

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS  
Campus de Rio Claro

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO POR MEIO DO  
MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO:  
ENSAIO DE APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA  
DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)**

**José Eduardo Zaine**

**Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri**

Tese de Doutorado apresentada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências - Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do Título de Doutor em Geociências.

Rio Claro (SP)  
2000

624.151 Zaine, José Eduardo

Z21m Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP) / José Eduardo Zaine. – Rio Claro: [s.n.], 2000.  
149 f.: il.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.  
Orientador: Leandro Eugenio da Silva Cerri

1. Geologia de engenharia. 2. Geologia ambiental. 3. Áreas urbanas – Geologia de. 4. Cartografia geotécnica. I. Título.

## **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri (orientador)

Prof. Dr. Nilson Gandolfi

Prof. Dr. Antonio Manoel dos Santos Oliveira

Prof. Dr. Fábio Taioli

Prof. Dr. Omar Yasbek Bitar

Rio Claro, 28 de fevereiro de 2000.

*A minha esposa Mariselma;  
meus filhos Daniel, Leandro e Gabriel,  
meus pais Benedito e Lgia.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Leandro Cerri, amigo e colega de trabalho, pela orientação, confiança e estímulo, além dos desafios lançados, aos quais procuramos corresponder.

À CAPES, pelo bolsa de doutorado entre março de 1997 e fevereiro de 1998. À FAPESP, pelo auxílio à pesquisa no período de março a julho de 1998, através da bolsa de doutorado e de recursos da reserva técnica.

À Prefeitura Municipal de Rio Claro, pela autorização e liberação parcial no decorrer do curso de pós-graduação, em especial à Secretaria de Desenvolvimento, Planejamento e Meio Ambiente - SEDEPLAMA, na pessoa dos Professores Antonio Christofolletti (*in memoriam*) e Miguel César Sanchez, pelo apoio e incentivo. À Professora Dra. Margarida M. Penteado Orellana, pelo aprendizado constante. Ao amigo Darci César de Lima, técnico da SEDEPLAMA, pelo empréstimo de bases topográficas e fotografias aéreas e pela presteza no atendimento. Ao DAAE de Rio Claro que forneceu algumas fotos panorâmicas apresentadas nesta tese.

Aos geólogos e colegas do Departamento de Geologia Aplicada: Antonio Celso de Oliveira Braga, Antonio Roberto Saad, Carlos de Almeida Nóbrega, Elias Carneiro Daitx, Gilda Carneiro Ferreira, José Alexandre J. Perinotto, José Ricardo Sturaro e Paulina Setti Riedel, pelas sugestões e discussões.

Aos colegas da Pós-Graduação da UNESP, Alessandra Cristina Corsi, José Angelo da Silva, Edna Facincani, Luiz Felipe Ribeiro e aos geólogos Fernando M. D’Affonseca, Márcio Costa Alberto e Paulo Henrique Pereira dos Santos, pela ajuda nos trabalhos de campo e nos programas computacionais e com os quais tive oportunidade de conviver e trocar experiências.

À desenhista Sandra Belinelli, do Departamento de Geologia Aplicada pela confecção dos desenhos e digitalização de mapas, aos funcionários do Departamento de Geologia Aplicada, Alan de Oliveira, Antonio Cezário Porta Jr., Cláudio R. Silva, Darlene Armbrust, Elâine Brigatto, Francisco Barrera e Márcia Regina Tavorari do Amaral, pelo apoio na montagem final desta tese.

À Dra. Mariselma Ferreira Zaine, companheira de todas as horas, pela revisão, valiosa e incansável colaboração e incentivo, imprescindíveis para o êxito deste trabalho.

## SUMÁRIO

<u>ÍNDICE</u> .....	i
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u> .....	iv
<u>ÍNDICE DE TABELAS</u> .....	v
<u>ÍNDICE DE FOTOS</u> .....	vii
<u>ÍNDICE DE ANEXOS</u> .....	viii
<u>RELAÇÃO DE SIGLAS</u> .....	ix
<u>RESUMO</u> .....	x
<u>ABSTRACT</u> .....	xi
<u>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS</u> .....	7
<u>CAPÍTULO 3. BASE TEÓRICA</u> .....	18
<u>CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</u> .....	41
<u>CAPÍTULO 5. ENSAIO DE APLICAÇÃO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO EM RIO CLARO - SP</u> .....	55
<u>CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES</u> .....	129
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	136

## ÍNDICE

<a href="#"><u>ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES</u></a> .....	iv
<a href="#"><u>RESUMO</u></a> .....	x
<a href="#"><u>ABSTRACT</u></a> .....	xi
<a href="#"><u>1. INTRODUÇÃO</u></a> .....	1
<a href="#"><u>1.1 Premissas</u></a> .....	4
<a href="#"><u>1.2 Hipótese de trabalho e objetivos</u></a> .....	5
<a href="#"><u>2. METODOLOGIA E ETAPAS DE TRABALHO</u></a> .....	7
<a href="#"><u>2.1 Fundamentos metodológicos</u></a> .....	10
<a href="#"><u>2.2 O método do detalhamento progressivo</u></a> .....	13
<a href="#"><u>2.3 Etapas de trabalho</u></a> .....	13
<a href="#"><u>2.4 Materiais utilizados e procedimentos</u></a> .....	13
<a href="#"><u>3. BASE TEÓRICA</u></a> .....	18
<a href="#"><u>3.1 Aspectos conceituais relativos a cartas e/ou mapas geotécnicos</u></a> .....	18
<a href="#"><u>3.2 Objetivos e aplicações das cartas e/ou mapas geotécnicos</u></a> .....	21
<a href="#"><u>3.3 Tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos</u></a> .....	23
<a href="#"><u>3.4 Metodologias utilizadas na elaboração de cartas e mapas geotécnicos</u></a> .....	25
<a href="#"><u>3.4.1 Metodologias internacionais de cartografia geotécnica mais citadas</u></a> .....	25
<a href="#"><u>3.4.2 Principais metodologias desenvolvidas no Brasil</u></a> .....	27
<a href="#"><u>3.4.2.1 Metodologia utilizada pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP (ZUQUETTE, 1987 e 1993)</u></a> .....	28
<a href="#"><u>3.4.2.1.1 Análise da metodologia da EESC/USP (ZUQUETTE, 1987 e 1993)</u></a> .....	30
<a href="#"><u>3.4.2.2 Metodologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT (NAKAZAWA <i>et al.</i>, 1991; PRANDINI <i>et al.</i>,1995)</u></a> .....	34
<a href="#"><u>3.4.2.2.1 Análise da metodologia do IPT</u></a> .....	35

<a href="#"><u>3.4.3 Análise comparativa entre as metodologias da EESC/USP e do IPT para a elaboração de cartas e/ou mapas geotécnicos</u></a> .....	38
<a href="#"><u>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</u></a> .....	41
<a href="#"><u>4.1 Aspectos climáticos</u></a> .....	43
<a href="#"><u>4.2 Hidrografia</u></a> .....	43
<a href="#"><u>4.3 Contexto geomorfológico</u></a> .....	45
<a href="#"><u>4.4 Contexto pedológico</u></a> .....	46
<a href="#"><u>4.5 Contexto geológico</u></a> .....	47
<a href="#"><u>4.5.1 Geologia regional</u></a> .....	47
<a href="#"><u>4.5.2 Geologia local</u></a> .....	49
<a href="#"><u>4.6 Aspectos geotécnicos</u></a> .....	51
<a href="#"><u>5. ENSAIO DE APLICAÇÃO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO EM RIO CLARO - SP</u></a> .....	55
<a href="#"><u>5.1 Produtos gerados na etapa geral (1ª etapa), elaborados na escala 1: 25.000</u></a> .....	55
<a href="#"><u>5.2 Mapa geológico-geotécnico 1:25.000</u></a> .....	57
<a href="#"><u>5.2.1 Metodologias consultadas e critérios utilizados para definição das unidades geológico-geotécnicas</u></a> .....	57
<a href="#"><u>5.2.2 Descrição das unidades geológico-geotécnicas</u></a> .....	65
<a href="#"><u>5.2.2.1 Unidade I - Área de domínio da Formação Corumbataí</u></a> .....	65
<a href="#"><u>5.2.2.2 Unidade II - Áreas com relevo residual e domínio de diabásio</u></a> .....	69
<a href="#"><u>5.2.2.3 Unidade III - Áreas de ocorrência da Formação Rio Claro na meia encosta</u></a> ..	72
<a href="#"><u>5.2.2.4 Unidade IV - Áreas de ocorrência da Formação Rio Claro com relevo de colinas tabuliformes</u></a> .....	76
<a href="#"><u>5.2.2.5 Unidade V - Terraços de baixa vertente</u></a> .....	85
<a href="#"><u>5.2.2.6 Unidade VI - Aluviões</u></a> .....	87
<a href="#"><u>5.3 Mapa de zonas de proteção ambiental e de registros de problemas geológico-geotécnicos</u></a> .....	92
<a href="#"><u>5.4 Integração e definição de área para estudos de semi-detelhe</u></a> .....	96



<u>5.5 Etapa de semi-detalle (2ª etapa) - 1:10.000</u> .....	98
<u>5.5.1 Mapa de declividades</u> .....	98
<u>5.5.2 Mapa indicativo da profundidade do nível de água subterrâneo (N.A.)</u> .....	99
<u>5.5.3 Mapa de cobertura de material inconsolidado (solo)</u> .....	100
<u>5.5.4 Integração dos dados da etapa de semi-detalle</u> .....	104
<u>5.5.4.1 Avaliação da suscetibilidade das unidades de material de cobertura</u> .....	106
<u>5.5.4.2 Avaliação da adequabilidade das unidades de material de cobertura</u> .....	108
<u>5.6 Etapa de detalle (3ª etapa)</u> .....	110
<u>5.6.1 Parâmetros a serem considerados na instalação de postos de abastecimento de veículos</u> .....	111
<u>5.6.2 Distribuição dos postos de abastecimento de veículos em Rio Claro e escolha da área de estudo de detalle</u> .....	112
<u>5.6.3 Investigações, ensaios e análises</u> .....	115
<u>5.6.3.1 Investigações preliminares</u> .....	115
<u>5.6.3.2. Investigações indiretas (ensaios geofísicos)</u> .....	115
<u>5.6.3.3 Investigações diretas de sub-superfície</u> .....	117
<u>5.6.4 Avaliação da área quanto à corrosividade, colapsividade, níveis de suporte e expansibilidade</u> .....	118
<u>5.6.4.1 Classificação e avaliação dos solos e das águas quanto ao grau de corrosividade</u> ...	118
<u>5.6.4.2 Avaliação da área quanto à colapsividade do solo</u> .....	123
<u>5.6.4.3 Avaliação da área quanto à capacidade de suporte do solo (níveis de suporte em diferentes profundidades)</u> .....	126
<u>5.6.4.4 Avaliação da área quanto à expansibilidade do solo</u> .....	127
<u>5.6.5 Avaliação dos resultados do estudo de detalle</u> .....	127
<u>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES</u> .....	129
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	136

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b><u>Figura 1</u></b> - Fluxograma de elaboração de um projeto de pesquisa condicionado pelos recursos disponíveis (ANDREW & HILDEBRAND, 1982) .....	8
<b><u>Figura 2</u></b> - Seqüência das etapas de trabalho realizadas nesta pesquisa .....	13
<b><u>Figura 3</u></b> - Mapa de localização da área de estudo .....	42
<b><u>Figura 4</u></b> - Fluxograma mostrando a seqüência dos trabalhos e os tipos de cartogramas utilizados e elaborados na 1ª etapa (geral) .....	56
<b><u>Figura 5</u></b> - Classes de energia de relevo (MENDES, 1993) .....	59
<b><u>Figura 6</u></b> - Blocos-diagramas mostrando a seqüência aplicada na técnica de avaliação de terreno (COOKE & DOORNKAMP, 1990, traduzido por LOLLO, 1995) .....	60
<b><u>Figura 7</u></b> - Perfil esquemático do relevo característico das unidades geológico-geotécnicas de Rio Claro - SP .....	64
<b><u>Figura 8</u></b> - Perfil geológico composto da Formação Rio Claro (substrato geológico das unidades III e IV) .....	74
<b><u>Figura 9</u></b> - Seleção da área para estudos de semi-detalle .....	97
<b><u>Figura 10</u></b> - Mapa de localização da área de estudo de detalhe .....	114
<b><u>Figura 11</u></b> - Mapa potenciométrico da área de estudo de detalhe .....	116
<b><u>Figura 12</u></b> - Curva granulométrica de amostra de solo, coletada na área de detalhe .....	124
<b><u>Figura 13</u></b> - Seqüência dos trabalhos da sistemática do detalhamento progressivo, mostrando as etapas já descritas e os trabalhos previstos para a 3ª etapa .....	130
<b><u>Figura 14</u></b> - Avaliação da etapa de detalhe. Seqüência das investigações, análises e avaliações .....	132

## ÍNDICE DE TABELAS

<a href="#"><u>Tabela 1</u></a> - Proposta de elaboração de um plano de pesquisa (CERRI, 1993) .....	7
<a href="#"><u>Tabela 2</u></a> - Fundamentos conceituais da Geologia de Engenharia (SANTOS, 1994) ...	9
<a href="#"><u>Tabela 3</u></a> - Ações e objetivos da Geologia de Engenharia (SANTOS, 1994) .....	10
<a href="#"><u>Tabela 4</u></a> - Síntese das etapas da sistemática do detalhamento progressivo .....	12
<a href="#"><u>Tabela 5</u></a> - Conceitos de mapa, planta e carta geotécnica (ZUQUETTE, 1987) .....	19
<a href="#"><u>Tabela 6</u></a> - Definições de termos empregados em mapeamento geotécnico (AGUIAR, 1994) ..	19
<a href="#"><u>Tabela 7</u></a> - Principais objetivos e aplicações das cartas geotécnicas (CERRI, 1990) ..	22
<a href="#"><u>Tabela 8</u></a> - Tipos de cartas geotécnicas e seus conceitos (NAKAZAWA <i>et al.</i> , 1991 e PRANDINI <i>et al.</i> , 1995) .....	24
<a href="#"><u>Tabela 9</u></a> - Tipos de cartas geotécnicas e seus conceitos (BITAR <i>et al.</i> , 1992) .....	24
<a href="#"><u>Tabela 10</u></a> - Correlação entre denominações e tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos .....	25
<a href="#"><u>Tabela 11</u></a> - Algumas metodologias internacionais de cartografia geotécnica .....	27
<a href="#"><u>Tabela 12</u></a> - Número mínimo de observações de campo (ZUQUETTE, 1993) .....	31
<a href="#"><u>Tabela 13</u></a> - Análise de mapas e cartas elaborados, segundo a metodologia da EESC/USP .....	33
<a href="#"><u>Tabela 14</u></a> - Síntese das etapas e produtos gerados pela metodologia do IPT .....	36
<a href="#"><u>Tabela 15</u></a> - Análise de mapas e cartas elaborados, segundo a metodologia do IPT ..	37
<a href="#"><u>Tabela 16</u></a> - Síntese da análise comparativa entre as metodologias de cartografia geotécnica da EESC/USP e IPT .....	40
<a href="#"><u>Tabela 17</u></a> - Síntese da geologia regional e das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná .....	48
<a href="#"><u>Tabela 18</u></a> - Síntese dos registros de problemas ambientais/geológico-geotécnicos ...	93
<a href="#"><u>Tabela 19</u></a> - Unidades de cobertura superficial definidas para a etapa de semi-detelhe 1: 10.000 .....	102
<a href="#"><u>Tabela 20</u></a> - Avaliação das unidades de coberturas inconsolidadas quanto à suscetibilidade e à adequabilidade .....	105
<a href="#"><u>Tabela 21</u></a> - Atributos e classes da carta de potencial à corrosividade, segundo ZUQUETTE, 1993 .....	120
<a href="#"><u>Tabela 22</u></a> - Resultados de análise físico-química da amostra de solo e o respectivo comportamento quanto à corrosividade .....	121
<a href="#"><u>Tabela 23</u></a> - Resultados da análise físico-química da amostra de solo coletada a 2,50 m de profundidade .....	121

<b><u>Tabela 24</u></b> - Resultados da análise físico-química da amostra de água e o respectivo comportamento quanto à corrosividade .....	122
<b><u>Tabela 25</u></b> - Índices físicos e resultados do ensaio de compactação (Proctor normal) .....	124
<b><u>Tabela 26</u></b> - Graus de compacidade de solos arenosos em função de valores de IRP (N). Modificado da NBR-7250 (ABNT, 1982) .....	126

