ribeirão dos Poços, Ribeirão da Serra, Córrego do Chiqueirão e Córrego das Vargens.

O Rio das Antas é aproveitado atualmente para irrigação de terras situadas nas proximidades de suas margens, bem como, para obtenção de uma parte da energia elétrica necessária ao consumo da cidade.

A Bacia do Ribeirão dos Poços drena a grande parte da área urbana de Poços de Caldas e dentre seus afluentes destacam-se o Córrego do Vai-e-volta e o Ribeirão da Ponte Alta, considerados como maior zona de recarga do aquífero que alimenta as fontes frias e termais. O Ribeirão Ponte Alta, após a Represa Saturnino de Brito, passa a se denominar Ribeirão de Caldas e é de grande importância pois, recebe as águas de grande parte da área urbana, bem como, o Ribeirão da Serra, que deságua no Rio das Antas, logo a montante da Cascata das Antas.

A distribuição da drenagem na área de estudo está ilustrada na Figura 5.

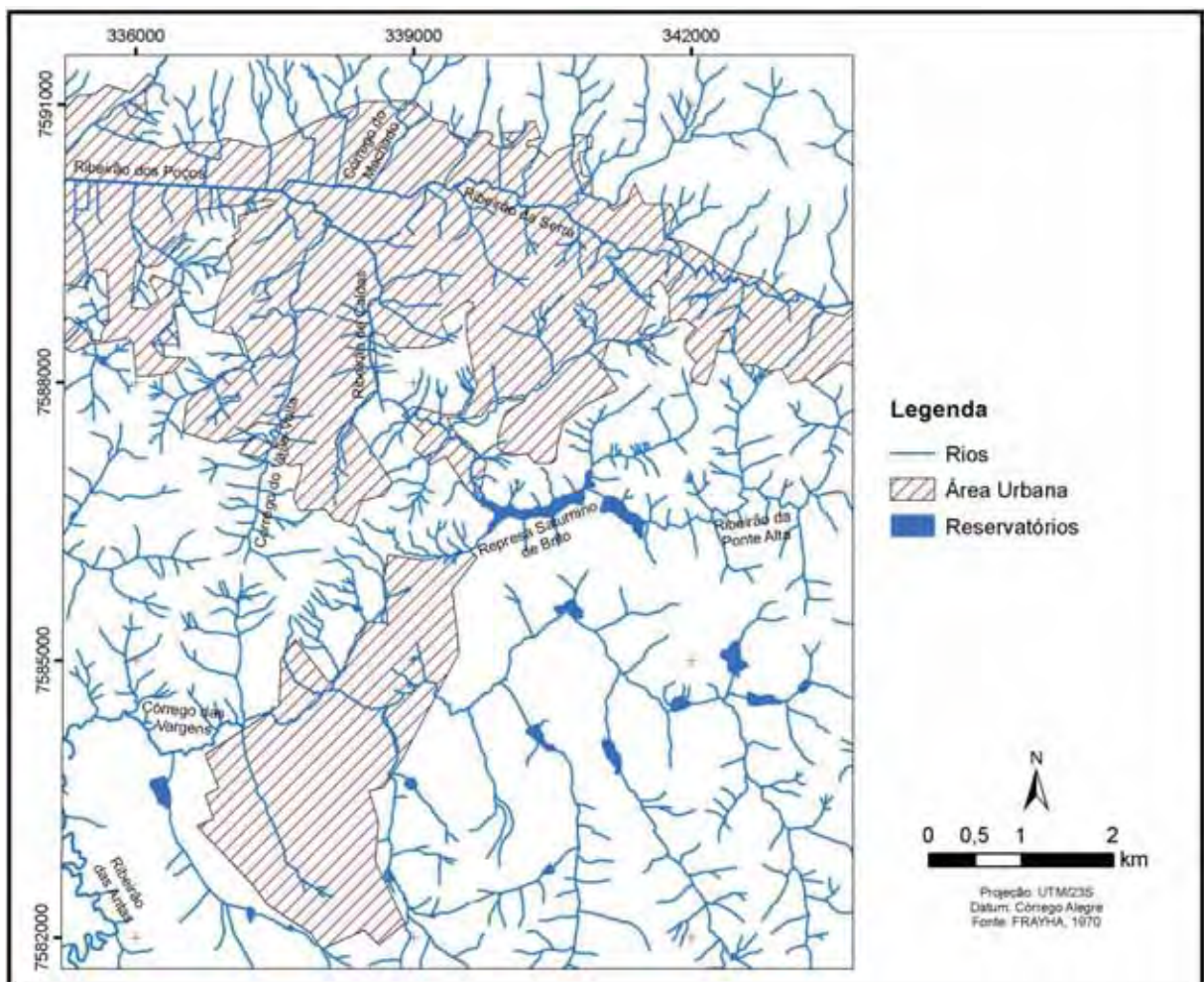


Figura 5 - Distribuição da drenagem na área de estudo.

Christofolletti (1970) realizou importantes estudos sobre a região e analisou algumas características da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas e a Sub-Bacia do Córrego das Vargens, que drena cerca de 35 km², sendo grande parte abrangida pela área de estudo deste trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 – Breve análise das bacias hidrográficas do Ribeirão das Antas e sub-bacia do Córrego das Vargens

	Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas	Sub-Bacia do Córrego das Vargens
Índice de Circularidade	0,38	0,59
Declividade Média	4,0 m/km	-
Densidade Hidrográfica	1,22 canais/km ²	1,45 canais/km ²
Densidade de drenagens	1,62 km/km ²	1,79 km/km ²

Fonte: Christofolletti (1970).

Segundo o autor, o índice de circularidade de uma bacia tem valor máximo igual a 1, quando o perímetro da bacia se aproxima de um círculo. Quanto mais próximo de 1, significa que as águas pluviais que atingem a bacia poderão escoar mais rapidamente para o centro desta bacia, podendo provocar inundações.

A região de confluência do Ribeirão das Vargens e Ribeirão do Cipó com o Ribeirão das Antas, localizada na parte sudoeste da área de estudo, próximo ao aeroporto, mostra um relevo bem suavizado, onde se desenvolvem amplas planícies de inundação e o traçado dos cursos de água é acentuadamente sinuoso e meandrante (LIPORACI, 1994).

No geral, podem ser destacados três padrões de drenagem na área estudada, sendo que o principal é do tipo dendrítico a sub-dendrítico. Ainda aparecem ocorrências restritas de formas anômalas de cotovelo e meandros isolados no Córrego das Vargens, Ribeirão das Antas e Ribeirão da Ponte Alta.

O padrão dendrítico pode ser bem observado no interior do planalto, em áreas de menor declividade. É relevante enfatizar 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 (MORAES, 2007).

Quanto à sinuosidade, predominam elementos com sinuosidade mista. O sistema de drenagem regional é multidirecional e a assimetria é fraca.

3.6.1 - Águas subterrâneas

Tanto as rochas plutônicas quanto as vulcânicas são densas, compactas, não-porosas, pouco permeáveis, com capacidade aquífera muito reduzida. As possibilidades de armazenar e transmitir a água dessas rochas variam com seu grau de meteorização e de fraturamento. Na área, há aquíferos granulares superficiais de

importância, predominando os aquíferos em meio fraturado (CRUZ e PEIXOTO, 1991).

Devido ao condicionamento estrutural e à própria gênese das rochas na região, a feição marcante da litologia é o intenso fraturamento, seja em pequena escala, como em grande extensão.

No trabalho realizado pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC (1987), através de um tratamento estatístico de dimensões e frequência de direção de fraturas, tem-se que:

- As fraturas de pequena extensão (até 2 Km.) predominam com uma frequência de 75% em relação às grandes fraturas e, embora muito dispersas, apresentam direções preferenciais N 10°-20°E e N40° -50°W;
- As fraturas de grande extensão mostram direções predominantes N30° - 60°E e N30° - 60°W.

O trabalho mostrou ainda que a contribuição da água subterrânea para a descarga dos rios é bastante elevada. Isto deve-se ao fato da bacia hidrográfica ser constituída por rochas ígneas fraturadas, permitindo assim uma grande circulação de água abaixo da superfície. Dessa maneira, surgem fontes nas cabeceiras de drenagem, a maioria de caráter permanente, cuja origem está relacionada com fraturas.

A Fig. 6 ilustra um mapeamento realizado com as principais sub-bacias de recarga de aquíferos na área.

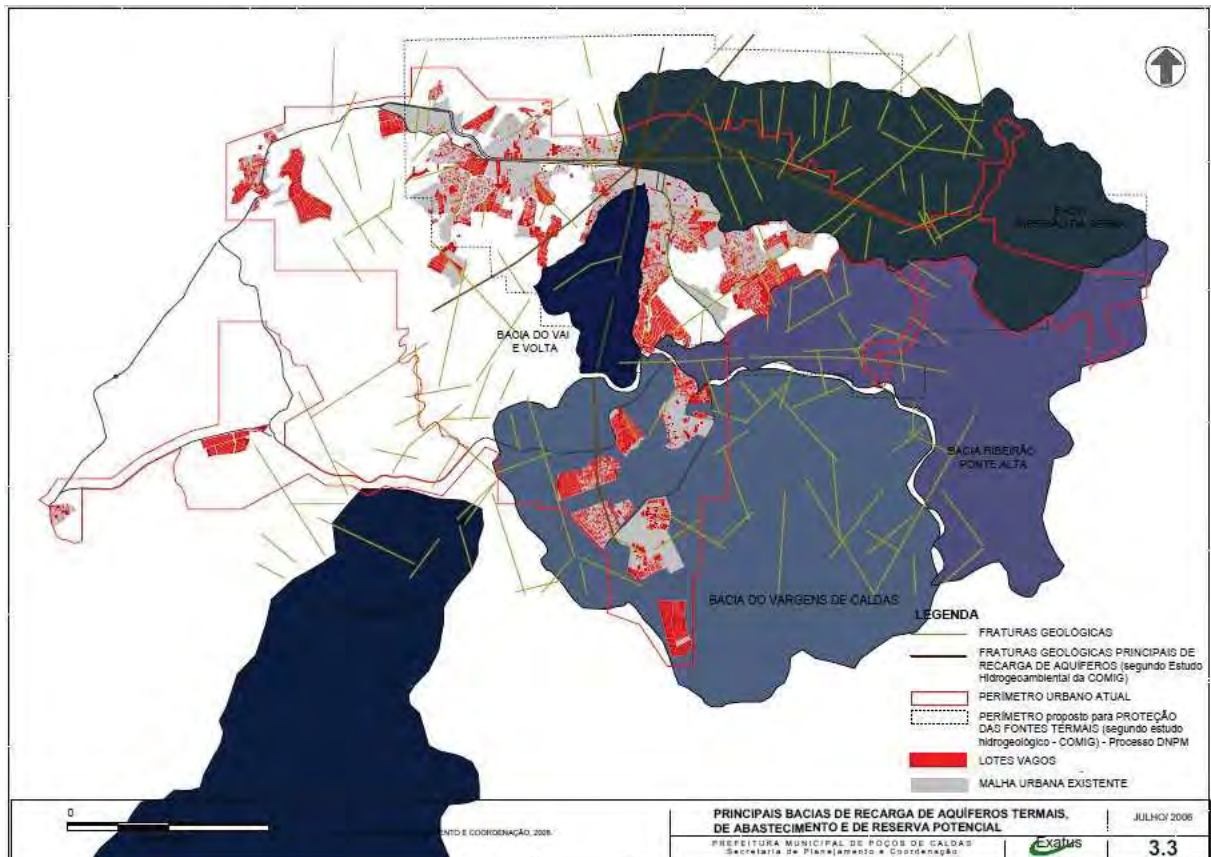


Figura 6- Principais sub-bacias de recarga de aquíferos em Poços de Caldas.
Fonte: Prefeitura de Poços de Caldas, 2006.

Análises, correspondente ao período de um ano, do posto pluviométrico da Usina Poços de Caldas, mostraram que do escoamento superficial total de 1.215 mm, cerca de 452 mm correspondem ao escoamento subterrâneo. Esse valor, relacionado ao total de chuva anual, fornece uma estimativa da taxa de infiltração na bacia da ordem de 27,6%.

Além das nascentes difusas, as águas subterrâneas ocorrem ainda através de certo número de fontes pontuais frias ou termais, a maioria localizada nas áreas mais baixas do município de Poços de Caldas, o que permite identificar: 1. uma zona aquífera rasa de pequena profundidade; 2. uma zona aquífera intermediária; e 3. uma zona aquífera de circulação profunda. Às duas primeiras zonas estão relacionadas a maior parte das fontes frias e as águas exploradas através de poços tubulares; à última zona estão associadas as fontes termais.

3.7 – Uso e Ocupação

O povoamento em Poços de Caldas começou no final do século XVIII, com a descoberta das águas termais, “que curavam as enfermidades”. De acordo com

dados do IBGE (2010), com o aumento considerável do número de turistas que procuravam a região para repouso ou tratamento e o crescimento de seu renome como estância hidroterápica, foi iniciada a construção do primeiro estabelecimento balneário.

Em 1872, a cidade foi criada formalmente como centro balneário através de decreto oficial e as primeiras providências trataram da elaboração de um plano urbanístico que levaria à instalação de um conjunto termal, incluindo a captação das águas sulfurosas, a construção do edifício destinado às “Thermas Antônio Carlos”, “Palace Hotel” e “Palace Cassino”, ainda hoje existentes (LIPORACI, 1999).

Poços atingiu seu apogeu como centro turístico no início do século XX, quando o tratamento medicinal nas termas somava-se ao lazer propiciado pelos cassinos e espetáculos noturnos. A área central da cidade, núcleo original de sua formação, sofreu no final dos anos 20 um processo de remodelação urbana implantado pelo Poder Público. Com toda sua economia voltada para a exploração dos recursos hidrominerais, a cidade recebeu investimentos de porte e de considerável qualidade urbanística, resultando um sistema de vias ortogonais bem articuladas e com amplos espaços.

Mas a proibição do jogo no Brasil em 1946 e o desenvolvimento da indústria farmacêutica, tiveram forte impacto para o turismo da cidade. Neste período, o município passou por grande estagnação, que foi superada somente a partir do processo de industrialização intenso ocorrido na década de 1960. A maioria dos loteamentos implantados naquelas décadas apresentam pouca ou nenhuma organicidade, tanto no que se refere ao próprio núcleo, como em relação às áreas circundantes, resultando em uma estrutura urbana bastante fragmentada

O crescimento urbano-industrial ocorrido a partir de 1970 trouxe para o município novos migrantes e novos turistas, em sua maioria advindos da classe média paulistana. Segundo informações do Prefeitura de Poços de Caldas (1993), a cidade se expandiu e seu centro adensou-se, acarretando um processo de verticalização e uma multiplicação das atividades urbanas. Sem um instrumento eficaz de controle e ordenamento territorial, acentuou-se, então, a ocupação desordenada das áreas de alta declividade e a implantação de malhas viárias totalmente desarticuladas, muitas vezes, impostas pela própria condição topográfica das áreas parceladas.

Observa-se que o crescimento da cidade ocorreu através de uma excessiva polarização da área central e da ocupação descontinuada dos vales no sentido leste/oeste e norte/sul, delineando a figura de um "T", e estendeu-se, em parte, em direção a algumas bacias de contribuição dos mananciais de abastecimento de água.

A área urbana localiza-se na área central do município, às margens do Ribeirão dos Poços. Segundo Liporaci (1999), impedida de expandir-se para o Norte devido a Serra de São Domingos, a cidade cresceu seguindo os vales dos ribeirões dos Poços (parte Oeste), Vai-e-volta (parte Sul) e da Serra (parte Leste). No entanto, como tais vales apresentam áreas planas relativamente estreitas, o crescimento urbano prosseguiu pelas vertentes íngremes das colinas e morros vizinhos, geralmente ocupados por populações de baixa renda.

Pode-se definir três áreas de maior densidade de construções: a central-Sul, Oeste e Leste. A parte central-Sul caracteriza-se por ruas largas e concentração de estabelecimentos comerciais, bancos, órgãos públicos, hotéis, além de trechos residenciais. O adensamento da área central e sua transformação em local de prestação de serviços, têm causado a ocupação intensiva do solo.

No Oeste, a ocupação foi iniciada por núcleos residenciais isolados que expandiram-se na direção do centro, e atualmente é onde se concentra o maior número de indústrias. Já na área Leste, pode-se distinguir, a grosso modo, duas ocupações distintas, separadas pelo Ribeirão da Serra. Na margem esquerda do ribeirão, há uma ocupação das encostas da colina situada entre aquele ribeirão e o Ribeirão da Ponte Alta. Estes são bairros ocupados por populações de baixa renda, com pouca infra-estrutura e construções modestas. O segundo tipo de ocupação, situa-se nas encostas menos íngremes da margem direita do Ribeirão da Serra. Caracteriza-se como um bairro de melhores condições socioeconômicas, com construções mais modernas e boas condições para a implantação de infra-estrutura básica.

Vale ressaltar ainda núcleos residências mais afastados, como o Bairro Bortolan e os conjuntos habitacionais situados nos arredores do aeroporto e da fábrica de Alumínio da ALCOA. Estes últimos estão implantados a cerca de 10 km do centro da cidade (direção Sul), em áreas de topografia mais plana e a população ali residente é composta por classe de baixa renda.

Dados do Censo de 2000, apontam Poços com um grau de urbanização de 96,46% e uma taxa de crescimento geométrico urbano de 2,47 entre 1991 e 2000. Umbelino e Macedo (2006), realizaram um estudo a partir de imagens Landsat 5 dos anos de 1989 e de 2001, objetivando analisar a espacialização desta expansão urbana (Fig. 7). O Plano Diretor das Águas (SEREC, 2004), um dos estudos mais recentes sobre dinâmica de ocupação urbana da área, também faz uma análise dos principais vetores de expansão.

Ambos os trabalhos concluíram que as principais áreas de expansão urbana do município situam-se ao Sul, nas proximidades do aeroporto, onde encontram-se em franco adensamento os bairros existentes e nota-se o surgimento de novos, ocupando os vazios. Há ainda áreas adjacentes ao centro e a Rodovia do Contorno, onde além da ocupação residencial, espera-se uma ocupação de cunho comercial e/ou industrial.

Em imagens dos anos de 2005 e 2007 disponíveis no software Google Earth, é possível visualizar o rápido aumento de volume de construções nessas áreas, como mostra Fig. 8. Atualmente dois dos bairros com maior número de residências do município encontram-se nessas áreas: o Conjunto Habitacional (redondezas do aeroporto) e o Jd. Country Club (noroeste).

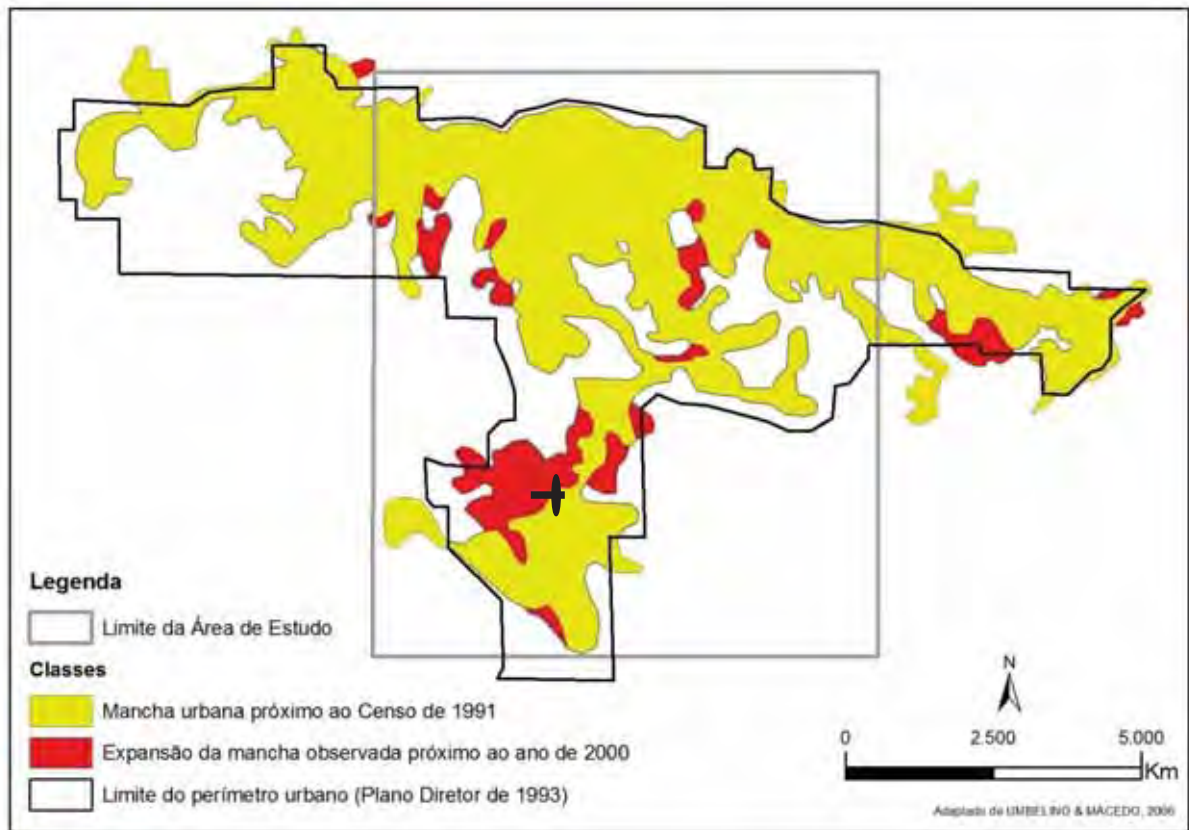


Figura 7 - Mapa da expansão urbana entre 1991 e 2000.
 Fonte: Adaptado de Umbelino e Macedo (2006).



Figura 8 - Imagens ilustrando a expansão urbana nas proximidades do aeroporto e Rodovia do Contorno.
 Fonte: Google Earth, 2011.

Estas informações foram extremamente relevantes para a delimitação da área de estudo deste trabalho, que buscou evidenciar as regiões de adensamento consolidado e os importantes focos de expansão urbana, para assim, avaliar os diversos problemas ocorrentes nos dois tipos de ambiente.

Sem um instrumento eficaz de controle e ordenamento territorial, Poços de Caldas apresenta inúmeros problemas geológico-geotécnicos. Em áreas de alta declividade ocupadas, podem ser observadas feições erosivas e escorregamentos de terra. No perímetro urbano, são freqüentes as ocupações no topo das elevações. Alguns destes topos comportam-se como centros de irradiação de drenagem e, por este motivo, devem ser preservados.

A ocupação antrópica próxima ao leito dos rios contribui para o seu assoreamento e poluição. Edificações e obras nesta região ficam sujeitas à flutuação do nível freático, que nas estações chuvosas se eleva fazendo com que o solo perca sua capacidade de carga, resultando em rachaduras e outros comprometimentos. Obras de aterro são feitas sem critérios adequados, muitas vezes junto às margens dos rios, expondo grandes volumes de material à ação de águas superficiais. Pequenos córregos nestas áreas encontram-se comprometidos em razão do assoreamento das calhas, possibilitando inundações em épocas chuvosas.

Outro ponto a ser considerado como relevante para o município, é a preservação efetiva do Parque de São Domingos, para evitar que esta área seja gradualmente e clandestinamente invadida. A ocupação antrópica do entorno, com a construção de estradas e loteamentos desestabiliza as encostas. O acúmulo de lixo jogado pela população vem contribuir para proliferação de doenças, impactos visuais e contaminação de mananciais de água.

O mapeamento geológico-geotécnico vem como ferramenta de extrema relevância para identificar, espacializar, analisar e propor soluções e alternativas a estes locais. A Fig. 9 ilustra os diferentes problemas geológico-geotécnicos encontrados no município.

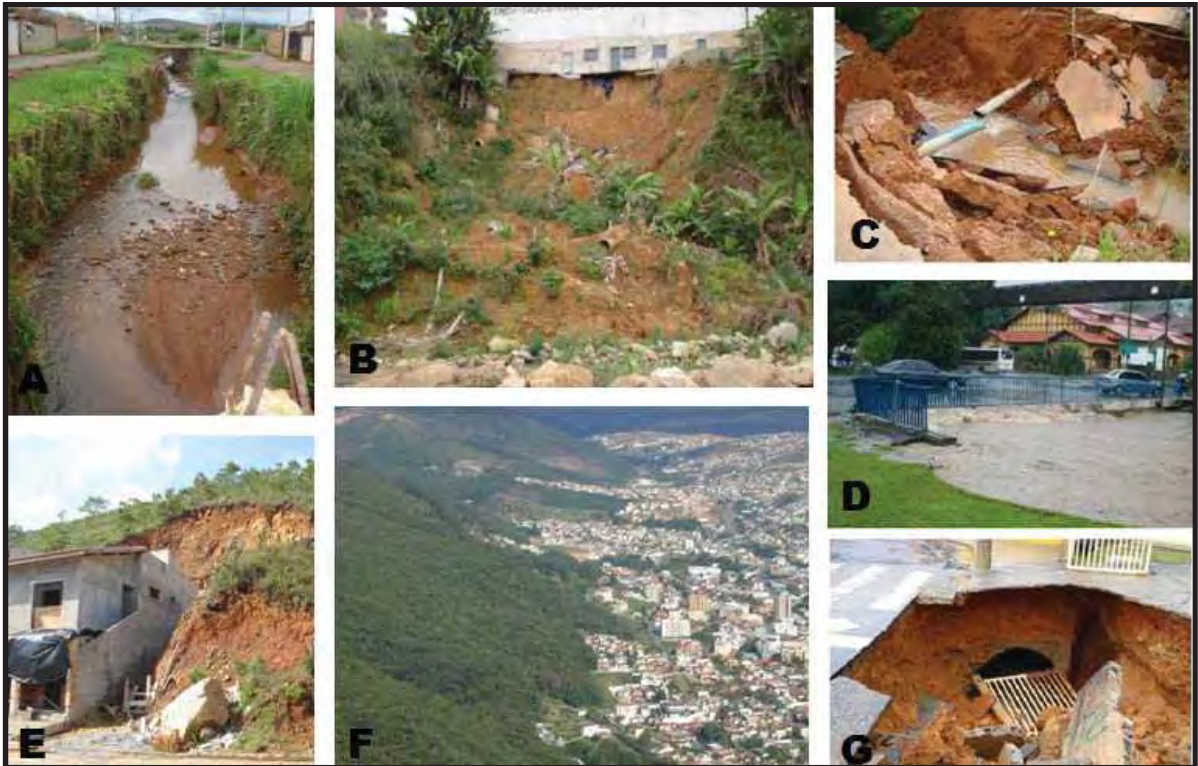


Figura 9 - A. Assoreamento em ribeirão do Jd. Kennedy; B. Escorregamento de terra em margem do Ribeirão das Antas; C. Córrego com margens erodidas na Avenida Platina; D. Alagamento na área central; E. Desestabilização de encosta para construção residencial; F. Construções invadindo a Serra de São Domingos; G. Cratera no asfalto no Bairro São José.

Fonte: A, E, F - Tinós, T. M / B, C, D, G – Câmara Municipal de Poços de Caldas.

4 – EMBASAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO

4.1 – Problemas decorrentes do desconhecimento do meio físico na ocupação urbana.

O uso urbano gera modificações no meio físico de modo intenso e prolongado, desde sua implementação, funcionamento e transformação. Esta forma de uso se caracteriza pela concentração de áreas construídas, ocupadas por residências, indústrias, com disponibilidade e concentração de infra-estrutura básica, equipamentos, comércio, serviços e lazer.

Segundo dados do IBGE (2010), a população urbana no Brasil cresce em ritmo acelerado. O país que tinha apenas 31,3% da população vivendo em centros urbanos, em 1940, passou a 81,2%, em 2000. A região sudeste detém a maior parcela de população vivendo em centros urbanos do país, alcançando o valor de 90,5%.

A concentração urbana ocorre em velocidade superior a implantação de infraestrutura e equipamentos urbanos, o que possibilita a ocorrência de problemas socioeconômicos e ambientais (ALMEIDA & FREITAS, 1996). Além disso, a aceleração da expansão urbana tem gerado problemas de extrema gravidade, originados da completa desconsideração dos fatores fisiográficos. Esta expansão se dá atualmente sob a ótica quase exclusiva da especulação de mercado, que vem ignorando as reais potencialidades e limitações das áreas a ser ocupadas. Isso acarreta a ocupação inadequada de locais extremamente problemáticos, tais como áreas propícias ao desenvolvimento de escorregamentos ou erosões, áreas sujeitas a inundações, vertentes sujeitas ao surgimento de boçorocas, etc.. (PRANDINI et al., 1995).

Almeida & Freitas (1996) afirmam que entre os processos resultantes da ocupação urbana inadequada associada às características do meio físico em que se inserem, destacam-se os seguintes, cuja ocorrência se dá, na maioria das vezes, com a ocupação atuando como acelerador:

- **Processos erosivos** – na forma de ravinas e boçorocas, são ocasionados por desmatamentos, lançamentos e concentração de águas superficiais, pluviais ou servidas, execução de sistema viário, implantação de loteamentos residenciais e industriais;

- **Escorregamentos** – ocorrem devido a remoção da cobertura vegetal, lançamentos e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas, execução e cortes com geometria incorreta (altura / inclinação), execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação) e lançamento de lixo nas encostas/taludes (AUGUSTO FILHO, 1995);

- **Inundações** – ocorrem em áreas de baixa elevação, sendo que os sistemas de drenagem urbana diminuem o tempo de escoamento das águas e estas chegam mais rápido aos cursos d'água a jusante, além do lixo lançado diretamente nos córregos, que se acumulam e se associam aos sedimentos da erosão urbana, causando assoreamento das drenagens (NAKAZAWA, 1994);

- **Poluição dos rios e do solo** – ocasionada pela ocupação nas proximidades em sua maior parte de favelas e sistema de autoconstrução, em que não há disponibilidade de infra-estrutura (em especial coleta e tratamento dos efluentes e resíduos sólidos urbano – industriais), gerando risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Neste contexto, além da perda da qualidade de vida da população diretamente afetada, impõem-se pesados ônus ao Poder Público e, em consequência, à sociedade, através dos altos custos para adoção de infra-estrutura urbana, tanto na sua implementação quanto nas sucessivas recuperações e manutenções (PRANDINI et al., 1995).