## ÍNDICE DE FOTOS

<b><u>Foto 1</u></b> - Siltitos e argilitos da Formação Corumbataí, com processos de erosão generalizada instalados, afloramento na estrada de Batovi .....	66
<b><u>Foto 2</u></b> - Vista panorâmica da porção norte da área, mostrando um anfiteatro de nascente, característico do contato entre as unidades I e III .....	66
<b><u>Foto 3</u></b> - Vista aérea da Unidade I, mostrando parte do canal encaixado do córrego Olinda e a ocupação urbana muito próxima, em área considerada de risco .....	67
<b><u>Foto 4</u></b> - Perfil de solo característico da Unidade I, com siltitos arroxeados na porção inferior .....	67
<b><u>Foto 5</u></b> - Antiga cava de extração de argila da Formação Corumbataí no Jd. Wenzel .....	70
<b><u>Foto 6</u></b> - Vista panorâmica mostrando o morro do Horto (relevo característico da Unidade II) e o relevo de colina tabuliforme da Unidade IV .....	70
<b><u>Foto 7</u></b> - Corredeiras do ribeirão Claro, sobre soleira de diabásio na Usina Corumbataí, a sul da área .....	70
<b><u>Foto 8</u></b> - Bloco de diabásio sendo removido por máquinas em conjunto habitacional .....	73
<b><u>Foto 9</u></b> - Instalação de explosivos em diabásio Unidade II), sub-aflorante na SP-127, a sul da área, à época da duplicação da rodovia .....	73
<b><u>Foto 10</u></b> - Vista aérea de boçoroca no bairro Mãe Preta, zona norte da cidade e boçoroca aterrada com fibra de vidro .....	77
<b><u>Foto 11</u></b> - Erosão em cabeceira de drenagem da Unidade III/sub-unidade III, com desabamento de galerias pluviais, entre os bairros Jardim Bandeirantes/S. Miguel ...	77
<b><u>Foto 12</u></b> - Casa da Av. 6-A, no bairro Cidade Nova, escorada devido a trincas provocadas por colapso de solo .....	79
<b><u>Foto 13</u></b> - Registro de inundação/alagamento na Av. Visconde do Rio Claro .....	79
<b><u>Foto 14</u></b> - Vista aérea da lagoa do posto Cacareco, norte da área .....	81
<b><u>Foto 15</u></b> - Antiga lagoa do bairro Cervezon no início dos anos 70 .....	81

<b>Foto 16</b> - Ocupação atual da antiga lagoa do Cervezon, drenada e aterrada .....	81
<b>Foto 17</b> - Vista aérea de vale característico da sub-unidade IV-A, córrego Wenzel ..	82
<b>Foto 18</b> - Perfil de solo exposto na vertente do córrego Lavapés, característico da sub-unidade IV-A .....	84
<b>Foto 19</b> - Escavação na Av. 24-A, expondo o perfil de solo hidromórfico argiloso, com N.A. a cerca de 2 m da superfície, próximo ao córrego Lavapés .....	84
<b>Foto 20</b> - Erosão em sulcos em ruas não pavimentadas na transição da sub-unidade IV-B para a Unidade III.....	86
<b>Foto 21</b> - Grande bloco de laterita ferruginosa, representando áreas com problemas de escavabilidade, associado à Unidade III, Jardim Novo .....	86
<b>Foto 22</b> - Vista aérea do terraço de planície aluvionar do rio Corumbataí (unidades V e VI), no Jardim das Palmeiras, próximo à atual ETE .....	86
<b>Foto 23</b> - Vista aérea da várzea/planície de inundação (Unidade VI) do rio Corumbataí, próximo à estrada de Jacutinga .....	89
<b>Foto 24</b> - Vista panorâmica mostrando as faixas de ocorrência das unidades geológico-geotécnicas I, III, IV e VI, na Vila Industrial .....	90
<b>Foto 25</b> - Detalhe de depósito de assoreamento, soterrando a tubulação da galeria pluvial, córrego junto aos bairros Jardim Bandeirantes e São Miguel .....	90
<b>Foto 26</b> - Planície aluvionar do rio Corumbataí (Unidade VI) com registro de inundação, Jardim Nova Rio Claro, zona sudoeste .....	91
<b>Foto 27</b> - Planície de inundação do ribeirão Claro (Unidade VI), aterrada para instalação do conjunto habitacional do Jardim Conduta .....	91
<b>Foto 28</b> - Solos hidromórficos e orgânicos (t), associados à Unidade geológico-geotécnica V, correspondente a Unidade de cobertura 50, Jardim Bandeirantes .....	94
<b>Foto 29</b> - Escorregamento envolvendo aterro e corte em solo hidromórfico (Unidade geológico-geotécnica VI, contato com Unidade IV-A), na Av. Tancredo Neves .....	94
<b>Foto 30</b> - Área de ocorrência da Unidade geológico-geotécnica VI, utilizada para disposição, não autorizada, de entulho de construção civil .....	94

## INDICE DE ANEXOS

**ANEXO 1** - Mapa de pontos

**ANEXO 2** - Relação dos pontos de observação - 1ª etapa ou etapa geral

**ANEXO 3** - Mapa geológico-geotécnico

**ANEXO 4** - Mapa de zonas de proteção ambiental e de registros de problemas geológico-geotécnicos

**ANEXO 5** - Relação de locais com problemas ambientais de natureza geológico-geotécnica

**ANEXO 6** - Mapa de declividades

**ANEXO 7** - Mapa indicativo da profundidade do nível de água subterrâneo (N.A.)

**ANEXO 8** - Mapa de cobertura de materiais inconsolidados

**ANEXO 9** - Resultados de análises de laboratório e perfis de sondagem a percussão

## RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIÇÕES

- ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APA - Área de Proteção Ambiental
- DAAE - Departamento Autônomo de Água e Esgoto
- ETA - Estação de Tratamento de Água
- ETE - Estação de Tratamento de Esgoto
- EESC/USP - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
- EUA - Estados Unidos da América
- Fundunesp - Fundação para o Desenvolvimento da Unesp
- GPR - *Ground Penetrating Radar*
- IAEG - *International Association of Engineering Geology*
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
- IRP - Índice de Resistência à Penetração
- N.A. - nível de água subterrânea
- NBR - Norma Brasileira
- SEDEPLAMA - Secretaria de Desenvolvimento, Planejamento e Meio Ambiente
- SEV - Sondagem Elétrica Vertical
- SPT - *Standard Penetration Test*
- UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Unesp - Universidade Estadual Paulista

## RESUMO

A pesquisa teve como tema central o mapeamento geológico-geotécnico de áreas urbanas, analisando os dados do meio físico geológico, bem como a representação cartográfica de unidades geotécnicas. O estudo envolveu a análise das metodologias utilizadas nos trabalhos de cartografia geotécnica, com enfoque especial para duas linhas metodológicas brasileiras, ou seja, as metodologias utilizadas pela Escola de Engenharia de São Carlos e pelo IPT. O trabalho apresenta o método do detalhamento progressivo como alternativa aos estudos geológico-geotécnicos, tendo como objetivo principal a produção de instrumentos adequados para a gestão e o planejamento urbanos, ante as necessidades de seus principais usuários. Tal método consiste na adoção de diferentes escalas de abordagem para a elaboração de cartas e/ou mapas geotécnicos, com o desenvolvimento dos trabalhos em três etapas sucessivas, em níveis de detalhe crescentes, do geral (1ª etapa) para o particular (etapa de detalhe). O ensaio de aplicação do método do detalhamento progressivo foi realizado numa área de 160 km<sup>2</sup>, envolvendo o sítio urbano e de expansão urbana de Rio Claro, uma cidade de médio porte, do interior paulista. A 1ª etapa mostrou que estudos geológicos e geomorfológicos são fundamentais para orientar as etapas subsequentes; e a quantificação de alguns parâmetros na 2ª etapa foi importante para a melhor caracterização das unidades de estudo. A realização de ensaios de laboratórios na 3ª etapa é melhor dimensionada quando orientada pelas fases anteriores, estudos estes, efetivamente aplicados, se direcionados a projetos e obras.

### **PALAVRAS CHAVES:**

Geologia ambiental, Geologia de Engenharia. Cartografia geotécnica, Áreas urbanas - geologia de, Rio Claro.



## **ABSTRACT**

This paper's main theme is engineering geological mapping in urban areas, bringing together the results of the assembly, analysis and interpretation of geological data, as well as the cartographic representation of geotechnical units. As part of the study, an analysis of methodologies used in engineering geological mapping was made, with special emphasis on two lines of Brazilian methodologies, i.e., the procedures used by the Engineering School of São Carlos - University of São Paulo and by the Institute of Technological Researches of the State of São Paulo S.A. - IPT. The main purpose of the study is to apply the progressive detailing method to engineering geological maps in urban areas, with a view to produce more adequate instruments for urban administration and planning, taking into consideration the necessity of the users. The progressive detailing method's application was made in a 160 km<sup>2</sup> area that included an urban site and urban expansion in the municipal district of Rio Claro, a medium size town of the state of São Paulo, Brazil. The progressive detailing method consists of adopting different approach scales in engineering geological mapping, with the study being divided into three successive stages, in levels of increasing detail, from general to specific. The first stage showed the importance of geologic and geomorphologic studies on the development of next stages. The quantification of some parameters on 2<sup>nd</sup> stage was of great value on characterization of the units of study. The completion of laboratories analysis on the 3<sup>rd</sup> stage to subsidy projects and buildings, is better evaluated if it is guided for previous stages.

### **KEY WORDS:**

Environmental Geology, Urban Area Geology, Engineering Geological Mapping, Rio Claro.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a concentração urbana caracterizou-se como um aspecto marcante em grande parte dos municípios brasileiros. Dados oficiais de recenseamentos demonstram uma completa inversão do perfil da população brasileira nos últimos 50 anos. Em 1940, dois terços dela estavam instalados em áreas rurais; dados mais recentes mostram que bem menos de um terço da população total do país, ou seja, 22% permanecem no campo (IBGE, 1996). Na região Sudeste, por exemplo, a população urbana representa cerca de 89% da população total. Mais particularmente, o Município de Rio Claro tem um índice definido de 97% da população concentrada na zona urbana (IBGE, 1996).

A concentração populacional e o crescimento das áreas urbanas têm gerado inúmeros conflitos de diferentes origens e motivos que, se não administrados corretamente, podem levar a uma perda significativa da qualidade de vida, além de gerar situações críticas e mesmo catastróficas.

Em paralelo a esta expressiva concentração urbana, verifica-se o contínuo agravamento da crise econômica no país. Por outro lado, as ações de planejamento do uso urbano do solo, voltadas a garantir uma ocupação segura e econômica, mostram-se inadequadas e incompatíveis com o nível exigido pela elevada taxa de crescimento das cidades, especialmente quanto à consideração de fatores fisiográficos.

A associação destes fatos (expansão urbana, crise econômica e planejamento inadequado) acarretou perversos reflexos na qualidade de vida de considerável parcela da população de núcleos urbanos brasileiros. Em decorrência, inúmeros empreendimentos públicos e privados acabaram por apresentar enormes insucessos, bem como se instalaram graves desequilíbrios ambientais em áreas urbanas de vários municípios brasileiros.

As administrações municipais, de forma geral, têm se caracterizado pela implantação de ações corretivas e emergenciais, conforme os problemas acumulados

nas últimas duas décadas se sucedem. Esta atuação corretiva poderá, gradativamente, ser reduzida e substituída por ações preventivas, principalmente com o planejamento ordenado do crescimento urbano.

Entre os campos que devem colaborar e até servir como ponto de partida para as ações de planejamento urbano, deve ser destacado o conhecimento do meio físico geológico. Este campo de atuação, que pode ser denominado Geologia de Áreas Urbanas ou Geologia de Engenharia em Áreas Urbanas, engloba uma grande variedade de temas técnico-científicos exclusivos.

Quanto ao ambiente geológico - ou meio físico geológico, que tem como componentes materiais o ar, a água, o solo e a rocha - são inúmeros os problemas de natureza geológico-geotécnica, comumente registrados em núcleos urbanos, mesmo naqueles de pequeno e médio porte. Dentre os problemas mais comuns destacam-se:

- a) os conflitos entre as diferentes formas de uso e ocupação do solo;
- b) a degradação resultante da exploração de materiais naturais (areia, argila e rocha), para uso na indústria e na construção civil;
- c) a intensificação de processos geológicos exógenos (escorregamentos, erosão e assoreamento), por vezes, acarretando a instalação de graves situações de risco geológico e o registro de trágicos acidentes;
- d) a falta de critérios na disposição de resíduos urbanos e industriais, não raro, resultando na contaminação dos recursos hídricos.

Diante disto, o Poder Público Municipal - esfera de governo responsável pela gestão urbana - depara-se com as seguintes situações:

- necessidade de priorizar a solução de problemas instalados nos núcleos urbanos, racionalizando recursos, adotando soluções não-convencionais, de baixo custo e que possam ser objeto de larga aplicação, particularmente em razão da escassez de recursos financeiros;
- necessidade de planejar a ocupação de novas áreas, visando evitar a instalação de novos problemas no meio ambiente urbano, reconhecendo a continuidade do processo de elevada taxa de ocupação, o que leva à implantação de instalações urbanas em áreas geotecnicamente mais problemáticas do que aquelas já ocupadas e/ou de comportamento ainda desconhecido no nível de detalhe desejado;

- acentuada carência, em seus quadros técnicos, de recursos humanos capacitados para a implementação das ações referentes às necessidades descritas anteriormente, seja em termos operacionais, seja em termos de solicitar a contratação e de julgar adequadamente os projetos elaborados por empresas privadas;
- necessidade de integrar as ações de planejamento municipal, ou local, em um contexto mais amplo, em sintonia com as diretrizes regionais.

Neste contexto, a GEOLOGIA DE ENGENHARIA - "*ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a Geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos*" (IAEG, 1992) e a GEOLOGIA AMBIENTAL - "*ramo das ciências da Terra que enfatiza toda a gama das interações do homem com o ambiente físico*" (KELLER, 1982), reúnem expressiva capacitação técnico-científica que pode subsidiar as ações do Poder Público Municipal.

Para OLIVEIRA *et al.* (1995), a Geologia de Engenharia se constitui *num ramo aplicado da geologia, onde o conhecimento geológico e dos processos geodinâmicos está a serviço do equilíbrio das relações entre as atividades humanas e o meio físico*. De outra forma, estes autores (*op cit.*) definem a Geologia de Engenharia como congregando *o campo do conhecimento da Terra e sua história (a Geologia) ao campo do desenvolvimento das técnicas de transformação da Terra pelo homem (a Engenharia)*.

Ainda dentro do contexto nacional, RUIZ & GUIDICINI (1998) admitem que a definição de Geologia de Engenharia se confunde ou fica muito próxima da definição de Geologia Ambiental que, segundo LEINZ & AMARAL (1989), consiste no estudo dos problemas geológicos decorrentes da relação que existe entre o homem e a superfície terrestre.

Dentre os temas abordados pela Geologia de Engenharia e pela Geologia Ambiental inclui-se a cartografia geotécnica ou o mapeamento geológico-geotécnico, que congrega os resultados da reunião, análise e interpretação de dados do meio físico geológico, bem como a representação cartográfica das unidades de análise que apresentam semelhantes potencialidades e limitações ao uso urbano do solo.

O mapeamento geológico-geotécnico analisa de forma conjunta o comportamento e as propriedades das rochas e dos solos (características geotécnicas) e sua gênese (características geológicas), isto é, reúne um determinado número de informações e análises extensivas para toda a área estudada e orientadas pela base geológica. Desta forma, pode reunir os subsídios do meio físico geológico, tanto para o planejamento da ocupação futura, quanto para a correção dos problemas de natureza geológico-geotécnica instalados nos núcleos urbanos.

## 1.1 Premissas

A forma de apresentação e a interpretação dos dados e componentes do meio físico têm sido muito discutidas e várias metodologias de mapeamento ou cartografia geotécnica foram propostas ao longo dos últimos 50 anos. Destas metodologias (propostas e freqüentemente utilizadas, tanto no Brasil, como em outros países), algumas são bastante distintas e outras apresentam alguns pontos comuns.

No Brasil, muitos trabalhos técnicos e científicos (teses e dissertações), recentemente desenvolvidos em mapeamentos geotécnicos, têm apresentado as diferentes propostas metodológicas existentes, particularmente, aqueles desenvolvidos pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT. A presente investigação utiliza como premissa o fato que estas duas metodologias são as mais largamente empregadas e adotadas para a execução de cartas e/ou mapas geotécnicos de áreas urbanas no Brasil.

Dentro da importância do tema proposto, um aspecto destacado durante o desenvolvimento da presente pesquisa é o conhecimento mais aprofundado da geologia e geomorfologia da área de estudo, visando um maior aproveitamento desta informação na elaboração dos cartogramas geotécnicos.

Desta maneira, torna-se claro que a análise e a evolução dos conhecimentos já acumulados nos estudos de mapeamento geológico-geotécnico são fundamentais para que sua aplicação seja mais efetiva, tornando-se, realmente, um instrumento que subsidia o planejamento e a gestão do uso urbano do solo.

Assim, pretende-se verificar a possibilidade de se colocar à disposição do Poder Público, bem como de empresas públicas e privadas envolvidas na prestação de

serviços públicos, documentos que permitam uma forma mais efetiva de se utilizar os parâmetros e atributos do meio físico nas ações de planejamento e gestão do uso urbano do solo.

Outro aspecto refere-se ao tipo de abordagem que deve ser adotado na elaboração das cartas e mapas geotécnicos e, ainda, sobre a real necessidade destes trabalhos em cada nível de abordagem.

No escopo deste questionamento, é analisado se o estudo deve ser mais amplo, ou desenvolvido, unicamente, de modo mais aprofundado e detalhado para áreas e tópicos restritos (detalhamento progressivo), ou ainda, se deve ser específico, sem requerer, para seu entendimento, uma visão mais abrangente no contexto da dinâmica do meio físico.

Aprimorando tal abordagem, duas questões complementares são colocadas:

1. A tomada de decisão, quanto aos produtos cartográficos a serem gerados, pode ser feita durante o transcorrer do trabalho, avaliadas as reais necessidades e demandas do uso do solo, optando-se por maior ou menor detalhamento, escala de trabalho, ensaios, análises e quantificações?

2. O conhecimento do contexto regional do meio físico deve ser um pré-requisito sempre imprescindível e quais áreas do conhecimento são necessárias para tanto?

## **1.2 Hipótese de trabalho e objetivos**

A partir dos aspectos apresentados nas premissas é apresentada a seguinte hipótese de trabalho, formulada para o desenvolvimento da pesquisa:

- *cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas em diferentes escalas, do geral para o particular, podem ser elaborados segundo o método do detalhamento progressivo, de modo a atender, de forma adequada, às necessidades decorrentes do planejamento e da gestão do uso urbano do solo.*

Para verificar a hipótese de trabalho formulada, o objetivo principal da pesquisa corresponde à análise da aplicabilidade e eficiência, por meio de um ensaio de aplicação envolvendo a elaboração de cartas e/ou mapas geotécnicos da área urbana

e de expansão urbana do Município de Rio Claro - SP, utilizando-se o método do detalhamento progressivo.

Para atingir tal proposta, a pesquisa teve como objetivo complementar apresentar uma análise comparativa entre os métodos de cartografia geotécnica mais utilizados no Brasil, ou seja, as concepções metodológicas adotadas pela EESC/USP e pelo IPT.

Tais objetivos se apoiaram no fato de que CERRI *et al.* (1996), ao sugerirem o método do detalhamento progressivo para uma maior utilização das cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas, deixaram de detalhar os passos metodológicos a serem seguidos e, portanto, não puderam avaliar a eficiência da proposição, a qual foi, então, examinada neste trabalho.

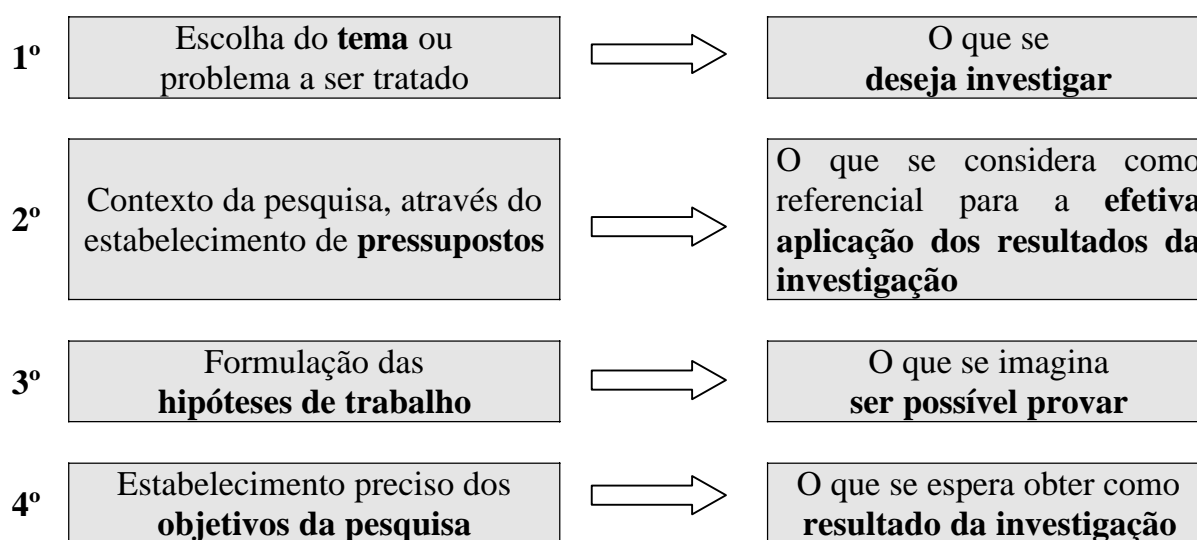
## 2. METODOLOGIA E ETAPAS DE TRABALHO

Neste item são apresentadas algumas considerações e bases para a fundamentação e estruturação do trabalho, uma explanação sobre a proposta do método do detalhamento progressivo e a descrição das diferentes etapas de trabalho.

### 2.1 Fundamentos metodológicos

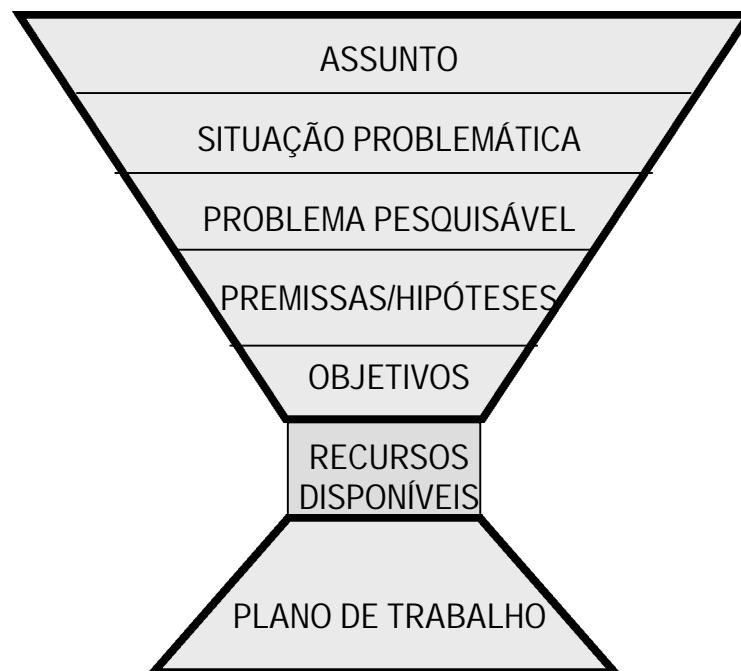
O desenvolvimento de uma pesquisa bem sucedida depende da organização e do método aplicado. CERRI (1993) propõe os seguintes passos para a elaboração de um plano de pesquisa: escolha do tema, seguida do estabelecimento de pressupostos, hipótese de trabalho e, a partir destes pontos colocados, a definição dos objetivos a serem buscados pela pesquisa. A [Tabela 1](#) mostra a proposta daquele autor.

**Tabela 1 – Proposta de elaboração de um plano de pesquisa (CERRI, 1993).**



De forma semelhante, ANDREW & HILDEBRAND (1982) procuram demonstrar a estruturação e o fluxo de um projeto de pesquisa, conforme apresentado na [Figura 1](#).





**Figura 1 - Fluxograma de elaboração de um projeto de pesquisa condicionado pelos recursos disponíveis (traduzido de ANDREW & HILDEBRAND, 1982).**

Este fluxograma mostra que, além das seqüências das etapas de um projeto de pesquisa, os recursos disponíveis são um fator limitante e determinante para se dimensionar e orientar o projeto. Para a leitura deste fluxograma, avalia-se que estão subentendidos no quadro como “recursos disponíveis” os recursos financeiros, humanos, disponibilidade de tempo, capacitação técnica, laboratórios, equipamentos, *softwares*, entre outros.

VARGAS (1985) define a metodologia mais adequada aos estudos da natureza, dentre os quais estão incluídos aqueles das Geociências, uma combinação dos métodos: **dedutivo** (de René Descartes); **indutivo** (de Francis Bacon) e **experimental** (de Galileu Galilei).

Dentro do contexto das Geociências, SANTOS (1994) situa a Geologia de Engenharia e discute seus fundamentos filosóficos e metodológicos, aqui representados na [Tabela 2](#).

**Tabela 2 – Fundamentos conceituais da Geologia de Engenharia (SANTOS, 1994).**

CONCEITOS	FUNDAMENTOS
NATUREZA EM CONTÍNUO MOVIMENTO	Toda natureza geológica está submetida a processos e toda intervenção humana interage com a dinâmica desses processos.
SENTIDO DO EQUILÍBRIO	Todos os movimentos inerentes aos processos naturais ou induzidos explicam-se pela busca de posições de maior equilíbrio.
IMANÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Materiais com características intrínsecas diferentes responderão diferentemente a solicitações semelhantes.

Ainda para SANTOS (1994), à *Geologia de Engenharia* cabe, a partir de seus fundamentos filosóficos, a responsabilidade técnica de diagnosticar e entender os fenômenos geológico-geotécnicos que possam resultar de interação de solicitações globais, regionais ou locais (obras, serviços, atividades urbanas e rurais) ao meio físico geológico com os processos e características pré-existentes deste meio. Dentro deste raciocínio, o autor define uma seqüência natural de passos na Geologia de Engenharia representados pelas seguintes palavras-chave: ***diagnóstico, entendimento, dinâmica de desenvolvimento e previsão de comportamento.***

A [Tabela 3](#) mostra a seqüência das fases na Geologia de Engenharia proposta por SANTOS (1994), passando por duas etapas iniciais de entendimento e solução, que coincidem com os objetivos de instrumentos de planejamento como as cartas e mapas geológico-geotécnicos, seguidas por fases complementares que são as de acompanhamento e monitoramento.

Neste contexto, pode-se, portanto, inserir a proposição desta Tese, que é a da aplicação do método do detalhamento progressivo a ser utilizado em mapeamento geológico-geotécnico. Pode-se colocar, complementarmente, que a base metodológica do detalhamento progressivo está na execução dos mapas e/ou cartas geotécnicas em etapas progressivas, sendo que a tomada de decisão se dá durante a elaboração do trabalho, a qual é embasada e orientada pelas informações obtidas na etapa anterior.

**Tabela 3 - Ações e objetivos da Geologia de Engenharia (SANTOS, 1994).**

<b>FASES</b>	<b>OBJETIVOS</b>
<b>ENTENDIMENTO</b>	Diagnosticar em sua natureza e em sua dinâmica os fenômenos geológico-geotécnicos envolvidos nas inter-relações solicitação/meio físico geológico.
<b>SOLUÇÃO</b>	Apoiar a Engenharia na formulação das soluções adequadas, zelando, especialmente, pela perfeita aderência fenômeno/solução.
<b>ACOMPANHAMENTO</b>	Acompanhar a implantação da solução escolhida, sugerindo ajustamentos técnicos eventualmente necessários.
<b>MONITORAMENTO</b>	Auscultar o desenvolvimento da solução implantada, propondo eventuais medidas corretivas.

## **2.2 O método do detalhamento progressivo**

O método do detalhamento progressivo (CERRI *et al.*, 1996) prevê a realização dos trabalhos em três grandes etapas, ou seja, o desenvolvimento do mapeamento geológico-geotécnico em fases sucessivas, de modo que cada fase determina os temas técnicos e o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente.

**1ª Etapa ou Etapa geral:** mapeamento geológico-geotécnico regional na escala 1:50.000 ou 1:25.000, a partir da integração de dados de levantamentos realizados em diferentes escalas, com eventuais complementações.

No caso desta pesquisa optou-se pela escala **1:25.000**, incluindo-se a caracterização do meio físico geológico, a definição das dimensões da área de estudo em função da área urbana atual e da projeção do crescimento urbano a médio prazo (10 a 20 anos), além de uma área envoltória, em que a **caracterização do meio físico geológico** contribua para o melhor entendimento de sua dinâmica. Na mesma etapa, somente se justificam quantificações, ante o objetivo e as condições de execução do trabalho. Ainda assim, a quantificação se restringe a aspectos mais gerais, como por exemplo, a profundidade do nível freático ou a espessura de unidades de cobertura.

**2ª Etapa ou Etapa intermediária:** cartas e/ou mapas geotécnicos apresentados na escala **1:25.000** (1ª etapa = 1:50.000) ou **1:10.000** (1ª etapa =

1:25.000), em áreas de adensamento e/ou de expansão urbana, selecionadas a partir do mapa geológico-geotécnico regional.

Esta etapa consta de um detalhamento da caracterização do meio físico geológico, realizada na etapa anterior (também apontando as limitações e as potencialidades), além da identificação dos eventuais problemas de natureza geológico-geotécnica instalados na área de estudo. Os resultados obtidos fornecem subsídios diretos para o planejamento adequado e a gestão do uso urbano do solo em áreas já urbanizadas e naquelas com perspectivas de urbanização em médio prazo. Também está incluída a quantificação dos parâmetros geológico-geotécnicos selecionados e que interessem diretamente às ações de planejamento e gestão urbana.

**3ª Etapa ou Etapa de detalhe:** com base na caracterização do meio físico geológico e na identificação de eventuais problemas geológico-geotécnicos selecionados na escala 1:10.000, são selecionados locais para realização de estudos específicos, que, se necessário, podem envolver a confecção de mapas, elaborados na escala **1:5.000**, ou maior quando necessário, já que objetivam subsidiar a elaboração de projetos de obras de engenharia para sanar problemas já instalados ou para a implantação de novos empreendimentos.

Nesta etapa, a quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos pertinentes ao estudo temático é indispensável, exceto nos casos em que a capacitação técnica acumulada (teórica e/ou empírica) seja plenamente suficiente para embasar projetos e obras.

Com este escopo, os subsídios geológico-geotécnicos representam, de acordo com a complexidade do tema selecionado, a caracterização do local investigado, em nível suficiente para a elaboração de projeto de reabilitação (a ser elaborado pelo usuário, quer seja empresa privada, órgão público ou empresa por este contratada), ou para a caracterização preliminar, com identificação e indicação de estudos de detalhe necessários.

A [Tabela 4](#) resume a proposta do detalhamento progressivo.

**Tabela 4 - Síntese das etapas do método do detalhamento progressivo.**

	<b>1ª ETAPA GERAL</b>	<b>2ª ETAPA INTERMEDIÁRIA OU DE SEMI-DETALHE</b>	<b>3ª ETAPA DETALHE</b>
<b>PRODUTOS</b>	Cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos na escala <b>1:50.000</b> ou <b>1:25.000</b> .	Cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos na escala <b>1:25.000</b> (1ª etapa = 1:50.000) ou <b>1:10.000</b> (1ª etapa = 1:25.000). Detalhamento da caracterização do meio físico realizado na etapa anterior, com identificação dos problemas geológico-geotécnicos instalados.	Estudos geológico-geotécnicos temáticos específicos na escala <b>1:5.000</b> ou maior (se necessário). Com base nos resultados das etapas anteriores são selecionados os temas técnicos e áreas para estudo de detalhe.
<b>OBJETIVOS</b>	Caracterização do meio físico com a identificação de suas limitações e potencialidades ante as necessidades impostas pelo uso urbano do solo.	Fornecer subsídios para adequado planejamento e gestão do uso urbano do solo.	Subsidiar a elaboração de projetos de obras de engenharia para sanar problemas já instalados e/ou a implantação de novos empreendimentos.
<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	Já urbanizada, com perspectiva de urbanização a médio prazo (10 a 20 anos), e áreas adjacentes (nas quais é fundamental a caracterização do meio físico). A definição da área de estudo é função: a) do porte do núcleo urbano e b) das características do meio físico.	Já urbanizada, com perspectiva de urbanização a médio prazo, em áreas de adensamento e/ou expansão urbana, selecionadas a partir do mapa geológico-geotécnico da 1ª etapa. A definição da área é função: a) das prioridades do estudo b) das características do meio físico. Regiões metropolitanas e núcleos urbanos de grande porte: priorizar setores destas áreas, mesmo que descontínuos.	Restrita (podem ser realizados vários estudos, nas respectivas áreas de interesse). Definição da área é função dos estudos temáticos.
<b>QUANTIFICAÇÃO</b>	<b>Somente quando viável</b> ante o objetivo e condições de execução do trabalho. Deve ser restrita a aspectos mais gerais, como, por exemplo, a profundidade do nível freático ou a espessura de unidades de cobertura.	<b>Desejável</b> (declividades, profundidade do N.A., espessura de unidades de cobertura, profundidade do topo rochoso, etc.).	<b>Indispensável</b> , exceto nos casos em que a capacitação técnica acumulada (teórica e/ou empírica) seja plenamente suficiente para permitir a adequada elaboração de projetos de obras de engenharia.