Este é um quadro onde o crescimento urbano insistente e irresponsável, é deixado à deriva de qualquer planejamento, especialmente aquele que lhe agregaria a ótica de uma gestão geológica e geotécnica do uso do solo (SANTOS, 2009).

O Estatuto das Cidades, promulgado em 2001, trouxe avanços consideráveis para os esforços de planejamento urbano, incluindo a obrigatoriedade monitorada de municípios com mais de 20 mil habitantes produzir e aplicar um Plano Diretor, entendido como “instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana”.

No entanto, o Plano Diretor isoladamente não apresenta em seu conteúdo as relações diretas entre a ocupação urbana e as características do meio físico onde se instala, constituindo-se quase sempre em peça omissa frente aos comuns e temerários desencontros entre formas de ocupação e características geológicas e

geotécnicas dos terrenos, fonte certa de futuros desastres e tragédias (SANTOS, 2009).

Para que essa grave falha seja devidamente corrigida e superada faz-se necessário que os Planos Diretores e demais instrumentos públicos de gestão do uso do solo, referenciem-se e pautem-se por um mapeamento geotécnico do município. Prandini et al. (1995) afirmam que o mapeamento geotécnico permite rever o desempenho da interação entre ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial, além de orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar deseconomias e riscos no empreendimentos de uso do solo. Nas próximas páginas este tema será melhor aprofundado.

4.2 – Mapeamento geotécnico e Análise integrada

De acordo com Prandini et al. (1995), o meio físico é o componente ambiental que mais resiste às modificações impostas pela ocupação antrópica. Suas características e os fenômenos associados persistem no comando do comportamento do meio em novas relações de interação, como parte indissociável do ambiente construído.

Assim, para o planejamento adequado de uma área é necessário ter conhecimento básico do seu meio físico (rochas, materiais inconsolidados, águas, relevo, condições climáticas e suas inter-relações). O conhecimento do meio físico é obtido através de um processo de mapeamento que o analise como um conjunto e avalie o comportamento dos seus componentes em termos de geotécnica e suas características de interesse à implementação das formas de ocupação (ZUQUETTE e GANDOLFI, 1992).

A elaboração do mapeamento geotécnico deve se basear numa metodologia que oriente os trabalhos envolvidos nas diferentes etapas, assim como analisar quais os atributos do meio físico e os níveis em que devem ser considerados para cada escala. No entanto, segundo De Paula (2006), no Brasil muitos documentos cartográficos são considerados como sinônimos de mapas e cartas geotécnicas, sem que tenha se levado em conta aspectos necessários para determinar essa denominação, como escala e finalidade.

Para elucidar o tema, é preciso considerar as inúmeras definições que têm sido dadas por alguns dos principais órgãos e autores da área.

Varnes (1974) afirma que o mapa e/ou carta geotécnica requer, para sua realização, operações básicas de adição, seleção, generalização e transformações das informações especiais relativas a litologia e estruturas dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos.

A IAEG (*International Association of Engineering Geology*, 1976), classifica o mapa e/ou carta geotécnica como a representação da distribuição e relações espaciais dos componentes importantes a geotécnica (características de solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geodinâmicos), refletindo a história e a dinâmica de desenvolvimento das condições geotécnicas, de forma a tornar possível a previsão e o prognóstico da interação entre obra e ambiente (IAEG/UNESCO, 1976).

Thomas (1970, apud ZUQUETTE, 1987) estabelece que o processo de mapeamento geotécnico tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos e outros; e tais informações deverão ser manipuladas de maneira tal que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento e outros.

Segundo Nakazawa et al. (1991), as cartas e/ou mapas geotécnicos correspondem à apresentação da dinâmica dos processos geológicos, bem como das características do meio físico, delimitando e homogeneizando áreas com problemas manifestos e potenciais.

Zuquette (1993) considera que a elaboração das cartas e/ou mapas geotécnicos corresponde a um processo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico, e os comportamentos frente aos diferentes tipos de ocupação, contemplando o meio físico como um todo, avaliando suas limitações e seus potenciais.

Para Prandini et al. (1995), as cartas e/ou mapas geotécnicos são a expressão prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo.

Para Cerri (1990), a cartografia geotécnica é a representação cartográfica das características do meio físico natural de interesse às obras de engenharia. Ela engloba a distribuição espacial dos diferentes tipos de solos e rochas, com suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo, a dinâmica dos principais

processos atuantes e as eventuais alterações decorrentes da implantação das obras e das diferentes formas de uso e ocupação do solo. Cerri et al. (1996) complementam que a cartografia geotécnica corresponde a um processo que envolve a interpretação na definição dos limites espaciais de determinados atributos ou características do meio físico geológico, de acordo com o objetivo proposto pelo trabalho.

Como pôde ser visto, não existe um consenso a respeito dos termos utilizados e das definições de carta geotécnica e mapa geotécnico. Os diferentes autores citados traduzem muitas vezes em seus conceitos, suas vivências práticas e a visão de uma determinada escola ou instituto.

Zuquette (1987) e Aguiar (1994) diferenciam mapas geotécnicos de plantas e cartas geotécnicas, cujas características são apresentadas nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

Quadro2- Conceitos de mapa, planta e carta geotécnicos.

Termo	Conceito
Mapa Geotécnico	Representação de atributos geotécnicos levantados, sem realização de análise interpretativa e sempre em escalas inferiores a 1:10.000.
Planta Geotécnica	Representação gráfica realizada em escalas grandes, maiores que 1:10.000, normalmente voltada para locais onde serão executadas obras específicas.
Carta Geotécnica	Representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão em um mapa.

Fonte: Zuquette (1987).

Quadro 3 - Definições de termos empregados em mapeamentos geotécnicos.

Termo	Conceito
Mapa	Representação gráfica dos atributos do meio físico em determinada escala, sem análise interpretativa.
Carta	Diferencia-se do anterior por incluir análise interpretativa, destinada a fins práticos da atividade humana.
Atributo	Característica qualitativa ou quantitativa, que identifica o componente de um sistema observado.
Mapeamento Geotécnico	Conjunto de processos sistemáticos de investigação de atributos, imprescindíveis ao estabelecimento de unidades geotécnicas e passíveis de representação em documentos cartográficos.
Cartografia Geotécnica	Distinta do mapeamento geotécnico por apenas estabelecer as unidades geotécnicas, com base em levantamentos executados anteriormente, sem a etapa da investigação.

Fonte: Aguiar (1994).

Nota-se que a grande diferença entre mapas e cartas geotécnicas é o fator interpretativo. Enquanto o mapa engloba apenas a representação dos atributos do meio físico, a carta reproduz uma análise interpretativa dos mesmos, mas ambos são documentos cartográficos de caráter geotécnico.

Cerri (1990) afirma que os objetivos das cartas geológico-geotécnicas variam de acordo com o tipo e o grau de detalhe, classificando-os em:

- GENÉRICAS: são as cartas indicativas e orientativas, subsidiando o planejamento do uso e ocupação do solo.
- ESPECÍFICAS: são determinísticas e restritivas, impondo condições de projeto, associadas a uma determinada forma de uso e ocupação do solo.

Os objetivos das cartas geológico-geotécnicas são direcionados para as seguintes finalidades, segundo Cerri (1990):

- A melhor utilização do espaço físico disponível.
- A conservação ambiental e a proteção dos recursos naturais.
- O estabelecimento de critérios técnicos para a expansão da ocupação e para a recuperação de áreas degradadas.
- A otimização da aplicação de recursos públicos e privados.
- A segurança das edificações e da população por meio da previsão e prevenção de riscos geológicos (naturais e induzidos).
- A orientação (e não substituição) de estudos e ensaios específicos para projetos de engenharia.

Prandini et al. (1995) ressaltam ainda que dentro dos objetivos das cartas geotécnicas é freqüente e desejável considerar os impactos ambientais como parte integrante da análise do meio físico e um dos fatores de ponderação na avaliação de custos/benefícios de um determinado empreendimento.

Com relação a escala dos mapeamentos, Zuquette e Gandolfi (2004) afirmam que estas devem ser definidas a partir das possíveis finalidades e da necessidade do usuário, bem como pela extensão e complexidade do arranjo dos materiais e estruturas geológicas.

Segundo Zuquette (1987), a classificação dos documentos quanto à escala distingue-se em três grupos: I. Menores que 1:100.000 (Escala Gerais); II. 1:100.000 a 1:25.000 (Escala Regionais) e III. 1:25.000 a 1:10.000 (Escala Semi-detalhadas). O autor distingue a finalidade dos grupos de escalas, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 - Correlação entre escalas e respectivas finalidades proposta por Zuquette (1987).

Grupo	Finalidade
I. Escalas Gerais	Orientar o planejamento de áreas extensas e selecionar áreas específicas para a realização de futuros mapeamentos geotécnicos em escalas mais detalhadas. Destacando-se para esse estudo os seguintes atributos: condições geomorfológicas (declividade e áreas instáveis), materiais (tipos rochosos predominantes com as devidas feições estruturais, textura dos materiais inconsolidados, possíveis aquíferos, áreas de potencial mineral), ocupação atual (vegetação natural e ocupação antrópica), dados climáticos para bacias hidrográficas (pluviosidade, área e outros).
II. Escalas Regionais e Semi-detalhadas	Tem como objetivo auxiliar na ocupação das diversas áreas, obtendo uma melhor forma de ocupação. A diferença básica entre as duas escalas está na função do maior ou menor nível de detalhamento, mantendo os mesmos atributos nos dois níveis. Em escalas maiores que 1:50.000 os grupos considerados são: materiais inconsolidados, geomorfologia, material rochoso, águas superficiais e subterrâneas, fatores climáticos e ação antrópica.

Fonte: Zuquette (1987).

Focando o estudo de áreas urbanas, Cerri et. al. (1996) também efetuam uma classificação dos documentos em três grupos de escala, o que os autores nomearam como método de detalhamento progressivo: I. Etapa geral, com escalas variando entre 1:50.000 e 1:25.000; II. Etapa intermediária, com escalas entre 1:25.000 e 1:10.000 e III. Etapa de detalhe, com escalas iguais a 1:5.000 ou ainda maiores. Os autores distinguem a finalidade dos grupos de escalas, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 - Correlação entre escalas e respectivas finalidades proposta por Cerri et. al (1996).

Grupo	Finalidade
Etapa geral	Caracterização do meio físico geológico em termos regionais, com a identificação de suas limitações e potencialidades ante as necessidades impostas pelo uso urbano. Os trabalho nessa escala devem compreender áreas já urbanizadas, as com perspectivas de urbanização no médio prazo em termos de planejamento urbano e as áreas adjacentes, nas quais a caracterização do meio físico geológico contribua para o melhor entendimento de sua dinâmica. Isto se deve à necessidade de analisar a área urbanizada e de expansão urbana no contexto regional da dinâmica do meio físico.
Etapa intermediária	Detalhamento da caracterização do meio físico geológico realizada na etapa anterior e identificação dos eventuais problema de natureza geológico-geotécnica instalados na área de estudo. Esta etapa deve fornecer subsídios diretos para o adequado planejamento e gestão do uso urbano do solo. Os estudos devem contemplar as áreas já urbanizadas e aquelas com perspectivas de urbanização no médio prazo.

Etapa de detalhe	Execução de estudos geológico-geotécnicos temáticos específicos. Com base na caracterização do meio físico geológico e na identificação de eventuais problemas geológico-geotécnicos instalados, são selecionados temas técnicos e definidas as correspondentes áreas físicas objeto dos estudos de detalhe. Esta etapa objetiva subsidiar a elaboração de projetos de obras de engenharia para sanar problemas instalados ou para a implantação de novos empreendimentos.
------------------	--

Fonte: Cerri et. al. (1996).

Uma grande quantidade de trabalhos e metodologias sobre mapeamento geotécnico tem sido desenvolvida pelos mais diversos países / instituições. Zuquette (1987) realizou um amplo levantamento de diversas metodologias, concluindo que as mesmas poderiam ser divididas em dois grandes grupos em relação à finalidade que se propõem: metodologias de mapeamento geotécnico de uso geral e metodologias de mapeamento geotécnico de uso específico. O autor as caracteriza da seguinte forma:

- Metodologias de mapeamento geotécnico de uso geral:

Empregadas para a obtenção e sistematização de informações geotécnicas básicas, úteis para diferentes fins. Tais informações podem ser apresentadas desde escalas regionais até escalas mais detalhadas. Esse caráter de uso geral sugere a sua utilização para subsidiar estudos de planejamento do uso do meio físico.

- Metodologias de mapeamento geotécnico de uso específico:

Desenvolvidas com o objetivo de obter informações geotécnicas específicas e úteis a um fim determinado. Em geral, tais mapeamentos são realizados em escalas mais detalhadas e seu uso mostra-se restrito a uma forma específica de intervenção humana.

A partir dessas informações, adotou-se o mapeamento geotécnico de uso geral como o mais adequado para o embasamento deste trabalho. Diversas metodologias internacionais e nacionais destacam-se nessa linha, como IAEG (1976), Sanejouand (1972), PUCE em Grant (1974), IPT em Prandini et al. (1995), Zuquete (1987) e Lollo (1991).

Vedovello (1993), no entanto, afirma que essas metodologias de mapeamento geotécnico de uso geral adotam dois tipos de procedimentos distintos.

As metodologias desenvolvidas por IAEG, Grant e Lollo constituem, em linhas gerais, sistemas de classificação de terrenos baseados em princípios geomórficos (características geomorfológicas, dos solos, da vegetação e de geologia). Suas

etapas de execução envolvem a caracterização dos componentes do terreno, análise da inter-relação entre esses componentes e os fatores exógenos do meio físico, delimitação de classes de área do terreno (para as quais identificam-se as condições geotécnicas) e previsão da influência decorrente da ação antrópica nas unidades delimitadas.

Já as metodologias propostas por Sanejouand, IPT e Zuquette, caracterizam-se pela análise em separado dos diversos atributos do meio físico. Em tais metodologias, o mapeamento geotécnico compreende a obtenção de um conjunto de cartas dos diferentes atributos investigados. Essas cartas são analisadas diferenciadamente (atribuição de pesos) em relação ao tipo de aplicação desejado, dando origem aos diversos tipos de uso e ocupação previstos.

Esses dois tipos de procedimentos recebem nomes diferenciados de acordo com os autores que os analisam. Cendero (1989), afirma que tais métodos empregados na interpretação e avaliação dos componentes ambientais especializados podem ser classificados em analíticos e sintéticos. Os métodos analíticos fundamentam-se na elaboração e sobreposição de uma série de mapas temáticos para a obtenção de mapas de diagnóstico, enquanto os métodos sintéticos partem da definição de unidades ambientais homogêneas para o estabelecimento de diretrizes para o uso do solo.

Ross (1995) utiliza a nomenclatura análise integrada e análise multi-temática. O autor explicita em seu artigo que a primeira representa abordagem de natureza analítico-sintética, derivada dos "*land systems*", tomando como referencial padrões de fisionomia do terreno ou padrões de paisagem, que individualizadas e cartografadas são o referencial básico para o início das pesquisas. Neste processo, a vantagem está em gerar-se um único produto cartográfico seccionado em várias "unidades de paisagem" que abrangem características do relevo, solo, geologia, uso da terra, vegetação e socioeconômica, que são apresentados em uma abordagem de análise integrada com informações sintetizadas.

Já a análise multi-temática, caracteriza-se por ser analítica inicialmente e de síntese em uma etapa posterior. Segundo o autor, essas pesquisas são mais verticalizadas e gera-se uma multiplicidade de produtos cartográficos temáticos disciplinares de características analíticas e outros de síntese. Na abordagem multi-temática são elaborados produtos cartográficos de diferentes temas os quais são

cruzados diretamente ou em associações específicas, sucessivamente, por vezes com atribuições de pesos, até se chegar a um mapa de síntese final.

Cunha e Mendes (2005) também utilizam o termo “análise integrada” apoiadas nos conceitos geomorfológicos de Tricart (1965) e norteadas pelos pressupostos da Teoria Geral dos Sistemas. As autoras entendem as formas de relevo como fruto da interação da estrutura geológica, do clima, atual e passado, e, atualmente, da atividade antrópica, cujas relações interferem nas características pedológicas e na cobertura vegetal. Assim, consideram o conhecimento geomorfológico como o elemento que define a unidade espacial de trabalho, porém às informações geomorfológicas desta unidade agregam-se outras que auxiliaram na identificação tanto dos processos geomórficos, como nas suscetibilidades potenciais da área estudada.

Merece ainda ser destacado, dentro da abordagem integrada, o Projeto Curitiba, desenvolvido por Theodorovicz et al. (1994). Os autores, através da interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas, procuraram fornecer informações integradas sobre as características do meio físico e analisar suas respostas frente às diferentes formas de uso e ocupação antrópica.

Vedovello & Mattos (1998) afirmam que a prática de ambos procedimentos tem apontado para uma vantagem da abordagem integrada sobre a multi-temática em termos de custos, de tempo, e de aplicabilidade. Tal fato justifica-se em função das considerações a seguir:

- A abordagem integrada (*land systems*) permite a elaboração de um produto cartográfico único, no qual os elementos ambientais (relevo, solo, geologia, vegetação, uso do solo) são analisados integradamente e individualizadas em unidades únicas que refletem limites concretos no espaço, facilitando ações de planejamento territorial.

- Já na abordagem multi-temática, há uma multiplicidade de produtos e inúmeras concepções teóricas, metodológicas e técnico-operacionais típicas de cada tema cartografado (mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa pedológico, etc). Este fato ocasiona a perda da visão de integração entre os diferentes temas. Há ainda outra grave consequência relacionada ao cruzamento de mapas para se chegar ao mapa de síntese final, pois a determinação de unidades geotécnicas acaba refletindo limites abstratos no espaço, o que dificulta sua visualização e o seu entendimento por planejadores e gestores ambientais.

Exposta a tendência de priorização da abordagem integrada em estudos de planejamento territorial, a utilização do conceito de *land systems* tem sido cada vez mais empregada na etapa de compartimentação de terrenos em mapeamentos geotécnicos. A seguir, discute-se algumas das principais metodologias que utilizam o enfoque integrado e que constituíram a base metodológica deste trabalho.

4.2.1 – Avaliação de Terreno (*Terrain Evaluation*)

Na área de mapeamento geotécnico, a análise integrada está relacionada diretamente ao método de avaliação de terreno (*Terrain Evaluation*). De acordo com Lollo (1995), a primeira observação importante acerca deste método é que o mesmo se baseia no reconhecimento, interpretação e análise de feições do relevo (denominadas "*landforms*") as quais, sendo reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devem refletir as condições dos mesmos.

Os primeiros trabalhos de aplicação das formas do terreno como critério de descrição regional se devem a Herberon (1905, apud GRANT, 1970) e Fenneman (1916, apud GRANT, 1970), porém a primeira discussão do uso destes elementos para o zoneamento regional se deve a Bourne (1931) com o "princípio da similaridade dos elementos da paisagem".

A partir do início da década de 50 houve uma grande proliferação de trabalhos com enfoques variados. Enquanto parte dos pesquisadores partiu para uma linha mais voltada aos aspectos puramente geomorfológicos, outro grupo atuou no sentido da aplicação dos conceitos para a avaliação das condições naturais. Neste segundo grupo podem ser identificadas duas correntes de trabalho: a avaliação visual da paisagem (*aesthetic landscape evaluation*) e a avaliação do terreno (*terrain evaluation*).

Lollo (1995) afirma que método de avaliação do terreno é sem sombra de dúvida o mais útil para o levantamento das condições do meio físico para fins de ocupação já que foi desenvolvido exatamente com este objetivo.

Segundo o autor, na base das aplicações da técnica de avaliação do terreno encontra-se a possibilidade de se dividir a área em estudo em unidades cada vez menores (função da escala e da finalidade pretendidas) a partir do uso de sensores remotos (preferencialmente) e/ou de trabalhos de campo, tendo-se como base sua uniformidade em termos de formas do terreno, para posteriormente proceder a

avaliação das propriedades dos materiais presentes nestas unidades. O critério de zoneamento é assegurar uma heterogeneidade mínima nessas parcelas em relação às feições do terreno.

Zuquette e Gandolfi (2004) colocam que quanto a avaliação do terreno, podem ser distinguidas duas modalidades de análise, denominadas de enfoque fisiográfico (*landscape approach*) e enfoque paramétrico (*parametric approach*).

O enfoque fisiográfico consiste na delimitação das diferentes feições de relevo com base num conjunto de observações fotointerpretativas e de campo. Ele promove o zoneamento da região estudada em áreas que responderam de maneira semelhante e apresentam homogeneidade. Já o enfoque paramétrico analisa o terreno com base na medida de parâmetros representativos da geometria das feições do terreno (declividade, amplitude, etc.).

De acordo com Lollo (1995), uma aplicação bastante interessante da avaliação do terreno é em grandes escalas (igual ou superiores à 1:25.000). Este tipo de trabalho pode ser extremamente útil não só para a análise da relação elemento de terreno X espessura e natureza de materiais inconsolidados, mas também para a avaliação de áreas urbanas e de expansão urbana, e para a análise de riscos (principalmente de instabilizações de terrenos).

Deve-se enfatizar, porém, que neste caso talvez seja interessante combinação do enfoque fisiográfico com o enfoque paramétrico (através das medidas de parâmetros característicos das formas de terreno que tenham importância na aplicação em questão).

Destaquemos o enfoque fisiográfico, que constitui base fundamental dos procedimentos adotados neste trabalho. Neste enfoque, as delimitações de feições do terreno são geralmente realizadas a partir de pares estereoscópicos de fotos aéreas, com base em características geomorfológicas tais como forma topográfica, amplitude de relevo, inclinação de vertentes, e características de organização da drenagem em termos de frequência e estruturação da rede de canais. O processo de análise dos estereopares consiste de identificação de padrões de formas e de sua delimitação.

Os níveis hierárquicos utilizados para este tipo de zoneamento são sistema de terreno ("*land system*"), unidade de terreno ("*land unit*") e elemento de terreno ("*land element*"). A Fig. 10 representa os níveis hierárquicos da aplicação da técnica de avaliação do terreno considerando o enfoque fisiográfico.

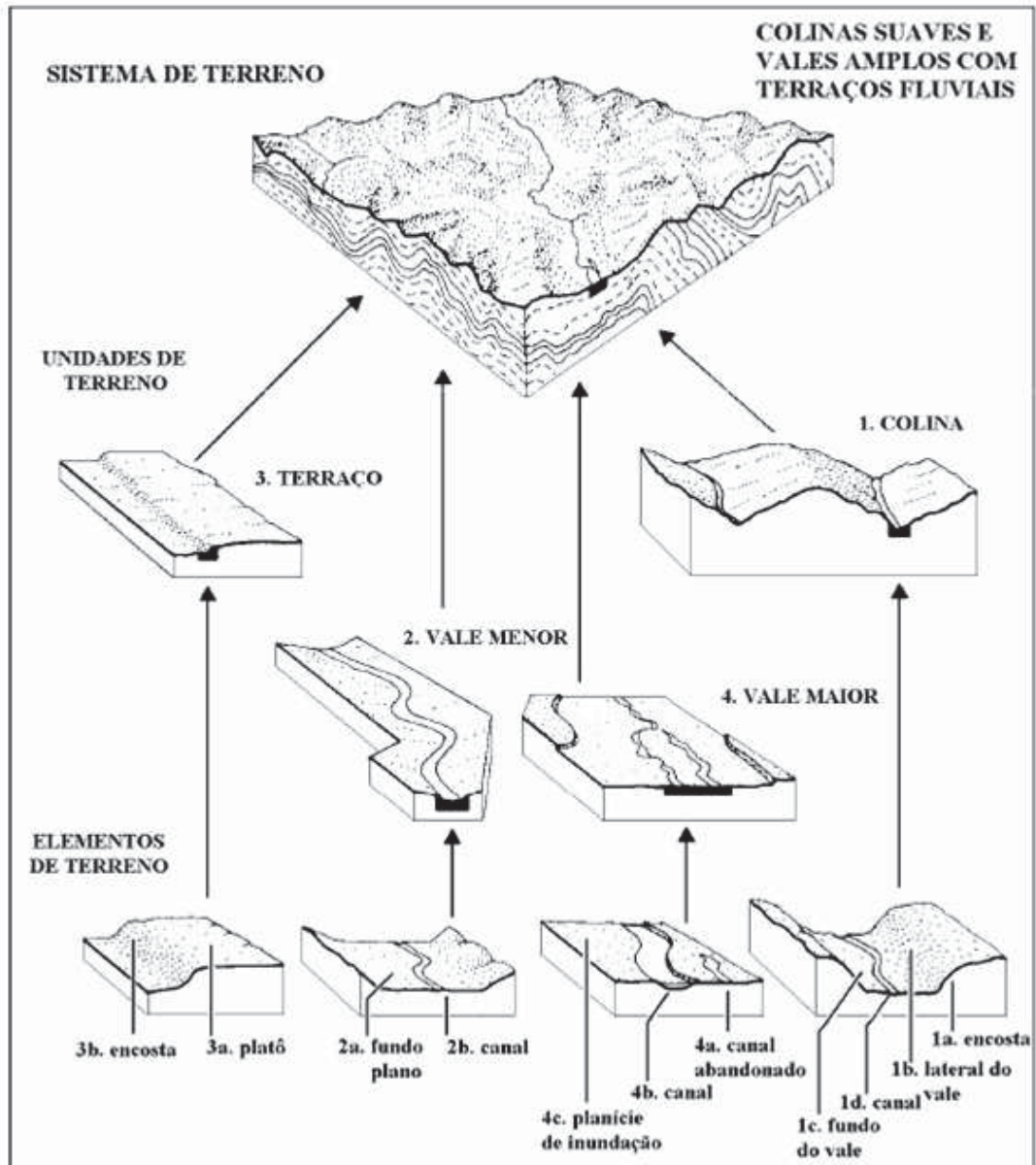


Figura 10 - Aplicação da técnica de avaliação do terreno.
 Fonte: Modificado de Cooke e Doornkamp, (1990).

Após a fase do zoneamento, desenvolve-se uma fase de trabalho de campo que visa a avaliação dos materiais geológicos e suas características geotécnicas, principalmente quanto aos tipos, origem e distribuição espacial.

Com relação à aplicação para fins geotécnicos, tem-se grande variação em termos de escalas e finalidades, determinando características diferentes para os trabalhos, os quais são aqui classificados em três categorias: (1) regional multifinalidade; (2) regional finalidade específica; e (3) local.

No primeiro grupo (trabalhos regionais multifinalidade) incluem-se aqueles que tratam do zoneamento do terreno orientado à identificação de solos com vistas à caracterização e planejamento regional. Nos trabalhos regionais de finalidade específica os interesses mais comuns são atividade agrícola, a análise regional de riscos e a avaliação para a implantação de obras lineares. Os trabalhos locais incluem estudos de avaliação do terreno para fins de prospecção de materiais de construção e para análise de risco de estabilidade dos terrenos (LOLLO, 1995).

4.2.2 – Sistemas de Relevo

Os estudos do meio físico voltados para fins agrícolas levaram, já desde o século passado, à necessidade de se classificar terrenos de acordo com suas potencialidades e adequação para o aproveitamento. O método de mapeamento de sistemas de relevo foi desenvolvido a partir da década de 40 pelo “*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*”- CSIRO da Austrália, para o reconhecimento expedito de áreas não mapeadas e visava classificar a adequação da terra para fins agrícolas.

Com o tempo, vários países, incluindo o Brasil, adotaram este método e sua aplicação foi diversificada. Segundo Ponçano et al. (1979), o mapeamento de sistemas de relevo foca em distinguir, numa dada região, áreas cujos atributos físicos sejam distintos das áreas adjacentes. Isto leva a subdivisão da região em áreas de dimensões variáveis desde dezenas até algumas centenas de km², onde é comum existir um padrão recorrente de topografia, solos e vegetação.

Mas estes fatores dependem de outros processos, assim, o sistema de relevo é uma classificação baseada em topografia, solos e vegetação, correlacionados com geologia, geomorfologia e clima.

Ponçano et al. (1979) aplicou o método de sistemas de relevo ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo, o objetivo principal foi separar conjuntos de relevo de características homogêneas no contexto da subdivisão geomorfológica em províncias, zonas e subzonas.

A identificação dos táxons foi efetuada a partir de produtos de sensoriamento remoto e para a definição das características de cada unidade de relevo presente em cada sistema, foram estabelecidos alguns critérios. Os mais relevantes foram:

amplitude local de cada forma, declividade e perfil das encostas, extensão e forma dos topos, expressão de cada unidade em área, densidade e padrão de drenagens.

Partes menores constituem um dado sistema de relevo, como a unidade e os elementos. A unidade tem forma simples, ocorre usualmente sobre um único tipo de rocha e encerra solos cuja variação é consistente. Como exemplos, têm-se as escarpas, morros, leques e colinas. Os elementos são partes menores que compõem a unidade; por exemplo, uma escarpa é composta por uma crista, flanco e sopé.