## 2.3 Etapas de trabalho

O desenvolvimento desta pesquisa segue o fluxograma apresentado na [Figura 2](#), no qual está inserido o método do detalhamento progressivo, proposto para ser executado nas três etapas, do geral para o detalhe.

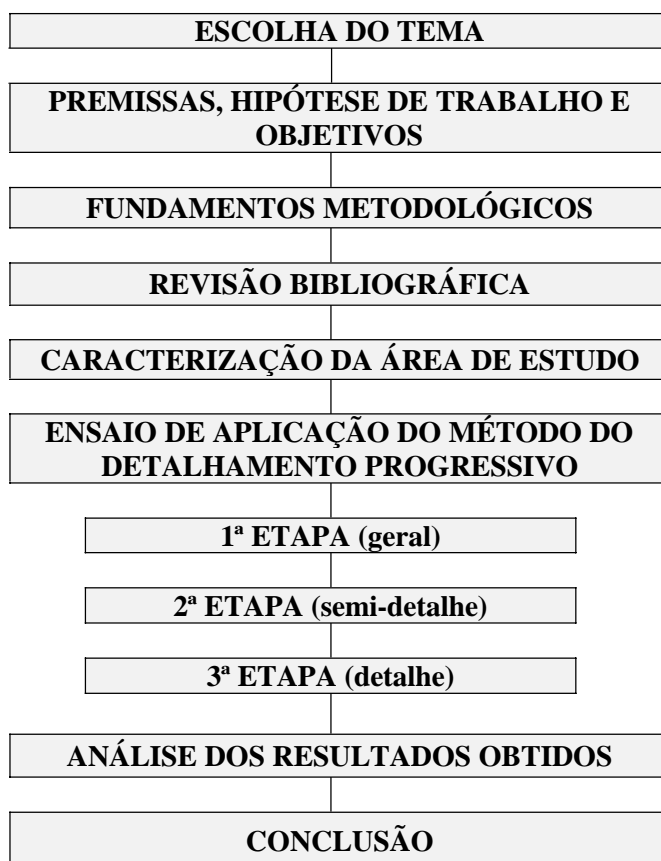


Figura 2 - Seqüência das etapas de trabalho realizadas nesta pesquisa.

## 2.3 Materiais utilizados e procedimentos

Neste item é feita a relação e descrição dos materiais e equipamentos utilizados, bem como os procedimentos seguidos durante o desenvolvimento da pesquisa.

### a) Principais fontes de pesquisa bibliográfica

Na compilação de dados e informações relativos às principais metodologias de mapeamento e cartografia geotécnica desenvolvidos no Brasil, grande parte da

bibliografia disponível foi obtida junto às bibliotecas do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista - Unesp - Campus de Rio Claro, da Divisão de Geologia do IPT e do Departamento de Geotecnia da EESC/USP.

Justifica-se a escolha destes dois últimos centros de pesquisa, por constarem do meio científico brasileiro com um registro considerável de trabalhos executados na linha do mapeamento geológico-geotécnico.

Desta forma, os métodos empregados para a realização da presente pesquisa fundamentam-se nas metodologias utilizadas pela EESC/USP e pelo IPT, aplicadas para a elaboração de cartas geotécnicas, com base no detalhamento progressivo proposto por CERRI *et al.* (1996), ou seja, o desenvolvimento da cartografia em fases sucessivas, de modo que cada fase determina os temas técnicos e o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente.

## **b) Material cartográfico utilizado**

- Folha topográfica Rio Claro SF-23-M-I-4 (IBGE, 1969), na escala 1:50.000
- Folhas topográficas 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico - IGC:
  1. (63/90) - Ribeirão do Jacutinga - SF-23-Y-A-I-4-NE-E
  2. (63/91) - Córrego Cachoeirinha - SF-23-Y-A-I-4-NE-F
  3. (64/90) - Rio Claro I - SF-23-Y-A-I-4-SE-A
  4. (64/91) - Rio Claro II - SF-23-Y-A-I-4-SE-B
  5. (65/90) - Rio Claro III - SF-23-Y-A-I-4-SE-C
  6. (65/91) - Santa Gertrudes I - SF-23-Y-A-I-4-SE-D
- Base topográfica da Prefeitura Municipal de Rio Claro, escala 1:10.000

## **c) Fotografias aéreas**

A utilização de fotografias aéreas para a interpretação preliminar, verificação e confirmação de informações de campo foi realizada com o auxílio de dois jogos de fotos aéreas, na escala 1:25.000, para os levantamentos e verificações contemplados nos mapas 1:25.000, e na escala 1:5.000 para os levantamentos,

averiguações e interpretações presentes nos mapas 1:10.000 e também para a fase de detalhe na escala 1:5.000.

As fotos aéreas, que datam de meados de 1995, na escala 1:5.000, são provenientes de levantamento realizado pela empresa Aerodata Base S/A para a Prefeitura Municipal de Rio Claro e obtidas por empréstimo junto à SEDEPLAMA.

#### **d) Material cartográfico elaborado**

Para a preparação das bases topográficas utilizadas na pesquisa, foram digitalizadas bases em duas escalas, a partir do material cartográfico já existente, procurando-se obter:

- uma base na escala 1:25.000 (com drenagem, vias, área urbana atualizada, curvas de nível, além de outras informações complementares), reduzida a partir de Folhas 1:10.000 (listadas a seguir), complementada e atualizada com dados obtidos em mapas da Prefeitura Municipal de Rio Claro e em fotos aéreas 1:25.000 de 1995.

Para a área definida em escala de semi-detalle foram utilizadas as mesmas bases 1:10.000, complementadas e atualizadas por informações obtidas nas fotos aéreas 1:5.000 de 1995.

As bases topográficas, os diferentes produtos cartográficos apresentados, bem como os perfis e legendas foram digitalizados através do programa AutoCAD Release 14.

#### **e) Trabalhos de campo**

Os trabalhos de campo foram realizados, conforme o método do detalhamento progressivo, obedecendo as três etapas propostas. A coleta de dados referentes à 1ª etapa foi feita através da observação em pontos distribuídos homogeneamente por toda a área, numa densidade aproximada de 1 ponto por km<sup>2</sup>, onde foram feitas observações e descrições dos pontos em afloramentos de solo e rocha existentes em cortes de vias, boçorocas, escavações, drenagens, etc. Foram



descritos os seguintes aspectos: tipo de rocha e de solo, feições de relevo, intervenções antrópicas.

Os trabalhos foram desenvolvidos com a definição do tipo/ordenamento da informação a ser coletada, através da elaboração de uma ficha de campo definida com base na experiência profissional do autor e em fichas utilizadas em trabalhos de mapeamento geológico e geotécnico em geral, e podem ser visualizadas em um mapa de pontos, o qual contém as informações levantadas na 1ª etapa.

Para a 2ª etapa, os trabalhos de campo contemplaram o adensamento e o detalhamento das observações da 1ª etapa, com a busca de dados quantitativos de atributos como a profundidade do nível freático, a espessura de coberturas inconsolidadas, além da caracterização e análise do material superficial (solo). Também foram realizadas algumas investigações indiretas de sub-superfície, através de métodos geofísicos. Para a área definida como teste na etapa de semi-detelhe foram feitas nove sondagens elétricas verticais (SEVs).

A 3ª etapa incluiu o estudo específico de uma área para implantação de tanques de armazenamento de combustíveis. Os trabalhos de campo constaram de abertura de poço com retroescavadeira para coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo; investigações geofísicas (SEV e radar); locação e acompanhamento de sondagens a percussão com coleta de amostras de água do N.A. Os trabalhos buscaram a quantificação de parâmetros geotécnicos, tais como: índices físicos, profundidade do N. A. e direção de fluxo de água subterrâneo, e capacidade de suporte dos diferentes materiais.

Além dos dados de campo, foram coletadas informações de fontes diversas, desde as de sondagens para água subterrânea (poços tubulares profundos), sondagens e ensaios de geotecnia, incluindo análises de laboratório obtidas de outros trabalhos realizados na área da pesquisa.

## **f) Análises e ensaios de laboratório**

As análises e ensaios de laboratório desta pesquisa foram realizadas com base em amostras coletadas nos trabalhos de campo da etapa de detalhe. Os procedimentos, tipos de análises e laboratórios utilizados foram os seguintes:

- Amostras de solo, deformadas, coletadas a 2,50 e 3,50 m de profundidade, utilizadas para: a) análise granulométrica, índices físicos, massa específica dos sólidos, compactação Proctor normal e mineralógica, realizadas nos laboratórios dos Departamentos de Geologia Aplicada e de Petrologia e Metalogenia da Unesp - Rio Claro; b) análises físico-químicas realizadas nos laboratórios da EESC/USP (pH, EH e condutividade elétrica), e outras análises de solo realizadas na BIOAGRI laboratórios – Piracicaba (Carbonatos, Carbono Orgânico total, Potencial Redox em solução aquosa, pH e CTC).

- Amostra de solo, indeformada, coletada a 3,50 m de profundidade, utilizada para ensaio edométrico (compressão confinada ou de adensamento com inundação), realizado no laboratório da EESC/USP.

- Amostra de água do N.A., coletada no furo de sondagem a percussão SP-2, na profundidade de 6,30 m, utilizada para as seguintes análises: a) pH, EH, cor, condutividade elétrica e presença de hidrocarbonetos, realizadas nos laboratórios da EESC/USP e HIDROLABOR - Sorocaba.

## **g) Documentação fotográfica**

As fotografias apresentadas nesta Tese foram obtidas da seguinte forma: fotos, em superfície, das exposições observadas durante os trabalhos de campo; fotos panorâmicas conseguidas junto à Prefeitura Municipal de Rio Claro e o Departamento Autônomo de Água e Esgotos - DAAE, e fotos extraídas de jornais locais.

### 3. BASE TEÓRICA

Neste capítulo são expostos vários pontos extraídos da literatura disponível, sobre os quais esta pesquisa se fundamenta. Algumas definições são atribuídas a termos básicos como cartografia, cartas e mapas, com enfoques e interpretações distintos, evoluindo para uma discussão sobre os diferentes produtos denominados, algumas vezes, cartas e, outras vezes, mapas geotécnicos.

Também é colocada, de forma sintética, a descrição de algumas das principais metodologias (mais conhecidas) utilizadas em diversos países e no Brasil, com enfoque em detalhe para os métodos utilizados pela EESC/USP e pelo IPT, que servem de parâmetro comparativo para a proposição do método do detalhamento progressivo.

#### 3.1 Aspectos conceituais relativos a cartas e/ou mapas geotécnicos

Entre os conceitos apresentados, importantes para o desenvolvimento da presente pesquisa, destacam-se: mapa, carta, planta, mapas geotécnicos, plantas e cartas geotécnicas, segundo vários autores.

O termo cartografia, aplicado num sentido mais amplo, como no contexto da Geografia, é definido como o estudo ou todas as preocupações voltadas para a elaboração de um mapa (SANCHEZ, 1973). Ainda para SANCHEZ (1981), *a Cartografia pode ser definida como a ciência que se preocupa com os estudos e as operações científicas, artísticas e técnicas resultantes de observações e medidas diretas ou explorações de documentações visando a obtenção de dados e informações para a elaboração de representações gráficas tipo: plantas, cartas, mapas, gráficos, diagramas e outras formas de expressão, bem como, de sua utilização.*

ZUQUETTE (1987) e AGUIAR (1994) diferenciam mapas geotécnicos de plantas e cartas geotécnicas, cujas características principais são apresentadas, respectivamente, nas [Tabelas 5](#) e [6](#).

**Tabela 5 - Conceitos de mapa, planta e carta geotécnicos (ZUQUETTE, 1987).**

TERMO	CONCEITO
<b>MAPA GEOTÉCNICO</b>	Representação dos atributos geotécnicos levantados, sem realização de análise interpretativa e sempre em escalas inferiores a 1:10.000.
<b>PLANTA GEOTÉCNICA</b>	Representação gráfica realizada em escalas grandes, maiores que 1:10.000, normalmente voltada para locais onde serão executadas obras específicas.
<b>CARTA GEOTÉCNICA</b>	Representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão num mapa. Ex.: carta clinométrica obtida a partir do mapa topográfico, carta de escavabilidade, etc.

**Tabela 6 - Definições de termos empregados em mapeamento geotécnico (AGUIAR, 1994).**

TERMO	DEFINIÇÃO
<b>MAPA</b>	Representação gráfica dos atributos do meio físico em determinada escala, sem análise interpretativa.
<b>CARTA</b>	Diferencia-se do anterior por incluir análise interpretativa, destinada a fins práticos da atividade humana.
<b>ATRIBUTO</b>	Característica qualitativa ou quantitativa, que identifica o componente de um sistema observado.
<b>MAPEAMENTO GEOTÉCNICO</b>	Conjunto de processos sistemáticos de investigação dos atributos, imprescindíveis ao estabelecimento de unidades geotécnicas e passíveis de representação em documentos cartográficos.
<b>CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA</b>	Distinta do mapeamento geotécnico por apenas estabelecer as unidades geotécnicas, com base em levantamentos executados anteriormente, sem a etapa de investigação.

Tais autores explicam que um mapa (elaborado em escala pequena) ou uma planta (elaborada em escala grande) geotécnica correspondem ao registro cartográfico (ou espacialização) de determinada(s) característica(s) ou atributo(s) do meio físico geológico. Assim, uma planta é, na verdade, um *mapa de detalhe*. Com base nestes conceitos, teoricamente, os conteúdos de mapas e plantas geotécnicos independem de quem os elabora.

CERRI *et al.* (1996) postulam que uma carta geotécnica embute, necessariamente, uma interpretação no estabelecimento dos limites espaciais de determinada(s) característica(s) ou atributo(s) do meio físico geológico ante o objetivo do trabalho, independentemente da escala de representação cartográfica escolhida. Assim, a elaboração de uma carta geotécnica pressupõe um toque pessoal e subjetivo, função da formação profissional do elaborador (ou da equipe) e de sua experiência e competência técnica. Com isto, cartas geotécnicas elaboradas por diferentes autores,

embora com os mesmos objetivos, nas mesmas áreas físicas e escalas, e em idênticas condições de trabalho podem, perfeitamente, resultar em produtos algo diferentes.

Destaca-se que, para efeito da presente pesquisa, são utilizados os termos cartas e mapas geotécnicos indistintamente, já que a análise detalhada desta questão terminológica não corresponde aos seus objetivos.

Para VARNES (1974), as cartas e/ou mapas geotécnicos ilustram o conjunto das operações de adição, seleção, generalização e transformação das informações especiais do tipo: litologia e estruturas dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos.

Conforme IAEG-UNESCO (1976), as cartas e/ou mapas geotécnicos são um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico. Apresentam grande significado para as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente.

MATULA (1976) esclarece que as cartas e/ou mapas geotécnicos representam o modelo mais ilustrativo do ambiente geológico, servindo às finalidades de engenharia.

CERRI (1990) explica que tais cartas e/ou mapas englobam a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos, as propriedades geológico-geotécnicas destes solos e rochas, as formas de relevo e a dinâmica dos principais processos atuantes, eventuais alterações decorrentes da implantação das diferentes formas de uso e ocupação, e o reflexo dos processos (naturais e induzidos), nas formas do uso e ocupação.

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.

Conforme SOUZA (1992), as cartas e/ou mapas geotécnicos são o meio mais apropriado para o exercício das Geociências, já que, durante sua elaboração, se passa pelo conhecimento dos fenômenos e processos da natureza, que dinamizam e alteram as condições do meio físico.

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.

### 3.2 Objetivos e aplicações das cartas e/ou mapas geotécnicos

Os objetivos das cartas e/ou mapas geotécnicos variam de acordo com o seu tipo e nível de detalhamento desejado. De acordo com CERRI (1990), as cartas podem ser classificadas em:

- genéricas - têm caráter apenas indicativo e orientador, subsidiando, assim, o planejamento do uso e ocupação;
- específicas - são determinativas e restritas, impondo a projetos, formas mais adequadas de uso e ocupação do solo e/ou a necessidade de determinados tipos de obras de engenharia.

As cartas e/ou mapas geotécnicos, segundo CERRI (*op. cit.*), visam a melhor utilização do espaço físico disponível, respondem pela melhor conservação e proteção ambiental dos recursos naturais, expõem os critérios técnicos para ocupação e recuperação de áreas degradadas, podem garantir a segurança de edificações e da população (com a previsão e prevenção dos riscos geológicos), propõem-se à otimização de recursos públicos e privados e orientam estudos específicos para obras de engenharia. Na [Tabela 7](#) são apresentados os objetivos das cartas e/ou mapas geotécnicos, bem como suas possíveis aplicações.

**Tabela 7 - Principais objetivos e aplicações das cartas geotécnicas (CERRI, 1990).**

OBJETIVOS	APLICAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"><li>- melhor utilização do espaço físico disponível;</li><li>- conservação ambiental e proteção dos recursos naturais;</li><li>- estabelecimento de critérios técnicos para a expansão da ocupação e a recuperação de áreas degradadas por ocupação desordenada;</li><li>- segurança das edificações e da população, através da previsão e prevenção de riscos geológicos (naturais e induzidos);</li><li>- otimização da aplicação de recursos públicos e privados;</li><li>- orientação (e não substituição) de estudos e ensaios específicos para projetos de engenharia.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- como subsídios à elaboração de projetos voltados ao planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo, em todos os níveis (Plano Diretor, zoneamento, parcelamento e desmembramento), inclusive, na própria elaboração de dispositivos legais inerentes ao uso do solo.</li><li>- como subsídios a estudos de impacto ambiental.</li><li>- na restrição à ocupação de áreas sob riscos geológicos.</li><li>- na definição de locais mais adequados, dos cuidados e estudos específicos para implantação de obras de engenharia.</li><li>- na melhor estimativa dos custos de implantação dos empreendimentos.</li><li>- no estabelecimento de critérios técnicos para eficientes sistemas de manutenção das obras de engenharia.</li></ul>

Conforme NAKAZAWA *et al.* (1991), as cartas e/ou mapas geotécnicos prevêm o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, os conflitos das diversas formas de uso do solo e definem medidas de prevenção e correção, com o objetivo de minimizar custos e riscos.

PRANDINI *et al.* (1995) esclarecem que as cartas e/ou mapas geotécnicos permitem rever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial, orientando medidas preventivas e corretivas, no sentido de minimizar gastos e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

CERRI *et al.* (1996) afirmam que um importante objetivo das cartas e/ou mapas geotécnicos é o de apresentar os dados, de forma que outros profissionais não especializados na área, possam realizar uma fácil interpretação destes cartogramas.

Do exposto depreende-se que, em suma, os autores citados convergem suas opiniões em torno das aplicações de cartas e/ou mapas geotécnicos como instrumento de planejamento e orientação de obras.

### 3.3 Tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos

Com base na literatura nacional e em publicações dos pesquisadores da EESC/USP e do IPT foi feita uma análise dos diferentes tipos de cartas e mapas geotécnicos, de suas características e denominações. Destes trabalhos foram extraídos quadros com a síntese das idéias e conceitos, incluindo-se uma análise comparativa dos dados.

A partir dos trabalhos analisados e considerando os objetivos da presente pesquisa, as cartas e/ou mapas geotécnicos podem ser agrupados em quatro tipos:

- geológico-geotécnico
- de riscos geológicos
- de suscetibilidade
- de atributos ou parâmetros

Dentro deste contexto, ZUQUETTE (1987) admite a existência de três tipos de cartogramas geotécnicos: mapa geotécnico, planta geotécnica e carta geotécnica (Tabela 5).

CERRI (1990) reconhece três tipos de cartas geotécnicas, assim denominadas:

- cartas geotécnicas clássicas
- cartas de suscetibilidade
- cartas de risco

O último autor sugere, inclusive, a elaboração de um cartograma denominado “Carta de conflito de uso”.

NAKAZAWA *et al.* (1991) e PRANDINI *et al.* (1995) expõem que a cartografia geotécnica pode ser apresentada com diferentes designações, conforme a finalidade e a própria natureza do terreno. Desta forma, definem quatro tipos principais de cartas geotécnicas e seus respectivos conceitos ([Tabela 8](#)).



**Tabela 8 - Tipos de cartas geotécnicas e seus conceitos (NAKAZAWA *et al.*, 1991 e PRANDINI *et al.*, 1995).**

TIPO	CONCEITO
<b>Cartas geotécnicas (propriamente ditas)</b>	Expõem as limitações e potencialidades dos terrenos, estabelecendo as diretrizes de ocupação frente às formas de uso do solo.
<b>Cartas de riscos geológicos</b>	Prepondera a avaliação de dano potencial à ocupação, frente a uma ou mais formas de uso.
<b>Cartas de suscetibilidade</b>	Informam sobre a possibilidade de ocorrência de um ou mais fenômenos geológicos e de comportamentos indesejáveis.
<b>Cartas de atributos ou parâmetros</b>	Apresentam informações geográficas de interesse ao uso e ocupação do solo.

BITAR *et al.* (1992), enfocando o uso urbano do solo, identificam quatro tipos principais de cartas geotécnicas e apresentam seus conceitos ([Tabela 9](#)).

**Tabela 9 - Tipos de cartas geotécnicas e seus conceitos (BITAR *et al.*, 1992).**

TIPO	CONCEITO
<b>Cartas geotécnicas dirigidas</b>	A partir da identificação de problemas de natureza geológico-geotécnica decorrentes do uso do solo, expõem as limitações e potencialidades dos terrenos; estabelecem alternativas de solução destes problemas e apontam as diretrizes para o adensamento e a expansão da ocupação ante uma ou mais formas de uso urbano do solo.
<b>Cartas geotécnicas convencionais</b>	Apresentam a distribuição geográfica das características dos terrenos, a partir de atributos do meio físico e de determinados parâmetros geológico-geotécnicos, muitas vezes sem considerar as interações existentes entre o meio físico e as diferentes formas de uso urbano do solo.
<b>Cartas de suscetibilidade</b>	Indicam a potencialidade de ocorrência de processos geológicos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso urbano do solo, expressando as suscetibilidades, segundo classes de probabilidade de ocorrência.
<b>Cartas de risco geológico</b>	Prepondera a avaliação de dado potencial à ocupação, expresso segundo diferentes graus de risco, resultantes da conjugação da probabilidade de ocorrência de manifestações geológicas naturais e induzidas e das conseqüências sociais e econômicas decorrentes.

ZUQUETTE (1987) e AGUIAR (1994) diferenciam cartas de mapas geotécnicos, conforme já mostrado nas [Tabelas 5](#) e [6](#).

Embora haja uma diversidade de termos empregados para denominar os diferentes tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos, parece haver uma certa similaridade entre os tipos de documentos produzidos. Por exemplo, os documentos cartográficos denominados por BITAR *et al.* (1992) "Carta geotécnica convencional", por CERRI (1990) "Carta geotécnica clássica" e por NAKAZAWA *et al.* (1991) e PRANDINI *et*

al. (1995) "Carta de atributos ou parâmetros", parecem corresponder ao que ZUQUETTE (1987) e AGUIAR (1994) designam "Mapa geotécnico".

Desta forma, uma análise comparativa entre as diferentes denominações e os diferentes tipos de cartogramas geotécnicos elaborados, admite agrupá-los em dois principais tipos de documentos, conforme apresentado na [Tabela 10](#).

**Tabela 10 - Correlação entre denominações e tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos.**

CERRI (1990)	BITAR <i>et al.</i> (1992)	NAKAZAWA <i>et al.</i> (1991), PRANDINI <i>et al.</i> (1995)	ZUQUETTE (1987), AGUIAR (1994)
Cartas geotécnicas clássicas	Cartas geotécnicas convencionais	Cartas de atributos ou parâmetros	Mapas geotécnicos
Cartas de conflito de uso	Cartas geotécnicas dirigidas	Cartas geotécnicas (propriamente ditas)	Cartas geotécnicas

### 3.4 Metodologias utilizadas na elaboração de cartas e mapas geotécnicos

Neste item são discutidos alguns aspectos das diferentes metodologias de cartografia geotécnica utilizadas no Brasil e no exterior.

#### 3.4.1 Metodologias internacionais de cartografia geotécnica mais citadas

Uma análise geral da literatura brasileira, discutida em congressos, simpósios e publicações na área de geologia de engenharia, com destaque para teses e dissertações, particularmente, as defendidas na EESC/USP e na Unesp - Rio Claro (SP), mostra que os autores, costumeiramente, relacionam e descrevem as principais e mais conhecidas metodologias de mapeamento geotécnico. Dentre os trabalhos que pesquisaram as diferentes metodologias para a elaboração de cartas e mapas geotécnicos, cabe destacar os de SEIGNEMARTIN (1979), ZUQUETTE (1987 e 1993), AGUIAR (1997) e GUERRA (1998), que descrevem um grande número de metodologias internacionais de cartografia geotécnica.

Nestes trabalhos são relatadas publicações versando sobre o tema desde o início do século, como o método de Moldenhawer (1919 *apud* ZUQUETTE, 1993). Nas várias metodologias citadas, a cartografia geotécnica é, geralmente, abordada de

forma parcial, sempre direcionada a algum determinado objetivo ou, mais especificamente, relacionada a uma obra de engenharia.

Dentre as metodologias internacionais, algumas têm sido citadas repetitivamente em vários trabalhos divulgados no Brasil. Trabalhos mais recentes como os de AGUIAR (1997) e GUERRA (1998) apresentam, de forma resumida, as principais metodologias internacionais. A [Tabela 11](#) mostra um resumo das características gerais das metodologias mais citadas nos trabalhos brasileiros mais recentes.

**Tabela 11 - Algumas metodologias internacionais de cartografia geotécnica (extraído de ZAINE, 1997).**

Metodologia	Histórico	Escala	Documentos gráficos	Observações
<b>IAEG</b> Assoc. Intern. de Geologia de Engenharia (ANON, 1972 e 1976 <i>apud</i> AGUIAR, 1997)	Baseada em trabalhos desenvolvidos em diferentes países, tem finalidades gerais e específicas. Aspectos do meio físico enfocados: rochas, solos, águas e relevo.	Pré-definidas de acordo com a finalidade. Grande (1:10.000) Intermediária (1:10.000 a 1:100.000) Pequena (1:100.000)	Básicos  Sintéticos  Zoneamento (classes taxonômicas)	
<b>Francesa</b> ou <b>SANEJOUAND</b> (de avaliação do uso racional do meio físico)	Baseada em trabalhos realizados por universidades e institutos; tem finalidades gerais e específicas. Aspectos do meio físico enfocados: rochas, hidrologia, geomorfologia e materiais de cobertura	Condicionada pela finalidade. Regional (<1:100.000) Local (>1:100.000): • metrópoles = 1:50.000 a 1:100.000; • cidades = 1:25.000 a 1:50.000; • áreas específicas = 1:5.000 a 1:2.000; • detalhe > 1:1.000.	Produce documentos semelhantes aos da IAEG: <u>Carta de documentação</u> <u>Cartas de fatores</u> (substrato geológico, formações superficiais, hidrogeológica, geomorfológica) <u>Cartas de aptidão</u> (fundações, materiais, zoneamento geotécnico)	
<b>PUCE</b> <b>Pattern Unit Component Evaluation</b> (Austrália) (GRANT, 1975 a, b)	Estudos das relações entre aspectos geomórficos, solos, águas, rochas e vegetação. Tem finalidades gerais e específicas. Enfoca os aspectos geomórficos.		Classificação taxonômica (Província, Padrão, Unidade, Componente)	Representação das unidades por números.
<b>ZERMOS</b> (zonas expostas ao movimento dos solos)	Baseada em trabalhos de mapeamento geotécnico e problemas. Finalidade – riscos. Enfoca os seguintes aspectos: litologia, estrutura, drenagem, encosta e histórico dos movimentos.	1:50.000  1:25.000  1:5.000	Zoneamento Relatórios	São realizadas 3 fases :* 1. Bibliogr/dados 2. Geomorfol./ fotointerpretação. 3. Estudo e controle em cartas 1:50.000
<b>MATHEWSON &amp; FONT</b> , 1974 (USA) Ordenação da informação geológica para uso do solo	Proposta como uma sistematização de estudos de geologia ambiental utilizados em trabalhos de planejamento; estudos e seleção de área para a definição do uso do solo. Enfoca aspectos geológicos.		1ª ordem: observacionais 2ª ordem: de Geologia de Engenharia 3ª ordem: interpretativos 4ª ordem: de uso do solo (recomendado pela Geologia)	Apresentam mapas onde a informação geológica é aplicada à adequabilidade de uso (limitações do meio físico).

### 3.4.2 Principais metodologias desenvolvidas no Brasil

Os trabalhos de mapeamento/cartografia geotécnica executados no Brasil têm como marco inicial o trabalho de Haberlehner, realizado na cidade de Rio de Janeiro, entre os anos de 1965 e 1966. Após, tem-se registro de outros trabalhos desenvolvendo esta metodologia no país, porém, esta área de conhecimento somente teve grande desenvolvimento a partir de 1988 (ZUQUETTE & NAKAZAWA in OLIVEIRA & BRITO, 1998) .

O resumo elaborado por ZUQUETTE & NAKAZAWA (op. cit.) lista trabalhos de diversas universidades brasileiras, com a descrição resumida das metodologias desenvolvidas ou seguidas pelas seguintes instituições: Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro - IG/UFRJ, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Instituto Geológico - IG - São Paulo, IPT e EESC/USP.

A metodologia utilizada pelo IG/UFRJ (BARROSO *et al.*, 1986 e BARROSO *et al.*, 1993) é baseada em trabalhos realizados na cidade do Rio de Janeiro, em escalas entre 1:50.000 e 1:10.000, predominantemente relacionadas a movimentos de massa e processos de ocupação urbana, apresentando cartogramas com informações geológicas de coberturas e alterações antrópicas (aterros).

Os trabalhos desenvolvidos pela UFRGS (DIAS, 1995) enfocam, primordialmente, os tipos de solos, associando-os com o substrato geológico e correlacionando as características geotécnicas e pedológicas.

Outro grupo de pesquisadores que tem realizado levantamentos geológico-geotécnicos pertence ao IG - São Paulo, constando das publicações de YOSHINAGA *et al.* (1995) e PIRES & YOSHINAGA (1995). Estes estudos têm por base o uso dos conceitos de tipos de terrenos e a geração de diversos produtos cartográficos, com indicações para os diferentes tipos de ocupação, avaliação de aquíferos e áreas de maior fragilidade.

Nos sub-itens seguintes são descritas, de forma mais detalhada, as metodologias do IPT e da EESC/USP. Para esta análise foram pesquisados diversos relatórios e teses das duas instituições.

#### **3.4.2.1 Metodologia utilizada pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP (ZUQUETTE, 1987 e 1993)**

ZUQUETTE (1987 e 1993) explica que a proposta metodológica apresentada tem como objeto de estudo o meio físico e suas relações, optando por uma metodologia científica de investigação. Combina três métodos científicos: o **dedutivo**, o **indutivo** e o **experimental** (VARGAS, 1985).

Assim, aquele autor esclarece que, a partir dos três métodos, o mapeamento geotécnico se torna um processo científico de investigação da natureza, permitindo a obtenção de um produto tecnológico a ser utilizado para o planejamento da ocupação de uma dada região, uma vez que a fundamentação científica leva a uma melhor compreensão dos fenômenos naturais.