Os autores têm como premissa que a geomorfologia é a chave para o mapeamento, identificando-se limites entre os sistemas com base nas características do relevo, suas unidades, incluindo variedades, e os atributos de seus elementos. A delimitação dos sistemas de relevo com base em critérios morfo-estrutrais procura levar em consideração as formas de relevo e a geologia. O resultado é um mapa preliminar que deve ser então analisado, à luz de dados sobre os solos, recursos hídricos, processos erosivos e deposicionais, vegetação e clima. Tal análise integrada leva a uma caracterização precisa de cada sistema de relevo (PONÇANO et al., 1979).

4.2.3 - Compartimentação Fisiográfica

A utilização da técnica de compartimentação fisiográfica pode ser identificada em todos os trabalhos relacionados a análise integrada como uma etapa da pesquisa. Em linhas gerais, a compartimentação consiste na divisão de uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das de áreas adjacentes. A técnica pode ser efetuada em diferentes escalas, sendo comum a determinação de "classes" de unidades fisiográficas que englobam outras (em escalas maiores) ou por outras são englobadas (em escalas menores).

Vedovello (1993) afirma que a classificação hierárquica entre classes de unidades, quando determinada por uma relação natural específica (de natureza genética, por exemplo), é referida como taxonomia. Quando essa classificação é determinada apenas em função da escala e da finalidade trata-se apenas como hierarquia.

Em relação à compartimentação propriamente dita, observa-se que ela é efetuada através da análise dos elementos componentes do meio físico (que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, etc.), e da identificação de aspectos locais desses elementos, ou seja, das suas formas de ocorrência (OLIVEIRA, 2004).

A análise da forma de ocorrência dos elementos componentes do meio físico (ou elementos fisiográficos) vai depender ainda do nível taxonômico e/ou hierárquico considerado; assim, para elementos de natureza geológica, por exemplo, pode se considerar o tipo litológico em uma escala mais detalhada ou o "grupo" geológico em uma escala mais geral.

Com referência ainda a compartimentação fisiográfica observa-se que, dependendo do nível hierárquico ou taxonômico considerado, há predomínio de determinados elementos fisiográficos sobre outros, como critério ou fator de compartimentação. Tal fato é justificado em função de que para um dado desses níveis, as variações fisiográficas significativas podem estar associadas às variações na forma de ocorrência de um ou alguns determinados elementos fisiográficos (VEDOVELLO & MATTOS, 1998).

Vedovello (1993) coloca que, embora admita-se que a compartimentação fisiográfica seja realizada a partir da análise de todos os elementos do meio físico, na prática tal compartimentação é efetuada analisando-se um ou alguns dos elementos responsáveis pelas variações fisiográficas significativas em um dado nível hierárquico. Mas tal procedimento é aceitável pois, conforme cita Maretti (1989), as propostas de compartimentação partem do princípio de que há uma correlação natural entre os elementos constituintes do meio físico. Logo, a escolha de um ou alguns desses elementos serve para a identificação de unidades onde ocorrem associações específicas das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos, que é o objetivo da compartimentação fisiográfica.

4.3 – Inferências Geotécnicas

Para a obtenção de um mapeamento geotécnico não é suficiente dividir o terreno em função da sua fisiografia, mas é imprescindível ainda caracterizar as unidades de compartimentação em função de propriedades e características de interesse geotécnico.

Assim, considera-se a etapa de inferências geotécnicas como um conjunto de procedimentos que objetivam selecionar e analisar as características das unidades de compartimentação além das propriedades dos materiais que compõem essa área.

De acordo com Vedovello (1993), os dados geotécnicos analisados podem ser natureza diversa e representar tanto características da área individualizada como propriedades dos materiais que compõem essa área.

Para selecionar os atributos a considerar no mapeamento geotécnico voltado para o planejamento urbano, é preciso entender todas as relações existentes entre o enfoque principal e o ambiente, como ilustrado na Fig 11. Este esquema, adaptado de Zuquette e Gandolfi (2004), relaciona aspectos que interferem em ocupações urbanas e que devem orientar o desenvolvimento de estudos para a elaboração de mapeamentos geotécnicos de uma região quanto ao seu comportamento frente a expansão urbana.

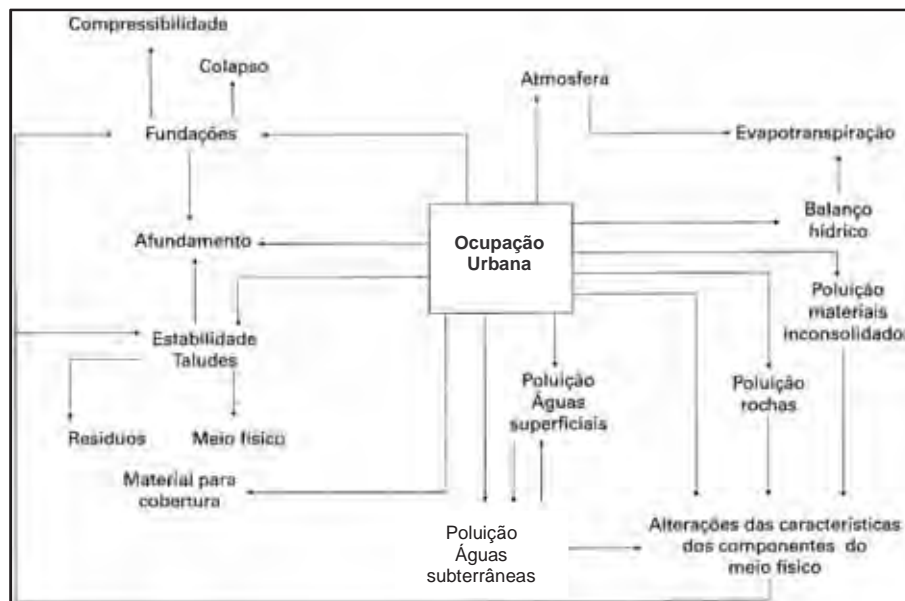


Figura 11 - Esquema representativo dos aspectos técnicos que relacionam a ocupação urbana e o meio ambiente. Fonte: Adaptado de Zuquette e Gandolfi (2004).

Com base nas relações indicadas, os autores propuseram uma lista dos atributos a ser considerados na formulação de análises do ambiente, nos procedimentos de seleção e verificação de locais para a ocupação urbana. Tais atributos devem estar associados a intervalos que definam classes quanto ao grau de restrição do meio físico, como se observa no Quadro 6.

Quadro 6 - Lista de atributos considerados na formulação de análises do ambiente, nos procedimentos de seleção e verificação de locais para a ocupação urbana.

COMPONENTE	ATRIBUTO	PARÂMETRO
Substrato rochoso	Litologia	Resistência mecânica
	Profundidade (m)	
	Grau de intemperismo	
Materiais Inconsolidados	Camada compressível	Espessura / Profundidade
	Índice de Erodibilidade	
	Matacões	Tamanho / Frequência / Profundidade
	Distribuição Espacial	Vertical / Horizontal
	Camada de matéria orgânica	Espessura / Profundidade
Água	Material colapsível	Espessura / Profundidade
	Profundidade da Zona Saturada	Metros / Variações anuais
	Fluxo Superficial	
	Áreas de Recarga	
Processos	Distância da nascente	
	Erosão	Frequência / Intensidade
	Movimentos de Massa	Frequência / Intensidade
	Subsidências	Frequência / Intensidade
Relevo	Zonas de Inundação	Frequência / Intensidade (áreas afetadas)
	Formas de relevo	
Características climáticas	Declividade (%)	
	Pluviosidade (mm)	Total anual

Fonte: Adaptado e modificado de Zuquette e Gandolfi (2004).

Os dados geotécnicos podem ser adquiridos de diferentes formas. A opção por uma ou outra forma de obtenção dos dados depende do tipo e classes dos atributos analisados, da viabilidade ou não de aquisição de informação *in situ*, e da precisão necessária às avaliações dos produtos previstos, relacionada à escala de trabalho. Dentre os diversos procedimentos utilizados para a aquisição de dados geotécnicos, podem-se destacar os seguintes, segundo Vedovello (2000):

- Ensaio de laboratório: ensaios realizados em amostras deformadas ou indeformadas, em solos e rochas, para determinar as propriedades físicas e químicas e o comportamento mecânico, que determinam as características geotécnicas de interesse.

- Ensaio *in situ*: são ensaios e testes de campo que objetivam determinar as propriedades do solo, definindo-se as suas características e propriedades geotécnicas.

- Inferências fisiográficas: as propriedades e características geotécnicas são inferidas a partir dos elementos fisiográficos que integram determinada área. São realizadas conhecendo-se os elementos geológicos e geomorfológicos. Criando-se

uma relação entre os dois, é possível inferir sobre permeabilidade, alterabilidade, declividade, espessura do material de cobertura.

- Inferências a partir de outros dados: consistem na obtenção de dados geotécnicos por correlação com dados de outra natureza. Como exemplo, o autor cita a estimativa da permeabilidade, que é um dado geotécnico obtido por correlação com a densidade de elementos texturais de drenagem ou fraturas, que por sua vez é um dado fotointerpretado.

Neste trabalho, o foco concentra-se na caracterização geotécnica realizada através de produtos de sensoriamento remoto, no caso, fotografias aéreas. A obtenção de informações geotécnicas é realizada à partir da interpretação das fotografias aéreas, efetuando-se correlações entre as propriedades texturais da foto e propriedades e ou características de interesse geotécnico.

Tais correlações têm sido debatidas por inúmeros autores, sobressaindo-se os trabalhos de Soares e Fiori (1976) e Veneziani e Anjos (1982), além de Zuquette (1987), Riedel (1988), Oliveira (1989), Lollo (1991), Vedovello (1993), Zuquette e Gandolfi (2004), entre outros.

Os resultados desses trabalhos mostram que há uma correlação entre as variações das propriedades físico-químicas dos materiais das coberturas, e variações nas características e propriedades das imagens e fotografias aéreas (tons de cinza, densidade de elementos texturais, etc.). Assim, conclui-se que a caracterização geotécnica realizada através de produtos de sensoriamento remoto apresenta grande potencial e será melhor aprofundada no Capítulo 5 sobre Materiais e Métodos.

4.3.1 - Perfil de Alteração Tropical

No Brasil, devido ao clima quente e úmido, é de extrema relevância para qualquer obra em que seja necessária a escavação do terreno, conhecer os diferentes tipos de solo.

Os solos tropicais são resultado inicialmente das modificações químicas e mineralógicas ocorrentes nas rochas devido à ação dos processos de intemperismo (físico - desagregação e químico – decomposição) característicos de regiões tropicais úmidas. Posteriormente, ocorrem modificações estruturais relacionadas à pedogênese, como a reorganização dos minerais formadores do solo -

principalmente argilominerais e óxi-hidróxidos de ferro e alumínio - nos níveis superiores, gerando horizontes diferenciados que caracterizam os perfis de alteração.

De maneira geral, os níveis de alteração nos solos residuais tropicais são profundos e extensos, desenvolvendo comportamentos particulares de acordo com o tipo do material inconsolidado encontrado.

Diferentemente das regiões temperadas, os solos tropicais têm como característica a variabilidade das propriedades geotécnicas de acordo com o seu estágio de alteração e ao longo do perfil de alteração. Desta forma o levantamento dessas propriedades deve partir de uma caracterização detalhada do perfil, procurando delimitar os horizontes em conformidade (ROQUE, 2006). Há necessidade de um estudo minucioso das propriedades e do comportamento do solo considerando a sua mineralogia, textura e estrutura antes de seu uso.

De acordo com a Geological Society (1990), a classificação dos perfis de alteração deve ser baseada no grau de evolução genética, na mineralogia e na distribuição granulométrica das partículas ao longo da profundidade.

Souza (1992) explicita que, para fins de mapeamento geotécnico, a delimitação de compartimentos geotecnicamente homogêneos deve considerar o perfil típico de alteração de cada unidade compartimentada identificada no relevo, individualizando os diversos níveis de alteração que possuam características físicas e comportamentos geotécnicos distintos. De uma forma geral, a obtenção destes compartimentos está intimamente ligada às formas de relevo identificadas, à evolução do perfil de alteração quanto a espessura e ao grau de evolução genética de cada nível.

Vaz (1996) sugere que a classificação dos tipos de solo deve seguir o fluxograma mostrado na a Fig. 12, onde é possível identificar diferentes tipos de solo definidos inicialmente, de duas maneiras – solos residuais ou *in situ* e transportados.

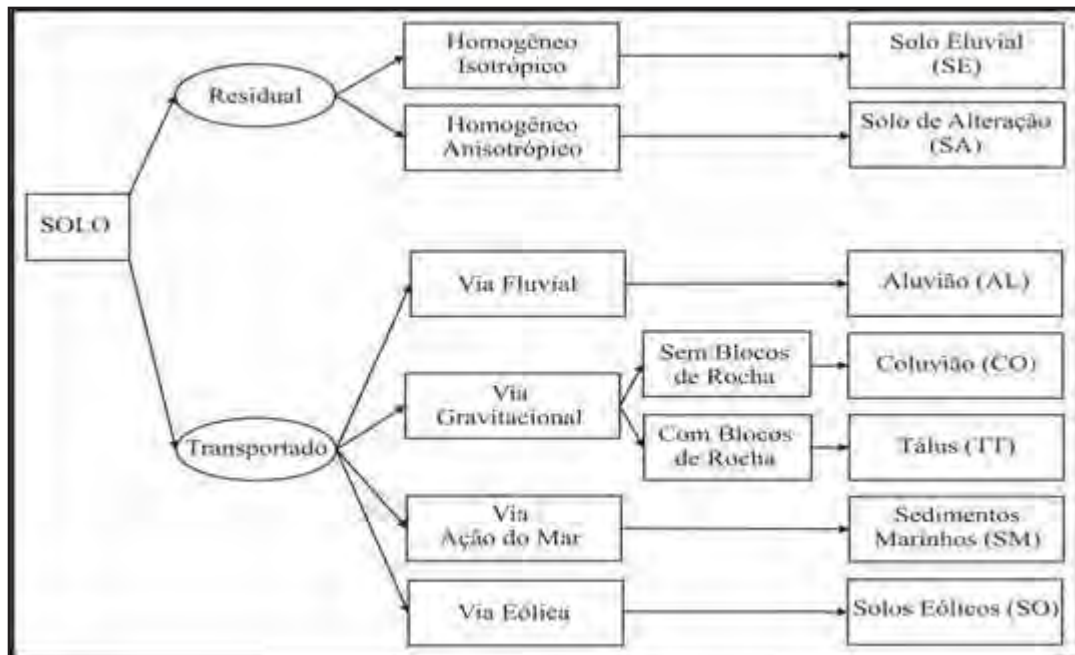


Figura 12 - Fluxograma para a identificação de tipos de solo. Fonte: Vaz,(1996).

Conforme o fluxograma, Vaz (1996) explicita as bases de classificação genética dos solos tropicais:

- Os solos residuais ou *in situ* são aqueles em que os processos de intemperismo físico e químico, podendo estar associados ou não, atuam na rocha, de modo que originam horizontes bem definidos, fruto de uma exposição prolongada às intempéries. Estes por sua vez, se localizam em seus locais de origem e evolução. Dessa maneira, pode-se dizer que o clima define a espessura e o número de horizontes do solo residual, enquanto a principal contribuição da rocha matriz é a definição da composição mineralógica do solo e grande parte do comportamento geomecânico dos solos resultantes. Suas formas de ocorrência estão descritas abaixo:

- Solo eluvial (SE) – Camada superior do solo residual, pode ser denominado de solo residual maduro ou solo laterítico, é sempre homogêneo em relação a cor, granulometria e composição mineralógica;

- Solo de alteração (SA) – Também chamado de saprólito, constitui a camada que se encontra ainda em processo de alteração intempérica. É sempre heterogêneo em relação a cor, textura e composição mineralógica.

- Os solos transportados envolvem erosão, transporte e deposição, por processos geológicos, e encontram-se em locais distintos ao da sua origem e evolução,

buscando condições de equilíbrio. Geralmente, não é possível distinguir horizontes, a menos que esse material seja submetido a longos períodos de tempo sob as intempéries. Variam em conformidade com o material de origem e as condições de acumulação, porém, o meio de transporte é o principal fator de diferenciação. Suas formas de ocorrência estão descritas abaixo:

- Aluviões (AL) – São constituídos por materiais erodidos, retrabalhados, que sofrem transporte pelos cursos d'água e se depositam nos leitos e margens de drenagens. São também depositados nos fundos e nas margens de lagoas e lagos, sempre associados a ambientes fluviais;

- Terraços Fluviais (TR) – São os aluviões antigos, depositados quando o nível de base da antiga drenagem encontrava-se mais elevado que o atual. Em consequência, os terraços são sempre encontrados em cotas mais altas que os aluviões;

- Coluviões (CO) – Formado principalmente por transporte gravitacional (AGI, 1976), ou simplesmente, material decomposto submetido a transporte por gravidade (WHITTEN e BROOKS, 1976), uma vez que sejam constituídos exclusivamente por solo;

- Tálus (TT) - Tem seu processo formador semelhante aos coluviões, exceto pela presença ou predominância de blocos rochosos;

- Sedimentos Marinhos (SM) – São gerados em ambientes de praia e de manguezais onde a ação das ondas e marés retrabalham e depositam areias limpas, finas a média, quartzosas;

- Solos Eólicos (SO) – São gerados a partir do transporte e retrabalhamento de areias finas, quartzosas por ação dos ventos.

Identificados os tipos de solo, é possível o perfil de alteração gerado. Vaz (1996) apresenta um perfil de intemperismo padrão, observado na Fig. 13, cujos horizontes são definidos de acordo com a evolução pedogênica, para os solos e no grau de alteração mineralógica para as rochas.

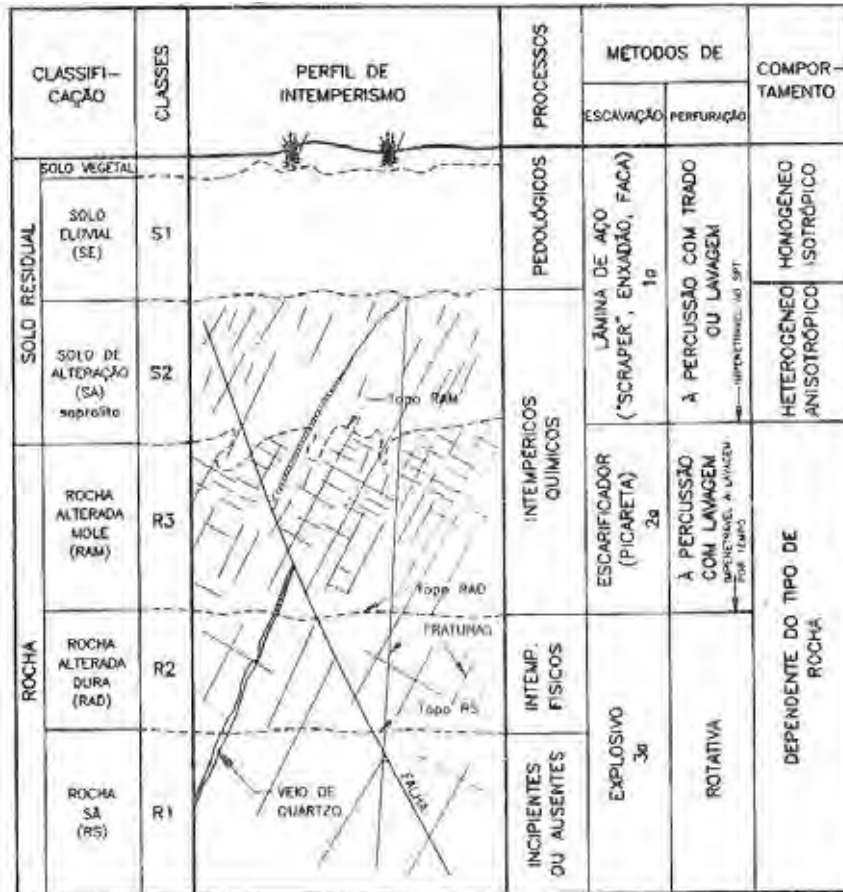


Figura 13 - Perfil de alteração segundo Vaz (1996).

As três classes de rocha mostradas na Figura 13 são apresentadas brevemente abaixo, baseando-se nas descrições do autor.

- Rocha Alterada Mole (RAM) – Pode estar ausente quando se trata se um solo pouco evoluído, mas apresenta espessuras maiores de 10m quando o perfil de intemperismo é bem desenvolvido;

- Rocha Alterada Dura (RAD) – Geralmente coincide com o topo de rocha e exige utilização de explosivo para desmonte. Os minerais apresentam-se levemente descoloridos, mais notavelmente ao longo de fraturas com passagem de água;

- Rocha Sã (RS) – A distinção da RAD se faz unicamente pela alteração mineralógica, uma vez que a rocha sã apresenta minerais cores e resistências originais ou pouco alteradas.

Uma vez considerados os horizontes padrões ocorrentes em um perfil de intemperismo, é necessário identificar os critérios adotados para a definição dos graus de escavabilidade das rochas. , adaptado de Redaelli e Cerello (1998).

De acordo com Redaelli e Cerello (1998), pode-se classificar os diferentes graus em, inicialmente, duas classes: Materiais Inconsolidados e Rocha. Para a classe dos Materiais Inconsolidados os valores de escavabilidade são 1 ou 2.

1 – Friável e fluente, composto por areias, solos orgânicos e turfas. É um material sem coesão e com baixa capacidade de suporte. Em geral com nível de água raso ou sub-aflorante. Em obras, pode causar instabilidade da parede da vala;

2 – Material Brando, composto por solos argilosos e arenosos. É um material coesivo, facilmente penetrável por ferramenta e sem resistência à separação, podendo ocorrer blocos rochosos. Em obras, é escavável com facilidade.

Para a classe da Rocha, os valores de escavabilidade são 3, 4 ou 5.

3 – Rocha Branda, podendo ser mais ou menos rígidas e com diferentes graus de alteração. A rocha é razoavelmente dura, cujos fragmentos separam-se ao longo de diversas fissuras. Em obras, é escavável com alguma dificuldade e o material se desagrega em blocos. O desmonte é feito com equipamentos de diversos portes ou mesmo com o emprego de explosivos de baixa potência.

4 – Rocha Dura é a rocha sã ou pouco alterada. Apresenta alta resistência à escavação e à perfuração. Em obras, é escavável apenas com uso de explosivos e apresenta baixa perfurabilidade para equipamentos de furo direcional.

5 – Rocha Muito Dura é a rocha sã a pouco alterada. Apresenta muito alta resistência à escavação e à perfuração. Em obras, é escavável apenas com uso de explosivos e apresenta muito baixa perfurabilidade para equipamentos de furo direcional.

4.4 – Sensoriamento Remoto

As técnicas de sensoriamento remoto há algumas décadas vem contribuindo significativamente para o desenvolvimento dos mapeamentos geotécnicos. As fotografias aéreas e as imagens de satélite são os produtos de sensoriamento remoto mais utilizados atualmente em estudos do meio físico.

Vedovello (1993) afirma que os produtos de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para a realização de compartimentações fisiográficas, uma vez que constituem "objetos" concretos (refletindo a organização espacial do meio físico) sobre os quais é possível se traçar limites.

A utilização do sensoriamento remoto para esse fim tem se dado normalmente através da identificação de formas da paisagem (em geral do relevo) previamente conhecidas e reconhecidas na imagem pelo fotointérprete. Tal procedimento, realizado geralmente em fotografias aéreas, depende assim de um conhecimento prévio das formas da paisagem que se vai individualizar bem como das características texturais associadas a essas formas (VEDOVELLO & MATTOS, 1998).

O produto de sensoriamento utilizado em trabalhos de compartimentação fisiográfica deve ser selecionado tendo em vista as características da imagem e as particularidades da área de estudo. Tendo em mãos estas informações deve-se, ainda, estar atento para as características específicas das imagens como, por exemplo, o ângulo de elevação solar, a cobertura de nuvens, azimute..., as quais podem facilitar ou dificultar os trabalhos interpretativos da cena.

Quanto as particularidades da área, Souza e Costa (1998) atentam para o fato de que fotografias aéreas são fontes importantes de informação sobre o espaço urbano e podem fornecer subsídios à análise deste processo. A sua interpretação permite a visualização e identificação dos diferentes elementos que constituem um espaço urbano.

As autoras ainda complementam, declarando que uma área urbana é composta por alvos variados, tais como: concreto, asfalto (ruas e avenidas), telhados de diversos materiais, solo exposto, grama, árvores, água etc. Muitas destas coberturas, como salientou Foster (1985), são menores que a resolução de um píxel de uma imagem (ou elemento de resolução). Desta forma, nem todos os sensores orbitais são adequados ao estudo de áreas urbanas, pois nem todos conseguem amenizar estes problemas.

Com relação as técnicas, é importante salientar que a utilização de um procedimento sistemático de fotointerpretação é recomendável uma vez que, apresentar os "passos" que devam ser seguidos no processo de análise das feições na imagem (aérea, de radar ou de satélite), permite que esse procedimento possa ser repetido por outros intérpretes ou aplicado em outras áreas de maneira similar.

Segundo Vedovello & Mattos (1998), o princípio utilizado para a compartimentação fisiográfica, a partir da interpretação sistemática de produtos de sensoriamento remoto, baseia-se na seguinte consideração:

Os elementos fisiográficos interagem de maneira diferente de área para área em função de variações nos fatores (clima, tectônica, etc.) que regem a sua evolução. Isso faz com que esses elementos apresentem-se sob formas particulares em cada região, determinando assim diferentes paisagens. Essas paisagens específicas refletem na imagem texturas também específicas e que são resultado da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais (VEDOVELLO & MATTOS, pg. 6, 1998).

Desta forma, a identificação de diferentes zonas homogêneas na imagem corresponde a identificação de diferentes áreas do meio físico, onde ocorrem uma associação determinada dos elementos componentes desse meio. A identificação de zonas homogêneas em imagens fotográficas é feita a partir das diferenças de homogeneidade, de tropia e de assimetria dos elementos texturais e de suas estruturas na imagem.

Os autores destacam que como homogeneidade, deve pressupor a ocorrência em uma dada área de propriedades texturais constantes (homogêneas) ou não (heterogêneas). Já a tropia refere-se à existência (anisotropia) ou não (isotropia) de feições texturais orientadas. Finalmente a assimetria, diz respeito a igualdade (simetria) ou não (assimetria) das propriedades texturais de áreas situadas em lados opostos de uma determinada linha ou feição textural na imagem.

Em relação a elemento de textura, observa-se que, segundo definição de Soares e Fiori (1976), é a menor superfície contínua e homogênea que se pode distinguir na imagem e passível de repetição.

Como estrutura, considera-se a organização espacial ordenada dos elementos texturais. Assim, um alinhamento (disposição alinhada de elementos texturais) constitui uma estrutura na imagem.

A análise da homogeneidade, tropia e assimetria que condicionam a textura na imagem permitem a compartimentação da cena em áreas que apresentem "disposição espacial de elementos texturais com propriedades comuns" (forma), permitindo então a caracterização de zonas homogêneas.

5 – MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 – Etapas de trabalho

A estrutura geral do trabalho pode ser dividida em três fases principais, que englobam várias etapas, como ilustra a Fig. 14:

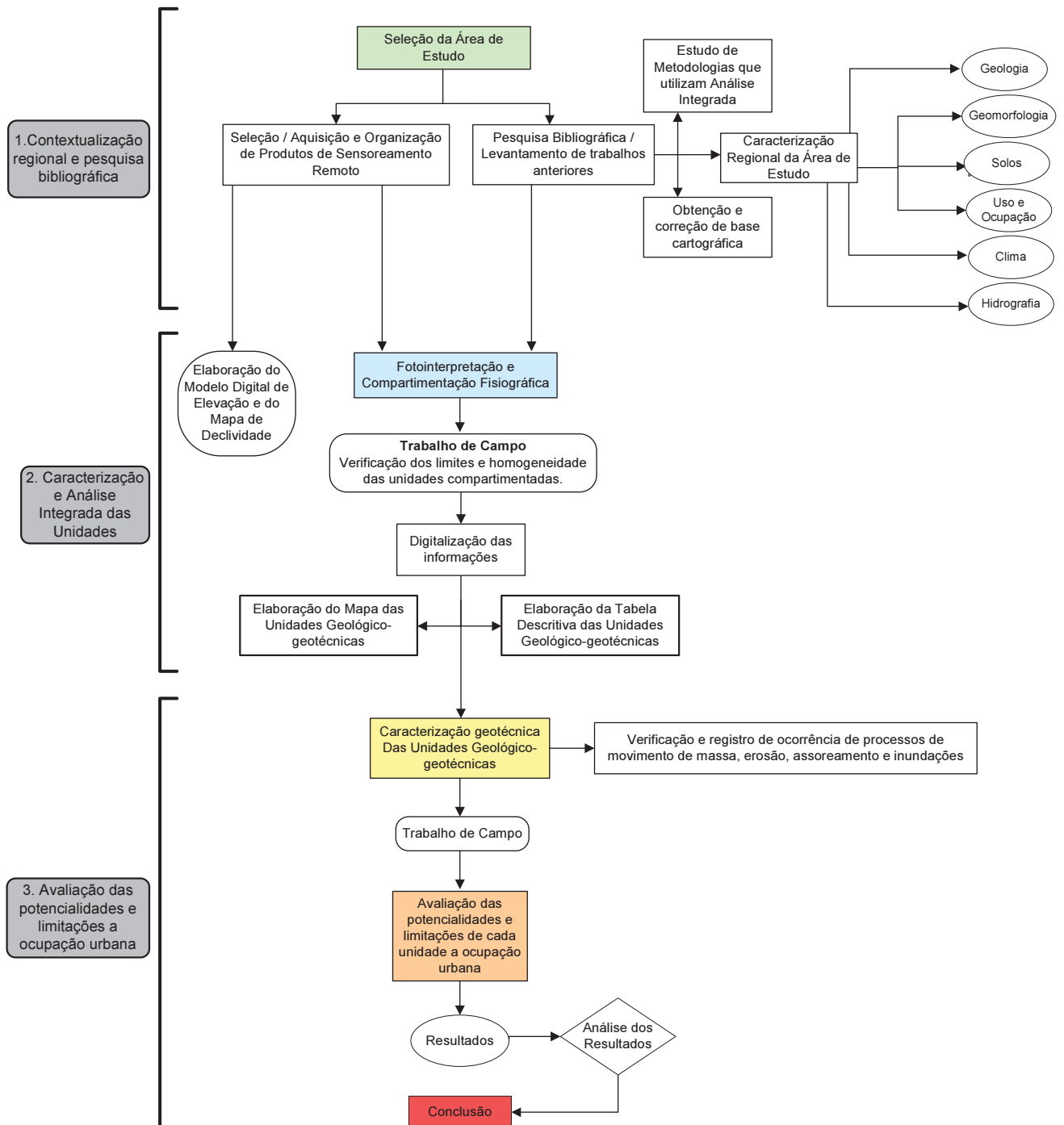


Figura 14 - Fluxograma das etapas de trabalho.