Esta metodologia está dividida em três fases (ZUQUETTE, 1993):

- **1ª fase** - esquematização do problema a ser investigado; definição de uma hipótese de trabalho para o mapeamento geotécnico, estabelecendo-se os atributos do meio físico a analisar, em função da inter-relação com outros atributos e da finalidade de estudo;

- **2ª fase** - fase indutiva e criativa; criam-se teorias por meio das hipóteses indutivas através de um raciocínio analógico, levando a um processo classificatório do meio; deve-se dividir a área em unidades, em função das propriedades e relações dos atributos previamente escolhidos, representadas por zonas homogêneas, quanto às características dos componentes do meio físico analisados; é o princípio do zoneamento geotécnico, utilizado em vários países;

- **3ª fase** - fase dos métodos experimentais; comprovação das hipóteses no mapeamento geotécnico, com as zonas previamente definidas, comprovadas por meio de ensaios, envolvendo métodos estatísticos.

Tal proposta visa um mapeamento preventivo em regiões carentes de informações básicas, exigindo a obtenção de dados fundamentais e específicos. Baseia-se em vários documentos gráficos, com a representação de diversos componentes e atributos do meio físico que, relacionados entre si, possibilitam uma avaliação da viabilidade da ocupação, bem como a prioridade e hierarquização das áreas quanto à adequabilidade.

A metodologia leva em consideração os seguintes aspectos:

- os atributos considerados, seus níveis de heterogeneidade aceitáveis e sua classificação variam em função da escala;
- a ordenação da obtenção dos atributos qualitativos e quantitativos;
- homogeneidade das informações, para não ocorrer excessos ou deficiências localizadas;

- definição do local a estudar, a metodologia e a quantidade de amostragens;
- necessidade de um documento básico (o topográfico é mais adequado), para que ocorram mapeamentos específicos em seqüência, bem como estudos técnicos locais (Geologia de Engenharia, Pedologia, águas, Geomorfologia, Biologia, Geografia, etc.);
- definição das atividades a serem desenvolvidas em cada uma das três fases do mapeamento geotécnico preliminar;
- estabelecimento do nível mais adequado de generalização das informações;
- realização do mapeamento a um custo final bastante baixo;
- orientação dos trabalhos envolvidos nas diferentes fases, considerados para cada escala;
- estabelecimento das possibilidades de uso para cada faixa de escalas (ZUQUETTE & GANDOLFI, 1992);
- definição e delimitação das unidades geológico-geotécnicas, associando-as às unidades do substrato rochoso, aos materiais inconsolidados, às unidades geomorfológicas (relevo) e ao sistema de águas (subterrâneas e superficiais), que podem ser obtidas por diversos procedimentos e grupos de atributos;
- representação das unidades geológico-geotécnicas através de códigos ou tabelas.

#### **3.4.2.1.1 Análise da metodologia da EESC/USP (ZUQUETTE, 1987 e 1993)**

No âmbito nacional, a proposição metodológica de ZUQUETTE (1987 e 1993) tem sido largamente utilizada.

Tal metodologia se caracteriza pela elaboração de mapas geotécnicos geralmente, na escala 1:100.000 e 1:50.000, que tratam de caracterizar o meio físico geológico, quase sempre com a quantificação de determinados parâmetros geológico-geotécnicos, e se destinam ao planejamento do uso do solo.

Conforme AGUIAR (1997), esta proposta metodológica busca uma relação custo/benefício favorável, porém, sem diminuir a qualidade e o nível técnico-científico do trabalho.

Com relação à obtenção dos atributos, ZUQUETTE (1987 e 1993) atenta para as seguintes observações:

- qualitativas: dados de superfície, sub-superfície (poços e galerias)
- quantitativas: análise de campo, sondagens e ensaios geotécnicos
- amostragem
- áreas chaves
- extrapolação
- interpolação

Aquele autor sugere um número mínimo de observações, a partir da escala e do tipo de terreno, cujos dados estão sintetizados na [Tabela 12](#).

**Tabela 12 - Número mínimo de observações de campo (ZUQUETTE, 1993).**

FINALIDADE	ESCALA	NÚMERO DE OBSERVAÇÕES	
		QUALITATIVA	QUANTITATIVA
Básico	1:250.000	Cristalino	sedimentar
		1/10km <sup>2</sup>	
Regional	1:100.000	4/10km <sup>2</sup>	3/10 km <sup>2</sup>
	1:50.000	6/5km <sup>2</sup>	1/km <sup>2</sup>
	1:25.000	3/km <sup>2</sup>	2/km <sup>2</sup>
Detalhe	1:25.000	5/km <sup>2</sup>	4/km <sup>2</sup>
	1:10.000	15/km <sup>2</sup>	15/km <sup>2</sup>

Com relação às escalas de trabalho, ZUQUETTE (1987 e 1993) propõe que a escala geral/básica seja menor que 1:100.000; a escala regional esteja entre 1:100.000 e 1:25.000, enquanto a de semi-detalhe/detalhe deve estar entre 1:25.000 e 1:2.000.

A este respeito, AGUIAR (1997) salienta outro aspecto importante e que se refere à forma de apresentação das informações obtidas nas diversas fases, com a elaboração dos seguintes documentos:

- Mapa das condições geotécnicas: indicado para escalas gerais;
- Mapa de zoneamento geotécnico;



- Mapa de zoneamento geotécnico específico: utilizado em trabalhos com escalas maiores que 1:50.000.

ZUQUETTE (1987) prevê quatro classes de documentos cartográficos para representar os atributos obtidos e/ou avaliados:

1. mapas básicos fundamentais (topográfico, geológico e das águas);
2. básicos opcionais (pedológico, geofísico, geomorfológico, climático e de ocupação atual ou prevista);
3. auxiliar;
4. cartas derivadas ou interpretativas: erodibilidade, escavabilidade, para deposição de rejeitos sépticos, para materiais de construção, para obras enterradas, para obras viárias, para estabilidade de taludes, para fundações, para irrigação, de restrições ambientais e para orientação/zoneamento.

Em ZUQUETTE (1993), são apresentadas outras quatro cartas: a) de potencial à corrosividade; b) de vulnerabilidade das águas subterrâneas; c) de escoamento superficial e infiltração; d) potencial de ocupação agrícola.

Os ensaios de laboratório, que permitem a caracterização prévia dos materiais inconsolidados, são:

- granulometria
- limite de plasticidade e de liquidez
- massa específica dos sólidos
- compactação
- mineralogia
- comportamento laterítico
- caracterização dos agregados
- densidade relativa

A partir da proposta metodológica de ZUQUETTE (*op. cit*), várias pesquisas foram desenvolvidas no âmbito da EESC/USP. A [Tabela 13](#) apresenta uma análise de alguns desses trabalhos.

**Tabela 13 – Análise de mapas e cartas elaborados, segundo a metodologia da EESC/USP.**

Trabalho (Local, Autor, Ano)	Escala	Área (km <sup>2</sup> )	Base	Simbologia	Nº de zonas	Edição	Ensaio	Métodos de cruzamento	Processos geológicos
Araraquara PEJON, 1987	1:20.000	160	topográfica	letras	3	manual	SPT	sobreposição	nenhum
São Carlos AGUIAR, 1989	1:25.000	186	topográfica	letras, hachuras e algarismos	---	manual	granulometria, massa especif., umidade, lim. Atterberg	sobreposição	nenhum
Piracicaba PEJON, 1992	1:100.000	2.840	topográfica	hachuras, letras, números	107	digital	massa especif. seca, índice vazios, massa especif. de sólidos	sobreposição, cartografia digital	erosão
Aguaí SOUZA, 1992	1:50.000	710	topográfica	algarismos romanos	17	Digital	granulom., massa especif. sól., massa especif. seca, Proctor	sobreposição, cartografia digital	mov. massa erosão/ assoream.
Campinas/ porção W MACARI, 1996	1:25.000	118,167	topográfica	algarismos, letras, hachuras coloridas	76	Digital	granulom., lim. Atterberg, massa especif. de sólidos Proctor, MCT	sobreposição	erosão
DF - Rio Descoberto REGO, 1997	1:100.000	125	topográfica	cores	9	digital	MCT, caract. geotéc. do solo	sobreposição, cartografia digital	nenhum
Amparo BARISSON, 1995	1:50.000	715	topográfica	cores e letras	22	digital	MCT, massa especif. de sólidos, ads. azul metileno	sobreposição, cartografia digital	nenhum

### 3.4.2.2 Metodologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT (NAKAZAWA *et al.*, 1991; PRANDINI *et al.*, 1995)

NAKAZAWA *et al.* (1991) propõem um método que busca caracterizar fisiograficamente o meio físico (uso e ocupação, dinâmica dos processos, recursos e problemas), identificando causas e conseqüências de problemas (tipo litológico, pedologia, geologia física, entre outros). Tal método está fundamentado em:

- **mapeamento e compartimentação:**

1. estabelecimento das características do meio físico e seus processos;
2. obtenção de informações geográficas, dando ênfase ao intemperismo;
3. homogeneização da área em próprias e perigosas e os principais usos e ocupação.

Tais autores explicam que a representação dos problemas apresentados deve servir como subsídio para um melhor planejamento e gestão do uso do solo.

Conforme PRANDINI *et al.* (1995), a metodologia adotada pelo IPT segue os seguintes procedimentos:

- **formulação de uma hipótese/modelo inicial orientador:** identificação objetiva dos recursos e problemas existentes ou esperados, pelo conhecimento da dinâmica da ocupação local; envolve o conhecimento das solicitações e transformações inerentes às formas de uso do solo, e dos elementos fundamentais dos processos e comportamentos da geologia, geomorfologia e da geotecnia local; este proporciona um esboço fisiográfico primário dos terrenos, do ponto de vista de seu uso, resultando em um primeiro ensaio de compartimentação ante os problemas e recursos esperados;

- **análise fenomenológica e de desempenho:** análise e identificação das causas e do desenvolvimento dos fenômenos ou situações geradoras dos problemas previamente detectados, estabelecendo as características fisiográficas de interesse para a ocupação;

- **mapeamento e compartimentação:** estabelecimento das principais evidências acessíveis à investigação das características de interesse, fixando critérios

de correlação, extrapolação e interpolação das diversas áreas de conhecimento, resultando na configuração espacial da distribuição de tais características. Orientação das informações e expressões geográficas das características de interesse, através de operações de coleta e análise das informações; reconhecimento/mapeamento, por sensoriamento remoto, levantamentos de campo, investigações laboratoriais e *in situ*; compartimentação homogênea, segundo a maior probabilidade de ocorrência de problemas, ou as características de interesse, ou as unidades homogêneas, quanto à aptidão a determinada forma de uso e ocupação, bem como a minimização de possíveis efeitos;

• **representação:** apresentação dos resultados de modo a facilitar o acesso ao público interessado.

#### 3.4.2.2.1 Análise da metodologia do IPT

O IPT elabora, principalmente, cartas geotécnicas dirigidas e a metodologia utilizada fundamenta-se em quatro premissas, assim sintetizadas:

1. partir dos problemas significativos presentes no território e, daí, para suas condicionantes mapeáveis;
2. estabelecer uma fisiografia do desempenho que integre os processos do meio físico e as suas formas de ocupação;
3. concentrar esforços na coleta objetiva e orientada de dados, para definir unidades geológico-geotécnicas de mesmo comportamento, de modo que correspondam, diretamente, a distintas práticas de prevenção e correção;
4. superar o determinismo ingênuo da maior parte das aptidões, valendo-se do arsenal de técnicas disponíveis para a maximização de opções plausíveis para o uso do solo.

Assim, as cartas geotécnicas elaboradas pelo IPT partem da identificação dos problemas (existentes e previstos) decorrentes da interação entre o meio físico geológico e a ocupação. Posteriormente, são realizados levantamentos para a obtenção de dados visando a proposição de alternativas de solução e/ou de não instalação destes problemas. As cartas geotécnicas dirigidas também apresentam subsídios para o

adequado planejamento da ocupação futura. Quanto às escalas de representação, os exemplos variam, principalmente, de 1:25.000 a 1:5.000. Raramente apresentam quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos. Destinam-se ao planejamento e à gestão do uso do solo, este último entendido como o estabelecimento de medidas para o equacionamento de problemas instalados.

O esquema mostrado na [Tabela 14](#) sintetiza as etapas e os produtos gerados através da metodologia utilizada pelo IPT.

**Tabela 14 - Síntese das etapas e produtos gerados pela metodologia do IPT (baseada em PRANDINI *et al.*, 1980; ÁVILA *et al.*, 1987; FREITAS *et al.*, 1990).**

ETAPAS	PRODUTOS
<b>1. Levantamento preliminar</b> → - identificação dos problemas existentes/esperados - compilação dos dados	• mapa preliminar (esboço geotécnico)
<b>2. Investigação orientada</b> → - mapeamento desses fatores - definição das escalas de trabalho	• mapas temáticos (dirigidos)
<b>3. Compartimentação final</b> → - análise integrada dos fatores mapeados - delimitação dos terrenos com comportamento homogêneo frente ao seu uso e ocupação	• unidades geotécnicas
<b>4. Análise das medidas de controle</b> → - levantamento das práticas e técnicas de implantação e manutenção dos usos do solo - proposição de medidas preventivas e corretivas	• diretrizes para uso do solo
<b>5. Representação</b> → - representação cartográfica e tabela em linguagem adequada ao usuário	• carta geotécnica

Os principais aspectos de diversos trabalhos consultados, que empregam a metodologia do IPT, são ressaltados na [Tabela 15](#).

**Tabela 15 – Análise de mapas e cartas elaborados segundo a metodologia do IPT.**

Trabalho (Local, ano)	Escala	Área (km <sup>2</sup> )	Base	Simbologia	Nº de zonas	Edição	Ensaio	Métodos de cruzamento	Processos geológicos
Santos e São Vicente IPT, 1980	1:5.000	8,3	topográfica	"cores semafóricas"	06	manual	nenhum	sobreposição	escorregamentos
Guarujá IPT, 1989	1:20.000	140	topográfica	algarismos romanos e símbolos gráficos	09	manual	nenhum	sobreposição	escorregamentos
Cuiabá IPT, 1991a	1:25.000	--	topográfica	cores e hachuras	07	manual	nenhum	sobreposição	nenhum
Ubatuba IPT, 1991b	1:50.000	-	topográfica	hachuras, símbolos gráficos, algarismos	11	manual	nenhum	análise histórica, trabalhos de campo	escorregamentos, recalques, erosão, etc.
Petrópolis IPT, 1992	1:50.000 1:20.000 1:10.000	800	topográfica	---	04 07	manual	nenhum	sobreposição	escorregamentos (movim. massa), erosão
São Paulo IPT, 1994	1:10.000	900	topográfica	símbolos gráficos, siglas, hachuras	08	manual	nenhum	sobreposição	escorregamentos, erosão, solapamento, recalques, assoreamento, etc.
Itapeçerica IPT, 1995	1:25.000	--	topográfica	Cores	04	manual	nenhum	sobreposição	erosão, escorregamentos, inundações, recalques, assoreamento
São José dos Campos IPT, 1996	1:50.000 1:25.000	1.118	topográfica	cores hachuradas e símbolos gráficos	09	digital	nenhum	sobreposição, cartografia digital	nenhum
Mococa IPT, 1997	1:50.000	--	topográfica	cores e hachuras	07	digital	nenhum	sobreposição, cartografia digital	escorregamentos, erosão

### **3.4.3 Análise comparativa entre as metodologias da EESC/USP e do IPT para a elaboração de cartas e/ou mapas geotécnicos**

Após a exposição das diferentes metodologias ([Tabelas 13](#) e [15](#)), é feita uma análise comparativa entre as mesmas, em relação a vários aspectos, abordados a seguir.

#### **a. Escala e área total mapeada**

De um modo geral, a metodologia utilizada pela EESC/USP caracteriza-se pela elaboração de mapas geotécnicos (ou cartas geotécnicas convencionais, vide [Tabela 10](#)), com predomínio de escalas menores que aquelas adotadas pelo IPT. Como exemplo, pode-se citar os trabalhos realizados pelo IPT em Santos e São Vicente, São Paulo e Petrópolis - RJ que, independentemente da dimensão da área de estudo, adotam escalas de 1:5.000 e 1:10.000 ([Tabela 15](#)).

Já a metodologia adotada pela EESC/USP (vide [Tabela 13](#)) mostra uma tendência de usar escalas menores (1:100.000 e 1:50.000) para áreas de maior dimensão (Piracicaba, Amparo e Aguaí), com trabalho de maior detalhe realizado na escala 1:20.000 (Araraquara).

#### **b. Número de zonas/unidades geotécnicas definidas**

Comparando-se as [Tabelas 13](#) e [15](#), observa-se uma nítida diferença entre as duas metodologias. Aquela adotada pela EESC/USP tem como resultado um maior número de zonas/unidades geotécnicas, destacando-se o trabalho realizado no município de Piracicaba (SP), no qual foram estabelecidas 107 zonas ([Tabela 13](#)). Dos trabalhos analisados que utilizaram a metodologia adotada pelo IPT, o resultado é um número menor de unidades geotécnicas, não superior a 11.

### **c. Ensaaios geotécnicos**

A quantificação de parâmetros geotécnicos por meio de ensaios de laboratório é muito utilizada na metodologia adotada pela EESC/USP, conforme se constata na [Tabela 13](#), enquanto a metodologia adotada pelo IPT não apresenta quantificação de parâmetros obtidos em ensaios de laboratório.

### **d. Número de documentos cartográficos**

Neste item, a diferença é notada pelo maior número de mapas/cartas geotécnicos produzidos pela metodologia adotada pela EESC/USP (mapa das condições geotécnicas, mapa de zoneamento geotécnico e mapa de zoneamento geotécnico específico), enquanto que na metodologia adotada pelo IPT, em geral, apenas uma carta geotécnica é apresentada ao final dos trabalhos.

### **e. Processos geológicos**

As cartas produzidas pelo IPT se direcionam mais à abordagem de processos geológicos do que aquelas produzidas pela EESC/USP. Este fato demonstra claramente a preocupação metodológica de ambos os centros de pesquisa.

### **f. Finalidade**

O mapeamento geotécnico realizado pela EESC/USP se destina ao planejamento do uso do solo e o desenvolvido pelo IPT (cartas geotécnicas dirigidas) visa uma aplicação mais imediata, pois parte da identificação dos problemas decorrentes da interação entre o meio físico geológico e a ocupação, buscando ainda a correção desses problemas.

Na [Tabela 16](#) é apresentada uma síntese da análise comparativa entre os métodos de cartografia/mapeamento geológico-geotécnico utilizados nos trabalhos da EESC/USP e do IPT.



**Tabela 16 - Síntese da análise comparativa entre os métodos de cartografia geotécnica da EESC/USP e do IPT.**

<b>Aspecto abordado</b>	<b>EESC/USP</b>	<b>IPT</b>
<b>Escala e área total mapeada</b> (EESC - menores que aquelas adotadas pelo IPT)	Mapas geotécnicos (ou cartas) convencionais, com predomínio de escalas de 1:100.000 e 1:50.000, para áreas de maior dimensão (Piracicaba, Amparo e Aguaí), com trabalho de maior detalhe realizado na escala 1:20.000 (Araraquara).	Mapas geotécnicos como os de Santos e São Vicente, São Paulo e Petrópolis que, independentemente da dimensão da área de estudo, adotam escalas de 1:5.000 e 1:10.000. Embora existam áreas com mapas em diferentes escalas, não há uma relação entre eles nos moldes do detalhamento progressivo
<b>Número de zonas/ unidades geotécnicas definidas</b>	Apresentam um número elevado de zonas/unidades geotécnicas, destacando-se o trabalho realizado no município de Piracicaba (SP), no qual foram estabelecidas 107 zonas.	Os mapas apresentam um número relativamente baixo de unidades geotécnicas, não superior a 11.
<b>Parâmetros geotécnicos</b>	A quantificação de parâmetros geotécnicos por meio de ensaios de laboratório é muito utilizada.	Não apresentam quantificação de parâmetros por meio de ensaios de laboratório.
<b>Número de documentos cartográficos</b>	Apresentam uma série de mapas/cartas geotécnicos (mapa das condições geotécnicas, mapa de zoneamento geotécnico e mapa de zoneamento geotécnico específico), podendo ser considerada uma grande quantidade.	Em geral, apenas uma carta geotécnica é apresentada ao final dos trabalhos.
<b>Processos geológicos</b>	Não necessariamente consideram a análise dos processos geológicos instalados e/ou potenciais para a elaboração dos cartogramas.	Na elaboração das cartas, os processos geológicos instalados e/ou potenciais, são sempre considerados desde o início dos trabalhos.
<b>Finalidade</b>	Destinam-se ao planejamento do uso do solo.	Apresenta cartas geotécnicas dirigidas, que visam uma aplicação mais imediata, pois parte da identificação dos problemas decorrentes da interação entre o meio físico geológico e a ocupação, buscando ainda a correção desses problemas. Também se destinam ao planejamento do uso do solo.
<b>Método</b>	Tem por base as metodologias internacionais clássicas, como IAEG e SANEJUAOAND.	Dirige o trabalho de forma específica.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a escolha da área de estudo, além das características geológicas e geomorfológicas, e dos aspectos ambientais, sócio-econômicos e logísticos, partiu-se do princípio de que seria necessária a disponibilidade de estudos básicos para a exequibilidade da pesquisa.

A área-objeto do estudo, com cerca de 160 km<sup>2</sup>, corresponde à faixa urbana, peri-urbana e parte da faixa rural do Município de Rio Claro, inserida na folha topográfica na escala 1: 50.000 (IBGE - Folha Rio Claro, SF-23-M-I-4), entre as coordenadas UTM 7.512 e 7.528 km N; 230 e 241 km E, englobando cerca de 30% do município. Esta área se localiza na região administrativa de Campinas, na porção centro-leste do Estado de São Paulo ([Figura 3](#)).

A partir de Rio Claro estão situadas, num raio de 30 km, várias cidades de pequeno porte, como Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Itirapina, Corumbataí, Analândia, Ipeúna e Charqueada, além das sedes dos municípios considerados de médio porte, como Piracicaba, Limeira e Araras.

O Município de Rio Claro está a 173 km a noroeste da capital, ligando-se pelo sistema Anhangüera - Bandeirantes e rodovia Washington Luiz e por ferrovia. A população de Rio Claro é de 153.389 habitantes e desses, 148.628, ou seja, 97% residem na área urbana (IBGE, 1996).

A sede do município está à altitude de 613 m (marco zero do IBGE, localizado na Igreja Matriz de São João Batista, região central da cidade). A cidade de Rio Claro ocupa, principalmente, o divisor de águas entre o rio Corumbataí e o ribeirão Claro, que são utilizados como fonte de abastecimento de água para a população.

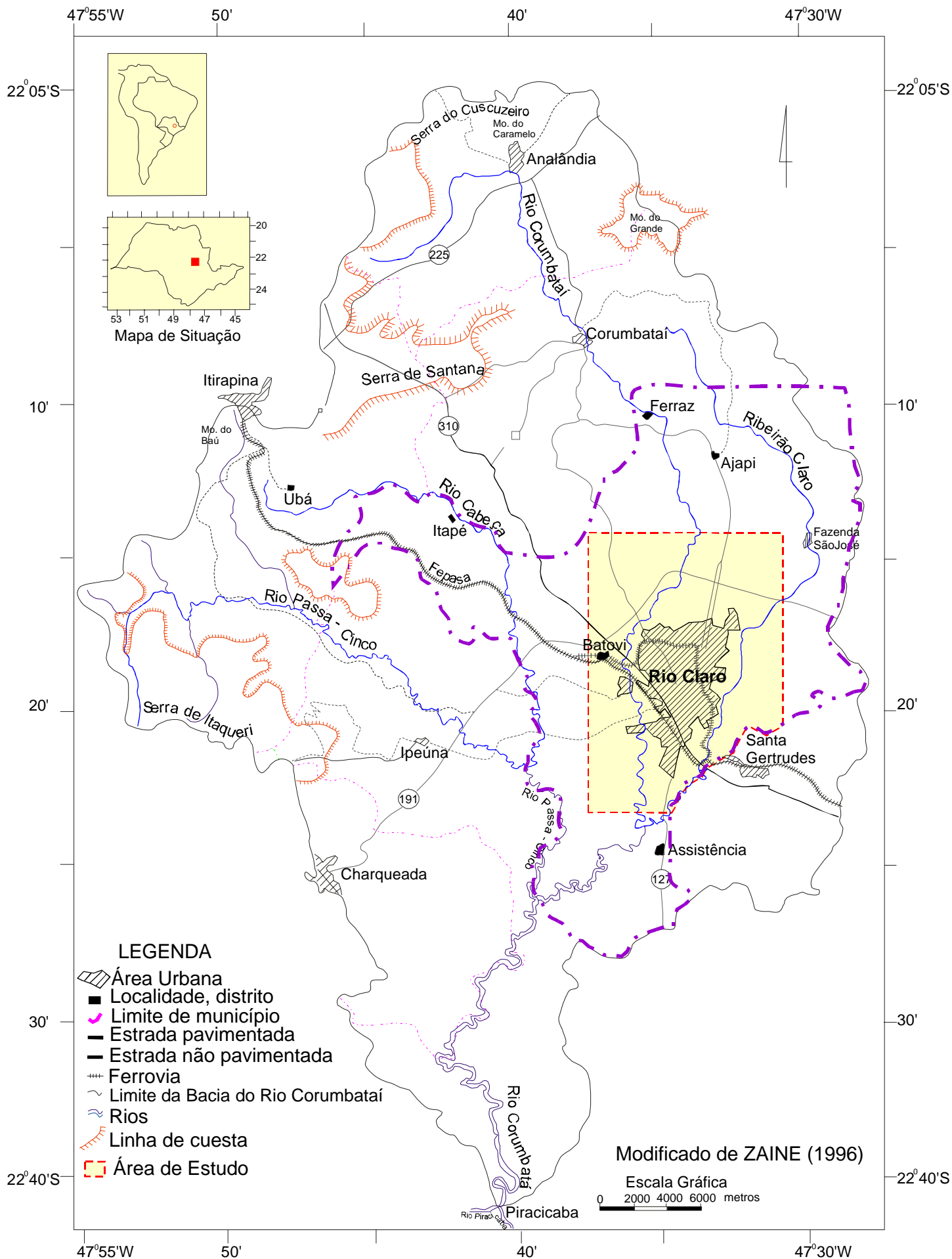


Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.

## 4.1 Aspectos climáticos

O clima da região de Rio Claro pode ser considerado tropical com duas estações definidas - **Cwa** na classificação de Koeppen, ou seja, **w**: seca no inverno, **a**: mês mais quente com temperatura superior a 22°C, ou tropical alternadamente seco e úmido, controlado por massas tropicais e equatoriais, que predominam em mais de 50% do ano (MONTEIRO, 1973). Assim, podem ser definidas estações alternadamente chuvosa (verão, temperatura máxima de 38° C, média 25° C) e seca (inverno, com temperatura média do mês mais frio variando entre 3°C e 18°C). As temperaturas médias anuais situam-se entre 18,1 e 20,9°C (TROPPMAIR, 1978 e 1992). Os ventos dominantes provêm dos quadrantes S - 28% e SE - 34% (COTTAS, 1983).

Quanto à distribuição anual do regime das chuvas, ocorre um período seco, entre abril e setembro, de 15 a 20 dias de chuva, com 180 a 200 mm de chuva. O período chuvoso estende-se de outubro a março, em 55 a 60 dias de chuva, com total em torno de 1.200 mm, respondendo por mais de 80% das precipitações anuais (TROPPMAIR, 1978 e 1992).

Os meses mais chuvosos são dezembro e janeiro, com médias pluviométricas mensais atingindo até 250 mm. Os meses com menor incidência, a ausência de chuvas, são julho e agosto. A média pluviométrica registrada no Município de Rio Claro, no período de 1955 a 1996, foi da ordem de 1.551,5 mm/ano, enquanto os valores extremos aí registrados foram de 960,6 mm no ano de 1963 e 2.496,6 mm em 1983 (ROSIM, 1997). SANTOS (1986/1987) já havia observado a existência de ciclicidade em termos de anos secos e anos chuvosos no Município de Rio Claro.

## 4.2 Hidrografia

O Município de Rio Claro está inserido na bacia hidrográfica do rio Corumbataí. A bacia ocupa uma área de 171.050 ha e abrange, ainda, parte dos

municípios de Analândia, Itirapina, Corumbataí, Santa Gertrudes, Ipeúna, Charqueada, além de Piracicaba, onde o rio Corumbataí deságua no rio Piracicaba.

O rio Corumbataí, com extensão aproximada de 120 km, tem suas nascentes na Serra de Santana, no município de Analândia, a cerca de 800 m de altitude e vai desaguar no rio Piracicaba, no bairro de Santa Terezinha, na cidade de Piracicaba, à cota de 470 m. No alto curso é encachoeirado e corre em vales estreitos e profundos. A área urbana e peri-urbana da cidade de Rio Claro, situa-se no médio curso, onde o declive do rio Corumbataí é pequeno, com caimento de 2 m/km e corre em vales abertos, com muitas curvas e meandros em amplas planícies aluviais (PENTEADO, 1976). A vazão média anual é de 22 m<sup>3</sup>/s e a vazão mínima, de 5 m<sup>3</sup>/s (CRH, 1986).

O rio Corumbataí é classificado como recente-subseqüente por AB'SABER (1969). PENTEADO (*op. cit.*) admite para a orientação deste rio um forte condicionante tectônico, ou seja, falhamentos pós-cretácicos que afetaram a região. Segundo ALMEIDA (1964), "o rio Corumbataí surgiu tardiamente no cenário da evolução geomórfica da região, pois é o único da Depressão Periférica a percorrer aproximadamente 100 km no sentido de norte para sul."

Os principais afluentes do rio Corumbataí são o rio Passa Cinco pela margem direita, e o ribeirão Claro e córrego da Servidão na margem esquerda.

Logo a jusante da cidade de Rio Claro, o rio Corumbataí recebe uma grande carga poluente proveniente do córrego da Servidão, que nasce no Parque do Lago Azul, corta a cidade canalizado sob uma de suas principais avenidas (Av. Visconde do Rio Claro), onde vai recebendo lançamentos dos esgotos de cerca de metade das residências e indústrias da cidade.

O ribeirão Claro pode ser considerado um rio quase exclusivamente municipal, pois, embora tenha suas nascentes no Município de Corumbataí, estão muito próximas do limite do Município de Rio Claro. Tem seu curso de norte para sul, contornando o setor leste da área urbana de Rio Claro no sentido NNE-SSW, indo desaguar no rio Corumbataí, poucos quilômetros a sul de Rio Claro. Os principais tributários do ribeirão Claro são o córrego Cachoeirinha, com o qual forma o principal manancial de abastecimento público (captação da ETA I), o córrego Lavapés

(proveniente da área urbana), e os córregos Ibitinga e Santo Antonio, que deságuam no ribeirão Claro, na área do Horto Florestal de Rio Claro.

O rio Passa Cinco, outro importante tributário da bacia do Corumbataí, nasce no Município de Itirapina, passando por Ipeúna até fazer divisa com o Município de Rio Claro, onde recebe seu principal afluente pela margem esquerda, o rio Cabeça.

Além de captar água do ribeirão Claro, outro manancial de superfície que é explorado pelo Município é o próprio rio Corumbataí, a montante da cidade (captação para a ETA II). Os recursos hídricos de sub-superfície, atualmente, são pouco utilizados pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto - DAAE. Embora existam vários poços perfurados, somente o Distrito de Assistência é abastecido com água subterrânea. Lagoas naturais ou lagoas secas, assim denominadas localmente por sua variação sazonal, completam a descrição dos corpos d'água superficiais da área.

### 4.3 Contexto geomorfológico

A área estudada é abrangida, predominantemente, pelas províncias geomorfológicas: Depressão Periférica - zona do Médio Tietê, tendo como cenário de fundo as Cuestas Basálticas (ALMEIDA, 1964). O sistema de relevo dominante é definido por PENTEADO-ORELLANA (1981) como composto por *colinas tabuliformes*, características das áreas do sítio urbano, do Distrito Industrial e do Campo do Cocho, ou seja, interflúvios extensos e aplainados, sem divisor de águas ou linha de cumeada bem definido (ZAINÉ & PENTEADO-ORELLANA, 1994a), vertentes com perfis retilíneos a convexos, baixa densidade de drenagem, sendo comum a presença de lagoas, ligadas às cabeceiras ou isoladas nos topos planos.

A classificação aqui adotada é baseada no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981), com modificações baseadas em outros trabalhos, principalmente, os de PENTEADO-ORELLANA (1981 e outros) e em observações de campo.

Esse sistema dominante é denominado pelo IPT (1981), *colinas amplas (212)*. O Mapa Geomorfológico também registra no contexto da região de Rio Claro, a ocorrência de relevos do tipo *colinas médias (213)* e *morrotes alongados paralelos*

(234). Ocorrem, ainda, **relevos sustentados por maciços básicos**, representados por morros testemunhos isolados, topos aplainados a arredondados, vertentes com perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados e exposições de rocha, vales fechados, e drenagem de média densidade com padrão pinulado a subparalelo. Nas cuestas arenito-basálticas, já fora da área de estudo, **encostas com cânions locais (512)** e ainda **escarpas festonadas**, desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, vales fechados e drenagem de alta densidade, padrão subparalelo a dendrítico.