5.2 – Desenvolvimento da pesquisa

5.2.1 - Pesquisa bibliográfica

Durante qualquer pesquisa bibliográfica necessita-se de um roteiro cuidadoso para delimitar, identificar e definir o fenômeno ou matéria que está sendo objeto de estudo. Segundo Oliveira (2002), tal roteiro envolve: seleção de fontes de referência (índices, bibliografias); levantamento completo do material publicado sobre o assunto; consultas a especialistas e estudiosos; e acesso a acervos e centros de pesquisa digital (via Internet).

Tendo isso em vista, os dados foram coletados nos acervos das bibliotecas da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – UNESP, Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR e da Universidade de São Paulo - USP, instituições essas que apresentam diversos trabalhos publicados sobre o tema.

Com o auxílio da Internet, ainda foram consultados outros acervos bibliográficos nacionais e internacionais, bem como bases de dados textuais e referências de consulta a periódicos.

Foi realizada uma seleção de obras que englobam as temáticas: mapeamento geotécnico, zoneamento geotécnico, análise integrada, sensoriamento remoto, metodologias para fotografias aéreas, compartimentação fisiográfica, geomorfologia, planejamento urbano e aspectos físicos e históricos do município de Poços de Caldas – MG.

A revisão bibliográfica foi efetuada em todas as etapas, de modo a subsidiar o embasamento e a compreensão do processo de compartimentação fisiográfica e dos resultados obtidos.

5.2.2 - Seleção/aquisição e organização dos produtos de sensoriamento remoto e dos produtos cartográficos.

Parte do material utilizado foi disponibilizado pela Prefeitura do município de Poços de Caldas. Os itens seguem listados no Quadro 7:

Quadro 7 - Materiais cedidos pela Prefeitura de Poços de Caldas.

Material	Ano
Fotografias Aéreas na escala 1:30.000, obtidas pela empresa BASE Aerofotogrametria S/A. Foram utilizadas fotos entre 4 e 8 das faixas 4, 5 e 6 no sentido norte – sul.	1997
Base cartográfica Digital PM Poços 1:10.000 sobre levantamento aerofotogramétrico.	1997
Imagem SPOT 5 pancromática com resolução de 2,5 metros	2006

Além destes, foram utilizados ainda para consulta e apoio durante a caracterização da área e a compartimentação fisiográfica, os mapas listados no Quadro 9. Nesta etapa foi elaborado um banco de dados no software ArcGis 9.3 para o armazenamento dos produtos digitais e posterior desenvolvimento do trabalho.

Quadro 8 - Materiais de fontes diversas.

Mapa	Autor	Escala	Ano
Mapa de Substratos Rochosos	FRAYHA	1:75.000	1970
Mapa Geomorfológico – Projeto Sapucaí	CAVALCANTE et al.	1:1.000.000	1979
Mapa Geológico - Projeto Sapucaí	CAVALCANTE et al.	1:1.000.000	1979
Mapa de lineamentos	ETCHEBEHERE	1:100.000	1990
Mapa de Materiais Inconsolidados	LIPORACI	1:25.000	1994
Mapa de Solos	EMBRAPA	1:1.000.000	1999

5.2.2.1 - Correção das Bases Cartográficas

A base topográfica e a base hidrográfica precisaram de ajustes devido a erros na vetorização. As curvas de nível passaram por correção topológica, enquanto que as drenagens foram corrigidas com o auxílio da imagem SPOT 5.

É importante destacar que as curvas de nível utilizadas apresentam eqüidistância de 10 metros, seguindo as recomendações de Zuquette e Gandolfi (2004) para melhor controle dos procedimentos fotointerpretativos e trabalhos de campo para mapeamentos na escala 1:25.000.

5.2.2.2 - Elaboração do MDE, Mapa de Declividade e Mapa de Relevô

Sombreado

O Modelo Digital de Elevação foi gerado para toda a área do município, a partir das curvas de nível corrigidas e pontos cotados por meio do interpolador TIN, implementado no software ArcGis 9.3.

Um segundo Modelo Digital de Elevação foi gerado com resolução de 5 metros apenas para o recorte da área de estudo, a partir da mesma fonte, mas com o refinamento da drenagem e utilizando o interpolador Topogrid. Este foi escolhido por ser hidrológicamente mais consistente que o anterior (HUTCHINSON, 1988). Através deste MDE, foram gerados o mapa de declividade e o mapa de relevô sombreado.

5.2.3 - Fotointerpretação

O processo de fotointerpretação busca a identificação dos elementos da imagem com os objetos e a análise das relações entre as imagens e, finalmente, a descoberta ou avaliação do significado e função dos objetos e suas relações (SOARES e FIORI, 1976).

A partir de fotografias aéreas verticais preto e branco na escala 1:30.000, do ano de 1997 e com o auxílio de um estereoscópio e papel transparente, a sequência de fotoleitura, fotoanálise, fotointerpretação e delimitação dos compartimentos fisiográficos foi efetuada. O objetivo desta etapa foi produzir um mapa de zonas homólogas, contendo compartimentos de características semelhantes, a partir da análise integrada dos elementos do meio físico baseados na metodologia proposta por Zaine (no prelo) para a fotogeologia, baseada em Soares e Fiori (op.cit.) e Ponçano et al. (1981).

A identificação dos compartimentos fisiográficos foi realizada inicialmente com base na análise dos elementos texturais de relevô e drenagem e estruturas geológicas (densidade – drenagem e elementos do relevô, tropia, assimetria).

Primeiramente, identificou-se qual elemento textural e que organizações deste (forma, estrutura, etc.) definiam os diversos compartimentos, traçando-se os limites com base na análise da geneidade, tropia e simetria desses elementos.

Foram considerados homogêneos os compartimentos em que as características dos elementos texturais fossem constantes em toda a sua área. É válido ressaltar aqui, que o termo “elemento de textura”, de acordo com Soares e Fiori (1976), representa a menor superfície contínua e homogênea possível de repetição e que possa ser distinguida na imagem.

A análise foi complementada por parte dos critérios adotados por Ponçano et al. (1981), na confecção do mapa geomorfológico do estado de São Paulo: declividade, amplitude local, forma e extensão dos topos.

A metodologia proposta por Zaine (no prelo) agrupa os critérios adotados por ambos os autores e apresenta uma sequência de procedimentos para a análise dos elementos texturais de relevo e drenagem, das formas e características do relevo, análise das estruturas geológicas e uma análise complementar de tonalidades para casos específicos. O Quadro 9, elaborado pelo autor, apresenta o detalhamento dos procedimentos.

Quadro 9 - Sequência de procedimentos proposta por Zaine (no prelo) para análise e fotointerpretação geomorfológica e geológica, baseada em Soares e Fiori (1976) e Ponçano et al. (1981) e associação com as propriedades geotécnicas.

1. Análise da densidade textural		CLASSES				
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo (dissecação e rugosidade do terreno)					
Critérios de análise	Densidade da rede de drenagem	Baixa (0 a-5/ 10 km ²)	Média (5 a 30/ 10 km ²)	Alta (> 30/ 10 km ²)		
	Densidade dos elementos do relevo					
Propriedade a ser analisada	PERMEABILIDADE (intragranular)	Alta (Permeável)	Média-	Baixa (Impermeável)		
Informações interpretadas por esta análise	Relação escoamento superficial/infiltração	Baixa	Média	Alta		
	Espessura e características do manto de alteração	Espesso	-	Raso/rocha aflorante		
2. Análise das formas e características do relevo		CLASSES				
Elementos de análise	Rupturas de declive (quebras relevo), cristas, escarpas, lineações, alinhamentos					
Critérios de análise	a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena 0 a 100m	Média 100 a 300m	Grande >300m		
	b) Declividade	Baixa	Média	Alta (>30%)		
	c) Forma de encosta	Convexa	Côncava	Retilínea		
	d) Forma do Vale	Aberto	-	Fechado		
	e) Forma do Topo	Aplainados	Arredondados	Angulosos		
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar aos modelos geológicos já conhecidos.				
Propriedade a ser analisada	RESISTÊNCIA A EROSÃO	Pouco resistente	Resistência Média	Muito resistente		
Informações interpretadas por esta análise	Espessura do solo / material inconsolidado	Espesso		Raso a inexistente		
	Escavabilidade Possibilidade de processos geológicos	Erosão e escorregamentos	-	Queda de blocos		
3. Análise das estruturas geológicas		CLASSES				
Elementos de análise	a) Linhas de rupturas de declive b) Lineações e alinhamentos de relevo (traços de foliação e camadas) e drenagem (traços de fratura e contatos litológicos) c) Padrões reconhecidos e anomalias Identificar e descrever. Associar aos modelos geológicos já conhecidos.					
Critérios de análise	Tropia	Terrenos Cristalinos	Não Orientada	Pouco Orientada	Orientada	Muito Orientada
		Terrenos Sedimentares	Homogênea	-	-	Heterogênea
	Assimetria de relevo e drenagem (geometria camadas)		Muito Assimétrico.	Assimétrico	Pouco Assimétrico	Simétrico
	Regra dos Vs		Horizontal a sub	Baixo ângulo	Médio a alto	Vertical a sub
	Sinuosidade/interceptação (traços ele/os de relevo)		Curvos		Retilíneos	
Propriedade a ser analisada	PLANOS DE DESCONTINUIDADES: Estratificação e Foliação		Raros	Médio	Adensados	
	Grau de fraturamento		Baixo	Médio	Alto	
Informações interpretadas por esta análise	PERMEABILIDADE (fissural)	Baixa-	Média	Alta		
4. Análise complementar (tonalidade/cores)		CLASSES				
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração					
Critérios de análise	Tons de cinza ou coloração					
Propriedade a ser analisada	Presença de água/umidade no solo Solos derivados de rochas ácidos / básicos Cobertura vegetal*		Ácidas – básicas Ausentes – rasteiras – arbóreas			
Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto Profundidade do N.A.		Profundo – Raso			

Como auxílio, foram empregados os conjuntos de sistemas de relevo propostos por Ponçano et al. (1981). A amplitude local, que neste caso, significa a altura máxima da unidade em metros, acima do assoalho dos grandes vales adjacentes, e a declividade, definida como a inclinação média do perfil da encosta, são, segundo o autor, os principais critérios para a identificação de conjuntos de sistemas de relevo, como mostra o Quadro 10:

Quadro 10 - Conjuntos de sistemas de relevo propostos por Ponçano et al (1981)

Conjuntos de Sistemas de Relevo	Declividade Predominante das Encostas	Amplitudes Locais
1. Relevo colinoso	0 a 15%	< 100 m
2. Relevos de morros com encostas suavizadas	0 a 15%	100 a 300 m
3. Relevo de morrotes	> 15%	< 100 m
4. Relevo de morros	> 15%	100 a 300 m
5. Relevo montanhoso	> 15%	> 300 m

Fonte: Ponçano et al. (1981).

Cada conjunto de sistemas de relevo definido por Ponçano et al. (1981) apresenta particularidades que estão diretamente relacionadas aos critérios de análise das formas e características do relevo propostos por Zaine (no prelo). A partir da identificação desses sistemas de relevo e do conhecimento prévio da área, pode-se definir amplitude local, declividade, forma das encostas, forma dos vales e topos.

À áreas de relevo colinoso, por exemplo, é possível associar pequenas amplitudes, declividade mais suave, formas de encostas convexas, vales abertos e topos arredondados.

Já à relevos montanhosos, associa-se amplitudes locais, declividade acentuada, perfil das encostas conexo ou retilíneo, vales mais encaixados e topos restritos, geralmente com cristas alongadas.

Com relação aos limites entre os compartimentos, deve-se destacar que foram traçados preferencialmente em rupturas de declive, constituindo nesses casos limites nítidos. Quando não foi possível visualizar essas rupturas, foram marcados limites gradativos e difusos (conforme cada caso).

Esta etapa foi complementada com a agregação das informações do contexto regional aos compartimentos, ou seja, os domínios geomorfológicos, os domínios geológicos, entre outras coletadas na primeira fase do trabalho.

5.2.3.1 - Níveis Taxonômicos

Foram estabelecidos cinco níveis taxonômicos, determinados com base na nomenclatura comumente utilizada nos trabalhos de compartimentação, como em Almeida (1964), Ponçano et al. (1979) e Vedovello (1993).

Devido à escala 1:25.000 deste trabalho, é preciso destacar que alguns níveis taxonômicos abrangem uma escala regional enquanto outros, a escala local. A relação entre os níveis taxonômicos utilizados e as condições morfoambientais e genéticas encontram-se no Quadro 11.

Quadro 11 - Relação entre os níveis taxonômicos utilizados e as condições morfoambientais e genéticas da área.

	NIVEL TAXONÔMICO	CONDIÇÕES MORFOAMBIENTAIS E GENÉTICAS	CONTEXTUALIZAÇÃO PARA A ÁREA
REGIONAL	1. Província	A divisão da província é determinada pelas diferentes formas de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à modelagem tectono-climática em nível regional. Correspondem assim a compartimentos tectônicos atuais, os quais englobam regiões com diversidade genética submetidas agora às mesmas condições climáticas na regência de sua evolução.	Planalto do Sul de Minas (Planalto Atlântico)
	2. Zona	A determinação de zonas é feita em função da forma de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à variações tectono-estruturais e de idade geológica. São então áreas correspondentes à grupos de rochas que apresentem diferenças de ordem genética e de evolução tectônica, e que portanto oferecem “resistência” diversa a modelagem tectono-climática.	Planalto de Poços de Caldas
	3. Subzona	É uma compartimentação realizada com base nas formas de ocorrência dos elementos do meio físico determinadas por diferenças litoestruturais ou de sistemas de relevo ou de processos deposicionais. Constituem então áreas definidas em função do tipo litológico, da morfologia do relevo e do tipo de sedimento, os quais apresentam composição físico-química específica que é condicionante da modelagem das formas da paisagem.	- Serra Anelar - Planalto do Maciço Alcalino Interno

LOCAL	4. Unidade	Correspondem a unidades básicas do terreno associadas à ocorrência de “geoformas”. Compreende-se como geoforma uma parte do terreno onde ocorre uma associação específica das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos que compõem a paisagem, e que são resultantes da ação dos elementos da paisagem exógenos ao meio físico (clima, ação antrópica, etc.), bem como da dinâmica de evolução e das propriedades intrínsecas (estáticas) dos elementos fisiográficos. Assim, uma geoforma apresenta litologia, forma de relevo, perfil de alteração, etc. específicos e constantes na sua área de ocorrência.	Unidades Geológico-geotécnicas
	5. Feições	Abrangem elementos ou formas de relevo, individualizadas dentro de cada unidade, que refletem características litológicas e estruturais do substrato geológico, ou são registros de processos geológicos, ou seja, da evolução morfogenética da área.	Alinhamentos de relevo, fraturas, anfiteatros de cabeceiras de drenagem, formas de encostas, erosões, cicatrizes de escorregamentos, etc.

Fonte: Adaptado de Vedovello (1993).

5.2.4 – Trabalho de campo

Estabelecidas as unidades de compartimentação, foram verificadas a homogeneidade, similaridade e seus limites através do trabalho de campo. Os pontos foram selecionados com base na necessidade de se obter informações daquele local ou unidade compartimentada em particular. Dependendo da escala de análise e da variabilidade dos materiais, pode-se optar por mais de um ponto dentro da mesma unidade.

Os processos naturais foram registrados levando em consideração suas intensidades e tamanhos. Após essa verificação, foi efetuada uma descrição contendo os principais atributos e limitações para cada unidade.

Para as observações *in situ*, foi utilizada uma ficha de campo contendo os seguintes quesitos a serem observados em forma de *check-list*:

1) Quanto ao solo – Considerações sobre a espessura, cor, granulometria, coesão/consistência e composição.

2) Quanto ao relevo – Determinação do sistema de relevo, segundo Ponçano et al. (1981) e declividade da área.

3) Quanto ao material rochoso – Observações sobre a apresentação do material aflorante, sub-aflorante, in situ, em blocos, etc, assim como suas dimensões. Identificação da rocha, sua textura e sua granulação.

4) Quanto ao perfil de alteração – Observações em relação ao material alterado, sua espessura e a composição de seus horizontes, além da esquematização do perfil.

5) Quanto aos processos geológicos – Determinação de ocorrência e tipo de processo.

6) Quanto ao uso do solo – Observações quanto ao tipo, forma e densidade do uso do solo.

Além desses parâmetros, ainda foi checada a existência de feições tecnogênicas e feições de instabilidade. O produto dessas observações possibilitou que se estabelecesse uma relação com observações de superfície – relevo.

Essas etapas de campo forneceram dados bastante confiáveis no que diz respeito à caracterização geológico-geotécnica. A partir desta etapa, os dados foram interpretados de maneira segura e representados em mapa, onde o modelo teórico foi verificado.

A descrição dos pontos de campo encontra-se no Apêndice I.

5.2.5 – Digitalização das informações

Os compartimentos fisiográficos, representados primeiramente em papel transparente, foram transportados para a carta topográfica do município de Poços de Caldas em mesma escala e compatibilizados com as informações referentes à configuração das curvas de nível, de forma a ajustá-los à base utilizada.

Este mapa topográfico, que agregava também outras informações advindas das fotografias, como cabeceiras de drenagem, lineamentos e pontos de campo, foi então escaneado e georreferenciado. Todos os dados contidos neste mapa foram digitalizados e integrados ao banco de dados no Software ArcGis 9.3.

O mapa de declividade e o modelo digital de elevação foram utilizados conjuntamente para conferência dos limites das unidades e elaboração do mapa final.

O resultado desta etapa foi a elaboração do Mapa das Unidades Geológico-geotécnicas e a tabela descritiva das mesmas.

5.2.6 - Caracterização Geotécnica

Nesta fase, as Unidades Geológico-geotécnicas foram caracterizadas em função de propriedades/características geotécnicas consideradas básicas para subsidiar a ocupação urbana.

As propriedades analisadas foram determinadas de acordo com as informações interpretadas seguindo o quadro de Zaine (no prelo) e a proposta de Vedovello (1993), buscando estabelecer classes de aptidão / restrição a ocupação urbana.

As propriedades consideradas foram: permeabilidade, relação escoamento superficial / infiltração, espessura do manto de alteração, alterabilidade, grau de fraturamento e processos geológicos.

De acordo com Vedovello (1993), o caráter básico dessas propriedades geotécnicas é dado em função da relação existente entre eles e os fatores condicionantes da ocupação urbana, como: ocorrência dos fenômenos geodinâmicos (erosão, inundações, escorregamentos, etc.) e a potencialidade de manejo dos materiais constituintes das unidades (movimentos de terra, fundações, etc.)

Observa-se que a obtenção das classes de algumas propriedades foi feita qualitativamente a partir do estudo das relações entre essas propriedades e as propriedades texturais da imagem e, quantitativamente no caso de fatores que pudessem ser calculados, como o grau de fraturamento.

Para cada propriedade estudada, classificou-se primeiramente as unidades que apresentaram as classes extremas da propriedade analisada e a seguir, as demais unidades relativamente a essas duas unidades “padrões”.

A seguir, apresentam-se as seis propriedades geotécnicas analisadas:

Permeabilidade

Segundo Soares e Fiori (1976), a permeabilidade está relacionada a maior ou menor facilidade de percolação de um fluido através de um meio poroso. Ela deve-se principalmente à porosidade primária (intergranular) em materiais sedimentares e à porosidade secundária (fratural), em materiais cristalinos (metamórficos ou ígneos).

No contexto geológico de Poços de Caldas, a porosidade e a permeabilidade são funções diretas do grau de fraturamento e interconexão das referidas

descontinuidades (ETCHEBEHERE, 1990). No entanto, os profundos perfis de alteração nos foiaítos levam a crer que ocorra conjuntamente uma permeabilidade intragranular. Além disso, em unidades constituídas por material aluvionar, coluvionar e talús mais argilosos, a permeabilidade também é intragranular.

Assim, optou-se por realizar duas classificações de permeabilidade, sendo uma fissural, direcionada principalmente as áreas de tinguaítos e foiaítos menos alterados, onde a permeabilidade foi classificada como sendo diretamente proporcional à densidade de fraturas.

A outra, de permeabilidade intragranular, direcionada para áreas de depósitos de talús e colúvios, rampas colúvio-eluviais, foiaítos alterados e aluviões, onde a permeabilidade foi classificada como inversamente proporcional a densidade de drenagem. Foram estabelecidas três classes (alta, média e baixa) aos dois tipos de permeabilidade, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de permeabilidade.

Critérios	Classes de permeabilidade
Baixa densidade de drenagem	Alta
Alto grau de fraturamento	
Média densidade de drenagem	Média
Médio grau de fraturamento	
Alta densidade de drenagem	Baixa
Baixo grau de fraturamento	

Relação escoamento superficial / infiltração

O escoamento superficial considerado é aquele correspondente a parcela de água precipitada que permanece na superfície do terreno, sujeita a ação da gravidade que conduz para cotas mais baixas. Conforme as características de seu deslocamento, as águas de escoamento podem provocar erosão dos solos, inundações e etc. Já a infiltração trata-se da passagem de água da superfície para o interior do terreno, sendo que rochas e solos mais permeáveis apresentam maior capacidade de infiltração, favorecendo a rápida percolação de água para o lençol subterrâneo, reduzindo assim o escoamento superficial direto (JORGE e UEHARA, 1998).

A relação escoamento superficial / infiltração foi classificada de acordo com a análise da permeabilidade e declividade das unidades em alta, média e baixa, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de relação escoamento superficial / infiltração.

Crítérios	Classes de relação escoamento superficial / infiltração
- Alta permeabilidade - Baixa declividade	Baixa
- Média permeabilidade - Média declividade	Média
- Baixa permeabilidade - Alta declividade	Alta

Espessura do manto de alteração

Esta propriedade está diretamente ligada a declividade, forma das vertentes, extensão dos topos e ao contexto geológico da área. Considerou-se como declividade a inclinação média das vertentes, independente de sua direção. A declividade está diretamente relacionada à espessura do manto de alteração, de forma que em regiões de alta declividade, são esperados solos mais rasos, enquanto que em regiões de baixas declividades, o solo tende a ser mais profundo.

É importante destacar que as unidades sem classificação para topos, como planícies aluviais, rampas colúvio-eluviais e depósitos de talús e colúvios foram consideradas como possuidoras de mantos de alteração rasos, pouco desenvolvidos, como descreve Maretti (1989), uma vez que as condições de formação destes materiais não favorecem o desenvolvimento de solos profundos. Foram consideradas três classes, aferidas em campo, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de espessura do manto de alteração.

Crítérios	Classes de espessura do manto de alteração
< 1,0 m	Raso / rocha aflorante
entre 1,0 e 7,0 m	Pouco espesso
> 7,0 m	Espesso

Alterabilidade

Vedovello (1993) afirma que a alterabilidade se refere a maior ou menor suscetibilidade dos materiais componentes das unidades (rochas e solos) ao intemperismo. O intemperismo engloba processos físicos, químicos e biológicos que produzem desagregação e alteração da composição química e mineralógica das rochas.

Essa propriedade é de extrema relevância, pois o grau de alteração da rocha diminui sua resistência mecânica, prejudicando assim sua capacidade de carga e sustentação, e conseqüentemente a ocupação urbana.

O principal critério de classificação utilizado foi a forma das encostas, que refletem perfis específicos de acordo com a ocorrência de processos de intemperismo e de erosão ao longo do tempo. Perfis convexos, por exemplo, estão associados a materiais com alterabilidade muito alta e indica uma velocidade de intemperismo maior que a velocidade de erosão, o que favorece a formação de mantos de alteração espessos e predominantemente argilosos. Já perfis convexo-retilíneo-côncavos caracterizam encostas compostas de matérias com baixa alterabilidade, onde a velocidade do intemperismo é muito menor do que a velocidade da erosão e o manto de alteração formado, quando presente, é pouco espesso.

É preciso destacar, no entanto, que as unidades de planícies aluviais, rampas colúvio-eluviais e depósitos de talús e colúvios da área de estudo tiveram a alterabilidade classificada como alta independente do seu respectivo perfil de encosta. Essas unidades são compostas de materiais já intemperizados e transportados sendo, em geral, mal selecionados e mal classificados. Após a sedimentação, esses materiais continuaram sofrendo intemperismo e mesmo apesar do caráter argiloso pouco permeável dos colúvios da área, notou-se em todas as unidades citadas uma alterabilidade acentuada dos materiais.

Três classes foram estabelecidas para o restante das unidades de acordo com os critérios ilustrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Classes de alterabilidade.

Critérios	Classes de alterabilidade
Perfil convexo	Alta
Perfil côncavo	Média
Perfil convexo-retilíneo-côncavo	Baixa

Grau de fraturamento

O grau de fraturamento pode ser analisado pela densidade de fraturas em uma determinada área e está relacionado à ruptibilidade das rochas. Unidades com maior densidade de fraturamento refletem rochas mais rúpteis, enquanto unidades com menor densidade refletem rochas menos rúpteis.

Segundo Okida & Veneziani (1994), um dos principais fatores que controla deslizamentos e quedas de blocos está diretamente ligado à densidade, à distribuição e ao arranjo espacial de fraturamentos em rochas coesas e seus respectivos solos de alteração. Desta forma, é evidente que fraturamentos agem como fatores desagregadores e, portanto, o aumento de sua densidade de ocorrência contribui para o incremento do potencial de desagregação dos litotipos.

É importante considerar, no entanto, que unidades constituídas por aluviões, colúvios e talús englobam materiais transportados recentes, ou seja, foram formadas após o evento que gerou as fraturas e provavelmente representam feições do embasamento geológico da área, no caso, dos tinguaítos e foiaítos. Deste modo, o grau de fraturamento não será contabilizado para unidades compostas desses materiais.

Para o restante da área, foram consideradas três classes de análise acordo com a densidade de fraturamento: alto, médio e baixo. Como parâmetro, classificou-se primeiramente as unidades que apresentaram as classes extremas - mais alto e mais baixo e depois a classe intermediária, no entanto, é importante destacar que essa classificação é relativa às características específicas dessa área.

Processos geológicos

Os processos geológicos como erosão, escorregamentos de terra, queda de blocos, assoreamento, entre outros, são ocasionados por forças exógenas e geralmente encontram-se em áreas inadequadas a ocupação urbana. Foram identificados e registrados os principais pontos e processos geológicos ocorrentes em cada unidade e processos prováveis de ocorrência.

5.2.7 – Avaliação da adequabilidade a Ocupação Urbana

A escolha da expansão urbana como foco deste trabalho, foi feita em razão de tratar-se de um fenômeno típico de “pressão antrópica” sobre o meio físico, e para o qual, o mapeamento geológico-geotécnico constitui um instrumento fundamental no seu planejamento.

Esta fase consiste em avaliar as unidades geológico-geotécnicas em função do seu grau de adequação a expansão urbana a partir de suas propriedades

geotécnicas e verificar áreas potenciais e limitantes ao uso urbano no município de Poços de Caldas.

As áreas podem ser avaliadas de três diferentes maneiras:

1. **Áreas adequadas à ocupação** – Compreendem locais que podem ser ocupados sem ou com pequenas restrições na fase de implementação das obras. Essas restrições se fazem no sentido de evitar a ocorrência de fenômenos geodinâmicos resultantes de uma ação técnica inadequada na implantação de determinada obra. Como exemplo pode-se citar: estrangulamentos de drenagens ocasionando inundações, cortes mal dimensionados aumentando o risco de deslizamentos de terra, etc.

2. **Áreas pouco adequadas à ocupação** – Englobam locais que podem ser ocupados, entretanto, apenas mediante verificação de procedimentos técnicos específicos para a implantação das obras. Como exemplo pode-se citar a necessidade de pequenas obras de contenção, instalação de drenagens artificiais (canaletas, valas, etc.), visando estabilizar cortes do terreno ou até mesmo execução de aterros.

3. **Áreas inadequadas à ocupação** – Compreendem locais que mesmo diante da adoção de projetos técnicos específicos não podem ser ocupados. A utilização dessas áreas torna as obras implantadas sujeitas a riscos geotécnicos potenciais (tais como escorregamentos, enchentes, etc.), independentes dos recursos técnicos utilizados. Além disso, essa classe engloba áreas de proteção ambiental, que não devem ser ocupadas.

6 – RESULTADOS

6.1 - Mapa de Declividade

A carta de declividade tem sido considerada um documento básico para o planejamento regional (DE BIASI, 1970). Ela pode ser elaborada a partir do mapa topográfico, mas é preciso definir os intervalos a serem considerados. Estes estão diretamente relacionados ao objetivo da pesquisa, que neste trabalho engloba a caracterização geológico-geotécnica da área para fins de ocupação urbana. Sendo assim, para a definição de intervalos, primeiramente é imprescindível considerar a legislação a cerca do tema.

A Lei Federal Nº 6766 de 1979, que regulamenta a ocupação urbana e define as áreas “*non aedificandi*”, estabelece que áreas com declividades superiores a 30% são não edificáveis, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes. Contudo, há uma brecha na lei, que deixa a critério dos municípios a aceitação da ocupação da faixa de declividade entre 30 e 45%.

No caso de Poços de Caldas, a Lei complementar Nº 18 de 2000, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do município, estabelece regras para esse tipo de ocupação. De acordo com o Art. 42 desta lei, encostas com declividade superior a 30% até o limite de 45%, poderão ser objeto de estudos e investimentos em infraestrutura complementares ao exigido nesta lei, devendo ser acompanhadas de projetos que apresentem soluções tecnicamente viáveis, e de laudo do responsável técnico, comprovando a viabilidade de edificar-se no local e autorização dos órgãos competentes. Já o Art. 37, estabelece que não poderão ser arruados ou sofrer qualquer forma de parcelamento áreas com declividade natural superior a 45%.

Pejon (1992) sugere que os mapas de declividade não contenham mais que seis intervalos, o que poderia gerar grande confusão visual e perda de informações e qualidade do mapa. Assim, o Mapa de Declividade elaborado, apresenta uma subdivisão da área estudada em seis intervalos, definidos a partir na análise da legislação e de trabalhos como Pejon (1992), Zuquete e Gandolfi (2004) e Bonuccelli (1999), que abordam a relação da declividade com a ocorrência de processos geológicos em meio urbano.

O Quadro 12 apresenta os intervalos estabelecidos divididos em três classes, como sugere Zaine (no prelo). Já o Mapa de Declividade produzido encontra-se no Apêndice II.

Quadro 12- Classes de declividade.

N	Intervalos	Classes de declividade
1	Igual ou inferior a 5%	Baixa
2	Maior que 5% e igual ou inferior a 10%	
3	Maior que 10% e igual ou inferior a 20%	Média
4	Maior que 20% e igual ou inferior a 30%	
5	Maior que 30% e igual ou inferior a 45%	Alta
6	Maior que 45%	

6.2 – Sub-zonas Geomorfológicas

Uma compartimentação preliminar foi realizada em um MDT (Modelo Digital de Terreno) e embasando-se em informações de trabalhos anteriores, buscou-se delimitar sub-zonas geomorfológicas. O conceito de sub-zona foi baseado em Vedovello (1993), que determina esse nível taxonômico em função da forma de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à variações tectono-estruturais e de idade geológica.

Para os terrenos de rochas cristalinas, pré-cambrianas, foi utilizada a denominação Sub-zona do Planalto do Maciço Cristalino; já o compartimento definido pela literatura como Planalto de Poços de Caldas foi subdividido nas sub-zonas da Serra Anelar e do Planalto do Maciço Alcalino Interno. As sub-zonas são definidas a seguir e mostradas na Fig. 15:

- **Planalto do Maciço Cristalino** - Compreende a área norte do município, cujas feições geomorfológicas predominantes são morros e morrotes do tipo “meia laranja”, com montanhas de topo aplainado na região oeste, montanhas de topos alongados e restritos (Serrote da Didinha), e montanha isolada de topo restrito (Serra da Boa Vista).

- **Serra Anelar** - Definida pela área centro-norte do município, limitando a caldeira (Planalto do Maciço Alcalino Interno) com o Planalto do Maciço Cristalino. Apresenta estrutura circular, compreendendo montanhas com topos restritos (Serra de Poços de Caldas, Serra de São Domingos - área de localização do Cristo Redentor - e Serra do Selado). O contato com o Planalto do Maciço Cristalino é marcado por patamar/sopé de montanha, definindo uma faixa de transição entre os dois domínios.

- **Planalto do Maciço Alcalino Interno** - Localizado na porção central e sul do município, corresponde à maior porção da área, compreendendo relevo com morros e morrotes de topos arredondados e colinas, apresentando perfis de alteração bem desenvolvidos. São também encontradas grandes áreas planas como planícies aluviais, onde se situa parte da cidade de Poços de Caldas, bem como rampas de colúvio nas proximidades de rios, e domínio de tálus nas encostas das montanhas da Serra Anelar.

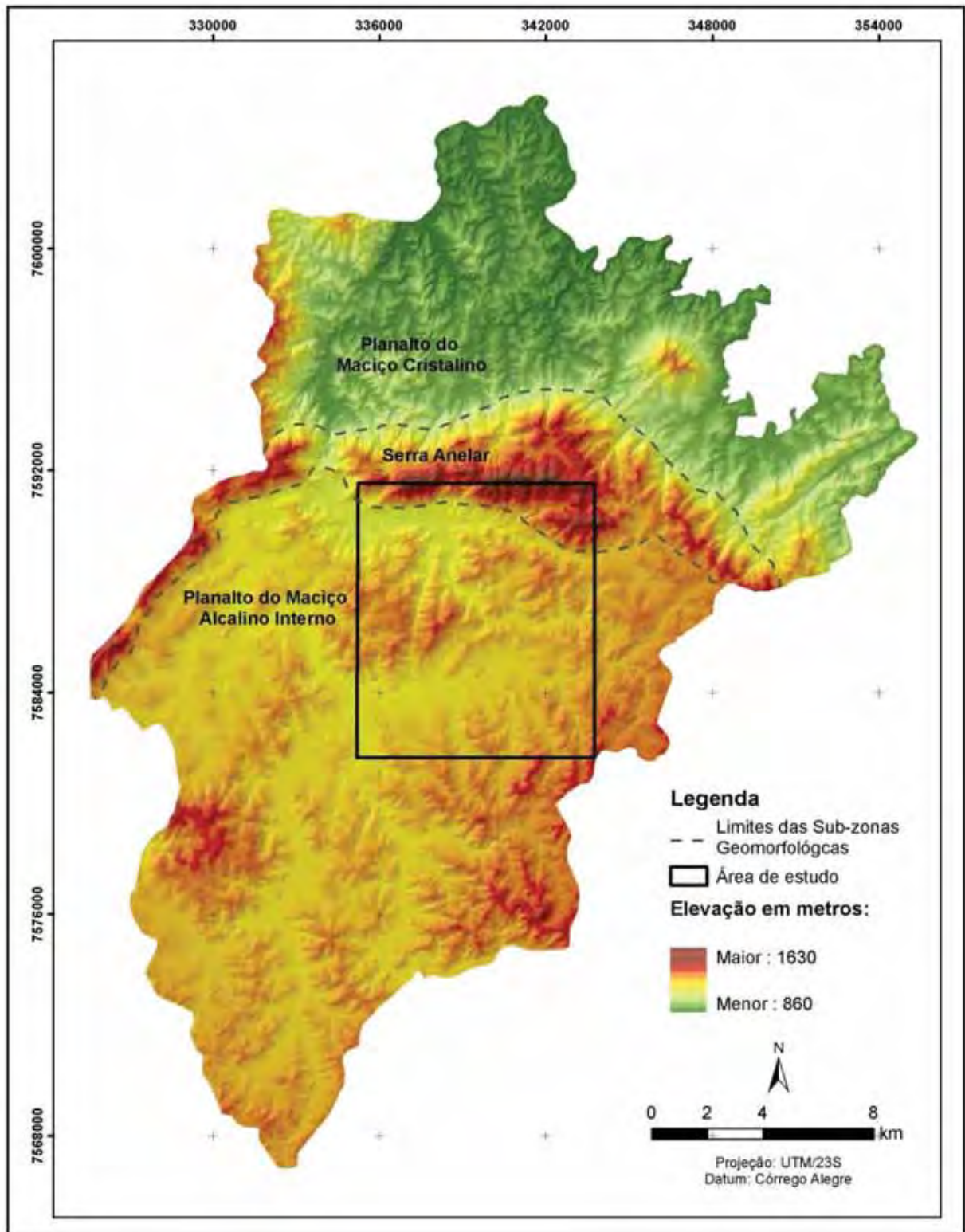


Figura 15 – Sub-zonas geomorfológicas e limites da área de estudo.

6.3 – Unidades Geológico-geotécnicas

As unidades geológico-geotécnicas foram delimitadas a partir da metodologia explicitada no Capítulo 4. Os resultados apresentados se concentram em unidades das Sub-zonas da Serra Anelar e do Planalto do Maciço Alcalino Interno, que englobam parte da área urbana e principais áreas de expansão da cidade, como já explicitado.

Neste sub-capítulo, as unidades são caracterizadas pelas informações obtidas através do processo de fotointerpretação e observações de campo. O Mapa Geológico-geotécnico e a tabela síntese das unidades são apresentados no Apêndice III.

Abaixo seguem as descrições de cada unidade e suas respectivas fichas. A Fig. 16 apresenta sinteticamente a distribuição das unidades na área de estudo.

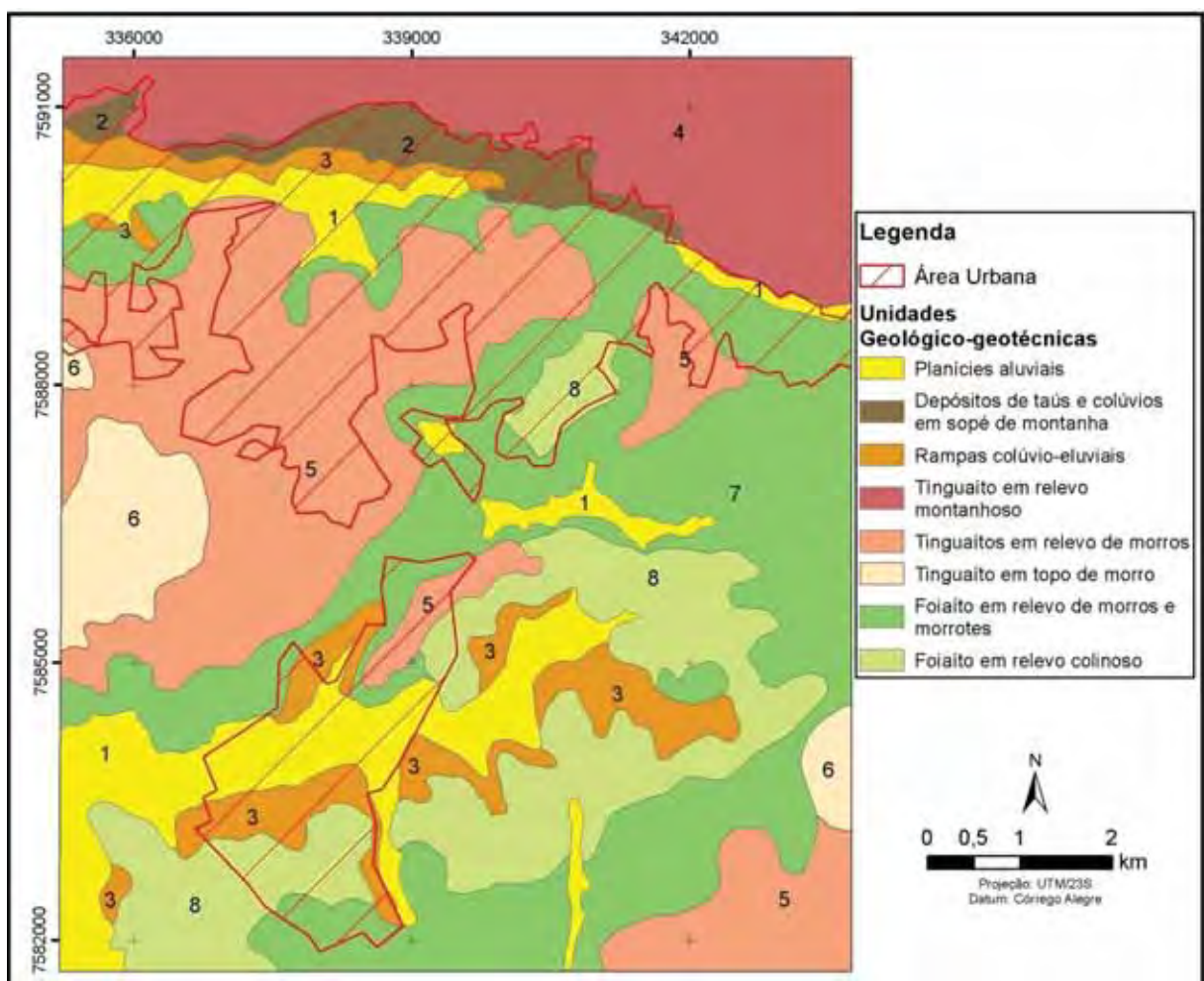


Figura 16 - Distribuição das Unidades na área de estudo.

Unidade 1 – Planícies aluviais

A unidade geológico-geotécnica 1 corresponde às planícies fluviais, ou planícies aluviais (várzeas), dos rios e córregos da porção do Planalto do Maciço Alcalino Interno. Esta unidade aparece associada, principalmente, aos foiaítos.

Estes depósitos quaternários constituem um relevo de agradação que são originados da decomposição e erosão das rochas alcalinas (foiaítos, tinguaitos e fonólitos, dentre outras) e do retrabalhamento e transporte de sedimentos por meio das drenagens.

Os solos apresentam granulometria fina, composição areno-argilosa e são classificados como hidromórficos, glei húmicos e pouco húmicos, com camadas de material orgânico e turfa associados, variando a espessura entre 4 e 6 metros.

A unidade 1 é intensamente ocupada ao longo do Ribeirão de Caldas e do Ribeirão das Vargens, nas proximidades do aeroporto. Há também áreas com atividade agrícola e remanescentes de mata ciliar ao sul. Os córregos da área urbana são canalizados e nota-se ocorrência de assoreamento e erosão das margens em diversos pontos.

No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou baixa densidade de drenagem e de elementos do relevo. A amplitude local é baixa, variando entre 1190 e 1250 metros, assim como a declividade, que em média fica abaixo do 5%.

Os vales foram classificados como abertos, a topia não orientada e o relevo assimétrico.

A Ficha 1 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

FICHA 1- CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 1

PLANÍCIES ALUVIAIS

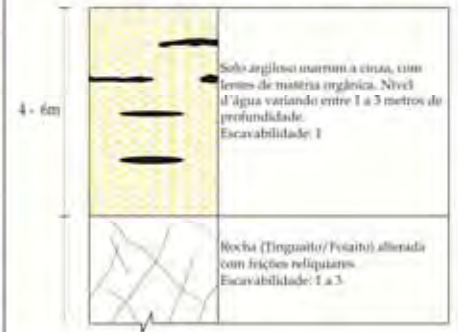
Seção Esquemática do Relevo e Substrato Geológico



☐ Aluvião ☒ Rocha alterada
Variação de altitude na unidade: 1250 - 1190m



Perfil de Alteração



UNIDADE GEOLOGICO- GEOTÉCNICA	GEOLOGIA	RELEVO	SOLO	DENSIDADE DE DRENAGEM	DENSIDADE DE ELEMENTOS DO RELEVO	ALTITUDES/ AMPLITUDE DE RELEVO	DECLIVIDADE MÉDIA	PERFIL DAS ENCOSTAS	FORMA DOS TOPOS	FORMA DOS VALES	TIPOIA	SIMETRIA
Unidade 1 Planícies aluviais	Aluvião	Planície aluvial	Aluvião hidromórfico, com camadas de material orgânico e turfa associadas.	Baixa	Baixa	1190 - 1250 m Pequena	0 - 5% Baixa	-	-	Abertice	Não Orientada	Muito Assimétrica

Figura 17 - Ficha 1 - Unidade 1. Planícies aluviais

Unidade 2 – Depósitos de talús e colúvios em sopé de montanha

A unidade 2 pertence a sub-zona da Serra Anelar e corresponde às superfícies inclinadas localizadas entre o relevo montanhoso da unidade 4 e as áreas com topografia mais suave das unidades 3 e 7.

Os depósitos de talús, comuns em encostas, são resultados do transporte por gravidade de blocos e areias vindos do topo, que se depositam na base. Eles foram mapeados como uma faixa situada junto ao limite norte da área urbana com a mata da Serra de São Domingos. São materiais detríticos, com blocos de rocha de tamanhos variados dispostos de forma desordenada em solo laterítico-bauxítico, com espessuras médias de 2 a 10 metros.

A declividade da área é média e varia entre 10 e 20%. As porções menos íngremes foram parcialmente ocupadas pelos bairros do limite norte da cidade.

No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou densidade de drenagem média e de elementos do relevo média-baixa. A amplitude local também é média, variando entre 1220 e 1300 metros.

As encostas são côncavas e os vales foram classificados como abertos em U. A unidade apresenta tropia não orientada e o relevo muito assimétrico.

A Ficha 2 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

FICHA 2 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 2

DEPÓSITOS DE TALÚS E COLÚVIOS EM SOPÉ DE MONTANHA

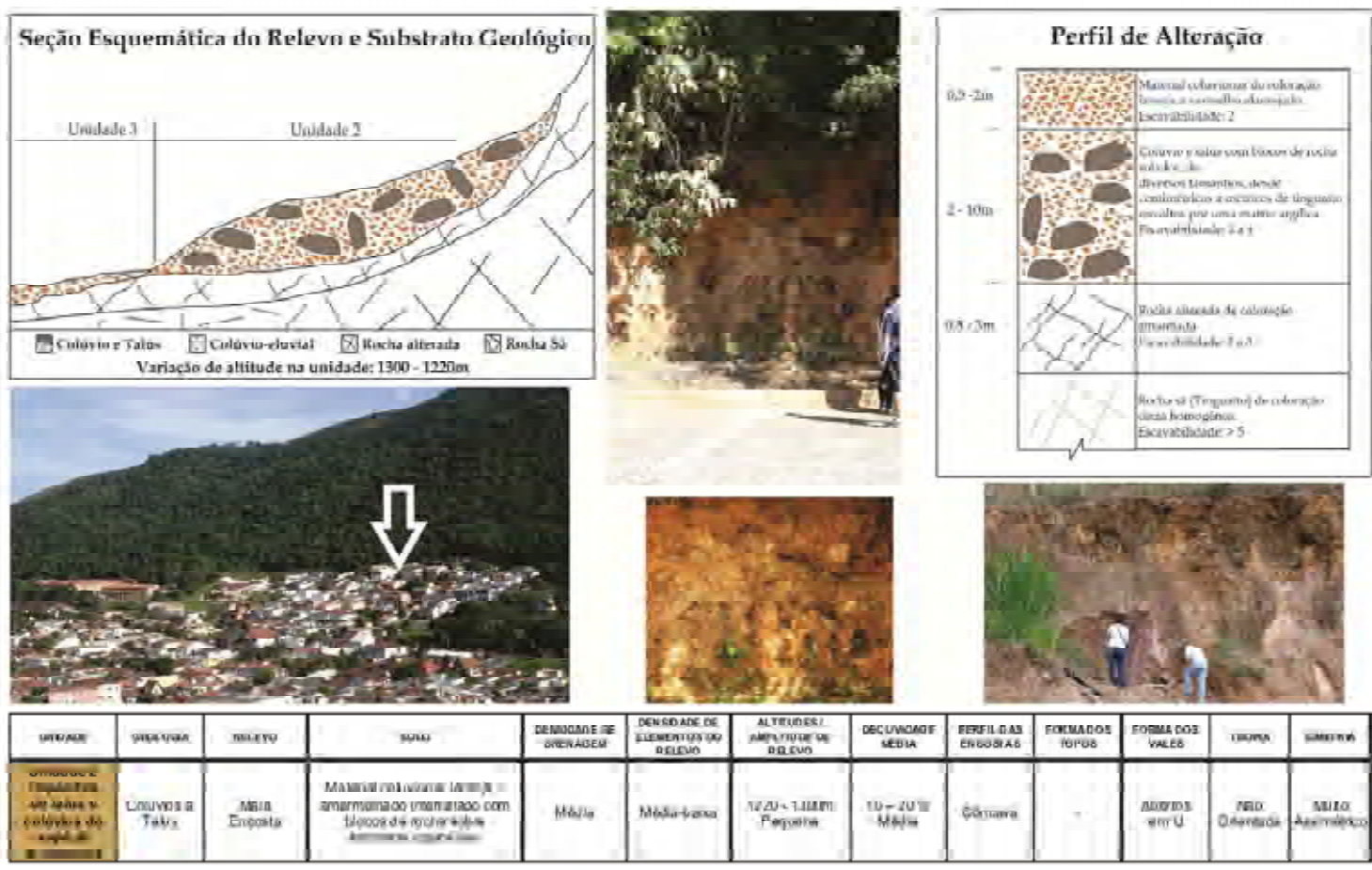


Figura 18 - Ficha 2 - Unidade 2. Depósitos de talús e colúvios em sopé de montanha

Unidade 3 – Rampas colúvio-eluviais

Esta unidade, inserida na sub-zona do Planalto do Maciço Alcalino Interno, corresponde a superfícies suavemente inclinadas em situação de baixa encosta e situa-se margeando as planícies aluviais.

Ao norte ela se limita aos depósitos de talús e colúvios e ao sul aos foiaítos em relevo colinoso e de morros e morrotes. Essa associação de unidades ao sul caracteriza vales bastante abertos e amplos no interior do Planalto.

No perfil de alteração, é possível observar que os materiais constituintes dessa unidade são argilosos e síltico-argilosos, originados pela decomposição e transporte das rochas alcalinas: foiaítos, tinguaitos e fonólitos, dentre outras.

A unidade 3 é intensamente ocupada nas áreas próximas a região central do município e nos bairros vizinhos ao aeroporto. No entanto, grande parte de sua área é ocupada por atividades agrícolas. A topografia suave e a posição topográfica são fatores que favorecem sua ocupação e diferentes tipos de usos do solo.

No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou baixa densidade de drenagem e de elementos do relevo. A amplitude local é pequena, variando entre 1200 e 1270 metros. A declividade é baixa, ficando entre 5 e 10%.

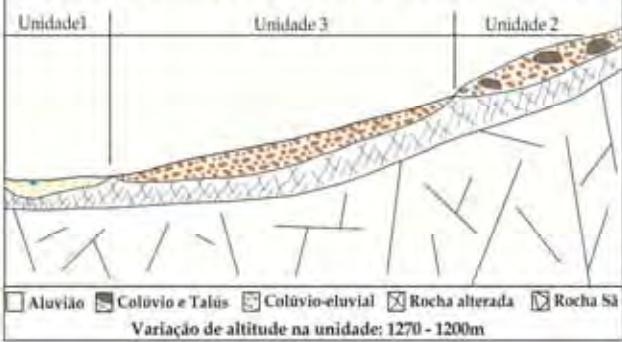
As encostas foram classificadas como convexo-retilíneas e os vales abertos em U. A unidade apresenta topos aplainados, tropia não orientada e o relevo muito assimétrico.

A Ficha 3 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

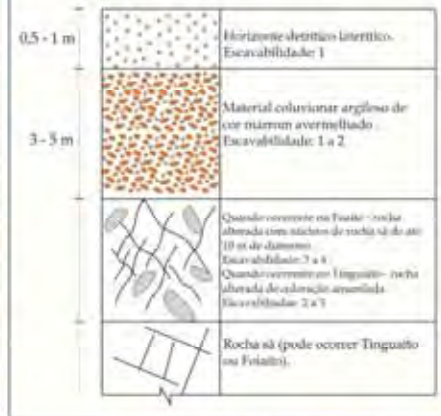
FICHA 3 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 3

RAMPAS COLÚVIO-ELUVIAIS

Seção Esquemática do Relevo e Substrato Geológico



Perfil de Alteração



UNIDADE	GEOLOGIA	RELEVO	SOLO	DENSIDADE DE DRENAGEM	DENSIDADE DE ELEMENTOS DO RELEVO	ALTITUDES / AMPLITUDE DE RELEVO	DECLIVIDADE MÉDIA	PERFIL DAS ENCOSTAS	FORMA DOS TOPOS	FORMA DOS VALES	TORNA	SIMETRIA
Unidade 3 Rampas colúvio-eluviais	Depósitos associados à planícies	Rampas suaves	Horizonte detritico sobre solo coluvionar argiloso de cor marrom avermelhado e equívolo de saprótilo com núcleos de rocha sã.	Baixa	Baixa	1200 - 1270m Pequena	5 - 10% Baixa	Convexo-retilínea	Agilizada	Abertos em U	Não Orientada	Muito Assimétrica

Figura 19 - Ficha 3 - Unidade 3. Rampas colúvio-eluviais

Unidade 4 – Tinguaitos em relevo montanhoso

A unidade geológico-geotécnica 4 ocorre na porção norte da área de estudo e está inserida no contexto geomorfológico local da Serra Anelar, abrangendo a região das serras de São Domingos e do Selado.

A litologia dominante é rocha alcalina tinguaito e seu perfil de alteração varia de rocha sã sub-aflorante até porções com solos coluvionar (bauxítico), com 2 a 4 metros de espessura. O tinguaito é uma rocha de textura fina, cor cinza a preta, homogênea, com fraturas em planos bem definidos. Quando alterado, apresenta cores amareladas a ocre.

A unidade é predominantemente recoberta por mata nativa e áreas de reflorestamento, no entanto, nota-se claramente que há uma tentativa de ocupação invadindo áreas de preservação permanente e ultrapassando os limites do Parque Municipal da Serra de São Domingos. Há também vários pontos de exploração de bauxita, principalmente nas áreas a nordeste, onde se tem um horizonte de solo rico em lateritas com alumínio.

A unidade 4 apresenta é a que apresenta maior declividade, variando na média entre 30 e 45%. Sua amplitude local também é a maior, com cotas entre 1300 – 1630 metros. O relevo proeminente contrasta com as feições mais suavizadas do Planalto do Maciço Alcalino Interno.

O relevo montanhoso possui vales encaixados com topos restritos e angulosos, na forma de cristas alongadas, com rocha aflorante em alguns locais, na forma de lajedos e blocos, nas regiões de topo de montanha e nas vertentes com declividade mais acentuada.

No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou alta densidade de drenagem e média-alta de elementos do relevo. As encostas foram classificadas como convexo-retilíneo-côncava. A unidade é a única que apresenta tropia orientada e relevo simétrico.

A Ficha 4 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

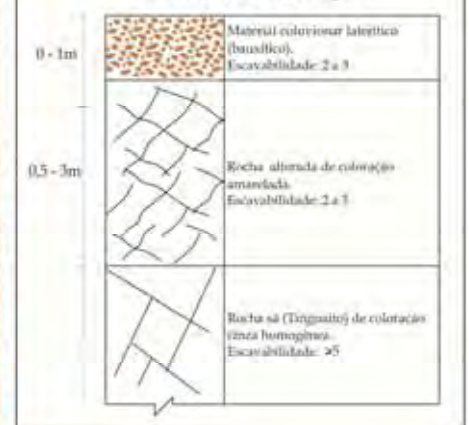
FICHA 4 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 4

TINGUAÍTOS EM RELEVO MONTANHOSO

Seção Esquemática do Relevo e Substrato Geológico



Perfil de Alteração



UNIDADE GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	OROGÊNESE	RELEVO	SOLO	DENSIDADE DE DRENAGEM	DENSIDADE DE ELEMENTOS DO RELEVO	ALTITUDES / AMPLITUDE DE RELEVO	DECUVIDADE MÉDIA	PERFIL DAS ENCOSTAS	FORMA DOS TOPOS	FORMA DOS VALES	TORÇÃO	SIMETRIA
Unidade 4 - Tinguaitos em relevo montanhoso	Tinguaitos	Montanhoso	Material coluvionar laterítico, seguido de saprólito na cor amarelada e afloramento da rocha sã.	Alta	Média-alta	1300 - 1630 m Grande	30 - 45% Alta	Convexa - reticulada-concava	Restritos angulosos	Fechados	Orientada	Simétrica

Figura 20 - Ficha 4 - Unidade 4. Tinguaitos em relevo montanhoso

Unidade 5 – Tínguaítos em relevo de morros

A unidade 5 se distribui pela área de estudo, com destaque topográfico no interior do Planalto do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. Tal terreno tem como seu substrato geológico tinguaítos e intercalações de tinguaítos e foiaítos.

O perfil de alteração das rochas nesta unidade é variado, apresentando desde rocha aflorante a sub-aflorante, solos coluvionares laterítico, aluminosos, onde existem algumas lavras de bauxita. Os tinguaítos dessa unidade apresentam-se intensamente fraturados, em planos bem definidos. Observa-se uma alta densidade de drenagem em vales encaixados nessas fraturas e inúmeros pontos de nascentes.

A ocupação nesta unidade é em parte pela área urbana, onde as ruas têm trechos bastante íngremes e as construções se encaixam nas vertentes inclinadas, com muitos cortes em solo e rocha. Foram visualizadas inúmeras áreas de aterro, principalmente nas proximidades do Córrego do Vai-e-volta, onde vem ocorrendo a expansão de novos bairros. Na área rural existem muitas áreas de reflorestamento e alguns pontos de mineração de bauxita.

No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou alta densidade de drenagem e média-alta de elementos do relevo. A amplitude local é média, variando entre 1250 e 1470. A declividade também é média, entre 20 e 30%, mas há encostas em que ultrapassa os 45%.

As encostas foram classificadas entre retilíneas e côncavas e os vales fechados. A unidade apresenta topos arredondados, topia pouco orientada e o relevo pouco assimétrico.

A Ficha 5 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

FICHA 5 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 5

TINGUAÍTOS EM RELEVO DE MORROS

Seção Esquemática do Relevo e Substrato Geológico



Perfil de Alteração



UNIDADE	GEOLOGIA	RELEVO	SOLO	DENSIDADE DE URBANIZAÇÃO	DENSIDADE DE ELEMENTOS DO RELEVO	ALTITUDE/AMPLITUDE DE RELEVO	DECLIVIDADE MÉDIA	PERFIL DAS ENCURTAS	FORMA DOS MORROS	FORMA DOS VÁZIOS	TORRA	SIMETRIA
Unidade 5 Tinguaítos em relevo de morros	Domínio da Tinguaítos	Morros	Majoritariamente solos arenosos, seguida de saprolite na zona amarela e a formação de argilas	Alta	Médo alta	1.250 - 1.470 m Média	20 - 30% Média - Alta	Asimétrico e Concavo	Arredondados	Fachos dos	Perua-Quartada	Parcialmente Assimétrico

Figura 21 - Ficha 5 - Unidade 5. Tinguaítos em relevo de morros

Unidade 6 – Tinguaitos em topo de morro

A unidade 6 pertence a sub-zona do Planalto do Maciço Alcalino de Poços de Caldas e corresponde às áreas que tem como seu substrato geológico tinguaitos mais alterados, formando topos de morros mais extensos e suavizados.

Seu perfil de alteração é mais espesso que nas outras unidades com embasamento de tinguaitos, apresentando um material coluvionar intercalado com concreções lateríticas sobre rocha alterada de coloração avermelhada que pode alcançar até 8 metros de profundidade. A presença de mais solo garante a essa unidade formas convexas menos íngremes.

A ocupação nesta unidade é quase que exclusivamente rural, com fazendas que cultivam eucaliptos e soja.

No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou média densidade de drenagem e de elementos do relevo. A amplitude local também é média, variando 1300 e 1420 metros e a declividade permanece entre 10 e 20%.

As encostas foram classificadas como convexas e os vales abertos. A unidade apresenta topos arredondados, topia pouco orientada e o relevo pouco assimétrico.

A Ficha 6 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

FICHA 6 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 6

TINGUAÍTO EM TOPOS DE MORROS

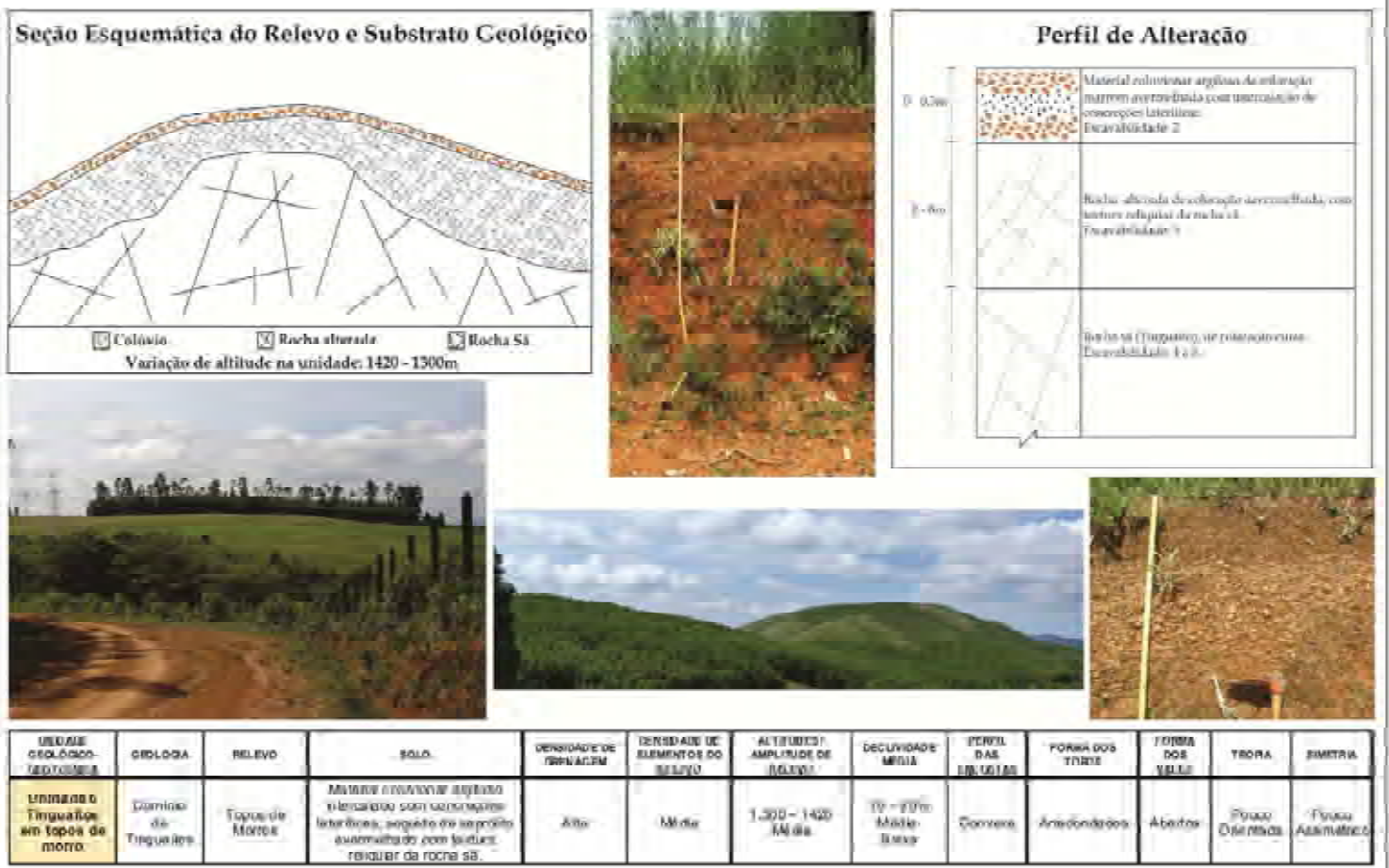


Figura 22 - Ficha 6 - Unidade 6. Tinguaito em topos de morro

Unidade 7 – Foiaítos em relevo de morros e morrotes

A unidade 7 se distribui por toda a área de estudo e pertence a sub-zona do Planalto do Maciço Alcalino Interno. As rochas dominantes neste terreno são os foiaítos, que caracterizam-se como rochas de textura média a grossa, cinza a rósea (alterada).

O perfil de alteração pode variar, apresentando alguns trechos bem desenvolvidos com horizontes espessos de saprólito e rocha alterada e outros com foiaítos pouco alterados e núcleos de rocha sã aflorantes. Os solos são argilosos, residuais a coluvionares, róseos e esbranquiçados, provavelmente cauliníticos. A maior parte das encostas dessa unidade apresenta processos de rastejo e feições erosivas nas drenagens.

Esta unidade é ocupada em parte pela área urbana (expansão da área central) e pelos bairros vizinhos ao aeroporto. Nas áreas rurais do centro e no sul do município são encontradas áreas de cultivo anual, pastagens e reflorestamento com eucaliptos. Também foram registrados locais de extração de bauxita.

No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou média densidade de drenagem e de elementos do relevo. A amplitude local também é média, variando 1230 e 1390 metros e a declividade permanece entre 10 e 20%.

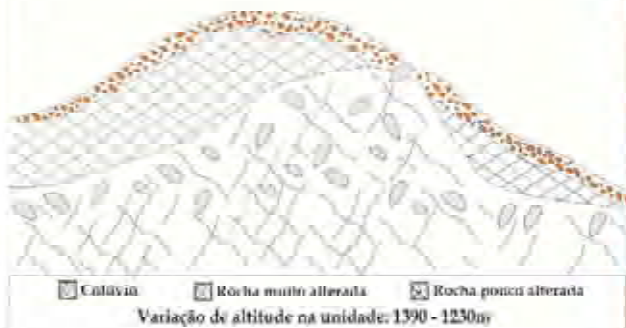
As encostas foram classificadas como convexas e os vales abertos. A unidade apresenta topos arredondados, topia não orientada e o relevo assimétrico.

A Ficha 7 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

FICHA 7 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 7

FOIAITOS EM RELEVO DE MORROS E MORROTES

Seção Esquemática do Relevo e Substrato Geológico



Perfil de Alteração



UNIDADE GEOLOGICO-GEOTÉCNICA	GEOLOGIA	RELEVO	SOLO	DENSIDADE DE DRENAGEM	DENSIDADE DE ELEMENTOS DO RELEVO	ALTITUDE/AMPLITUDE DE RELEVO	DECIVIDADE MÉDIA	DETLIL DAS ENCOSTAS	FORMA DOS TOROS	TIPO DOS VALES	TORRA	SIMETRIA
Unidade 7: Foiaitos em relevo de morros e morrotes	Foiaitos	Morros e morrotes	Materiais catápticos de origem local, predominantemente argilosos, com estrutura relíquia preservada, inserida de blocos de rocha não preservados.	Média	Média	1250 - 1390 m Média	10 - 20% Média	Conveca	Arredondados	Abertos	Não Orientados	Assimétrico

Figura 23 - Ficha 7 - Unidade 7. Foiaitos em relevo de morros e morrotes

Unidade 8 – Foliaitos em relevo colinoso

A unidade geológico-geotécnica 8 está inserida na sub-zona do Planalto do Maciço Alcalino Interno e corresponde a um relevo com encostas mais suavizadas, convexas com topos arredondados e extensos relacionados ao perfil de alteração profundo.

O perfil composto de material coluvionar laterítico avermelhado e rocha alterada pode alcançar 10 metros de profundidade. A unidade concentra-se ao redor da planície aluvial e rampas de colúvio na parte centro-sul da área de estudo, ocorrendo também em meio aos foliaitos da unidade 7 na área urbana .

Sua ocupação é variada, ocorrendo indústrias ao longo da Rodovia do Contorno e nas proximidades do Ribeirão das Antas (ALCOA), bairros residenciais próximos ao aeroporto e a Represa Saturnino de Brito e atividades agrícolas no restante da área.

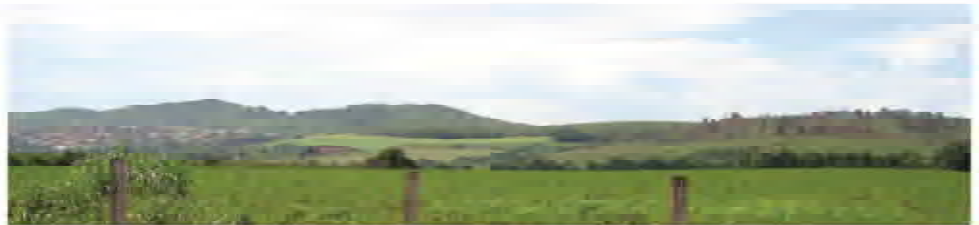
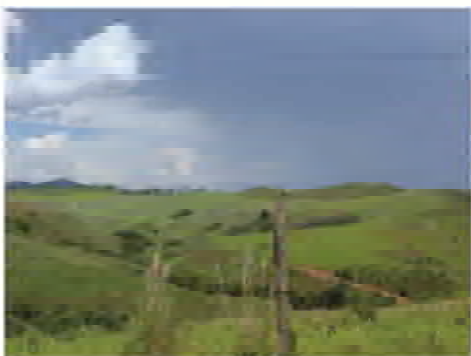
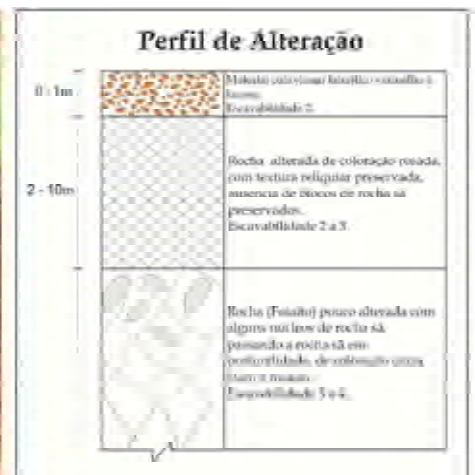
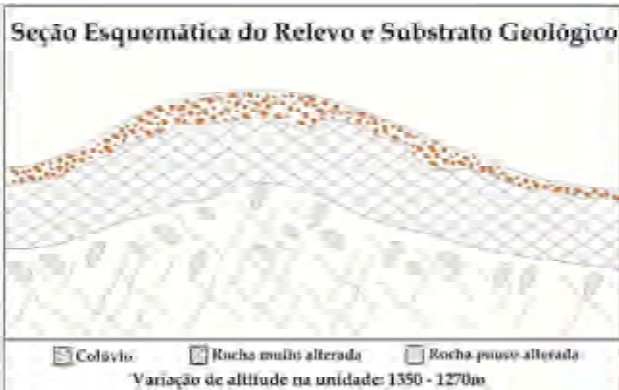
No processo fotointerpretativo, essa unidade apresentou baixa densidade de drenagem e média-baixa de elementos do relevo. A amplitude local é pequena, variando 1270 e 1350 metros e a declividade permanece entre 10 e 20%, com grandes áreas mais aplainadas abaixo de 10%.

As encostas foram classificadas como convexas e os vales abertos. A unidade apresenta topos arredondados, topia não orientada e o relevo assimétrico.

A Ficha 8 apresenta uma seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração, uma tabela síntese de suas características e imagens da área.

FICHA 8 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE 8

FOIAITOS EM RELEVO COLINOSO



UNIDADE DE RELEVAMENTO	GEOLÓGICA	RELEVAMENTO	RELEVO	ORIENTAÇÃO DE INCLINAÇÃO	DENSIDADE DE ELEMENTOS DO RELEVO	ALTITUDE / AMPLITUDE DO RELEVO	DECLIVIDADE MÉDIA	PERFIL DAS ESPERANÇAS	FORMAS TÍPICAS	FORMA DO VÁLE	TERRA	ORIENTAÇÃO
Unidade 8 - colinas em relevo colinoso	Foiaitos	Colinas	Muito alterada com fraturas e colúvio no topo.	Bacia	Muito densa	1270 - 1350m Disparidade	10 - 20% Muito	Colúvio	Aredondados	Abaixos	Terro Inclinação	Assimétrico

Figura 24 - Ficha 8 - Unidade 8. Foiaitos em relevo colinoso

6.4 – Mapeamento das fraturas

Como já explicitado no Capítulo 3, o interior do planalto do Maciço Alcalino de Poços de Caldas apresenta um grande número de fraturas que cortam todo o complexo. Considerado o fato de que essas feições estão diretamente relacionadas a permeabilidade e conseqüentemente a relação escoamento/infiltração, o mapeamento das mesmas tornou-se imprescindível.

A identificação das principais fraturas foi realizada na etapa de fotointerpretação, no entanto foi complementada com dados de Etchebehere (1990), que elaborou um mapeamento de lineamentos focando a permeabilidade da área. O autor estudou detalhadamente a freqüência, densidade e intersecções dessas feições buscando entender a circulação da água e a ocorrência de águas subterrâneas. A Fig. 25 ilustra a distribuição das fraturas nas unidades geológico-geotécnicas.

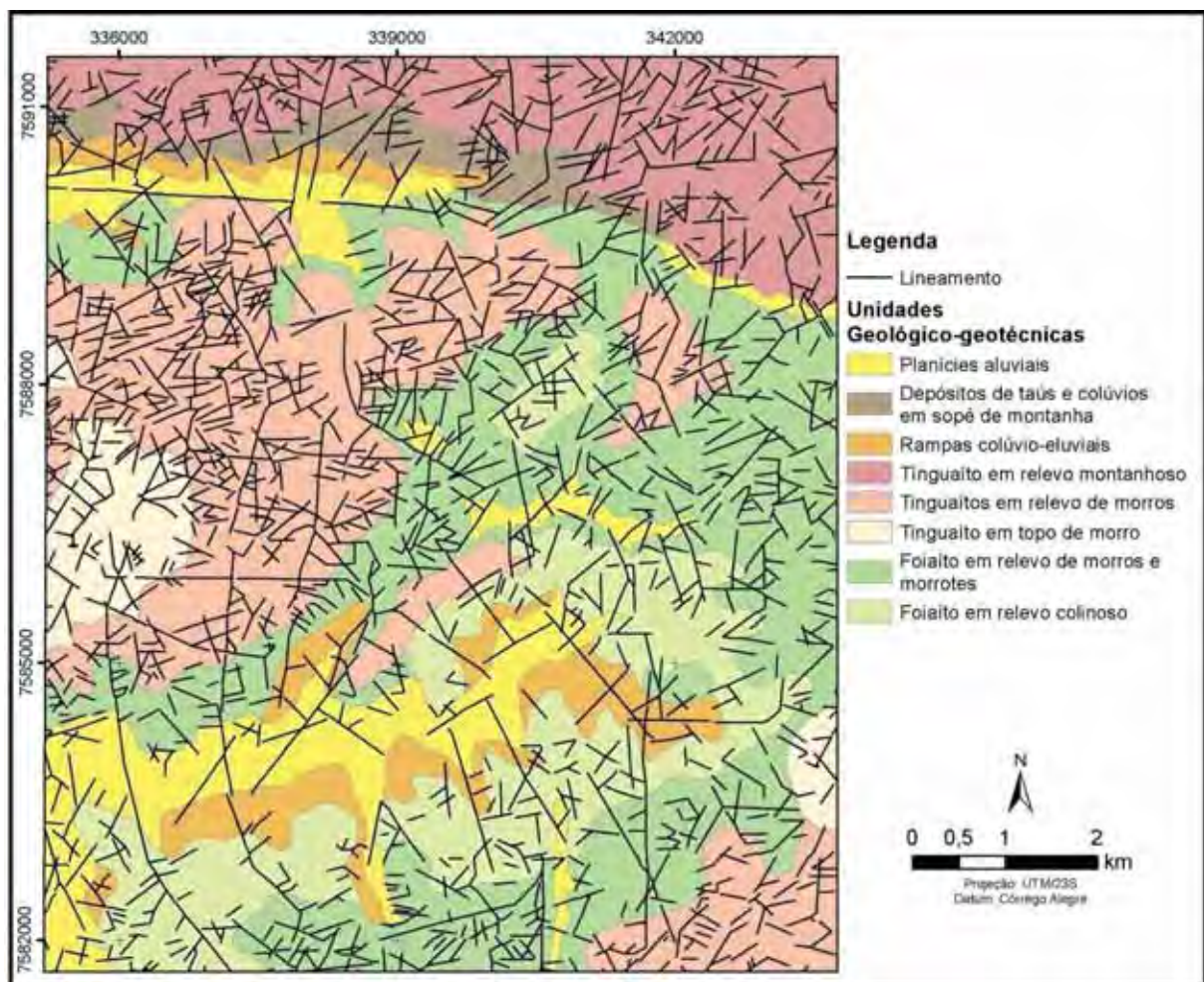


Figura 25 – Distribuição das fraturas nas unidades geológico-geotécnicas.

Devido ao grande número de feições, optou-se por realizar uma análise quantitativa para aferir com precisão a ocorrência das mesmas. Através do software ArcGis 9.3, já com as informações em formato digital, foi realizado um cálculo de densidade por unidade geológico-geotécnica, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Densidade de fraturas por unidade geológico-geotécnica

Unidades	Densidade de fraturas em m/10.000m²
1 - Planícies aluviais	-
2 - Depósitos de taús e colúvios em sopé de montanha	-
3 - Rampas colúvio-eluviais	-
4 - Tinguaitos em relevo montanhoso	79,82
5 - Tinguaitos em relevo de morros	93,03
6 – Tinguaito em topo de morros	77,13
7 - Foiaíto em relevo de morros e morrotes	75,63
8 - Foiaíto em relevo colinoso	59,03

O cálculo se restringiu as unidades de 4 a 8, pois como já evidenciado anteriormente, unidades constituídas por aluviões, colúvios e talús englobam materiais transportados recentes, ou seja, provavelmente representam feições do embasamento geológico da área.

Visualmente é possível notar a grande concentração de fraturas nas unidades com embasamento de tinguaitos, que é confirmada pelos dados da tabela. A unidade 5 - Tinguaitos em relevo de morros, apresenta a maior densidade de feições, seguida pelas unidades 4 e 6 de mesmo embasamento. Observa-se que na unidade 5, além da grande quantidade de fraturas, há inúmeras intersecções entre elas, o que proporciona maior permeabilidade.

Para a classificação de grau de fraturamento e também de permeabilidade fissural, a unidade 5 foi considerada o padrão para a classe mais alta e a unidade 8 o padrão para a classe mais baixa (Quadro 13). É importante destacar que essa classificação é relativa às características específicas dessa área.

Quadro 13 - Classificação das unidades geológico-geotécnicas quanto ao grau de fraturamento e permeabilidade fissural.

Unidades	Grau de Fraturamento	Permeabilidade Fissural
1 - Planícies aluviais	-	-
2 - Depósitos de taús e colúvios em sopé de montanha	-	-
3 - Rampas colúvio-eluviais	-	-
4 - Tínguaitos em relevo montanhoso	Médio	Média
5 - Tínguaitos em relevo de morros	Alto	Alta
6 – Tínguaíto em topo de morros	Médio	Média
7 - Foaíto em relevo de morros e morrotes	Médio	Baixa
8 - Foaíto em relevo colinoso	Baixo	Baixa

6.5 – Caracterização Geotécnica

A partir da análise dos elementos fotointerpretados e informações complementares de campo, foi possível caracterizar as unidades geológico-geotécnicas quanto a suas propriedades geotécnicas.

Ressalta-se mais uma vez que essas propriedades foram selecionadas devido a relação existente entre elas e os fatores condicionantes da ocupação urbana, aqui considerados: a ocorrência de processos geológicos (erosão, escorregamentos, inundações, etc.) e a potencialidade de manejo dos materiais constituintes das unidades (movimentos de terra, escavabilidade, etc.).

Dentre as seis propriedades escolhidas para a caracterização geotécnica, nota-se que pelo menos quatro tem relação direta com a declividade (relação escoamento superficial / infiltração; espessura do manto de alteração; alterabilidade e ocorrência de processos geológicos). Assim, o mapa de declividade foi fundamental para a definição desses resultados.

Além das propriedades geotécnicas, o trabalho de campo possibilitou a observação dos tipos de ocupação e as interferências geradas em cada unidade. O Quadro 14 apresenta de maneira sintética a caracterização geotécnica de cada unidade.

Quadro 14 - Caracterização das unidades quanto a suas propriedades geotécnicas.

UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	PERMEABILIDADE FISSURAL	PERMEABILIDADE INTRAGRANULAR	RELAÇÃO ESCOAMENTO SUPERFICIAL / INFILTRAÇÃO	ESPESSURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO	ALTERABILIDADE	GRAU DE FRATURAMENTO	PROCESSOS GEOLÓGICOS	TIPO DE OCUPAÇÃO
Unidade 1 Planícies aluviais	-	Alta	Baixa	Raso	Alta	-	- Erosão fluvial - Assoreamento - Enchentes	Urbana e Agrícola
Unidade 2 Depósitos de talús e colúvios em sopé de montanhas	-	Média	Média	Raso	Alta	-	-Queda de blocos - Escorregamento - Rastejo	Urbana e Mata
Unidade 3 Rampas colúvio-eluviais	-	Média	Baixa	Raso	Alta	-	- Erosão - Sulcamento	Urbana e Agrícola
Unidade 4 Tinguitos em relevo montanhoso	Média	-	Alta	Raso / Rocha Aflorante	Baixa	Médio	-Queda de blocos - Escorregamento - Rastejo - Ravinamento	Mata Nativa / Reflorestamento
Unidade 5 Tinguitos em relevo de morros	Alta	-	Médio-alta	Pouco espesso	Média	Alto	-Queda de blocos - Escorregamento - Ravinamento	Urbana e Agrícola
Unidade 6 Tinguitos em topos de morro	Média	Baixa	Média	Espesso	Alta	Médio	- Rastejo	Agrícola
Unidade 7 Foiaitos em relevo de morros e morrotes	Baixa	Média	Médio - alta	Pouco espesso	Alta	Médio	- Rastejo - Escorregamento - Sulcamento - Ravinamento	Urbana e Agrícola
Unidade 8 Foiaitos em relevo colinoso	Baixa	Média	Baixa	Espesso	Alta	Baixo	- Erosão laminar -Sulcamento - Ravinas	Urbana e Agrícola

Unidade 1 – Planícies aluviais

A planícies aluviais apresentam alta permeabilidade intragranular e graças a declividade entre 0 e 5%, o escoamento superficial é baixo.

Os solos dessa unidade são classificados como hidromórficos, glei húmicos e pouco húmicos, com camadas de material orgânico e turfa associados. Esses materiais são muito pouco coesos, com o nível d'água subterrâneo muito próximo à superfície (< 2 metros), conferindo um grau de escavabilidade baixa (= 1: friável e fluente), que torna instáveis as paredes das escavações.

Esses terrenos caracterizam-se por baixa capacidade de suporte, por exemplo, para construções e pavimentos de vias, e de difícil esgotamento sanitário pela proximidade do corpo d'água.

A unidade 1 apresenta bairros urbanos em 44% de sua área e os principais processos geológicos ocorrentes são: erosão fluvial (erosão e solapamento das margens), deposição/assoreamento do leito, enchentes e inundações nas áreas marginais ou várzeas, comuns nos períodos chuvosos e em eventos pluviométricos mais intensos. A Fig. 26 ilustra alguns dos problemas encontrados na área.

Durante o trabalho de campo foram identificados inúmeros pontos de erosão nas margens dos rios tanto na área central quanto nas proximidades do aeroporto. Neste último local ocorre um processo de assoreamento avançado e inundações freqüentes verificadas pelos relatos de moradores e marcas de água nos muros das residências vizinhas ao córrego.



Figura 26 - A. Rachaduras na rua em decorrência da erosão das margens de um córrego no Jd. Kennedy; B. Erosão na margem do Ribeirão dos Poços; C. Erosão das margens e material arrastado por enchente em afluyente no Córrego das Vargens; D. Assoreamento em córrego próximo ao aeroporto.

Unidade 2 – Depósitos de talús e colúvios em sopé de montanha

A unidade 2 apresenta permeabilidade intragranular média, mas em grandes eventos pluviométricos, pode absorver muita água, perdendo sua capacidade de carga e sustentação.

A relação escoamento superficial / infiltração é média e o manto de alteração é espesso, sendo superior a 10 metros de profundidade em alguns pontos.

A alterabilidade é alta e durante o campo foram observadas edificações danificadas com rachaduras e desmoronamentos. Cortes mal executados para

implementação de obras num corpo de tálus podem alterar sua estabilidade e gerar processos como queda de blocos e escorregamentos agravados por chuvas intensas e prolongadas.

O materiais heterogêneos que compõem essa unidade, sendo desde solo coluvionar leterítico até blocos de rocha são rolados, apresentam grau de escavabilidade entre 2 e 4.

Os principais processos geológicos que podem ocorrer nesta unidade são: feições de rastejo (movimentos lentos de encosta), escorregamentos e as queda de blocos. Algumas feições de instabilidade foram registradas em taludes de cortes. Apesar dessas condições, essa é a unidade com maior porcentagem de urbanização, com 88%. A Fig. 27 ilustra situações encontradas em campo da unidade 2.



Figura 27 - A. Muro de gabiões amparando residência em corte instável de talude; B. Corte mal executado em encosta com depósito de talús gerando área de instabilidade.

Unidade 3 – Rampas colúvio-eluviais

A unidade tem 48% de sua área urbanizada, sendo a segunda unidade mais ocupada da área de estudo.

As rampas colúvio-eluviais apresentam média permeabilidade intragranular e baixo escoamento superficial. A declividade entre 5 e 10% é um atrativo para a ocupação urbana que vem aumentando ao longo dos anos.

O manto de alteração é pouco espesso, limitando-se entre 3 e 5 metros. Esta unidade apresenta alta alterabilidade e o sulcamento em áreas de solo exposto é o principal processo geológico registrado. Foram também verificados depósitos de materiais oriundos de encostas mais íngremes.

O solo coluvionar apresenta grau de escavabilidade entre 1 e 2, podendo gerar instabilidade das paredes de escavação em determinados pontos. A Fig. 28 mostra processo erosivo em fase inicial encontrado na unidade.



Figura 28 - Área de corte e rapagem em rampa-coluvial próxima ao aeroporto com início de processo erosivo em solo exposto.

Unidade 4 – Tinguaitos em relevo montanhoso

A unidade 4 apresenta uma declividade bastante elevada e conseqüentemente um escoamento superficial alto e um manto de alteração raso com rocha aflorante. O grau de fraturamento é médio, refletindo sua característica rúptil. A permeabilidade fissural também foi classificada como média.

A área apresenta baixa alterabilidade e o grau de escavabilidade pode ser superior a 5 em pontos de rocha sã, sendo escavável apenas com explosivos.

Os processos observados foram, essencialmente, queda de blocos, em taludes de cortes em alguns locais com rocha aflorante, feições de rastejo de solo. e o ravinamento ao longo das drenagens.

A unidade tem alguns pontos de exploração de bauxita, onde ocorre a retirada da camada superficial mineralizada, implicando em cortes de terreno com declividades superiores a 20% e exposição de materiais inconsolidados mais susceptíveis à erosão e aos desmoronamentos.

Os bairros residenciais, que ocupam cerca de 3% dessa unidade, apresentam rachaduras no asfalto e algumas residências têm obras de drenagem (“túneis”) em suas fundações por onde passam canais vindos do topo da montanha. Essa situação gera riscos graves em episódios de chuvas intensas.

Além disso, a unidade abriga a área do Parque Municipal da Serra de São Domingos e encostas com declividade superior a 45% consideradas áreas de preservação e impróprias a ocupação. A Fig. 29 ilustra situações encontradas em campo.



Figura 29 - A. Canal de drenagem passando entre as casas; B. Ravinamento em canais de drenagem; C. Feições de rastejo; D. Bloco de tinguaito rolado.

Unidade 5 – Tinguaiço em relevo de morros

Essa unidade representa uma importante área de recarga dos aquíferos do município pois concentra uma grande densidade de fraturas e conseqüentemente apresenta alta permeabilidade fissural. Apesar da grande capacidade de infiltração, a elevada declividade favorece o escoamento superficial, evidenciado pelos inúmeros canais que se formam durante a precipitação.

O alto grau de fraturamento reflete sua alta ruptibilidade. Ao solo de alteração laterítico, assim como aos horizontes saprolíticos, pode-se atribuir um grau de escavabilidade de 2 a 3. Logo abaixo da laterita ocorre um horizonte com mesmos valores de escavabilidade. Nas porções com ocorrência de rocha pouco alterada a sã junto à superfície, existe um grau de dificuldade maior para escavar, sendo que essas áreas estão situadas nas porções com maior declive e também em algumas áreas de topo.

Nesta unidade, 41,5% da área é ocupada pela urbanização. Foram observadas muitas áreas de expansão com bairros novos sendo construídos em vertentes íngremes e topos de morros com alta densidade de nascentes. Há inúmeros aterros com solo exposto para terraplenagem e abertura de vias, onde podem ocorrer sulcos erosivos. É importante lembrar que esses locais devem ser preservados, pois constituem áreas de preservação permanente e são de extrema relevância para a preservação dos mananciais do município.

Dentre os processos geológicos que podem gerar instabilidades nos terrenos, está a queda de blocos, principalmente em taludes de rocha aflorante. Foram registradas feições de rastejo de solo e de escorregamentos em cunha, ocorrentes em cortes executados em áreas com maior espessura de solo, principalmente nos sopés dos morros desta unidade, como mostra a Fig. 30.



Figura 30 - A. Corte em talude para a construção de residência; B e C. Escorregamentos em cunha no sopé de morro; D. Diversos cortes e aterros para a construção civil.

Unidade 6 – Tinguaitos em topo de morros

Essa unidade se diferencia das duas anteriores de mesmo embasamento principalmente por apresentar um manto de alteração espesso, que pode chegar a 8 metros, e declividades mais baixas.

A densidade de fraturas permite inferir uma permeabilidade média para a área, assim como a ruptibilidade. A relação escoamento superficial / infiltração também é média.

O perfil de alteração constituído de material coluvionar argiloso e rocha alterada possui grau de escavabilidade entre 2 e 3. Mas ao chegar a rocha sã, esse valor sobe para 4 ou 5. A alterabilidade foi classificada como alta e o principal processo geológico observado foi rastejo de solo, ocorrente em algumas áreas com declividade mais próxima de 20%, como ilustra a Fig. 31.



Figura 31 - Feições de rastejo em área de cultura “morro acima”na unidade 6

Unidade 7 – Foiaítos em relevo de morros e morrotes

A unidade 7, com embasamento de foiaítos, apresenta permeabilidade fissural baixa quando comparada as unidades de embasamento tinguáítico. No entanto, os perfis de alteração profundos em alguns pontos comprovam que a permeabilidade intragranular ocorre conjuntamente.

O médio grau de fraturamento reflete a ruptibilidade intermediária de uma unidade com espessura do manto de alteração muito variado. O grau de escavabilidade dos materiais alterna entre 2 e 4 e a alterabilidade é alta.

A unidade tem 28,1% de sua área com ocupação urbana. Os principais processos geológicos observados foram os rastejos de solo, que podem evoluir para escorregamentos em vertentes de maior declive; escorregamentos de terra em alguns cortes de talude e feições erosivas em situação de baixa encosta e em cabeceiras de drenagem.

Em áreas de proteção ambiental vizinhas à Represa Saturnino de Brito foram identificados sulcamentos profundos decorrentes da construção ilegal de um

condomínio residencial. Apesar da obra embargada pela prefeitura, a camada superficial do solo foi removida e as feições erosivas evoluem rapidamente.

A Fig. 32 ilustra os processos geológicos encontrados em campo.

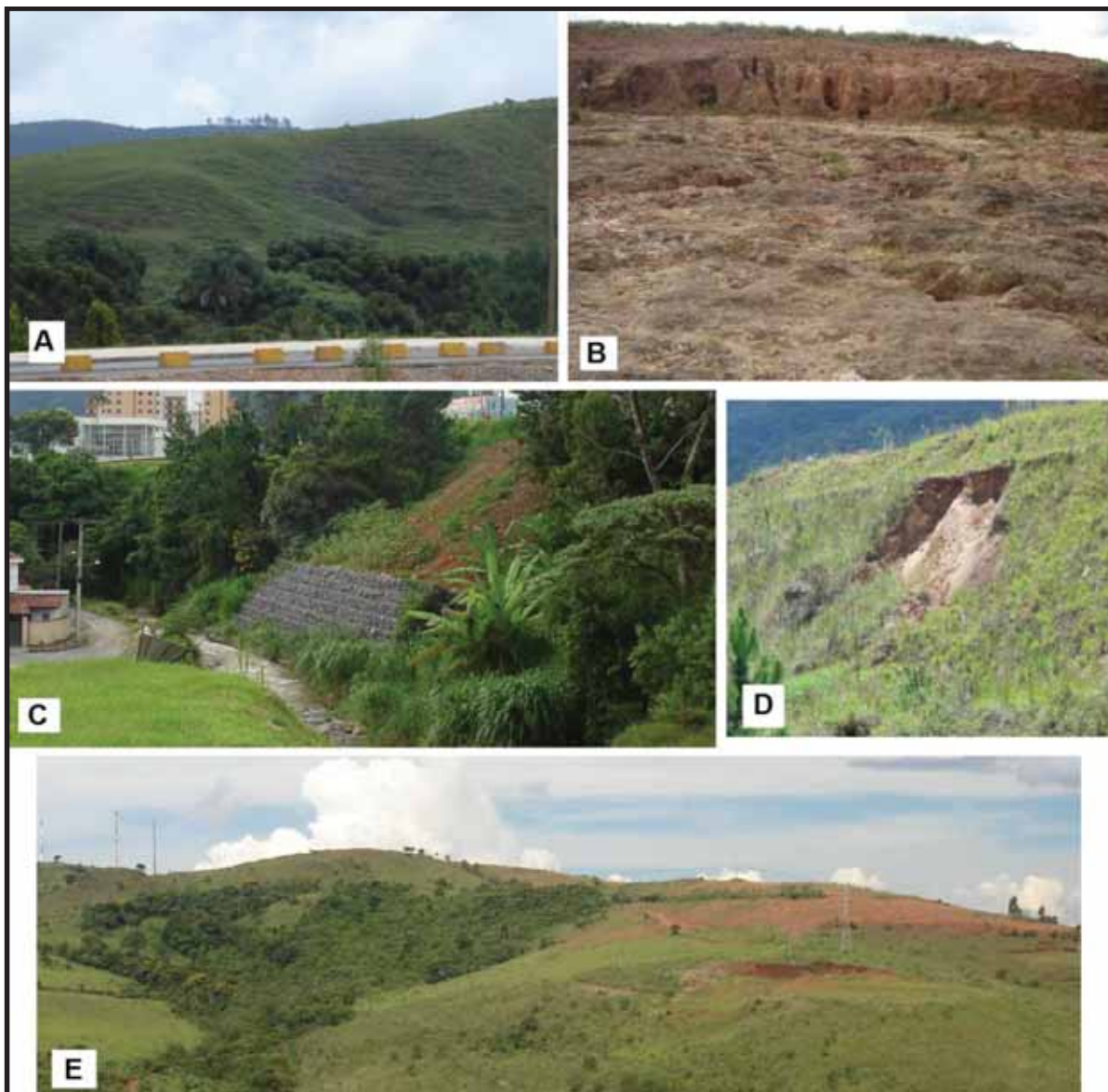


Figura 32 - A. Feições de rastejo em encosta lateral a Av. Alcoa; B. Sulcamento em terreno vizinho a Represa Saturnino de Brito; C. Escorregamento em margem do Ribeirão da Serra contido por muro de gabiões; D. Escorregamento em talude na Av. Francisco Salles; E. Aterro e corte de talude ao lado de cabeceira de drenagem.

Unidade 8 - Foliaitos em relevo colinoso

A unidade 8 tem 18,2% de sua área urbanizada e engloba um relevo mais suavizado e se diferencia da unidade 7 de mesmo embasamento principalmente por

apresentar um manto de alteração mais espesso, que pode chegar a 10 metros sem intercalações de rocha sã no perfil.

A área apresenta baixo grau de fraturamento, refletindo a baixa ruptibilidade dos materiais que compõem a unidade.

Assim como a unidade anterior, apresenta permeabilidade fissural baixa quando comparada as unidades de embasamento tinguaitico, no entanto, os perfis de alteração profundos comprovam que a permeabilidade intragranular ocorre conjuntamente e foi classificada como média. Essa característica, juntamente com a declividade suave, proporciona uma relação escoamento superficial / infiltração baixa.

As vertentes convexas evidenciam a alta alterabilidade e a unidade ainda apresenta pequena amplitude local e as declividades. Os principais processos geológicos observados são a erosão laminar, que por escoamento difuso das águas das chuvas remove progressivamente os horizontes superficiais do solo; sulcos e ravinas nos canais de drenagem, como mostra a Fig. 33.

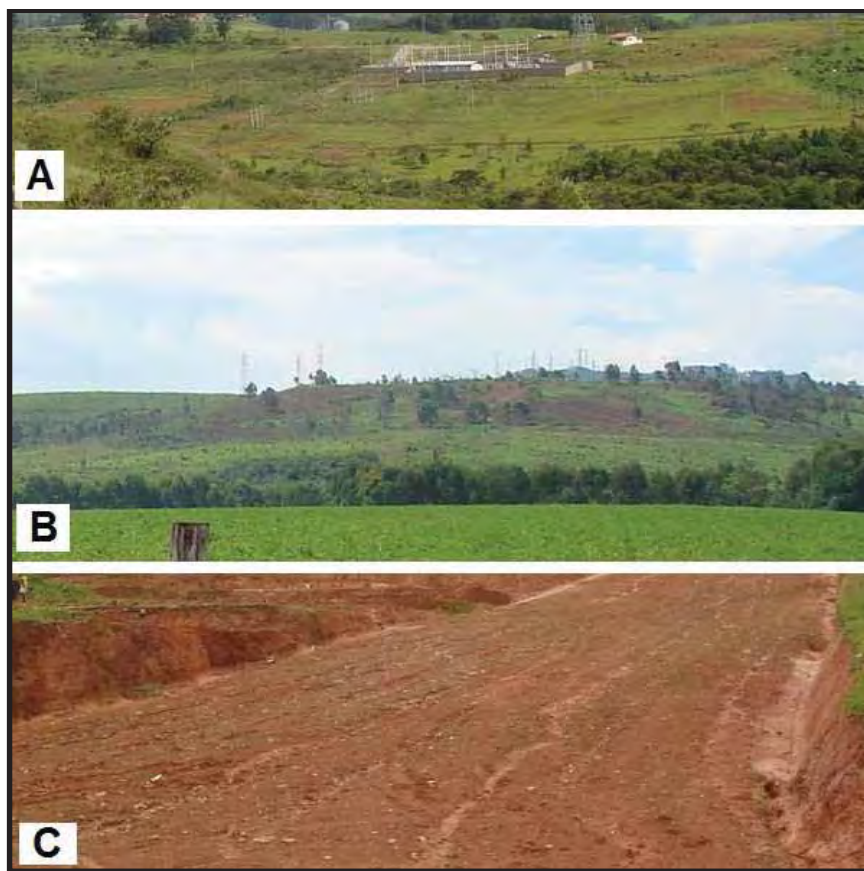


Figura 33 - A (Proximidades da Rodovia do Contorno) e B (Proximidades do aeroporto) Áreas que sofreram erosão laminar e tiveram as camadas mais superficiais do solo removidas; C. Formação inicial de sulcos erosivos em aterro para construção de residências.

6.6 – Avaliação da adequabilidade a Ocupação Urbana.

Com a caracterização geotécnica das unidades e conhecimento sobre as propriedades de seus materiais e processos ocorrentes, foi possível avaliá-las em função do seu grau de adequação ao uso e expansão urbana.

Unidade 1 - Planícies aluviais

Além da baixa capacidade de suporte, a unidade 1 apresenta vários processos geológicos, como assoreamento, erosão e enchentes que a tornam uma área inadequada para a ocupação. As planícies aluviais ainda abrangem áreas de preservação permanente, que pela legislação, não devem ser ocupadas.

Recomenda-se estudo detalhado dos locais com problema de erosão das margens e inundações na área urbana para que o processo possa ser minimizado e formulação de diretrizes para medidas e obras para contenção e prevenção desses processos de instabilidade das enchentes e inundações.

2 - Depósitos de talús e colúvios em sopé de montanha

A unidade 2 apresenta características que a tornam mais uma área inadequada a ocupação. Os materiais de seu perfil de alteração tornam difícil a construção de fundações e há a possibilidade de ocorrência de rastejos, escorregamentos e queda de blocos. Em grandes eventos pluviométricos, essa unidade perde sua capacidade de carga e sustentação, o que pode ocasionar acidentes graves. Grande parte das casas que ocupam a área apresenta danos estruturais graves, como rachaduras e necessidade contenção para suporte.

Recomenda-se estudos detalhados com levantamento de áreas de risco de escorregamento e queda de blocos e formulação de diretrizes para medidas e obras para contenção e prevenção desses processos de instabilidade.

3 - Rampas colúvio-eluviais

A unidade 3 apresentou grande adequabilidade a ocupação. A topografia suave e propriedades geotécnicas favoráveis constituem locais apropriados para o uso urbano. Recomenda-se apenas uma avaliação detalhada do comportamento geotécnico dos materiais e profundidade do nível d'água subterrâneo.

4 - Tínguaítos em relevo montanhoso

A unidade 4 agrega características como manto de alteração raso, declividade acentuada, ruptibilidade média e vários processos geológicos que a tornam uma área inadequada a ocupação. A escavabilidade entre 3 e 5 pode aumentar razoavelmente o custo de uma obra e a ocorrência freqüente de queda de blocos torna a construção de uma residência inviável. Além disso, grande parte de sua área é de preservação permanente e não pode ser ocupada.

Recomenda-se estudos detalhados com levantamento de áreas de risco de escorregamento e queda de blocos e formulação de diretrizes para medidas e obras para contenção e prevenção desses processos de instabilidade.

5 - Tínguaítos em relevo de morros

A unidade 5 engloba áreas pouco adequadas e inadequadas à ocupação. Encostas com topografia menos acentuada e mantos de alteração mais profundos podem ser ocupadas com parcimônia e mediante verificação de procedimentos técnicos específicos para a implantação das obras. Já as áreas de topo de morro, altamente fraturadas e rúpteis, com intensa presença de drenagens são inadequadas para a ocupação urbana e constituem áreas de preservação permanente.

Recomenda-se em áreas de terraplenagem e aberturas de vias a realização de obras preventivas de erosão, como sistemas de terraços/leiras e de drenagem pluvial, além de estudos detalhados com levantamento de áreas de risco de escorregamento e queda de blocos e formulação de diretrizes para medidas e obras para contenção e prevenção desses processos de instabilidade.

6 – Tínguaíto em topo de morros

A unidade 6 apresenta características favoráveis à ocupação e pode ser considerada uma área adequada para o uso urbano. Apesar do fraturamento médio e alta alterabilidade, a unidade apresenta manto de alteração espesso, o que é favorável para a expansão de novos bairros. No entanto a área é ocupada apenas por atividades agrícolas para cultivos de soja e eucalipto.

Em caso de futura ocupação urbana, recomenda-se uma avaliação detalhada do comportamento geotécnico dos materiais e formulação de diretrizes para prevenção de processos de instabilidade.

7 - Foliaíto em relevo de morros e morrotes

A unidade 7 compreende áreas pouco adequadas e inadequadas à ocupação. Áreas com declividades menos acentuadas e manto de alteração sem a presença de núcleos de rocha são favoráveis a ocupação, mas a ocorrência de processos geológicos freqüentes exige verificação de procedimentos técnicos específicos para a implantação das obras. Em alguns pontos os processos geológicos como rastejo podem evoluir rapidamente para escorregamentos de terra e ocasionar danos graves as construções.

Já as encostas com topografia mais acentuada e com presença de núcleos de rocha sub-aflorante no perfil de alteração são consideradas inadequadas pelo alto custo de uma obra, instabilidade do terreno e ocorrência freqüente de processos erosivos. Os topos de morro são em grande maioria considerados área de preservação permanente e devem ser preservados, pois contribuem como importantes áreas de recarga dos mananciais do município.

Recomenda-se em áreas de terraplenagem e aberturas de vias a realização de obras preventivas de erosão, como sistemas de terraços/leiras e de drenagem pluvial, além de estudos detalhados com levantamento de áreas de risco de escorregamento e formulação de diretrizes para medidas e obras para contenção e prevenção desses processos de instabilidade.

8 - Foliaíto em relevo colinoso

A unidade 8 tem abrigado vários bairros de expansão urbana, tanto nas proximidades do aeroporto, quanto ao norte da Represa Saturnino de Brito. A unidade foi considerada adequada por apresentar características favoráveis a ocupação, como declividades mais suaves, perfil de alteração espesso e escavabilidade entre 2 e 3. No entanto, sua alta alterabilidade pede pequenas restrições na fase de implementação das obras, no sentido de se evitar a ocorrência de fenômenos geodinâmicos resultantes de uma ação técnica inadequada na implantação de determinada obra.

Recomenda-se uma avaliação detalhada do comportamento geotécnico dos materiais e profundidade do nível d'água subterrâneo.

7 – CONCLUSÕES

Para o planejamento urbano adequado de uma área é necessário ter conhecimento básico do seu meio físico. Esse conhecimento é obtido através de um processo de mapeamento que o analise como um conjunto e avalie o comportamento dos seus componentes em termos de geotécnica e suas características de interesse à implementação das formas de ocupação.

Nesta proposta, concebeu-se o conhecimento geomorfológico como o elemento que define a unidade espacial de trabalho, porém as informações geomorfológicas agregaram-se a outras que auxiliaram na identificação tanto dos processos geomórficos atuantes e sua reestruturação perante a ação do homem, como na adequabilidade a ocupação urbana de cada unidade da área estudada.

A aplicação de uma abordagem de análise integrada se mostrou satisfatória na elaboração de um produto cartográfico único, no qual os elementos ambientais foram analisados integradamente e individualizadas em unidades homogêneas que refletem limites concretos no espaço, facilitando ações de planejamento territorial.

O método proposto por Zaine (no prelo) para análise, fotointerpretação e associação com as propriedades geotécnicas se mostrou adequado para o desenvolvimento do trabalho através de fotografias aéreas. Este método trouxe grande contribuição à pesquisa em termos de custos, tempo e aplicabilidade, pois não requer uma multiplicidade de produtos (mapa geomorfológico, pedológico, geológico, etc.) que são cruzados diretamente ou em associações específicas, sucessivas, por vezes com atribuições e pesos, até chegar a um mapa final.

O mapeamento resultou em oito Unidades Geológico-geotécnicas abrangendo as principais áreas urbanas e de expansão do município de Poços de Caldas - MG. Tais unidades, caracterizadas através dos dados obtidos no processo fotointerpretativo e trabalhos de campo puderam ser avaliadas quanto a sua adequabilidade a ocupação urbana.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, notou-se que a expansão urbana em Poços de Caldas traçou um caminho interessante, pulando das planícies aluviais do Ribeirão dos Poços para as proximidades do aeroporto, deixando um vazio no meio. Após a conclusão das etapas de fotointerpretação e caracterização geotécnica das unidades, foi observado que esse “vazio” se distingue por apresentar topografia mais acidentada e rochas com grau de escavabilidade elevada, o que levou os habitantes da cidade a buscarem locais mais fáceis e acessíveis, com declividades mais suaves

e rochas com grau de escavabilidade mais baixo, o que diminui consideravelmente o custo da obra.

As unidades 3 e 8, vizinhas ao aeroporto, concentram as áreas mais adequadas a ocupação e há uma tendência de que a expansão urbana continue ocorrendo por essa região. Apesar da distância da área central do município, essas unidades oferecem terrenos mais planos, com custo de construção mais baixo e menor incidência de riscos geológico-geotécnicos.

Com relação à escala de mapeamento utilizada, considera-se que seja compatível com o fim proposto, mas é recomendável para estudos futuros a utilização de escalas maiores visando o detalhamento de áreas específicas e mais susceptíveis a instabilidades ocasionadas processos geológicos.

Espera-se que os resultados aqui obtidos possam de alguma forma ser aproveitados como uma ferramenta de auxílio na ocupação urbana no município de Poços de Caldas, fornecendo as melhores alternativas dentre as existentes para o melhor uso sustentável do meio físico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE -AGI. **Dictionary of Geological Terms**. 1 ed. New York: Anchor Books, 1976.

AGUIAR, R.L. **Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental: bases conceituais para aplicação no Distrito Federal (DF)**. 1994. 88 p. Monografia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP, São Carlos - SP, 1994.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n. 41, p. 169-263. 1964.

ALMEIDA FILHO, R.; PARADELLA, W.R. **Estudo do maciço alcalino de Poços de Caldas através de imagens Landsat com ênfase em mineralizações radioativas**. São José dos Campos: INPE, 1977. 130p.

ALMEIDA, M. C. J; FREITAS, C. G. L. Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. In: I ENCONTRO REGIONAL DE GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE, 1, 1996, São Carlos. **Anais...**, São Carlos, 1996. p. 195 – 200.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 31, p. 117-142, 1967.

ASHRY, M. M. Studies on tree rocks samples from Brasil. **Boletim Sociedade Brasileira de Geologia**, n. 11, p. 89 -107, 1962.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**, 5, São Paulo: ABGE / IPT, p. 96 – 125, 1995.

BARBOSA, O. Nota sobre algumas rochas da região de Poços de Caldas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 6, n. 4, p. 211 – 219, 1934.

BARBOSA, O. **Notas preliminares sobre o Planalto de Poços de Caldas e suas possibilidades econômicas**. SFPM / DNPM, Avulso 8, 33 p., 1936.

BARBOSA, O. Sobre a idade das rochas alcalinas e a origem do Planalto de Poços de Caldas. **Mineração e Metalurgia**, v. 13, n. 76, p. 235 – 236, 1948.

BASE AEROFOTOGRAMETRIA S/A. **Base cartográfica digital PM Poços 1:10.000**. Baseado em levantamento aerofotogramétrico do município de Poços de Caldas, MG. São Paulo, 1997.

BASE AEROFOTOGRAMETRIA S/A. **Levantamento aerofotogramétrico. Município de Poços de Caldas, MG**. Escala 1:30.000. Faixas 4, 5 e 6, fotos de 4 a 8. São Paulo, 1997.

BJORNBERG, A.J.S. Rochas clásticas do planalto de Poços de Caldas. **Boletim Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - USP**, São Paulo, n. 237, v.18, p.64-121, 1959.

BONUCCELLI, T. J. **Movimentos de Massa em Ouro Preto**: importância da ocupação desordenada e caracterização dos fenômenos. 1999. 191 p. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP, São Carlos - SP, São Carlos, 1999.

BOURNE, R. Regional survey. **Oxford Forestry Memoirs**, [s.l.] v.13, p.7-62, 1931.

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.

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

CARVALHO, T. M.O. **Efeitos de um licor cáustico na resistência ao cisalhamento de um solo residual de sienito e um coluvionar indeformados**. 2007. Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2007.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Editora Contexto, 1991.

CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G.N.; HAMA, M.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí**; Estado de Minas Gerais e São Paulo. Relatório Final... Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, Série Geologia, 1979.

CENDRERO, A. Mapping and evaluation of costal areas for planning. **Ocean & Shoreline Management**. Amsterdam, v. 12, p. 427-462. 1989.

CERRI, L.E.S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador, ABGE, v.1, 1990. p.309-317.

CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O. & ZAINÉ, J.E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, ABGE, v.2, 1996. p.537-548.

CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Avaliação Hidrológica e Hidroquímica dos Arredores de Poços de Caldas**. Poços de Caldas, 1987. 123 p.

CHAPMAN N.A., MCKINLEY I.G., SHEA M.E., SMELLIE J.A.T (eds.). **The Poços de Caldas Project: summary and implications for radioactive waste management**. Amsterdam: Elsevier, 1991. Poços de Caldas Technical Report Series.

CHAPMAN, N.A.; MCKINLEY, I.G.; SHEA, M.E.; SMELLIE, J.A.T. (eds). **The Poços de Caldas project: natural analogues of processes in a radioactive waste repository**. Amsterdam: Elsevier, 1993. Poços de Caldas Technical Report Series.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas (MG)**. 1970. 215 p. Tese de Livre-Docência, Cadeira de Geografia do Brasil, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. Características fisiográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG, Brasil). **Geomorfologia**, São Paulo, n. 32, p. 1-26, 1972

CHRISTOFOLETTI, A. A unidade morfoestrutural do planalto de Poços de Caldas. Campinas. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 13, n. 26, p. 77-85, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. **Geografia**, São Paulo, v. 4, n. 8, p. 23-42, 1979.

COOKE, R.V., DOORKAMP, J.C. **Geomorphology in Environmental Management**. Oxford: Clarendon Press, 1990.

CRUZ, W. B. & PEIXOTO, C. A. M. A evolução química das águas subterrâneas de Poços de Caldas – MG. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, 21(l), p. 23-33, mar. de 1991. Disponível em: <http://sbgeo.org.br/pub_sbg/rbg/vol21_down/2101/2101023.pdf>. Acesso em: 03.mar.2010.

CUNHA, M. L. C, MENDES, I. A. Proposta de análise integrada dos elementos físicos da paisagem: uma abordagem geomorfológica. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 3(1), p. 111-120, jan-jun – 2005.

DE BIASI, M. Cartas de declividade: Confecção e utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 21, p 8-12, 1970.

DE PAULA, B. L. **Proposta de uma representação cartográfica para cartas geotécnicas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

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.

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. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **ArcGIS Desktop 9.3.1** Redlands, California, USA. 2009.

ETCHEBEHERE, M. L. de C. **Modelo de exploração mineral aplicado à pesquisa de fontes termais no Planalto de Poços de Caldas, MG**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.

FOSTER, B. An examination of some problema and solutions in urban monitoring form satellite platforms. **International Journal of Remote Sensing**, Oxford, 6(1), p. 139-151, 1985.

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: DNPM. **Principais depósitos minerais do Brasil**. DNPM, v.1, cap.5, p. 89-103, 1985.

FRAYHA, R. Geologia geral e recursos minerais. In: Prefeitura Municipal de Poços de Caldas. **Plano de Desenvolvimento Integrado**. Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, v.1, p.141- 170, 1970.

GEOLOGICAL SOCIETY. Engineering Group Working Party Report: Tropical Residual Soils. **Quarterly Journal of Engineering Geology**, Fookes, v.23, n.1, 1990.

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.

GORSKY, V.A. & GORSKY, E. Contribuição à Mineralogia e Petrografia do Planalto de Poços de Caldas. **Boletim da Comissão Nacional de Energia Nuclear**, Rio de Janeiro, n. 13, 91p., 1974.

GRANT, K. **The PUCE programme for terrain evaluation for engineering purposes**. Victoria: CSIRO, 1970.

GRANT, K. **The PUCE programme for terrain calculation for engineering purpose part 2: procedure for terrain classification**. Victoria: CSIRO, 1974. Tech paper 19.

HASUI, Y. . A Formação Uberaba. In: 22^o CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, 1968, Belo Horizonte. **Resumos**. Belo Horizonte: SBG, 1968. p. 64.

HIRATA, M. T. **Caracterização geotécnica com base na compartimentação fisiográfica: aplicação em Poços de Caldas –MG**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

HUTCHINSON, M.F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, 3, 1988. **Abstracts**. Sydney, Australia, 1988.

IAEG COMMISSION ON ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING; UNESCO. **Guide pour la preparation des cartes géotechniques**. Paris: Les Press de l'Unesco, 1976.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 17 abr. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. v. 1, São Paulo: IPT, 1981a. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. v. 1, São Paulo: IPT, 1981b. Escala 1:500.000.

ITT - Visual Information Solutions. **Envi 4.6**. Boulder, USA. 2009.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de Superfície. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. **Geologia de Engenharia**. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 19, p. 311-330.

LIPORACI, S. R. **Mapeamento Geotécnico da Cidade e Parte do Município de Poços de Caldas-MG** - Escala 1:25.000, visando o Planejamento do Uso e Ocupação do Meio Físico. 1994. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

LIPORACI, S. R. **Sistemática de estudos integrados multitemporais sobre o meio ambiente visando ao planejamento ambiental do município de Poços de Caldas (MG)**. 1999. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LOLLO, J.A. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme - SP**: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas. 1991. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico**: sistematização e aplicação na quadrícula Campinas. 1995. 2 v. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MACHADO, J. Beitrag zur Petrographie der suedwestlichen Grenze zwischen Mina Gerais und São Paulo. **Tschermak's Min. Und Petrog.** Mitt. [s.l.] v.9, p. 319-360. 1888.

MARETTI, C. C. **Exemplos de geologia aplicada a um processo de planejamento costeiro**: cartas geológico-geotécnicas da região estuarino-lagunar de Iguape e Cananéia e da Ilha Comprida. 1998. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MATULA, M. Environmental aspects of eng. Geological mapping. In: 25º Congresso Internacional De Geologia, 25, 1976, Sydney. **Proceedings...** Sydney, 1976.

MORAES, F. T. **Zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedoestratigráfica**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

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. **Revista da Escola de 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. IV SIMPÓSIO GEOLOGICO MINAS GERAIS, 4, 1987, **Anais...** 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. 35º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, **Anais...** Belem, 1988. p. 2633-2648.

MOTOKI, A. & VARGAS, T. Inexistência dos diques anelares no ressalto topográfico da borda perimétrica (muralha) do complexo alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2. São Paulo. **Boletim de Resumos...** São Paulo: SBG,1991. p. 9.

NAKAZAWA, V. A. (coord.) **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo - Escala 1:500.000**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1994. (Publicação IPT 2089).

NAKAZAWA, V.A; PRANDINI, F.L.; SANTOS, A.R. dos & FREITAS, C.G.L. de. Cartografia Geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: Simpósio DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo. **Anais...**, São Paulo: SBG,1991. p..329-336.

NUCLEBRÁS – Empresas Nucleares Brasileiras S.A. **Mapa geológico do Planalto de Poços de Caldas**; escala 1:50.000. Poços de Caldas, 1975.

OKIDA, R.; VENEZIANI, P. Caracterização de área de riscos associadas a escorregamentos e inundações através de técnicas de sensoriamento remoto: uma proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos...**Camboriú: SBG, 1994. p. 451-452.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de Metodologia Científica**: projetos de pesquisa, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

OLIVEIRA, T. A. de. **Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos – subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia – SP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2004.

OLIVEIRA, W. J. **Estudo dos aspectos geológicos da região sudeste do estado de Rondônia através do emprego de uma nova abordagem metodológica usando dados de satélite**. 1989. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba/SP. Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos**. 1992. v. 2. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PREFEITURA DE POÇOS DE CALDAS. **Plano Diretor do Município de Poços De Caldas**. Poços de Caldas, 1993.

PREFEITURA DE POÇOS DE CALDAS – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO. **Revisão do Plano Diretor do Município de Poços de Caldas – Diagnóstico Preliminar**. Levantamento de informações desenvolvido pela Exatus Planejamento e Coordenação. 2006. Disponível em: <http://www.camarapocos.mg.gov.br/downloads/plano_diretor/diagnostico/diagnostico_2006.pdf>. Acesso em: 25.10.2010.

PONÇANO, W. L. et. al. **Mapa Geomorfológico Preliminar do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1979. Escala 1:500.000.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M. de; PRANDINI, F.L. - 1981. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT. 2 V. Escala 1:500.000. (Publicação IPT 1183 - Monografias 5).

PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. de & DINIZ, N.C. - 1995. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. *In*: BITAR, O.Y. (coord.). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente, 1995. p.187-202.

REDAELLI, L.L.; CERELLO, L. Escavações. *In*: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. **Geologia de Engenharia**. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 19, p. 311-330.

RIEDEL, P. S. **Estudo das coberturas de alteração de parte do centro leste paulista através de dados de sensoriamento remoto**. 1988. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.

ROQUE, W. V. **Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus – AM**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ROSS, J.L.S. Análise e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Geografia**, Rio Claro, v.9, n.1, p.65-75, 1995.

SÃO PAULO (Estado). **Programa de investimentos para recuperação e proteção das bacias dos rios Piracicaba e Capivari: relatório para identificação**. São Paulo, 1992. 98 p.

SANEJOUAND, R. **La cartographie géotechnique en France**. Paris, France. Ministère de l'équipement e du logement - D.A.F.U. - A.R.M.I.N.E.S. - L.C.P.C., 1972.

SANTOS, A. R. **Tragédias urbanas em áreas de risco. Carta Geotécnica: um salto à frente no Estatuto das Cidades**. São Paulo, 2009. Artigo disponível em:<<http://www.agsolve.com.br/noticia.php?cod=2248>>. Acesso em: 24.jul.2010.

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.

SEREC – Serviço de Engenharia Consultiva. **Plano Diretor de sistema de Abastecimento de Água de Poços de Caldas**. 2004. Disponível em: < http://www.dmaepc.mg.gov.br/plano_diretor/ >. Acesso em: 25.10.2010.

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.dez. 2010.

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

SOUZA, N. C. D. C. de. **Mapeamento geotécnico com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração**. Monografia Geotécnica nº2. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.

SOUZA, A. A. M.; COSTA, S. M. F. O uso de fotografias aéreas para a análise do processo de verticalização na cidade de São José dos Campos – SP. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, Santos. **Anais...**, Santos, 1998. p. 213-222.

THEODOROVICZ, A., THEODOROVICZ, A. M. G., CANTARINO, S.C. **Projeto Curitiba – Informações Básicas sobre o meio Físico**: subsídios para o planejamento territorial – Folha Curitiba 1: 100.000. Curitiba, 1994, p. 109.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

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, 1984.

UMBELINO, G. J. M.; MACEDO, D. R. Uso de Sistemas Informativos Geográficos (SIG's) na avaliação da dinâmica evolutiva de áreas urbanas: um estudo a partir dos Pólos Mineiros. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15, Caxambú-MG. **Anais...**, Caxambú, 2006.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Projeto Boa Vista**, relatório final. Rio Claro. v.2. 1984

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.

VARNES, D.J. The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of maps units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. Professional paper 837, U.S. **Geological Survey**. [s.l.], p. 48. 1974.

VAZ, L.F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Solos e Rochas**, São Paulo, 19, (2): p.117-136, 1996.

VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana.** 1993. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.

VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs.** 2000. Dissertação (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

VEDOVELLO R. E MATTOS, J. T. de, A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas. Uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. ABGE/UFSC/SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1998 (CD-ROM).

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

WHITTEN, D.G.A.; BROOKS, J.R.V. **A dictionary of geology.** [s.l.]. Harmondsworth: Penguin Books, 1976.

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.

ZAINE, J. E.; SCALVI, H. A.; MANZANO, J. C.; POYAY, W. R.H.; HIRATA, M. T.; SANTANA, G. C. P.; CERRI, L. E. S; TINÓS, T. M. **Estudo de Caracterização Geológico-Geotécnica aplicado ao planejamento rural e urbano do Município de Poços de Caldas, MG.** Relatório Técnico, Rio Claro, 2008.

ZAINE, J. E. Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese (Livre – docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. (no prelo).

ZUQUETTE, L. V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta metodológica para as Condições Brasileiras.** 1987. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L.V.. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração.** 2 v. 1993. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ZUQUETE, L. V., GANDOLFI, N. Metodologia de mapeamento para áreas municipais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1987. v.2 p.313-321.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. Algumas reflexões sobre o mapeamento geotécnico. In: WORKSHOP DE GEOCIÊNCIAS, 1, Rio de Janeiro, 1992. **Anais....** Rio de Janeiro, UFRJ, 1992. p.181-184.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

Apêndice I
DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE CAMPO

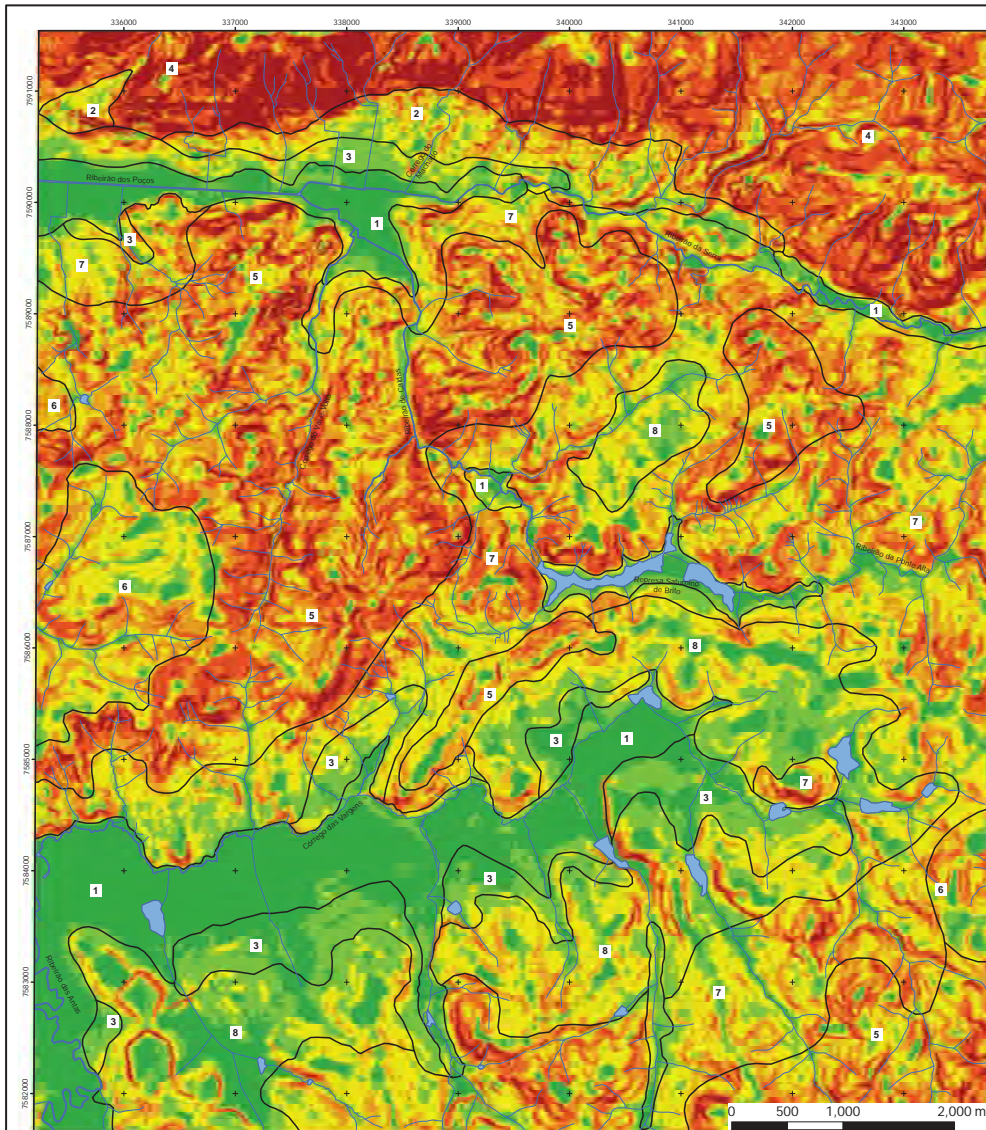
Ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Unidade	Localização	Descrição
1	337301	7584426	7	Rodovia do Contorno – Jd. Kennedy 2	Limite entre unidades 7 e 1, com presença de perfil de foiaíto alterado com coloração avermelhada em relevo de morros.
2	337262	7583792	1	Avenida Platina	Planície aluvionar com córrego assoreado e forte erosão nas margens, causando rachaduras no arruamento. Sinais de freqüentes alagamentos. Perfil de material aluvionar recoberto com material de aterro.
3	336760	7583494	1	Proximidades do aeroporto	Limite entre unidades 1 e 3, onde nota-se perfil de material coluvionar lateritizado entre 3 e 5 metros até chegar ao foiaíto alterado.
4	337368	7582634	8	Avenida Alcoa – Jd. Kennedy 1	Relevo colinoso, com perfil de alteração profundo e lateritizado com coloração avermelhada. Presença de erosão da saia de aterro e sulcamento.
5	342125	7582152	7	Avenida Alcoa – Proximidades da Represa Saturnino de Brito	Relevo de morros e limite entre unidades 5 e 7. Intensa presença de rastejamento nos foiaítos e escorregamentos em cunha ocorrentes nos planos de fratura dos tinguáitos. Perfil de alteração profundo na unidade 4, com presença de rocha sã.
6	341074	7583844	7	Avenida Santo Antônio – Proximidades do Parque Walter Word	Afloramento de rocha sã com presença de brechas de material lamprófiro. Foram observadas nascentes de água através do fraturamento e processos de queda de blocos.
7	340885	7584467	8	Proximidades do Ribeirão das Vargens	Relevo suavizado com perfil de foiaítos em avançado processo de laterização.
8	336778	7586168	5	Próximo a nascente do Ribeirão das Vargens	Tinguáitos em relevo de morros e amplitude local média. Nota-se topos mais arredondados na unidade 6.
9	336072	7587367	3	Proximidades do Ribeirão das Vargens	Rampas colúvio-eluviais semelhantes a superfícies de agradação com declividades

					bastante suavizadas.
10	336875	7587340	7	Jardim Azaléias - Proximidades da Represa Saturnino de Brito	Área de foiaítos alterados com declividade acentuada e processo de rastejo evidente.
11	339742	7586261	7	Jardim Azaléias - Proximidades da Represa Saturnino de Brito	Área de proteção ambiental raspada para construção de um condomínio. No terreno de foiaíto alterado é possível identificar feições de fraturamento e um processo erosivo intenso, com sulcamentos profundos.
12	339579	7586953	5	Bairro Monte Verde	Tinguaítos em relevo de morros com declividade bastante acentuada. Construções em áreas com grandes riscos de escorregamentos.
13	340124	7586785	7	Av. José Remígio Prézia – Margem do Ribeirão da Serra	Ponto com barreira de contenção a escorregamentos na margem do Ribeirão da Serra. Indícios de inundações freqüentes.
14	340191	7587134	2	Rua Nilton Delgado– Margem do Ribeirão da Serra	Limite entre unidades 2 e 7, com área de processos fluviais de erosão e deposição decorrentes da retificação do canal.
15	340454	7589264	5	Bairro dos Funcionários	Afloramento de rocha são muito fraturada com cobertura fina (cerca de 0,5 m) de solo litólito. Fraturas com sentido N – S, coincidente com a drenagem.
16	340976	7589643	5	Bairro dos Funcionários	Perfil com tinguaítos aflorantes e sub-aflorantes, mas há locais com camadas de rocha alterada mais espessas. Nota-se uma cabeceira de drenagem com vales fechados e construções concentradas em áreas de grande fraturamento.
17	340147	7589898	5	Proximidades do Residencial Morumbi	Intercalações de tinguaítos fraturados e rocha alterada. Foram observados alguns cortes de aterro, áreas rapadas e culturas de morro

					abaixo.
18	339841	7590087	6	Fazenda Nova	Área de declividade suave e topos extensos arredondados, com maior concentração de solo. Presença de horizonte laterítico e rocha alterada com intercalações caulínicas. Local é ocupado por plantações de soja e eucalipto.
19	337359	7589866	6	Proximidades da Fazenda Nova	Contato entre unidades 5 e 6, onde a declividade começa a se acentuar. É possível visualizar o fraturamento nos afloramentos de tinguaiço.
20	337024	7589428	7	Av. José Remígio Prêzia – Margem do Ribeirão da Serra	Pontos de escorregamentos em encostas marginais a Av. José Remígio Prêzia. Perfil de foiaíto alterado com pontos de rocha aflorante. Obras de contenção como muro de arrimo e gabiões. Foi possível notar núcleos de rocha sã.
21	338074	7590741	2	Bairro Cristiano Osório- Proximidades da Rua Senador Lucio Bitencourt	Área com declividade acentuada e depósito de talús e colúvio pouco espesso. Presença de nascentes e construções em áreas de risco.
22	340162	7590635	4	Bairro Santana – Proximidades da Praça Dr. Ednair Dias	Perfil de tinguaiço alterado de cor avermelhada com núcleo são acinzentado. Início dos depósitos de colúvio com cerca de 2 a 3 metros sobre o tinguaiço.
23	335845	7591088	2	Bairro Santa Helena - Proximidades da Igreja de S. Sebastião	Núcleos de rocha sã, de coloração preto, em meio a material alterado, de cor marrom-arroxeadado, mantendo estrutura reliquiar (minerais e fraturas).
24	341675	7585476	8	Proximidades da Rodovia do Contorno	Ponto marcado com obras de contenção de escorregamento, com muro de arrimo e gabiões.
25	341611	7590207	4	Proximidades do Bairro Campos Eliseos	Relevo montanhoso. Solo argílico de coloração marrom escura a vermelho escuro.
26	343421	7588645	5	Proximidades do CEASA	Área de exploração de bauxita. Dois horizontes de rocha foram vistos. O mais superficial, apresenta uma

					cobertura coluvionar detrítica/laterítica. No horizonte mais profundo uma rocha muito alterada a saprólito ocre amarelada, argilosa e com blocos de foiaito.
27	343170	7588350	7	Proximidades da Estância São José	Corte de estrada onde foi possível observar três horizontes de alteração, sendo o superficial, dominado por crosta detrítico laterítica, que acompanha o relevo, abaixo ocorre um saprólito, e por último, ocorrência de rocha alterada argiloso, de coloração avermelhada.
28	338593	7588699	5	Proximidades do Bairro Quisiana	Relevo de morrotes a colinoso. Foi observado solo coluvionar avermelhado com concreções lateríticas ocorrendo abaixo de um solo de aterro antrópico (presença de fragmentos de alvenaria). Abaixo dos solos citados, foi visto um tinguaito alterado a saprólito com estruturas reliquias - fraturas.
29	338500	7586209	7	Rodovia do Contorno	Limite entre as unidades 5 e 7, onde é possível notar na alta encosta blocos de foiaito, onde quebra o relevo. Na baixa encosta aflora rocha alterada de coloração rósea, argilosa, sob uma camada de talus com blocos de foiaito em meio a material amarelado argiloso.
30	337716	7591475	4	Cristo Redentor	Relevo montanhoso, onde afloram blocos de rocha sã de coloração cinza e estrutura maciça.
31	337649	7590645	2	Proximidades da área central	Espesso depósito de tálus arenoso, cuja espessura pode chegar mais de 5m. Sua coloração é laranja avermelhado, com blocos de até 1m de diâmetro.
32	339293	7590770	2	Proximidades do Jardim dos Estados	Depósito de tálus semelhante ao visto no ponto anterior, marrom a marrom claro, com blocos de até 0,5m de diâmetro. Ocorre uma capa de solo antropogênico, de aproximadamente 30cm.
33	338194	7588452	5	Proximidades do Bairro Santa Angela	Relevo de morros. Afloramento de rocha alterada de coloração ocre de aproximadamente 2m de

					espessura. Abaixo ocorre rocha sã de coloração cinza.
34	337894	7588576	5	Proximidades do Bairro Santa Angela	O perfil de solo desta unidade ocorre ao longo, tanto da encosta, quanto do topo. No topo ocorre mais rocha sub-aflorante e aflorante, com um solo bem pouco espesso. Enquanto que na encosta, ocorrem solos tipo rocha alterada, com fraturas e outras feições da rocha. Ocorre também um colúvio bem irregular e pouco espesso.
35	336609	7587668	5	Proximidades do Residencial Morumbi	Solo de rocha alterada com concreções nas fraturas, formam blocos com uma alteração amarela nas bordas e seu núcleo ainda é de rocha. Também ocorre uma crosta laterítica de bauxita nas fraturas.
36	339430	7585125	8	Avenida Alcoa - Proximidades do aeroporto	Vista do relevo mais deprimido, onde dominam colinas e planícies aluviais. Afloramento de corte de estrada onde foi visto um foiaito alterado de coloração branco a róseo, argiloso, textura fanerítica grossa a média inequigranular com estrutura maciça e fraturamento preenchido com caulim.
37	338810	7583775	1	Avenida Alcoa - Proximidades do aeroporto	Relevo de planície. Espesso aluvião argiloso marrom claro a cinza, com frações siltosas e argilosas e ocorrência de matéria orgânica.
38	338300	7583550	3	Avenida Alcoa - Proximidades do aeroporto	Relevo de morrotes a colinoso. Afloramento de saprólito de foiaito. Local com movimento de terra.
39	337484	7579323	7	Avenida Alcoa - Proximidades da Faz. Córrego do Morrinho	Relevo de colinas a morros. Solo argiloso esbranquiçado (foiaito) com blocos de rocha sã a pouco alterada. Ocorrem também, intercalações de tinguaito no leito da lateral da rodovia, alterados e com núcleos pequenos de rocha sã. Proximidades do lixão.

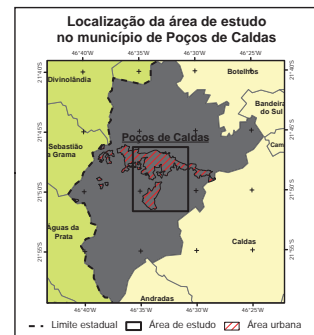


Legenda

- Rios
- Represas
- Limite das unidades geológico-geotécnica

Classes de declividade

0% - <5%	>10% - <20%	>30% - <45%
>5% - <10%	>20% - <30%	D > 45%



PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE
MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A PARTIR DE METODOLOGIA DE ANÁLISE INTEGRADA: ENSAIO DE APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG
MAPA DE DECLIVIDADE
ESCALA - 1:25.000
Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator Fuso: 23S Datum: Corrego Alegre Base Cartográfica: IM Rços 1:25.000 sobre levantamento aerofotogramétrico D975 Equidistância das curvas de nível: 10m Típo: Minatel Tíno
Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine
RIO CLARO, MAIO / 2011

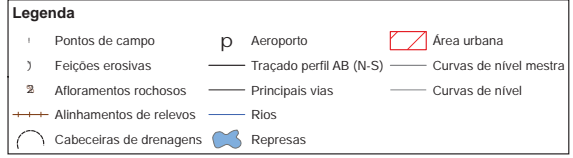
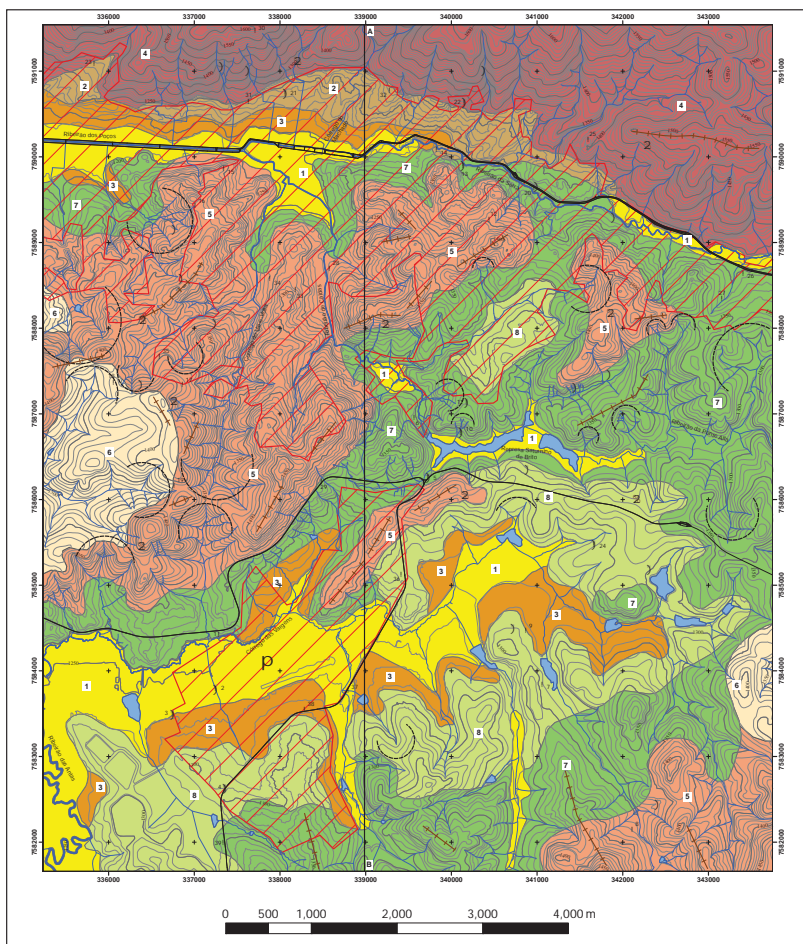
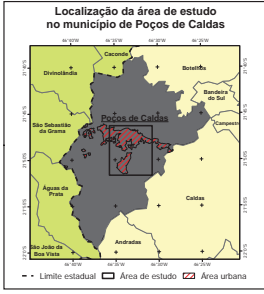
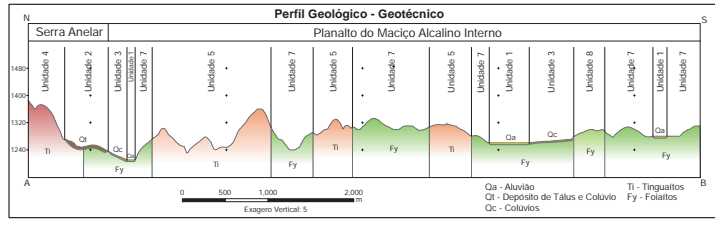


Tabela síntese das informações fotointerpretadas

PROVÍNCIA	ZONA	SUB-ZONA	UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	RELEVO	SOLO	DENSIIDADE DE DRENAGEM	DENSIIDADE DE ELEMENTOS DO RELEVO	ALTITUDES/AMPLITUDES DE RELEVO	DECLIVIDADE MÉDIA	REDELA DAS ENCOSTAS	FORMA DOS TOPOS	FORMA DOS VALES	TROPICA	SIMETRIA		
Província Sul-Mineira (P. Planalto Alcalino)	Planalto Alcalino	Planalto Alcalino	Unidade 1 Planície aluvial	Aluvial	Planície aluvial	Baixa	Baixa	190 - 220 m	0 - 5%	Baixa	-	-	Aluvial	Não Simétrica		
			Unidade 2 Depósitos de talus e colúvio de morro e morrotes	Colúvio de Talus	Méio eroso	Méio	Méio-Alta	120 - 180 m	10 - 20%	Méio	Colúvio	-	-	Morro em U	Não Simétrica	
			Unidade 3 Faixas colúvio-aluviais	Depósitos de talus e colúvio	Planície	Baixa	Baixa	100 - 120 m	5 - 10%	Baixa	Colúvio	Aluvial	-	Morro em U	Não Simétrica	
			Unidade 4 Tingualta em relevo morrotesco	Tingualta	Montanhoso	Alta	Méio-Alta	130 - 180 m	30 - 45%	Alta	Colúvio	Colúvio	Formado	Fachado	Orientada	Simétrica
			Unidade 5 Tingualta em relevo de morro	Centro de Tingualta	Morro	Alta	Méio-Alta	120 - 140 m	20 - 30%	Méio-Alta	Colúvio e Colúvio	Aluvial	Formado	Fachado	Forma Assimétrica	
			Unidade 6 Tingualta em relevo de morro	Centro de Tingualta	Planície de morro	Méio	Méio	130 - 140 m	10 - 20%	Baixa	Colúvio	Atividade	Aluvial	Forma Assimétrica		
			Unidade 7 Faixas em relevo de morro e morrotes	Faixa	Morro e morrotes	Méio	Méio	120 - 140 m	10 - 20%	Méio	Colúvio	Atividade	Aluvial	Não Simétrica	Assimétrica	
			Unidade 8 Faixas em relevo colúvio	Faixa	Colúvio	Baixa	Méio-Baixa	120 - 130 m	10 - 20%	Baixa	Colúvio	Atividade	Aluvial	Não Simétrica	Assimétrica	

Tabela de caracterização geológico-geotécnica

UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	PERMEABILIDADE FÍSICA	PERMEABILIDADE INTRÍNSECA	RELACIONAMENTO DE ESCALAMENTO DE INFLUIÇÃO	ESPESURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO	ALTERABILIDADE	GRAU DE FRAQUEZAMENTO	PROCESSOS SOCIOECONÔMICOS	TIPO DE OCUPAÇÃO
Unidade 1 Planície aluvial	Alta	Baixa	Fraqueza	Alta	-	-	Formação Anuvial (Colúvio)	Urbano - Agrícola
Unidade 2 Depósitos de talus e colúvio em relevo de morrotes	-	Méio	Méio	Expanso	Alta	-	Queda de blocos e Escorregamentos (Colúvio)	Urbano - Indústria - Suburbanos
Unidade 3 Faixas colúvio-aluviais	-	Méio	Baixa	Fraqueza	Alta	-	Formação Suburbanos	Urbano - Agrícola
Unidade 4 Tingualta em relevo morrotesco	Méio	Alta	Solo / Rocha (Morrotes)	Baixa	Méio	-	Queda de blocos e Escorregamentos (Suburbanos)	Urbano - Indústria - Suburbanos
Unidade 5 Tingualta em relevo de morro	Alta	Alta	Fraqueza	Méio	Alta	-	Queda de blocos e Escorregamentos (Suburbanos)	Urbano - Agrícola
Unidade 6 Tingualta em relevo de morro	Méio	Baixa	Méio	Expanso	Alta	Méio	Solo	Agrícola
Unidade 7 Faixas em relevo de morro e morrotes	Baixa	Méio	Méio-Alta	Fraqueza	Alta	Méio	Solo	Urbano - Agrícola
Unidade 8 Faixas em relevo colúvio	Baixa	Méio	Baixa	Expanso	Alta	Baixa	Queda de blocos e Escorregamentos (Suburbanos)	Urbano - Agrícola



unesp CNPq

PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM GEOLÓGICOS E MEIO AMBIENTE

MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A PARTIR DE METODOLOGIA DE ANÁLISE INTEGRADA: ENSAIO DE APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG

MAPA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

ESCALA - 1:25.000

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Fuso: 23S
Datum: Conico Alegre
Base Cartográfica: M (Ricos 1:50.000) e levantamentos aerofotogramétricos: 89/93
Escala horizontal das curvas de nível: 1:50m
Thais Minatit Tinsô
Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

RIO CLARO, MAIO / 2011