#### 4.4 Contexto pedológico

O mapeamento pedológico, realizado na quadrícula São Carlos, na escala 1: 100.000 (PRADO *et al.*, 1981) mostra que na área da presente pesquisa, ocorrem, basicamente, três grandes manchas de tipos de solos, definidos como: podzólicos vermelho-amarelos de textura média/argilosa, que aparece nos baixos topográficos, ou seja nos vales do rio Corumbataí e ribeirão Claro; latossolos vermelho-amarelos de textura média, profundos (profundidades máximas de até 10 a 12 m), que ocorrem no topo dos grandes interflúvios tabuliformes, correspondendo ao solo de alteração da Formação Rio Claro, e latossolos roxos, de textura argilosa a muito argilosa. Também ocorrem na área, terra roxa estruturada, solos hidromórficos e litólicos (PRADO *et al.*, 1981).

No contexto regional, em nível de bacia hidrográfica, é utilizada a distribuição areal dos solos em toda a bacia do rio Corumbataí, em estudo feito por KÖFFLER (1993), que mostra maior ocorrência do solo **podzólico vermelho-amarelo**, seguido pelo **latossolo vermelho-amarelo**, ambos com predomínio de textura arenosa, bem drenados, com lixiviação e infiltração grandes, pobres em matéria orgânica, ácidos, pouco adequados para a agricultura, originados das formações Pirambóia, Botucatu e Rio Claro.

Os solos **litólicos** ocupam pequenas áreas, geralmente associados a solos podzólicos e, mais comumente, aos siltitos e argilitos da Formação Corumbataí. Caracterizam-se pela pequena espessura do *solum* (< 40 cm) e ausência ou espessura

muito pequena de horizonte diagnóstico de sub-superfície, que os tornam bastante limitados para a atividade agrícola, e agravados por ocorrerem, principalmente em faixas de relevo acidentado.

Solos designados **terra roxa estruturada** são derivados de rochas básicas, e diferem do latossolo roxo por apresentar um horizonte B textural, ocorrendo, em geral, em áreas de relevo um pouco mais movimentado. Na área, estão ligados à ocorrência de soleiras e diques de diabásio, como no Horto Florestal de Rio Claro e na Usina Hidrelétrica Corumbataí.

Os solos **hidromórficos** caracterizam-se por apresentar um horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade e ocupam as várzeas dos rios. A proximidade do nível freático restringe o crescimento do sistema radicular das plantas. Embora não esteja cartografado dentro do perímetro escolhido para o estudo, em mapeamentos de maior detalhe são registrados solos hidromórficos margeando os corpos d'água.

## 4.5 Contexto geológico

Neste item são descritas as unidades litoestratigráficas da área de estudo, com suas características locais, contextualizando a geologia dentro de uma grande unidade regional que é a bacia sedimentar do Paraná, assim como as feições tectônicas locais e regionais.

### 4.5.1 Geologia regional

A área em questão localiza-se, geologicamente, no setor paulista do flanco nordeste da bacia sedimentar do Paraná, representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Grupo Itararé; formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos Recentes). As unidades estão contempladas na [Tabela 17](#) e são descritas, com maior destaque, aquelas diretamente relacionadas à área de estudo e cujas características possam ter reflexos nos atributos necessários, tanto para a cartografia/mapeamento geotécnico, como para o planejamento e a gestão urbana.



Tabela 17 - Síntese da geologia regional e unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná (Organizada por Zaine, 1997)

IDADE	UNIDADE		DESCRIÇÃO / LITOLOGIA	AMBIENTE DEPOSICIONAL	OCORRÊNCIA NA BACIA	ESPES. MÁX. (m)	OCORRÊNCIA LOCAL	ESPES. MÁX. (m)	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
	ERA	Formação							
CENOZÓICA	TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO	DEPÓSITOS ALUVIONÁRIOS	Areias e argilas associadas a várzeas; materiais arenosos e lateríticos de cobertura.	Continental fluvial.	Isoladas, na forma de depós. aluvionares e de cobertura.	variável / poucos metros	Aluviões do rio Corumbataí e ribeirão Claro (principais).		BJORNBERG <i>et al.</i> (1964 a, b); BJORNBERG & LANDIM (1966); FULFARO & SUGUIO (1976); PENTEADO (1976); ZAINE (1994); MELLO (1995)
		RIO CLARO	Arenitos pouco consolidados, com lentes de argila e níveis conglomeráticos na base.	Continental fluvial com canais espalhados e planícies de inundação e semi-árido com fluxos torrenciais e de massa.	Região de Rio Claro e depós. correlatos, mais significativos na Depressão Periférica paulista.		Capeia interflúvios aplainados dos rios Passa Cinco, Cabeça, Corumbataí e Ribeirão Claro.	30	
MESOZÓICA	CRETÁCEO	ITAQUERI	Bancos de arenito, por vezes silicificado, ou com crostas ferruginosas, alternados com lamitos e conglomerados. Ocorrem na forma de morrotes sustentados por níveis silicificados.	Leques aluviais, em condições de clima árido a semi-árido.	O Grupo Bauru tem sua faixa de ocorrência no Planalto Ocidental paulista, recobrendo os basaltos da Formação Serra Geral, também nos estados do PR, GO, MS e MT.	200	Não ocorre na área de estudo; aparece na região representada pela Fm. Itaqueri, no reverso das cuestas arenito-basálticas, nas proximidades da localidade de Itaqueri da Serra (mun. Itirapina).	125	BARCELLOS <i>et al.</i> (1983); CABRAL JR. (1991)
		SERRA GERAL	Derrames de basaltos com lentes de arenitos interderames na base. Intercalações de rochas vulcânicas ácidas e intermediárias ocorrem em menor proporção. Intrusões de diques e soleiras de diabásio estão associadas.	Vulcanismo fissural.	Ocorrem por todo Planalto Ocidental paulista e, de forma geral, os derrames recobrem boa parte dos sedimentos da Bacia do Paraná.	1550	Na região ocorre na faixa de cuestas e, especificamente, na área de estudo estão presentes corpos de diabásio na forma de diques e soleiras, que afloram no Horto Florestal, junto à cidade no vale do ribeirão Claro e no rio Corumbataí (Usina Corumbataí).	* 50 - 100	ALMEIDA (1967) SCHNEIDER <i>et al.</i> (1974) * soleira, encontrada em poços tubulares profundos, sob a cidade (na base da Fm. Corumbataí).
		BOTUCATU	Arenitos vermelhos, bem selecionados, com grãos bem arredondados e bem esféricos, estratificações cruzadas de grande porte.	Deposição eólica/ continental desértico.	No Estado de São Paulo, acompanhando a linha de cuestas.	300 Bacia 150 (SP)	Na região de Rio Claro nas serras de Itaqueri, Santana e Cuscuzeiro.	50 a 70 150	SOARES (1973); SCHNEIDER <i>et al.</i> (1974); SOARES & LANDIM (1975); LANDIM <i>et al.</i> (1980); BRIGETTI (1994)
		PIRAMBÓIA	Arenitos, com grãos arredondados e esféricos, níveis de lamitos, com estratificações cruzadas de médio a grande porte.	Continental fluvial e desértico.	Sua faixa de afloramentos, acompanha o limite noroeste da Depressão Periférica (SP), desde a divisa do PR até MG, com larguras de 5 a mais de 50 km.	700 Bacia 300 (SP)	Ocupa todo quadrante noroeste da Folha Rio Claro, acompanhando em larga faixa o sopé da cuesta. Seu contato inferior é marcado por uma discordância com a Fm. Corumbataí.		
PALEÓZICA	PERMIANO	CORUMBATAÍ	Argilitos e siltitos arroxeados e marrom avermelhados com intercalações de arenitos, leitos carbonáticos e coquinas.	Continental: lacustre. Misto: planície de maré.	Unidade superior do Gr. Passa Dois em SP, ocorrendo a norte de Piracicaba. Para sul são definidas, para o Grupo, as formações Serra Alta e Teresina.	700 Bacia 130 (SP)	Bastante extensa no vale do rio Corumbataí, onde é explorado para cerâmica. É o substrato mais constante dos sedimentos da Fm. Rio Claro.	130	SCHNEIDER <i>et al.</i> (1974); SOARES & LANDIM (1975); LANDIM (1970); SIMÕES & FITTIPALDI (1992); ZAINE (1994)
		IRATI	Folhelhos pirobetuminosos, calcários dolomíticos e siltitos.	Misto: lagunar a marinho raso.	Constitui a unidade litoestratigráfica com maior homogeneidade e identidade em toda a bacia, apesar da pequena espessura.	50	Distrito de Assistência no sul do Município, onde existem várias pedreiras para exploração do calcário dolomítico.	25	SCHNEIDER <i>et al.</i> (1974); SOARES & LANDIM (1975); ZAINE & PERINOTTO (1996)
		TATUI (PALERMO/ RIO BONITO)	Siltitos e siltitos arenosos de cores esverdeadas marrom. Podem ocorrer arenitos conglomerados e calcários.	Continental: fluvial. Misto: deltaico	Corresponde em SP às formações Palermo e Rio Bonito dos estados do sul. Tem sua faixa de afloramentos desde Leme (N) até Fátima (S).	400 (sul) 100 (SP)	Domo de Pitanga, a sul de Rio Claro, no baixo vale dos rios Cabeça e Passa Cinco.	70 a 80	SCHNEIDER <i>et al.</i> (1974); SOARES & LANDIM (1975); LANDIM <i>et al.</i> (1980); SEPE (1990); PERINOTTO (1987)
		ITARARÉ AQUIDAUANA	Arenitos, siltitos, varvitos, diamictitos (tilitos).	Continental: glacial, fluvial e lacustre. Misto e marinho.	SP - faixa marginal (até 80 km) da Depr. Periférica, bordejando a província cristalina. A norte (SP/Bacia) sedimentos correlatos avermelhados= Fm. Aquidauana.	1400/ 1500	Constitui a base da coluna sedimentar, aflorando nos rios Corumbataí e Passa Cinco, a sul de Rio Claro.	?	SCHNEIDER <i>et al.</i> (1974); SAAD (1977); FULFARO <i>et al.</i> (1980)
P R É - C A M B R I A N O - Granitos, gnaisses, xistos, quartzitos.									

#### 4.5.2 Geologia local

A maior parte do Município de Rio Claro está sobre sedimentos da Formação Corumbataí e Formação Rio Claro, e, secundariamente, sobre rochas intrusivas básicas, como, por exemplo, na área do Horto Florestal, porém a geologia regional contempla outras unidades litoestratigráficas a serem descritas e contextualizadas a seguir.

As rochas mais antigas da região aparecem fora da área de estudo, e estão representadas pelo Grupo Itararé e Formação Tatuí, aflorando nos vales dos rios Corumbataí e Passa Cinco, a sudoeste da cidade de Rio Claro, em um alto estrutural denominado Domo de Pitanga.

A Formação Irati, unidade basal do Grupo Passa Dois, tem as principais exposições junto ao Distrito de Assistência, a sul de Rio Claro, e nas proximidades de Ipeúna, onde existem várias pedreiras para extração de calcário dolomítico, utilizado como corretivo de solo (calagem). A espessura da unidade na área é de cerca de 25 m. É constituída por uma seqüência basal de folhelhos cinza-escuros e cinza-claros e siltitos de coloração cinza, denominada Membro Taquaral; e uma seqüência superior, composta por um banco de calcário dolomítico, sucedido por folhelhos cinza-escuros, folhelhos pretos, pirobetuminosos, alternados com camadas de calcário, geralmente, substituídos por sílex, correspondendo ao Membro Assistência, nome dado em alusão ao distrito homônimo no Município de Rio Claro. Existem dois registros de afloramentos da Formação Irati no vale do ribeirão Claro, sendo um próximo à cidade (área da Unesp) e outro na Fazenda Angélica, próximo do Distrito de Ajapi (ZAINÉ, 1994). Neste trabalho foi descrito um outro afloramento desta unidade, localizado no bairro Nova Rio Claro, a sudoeste da área ponto RC- 91 ([Anexos 1 e 2](#)).

A Formação Corumbataí, sobrejacente à Formação Irati, ocorre de forma extensa pelo vale do rio Corumbataí. As litologias dominantes compreendem argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de arenitos e leitos carbonáticos. Os sedimentos lamíticos são explorados como matéria-prima na indústria cerâmica. Na área urbana, ocorre nos bairros periféricos da zona norte e noroeste, nas médias e baixas vertentes, em direção ao vale

do rio Corumbataí, tendo como características o solo pouco profundo (< 2 m) e o nível freático bastante próximo à superfície, na época das chuvas.

O Grupo São Bento é representado, da base para o topo, pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, unidades da Era Mesozóica, e que ocorrem contornando a área de estudo região, porém, já fora da mesma.

A Formação Pirambóia aflora nas regiões de Ipeúna e Corumbataí e em boa parte do Município de Rio Claro, em uma larga faixa acompanhando o sopé das serras, e é constituída por espessos corpos de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, de granulometria fina a média, com intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos, localmente, com níveis conglomeráticos. Estratificação cruzada de grande e médio porte é uma estrutura característica da unidade.

As exposições da Formação Botucatu situam-se nas serras de Santana, Itaqueri e do Cuscuzeiro e em morros testemunhos. Compreende um pacote de arenitos avermelhados, finos a médios, com típicos grãos bem arredondados e foscos, friáveis ou silicificados. Uma característica peculiar dessa unidade é a estratificação cruzada de grande porte.

Os basaltos da Formação Serra Geral afloram no alto da Serra de Itaqueri. Intercalações de delgadas camadas de arenitos interderrames são bastante comuns. O intervalo Jurássico Superior - Cretáceo Inferior, atribuído à Formação Serra Geral, baseou-se em datações radiométricas (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

As rochas intrusivas associadas ao vulcanismo da bacia sedimentar do Paraná são constituídas por diques e soleiras (*sills*) de diabásio, que estão presentes, na área de estudo, no Horto Florestal de Rio Claro, junto à cidade, no vale do ribeirão Claro (no leito junto à Vila Paulista, na vertente junto à captação da ETA I, na Unesp e no conjunto habitacional Oreste Giovanni, bairro São Miguel - Projeto Pé-no-chão) e nas proximidades da Usina Hidrelétrica Corumbataí (afloramentos na meia encosta e no leito do rio, sendo, inclusive, explorado para brita, pela pedreira STAVIAS, junto ao mesmo local). Tem grande importância na caracterização do relevo, sustentando feições mais elevadas, como o morro do Horto Florestal e trechos com corredeiras e saltos no rio Corumbataí e ribeirão Claro.

Em profundidade, sob a cidade de Rio Claro, a presença destas rochas básicas foi verificada em poços tubulares perfurados para captar água subterrânea e registram espessuras médias de 70 a 100 metros. O perfil geológico do [Anexo 3](#) representa a disposição espacial desta soleira de diabásio.

O Grupo Bauru ocorre na região já a certa distância da cidade de Rio Claro, representado pela Formação Itaqueri, que aflora no alto da Serra de Itaqueri, a oeste-noroeste da cidade de Ipeúna. É constituído por uma alternância de bancos de arenito, por vezes silicificados, ou com crostas ferruginosas, lamitos e conglomerados.

Os sedimentos da Era Cenozóica estão representados pelos depósitos aluvionares, localizados, principalmente, nas extensas várzeas dos rios Corumbataí e ribeirão Claro, terraços e depósitos coluvionares e pela Formação Rio Claro, que capeia os grandes divisores de águas aplainados da região, sobre a qual está assentada, em sua maior parte, a ocupação urbana do Município de Rio Claro.

A Formação Rio Claro constitui-se no registro mais significativo e, provavelmente, mais antigo do Cenozóico, dentro da Depressão Periférica paulista (ZAINÉ, 1994), onde ocorrem manchas de depósitos cenozóicos, ocupando vastas superfícies de relevo suave a aplainado. São ocorrências isoladas, como a da região de Rio Claro, correlacionadas com a Formação Rio Claro por ANDRADE & SOARES (1971) e estudadas em detalhe por MELO (1995).

*Esta formação apresenta como características marcantes: fraca litificação e profunda alteração pedogenética, espesso solo arenoso e domínio de litotipos arenosos, esbranquiçados amarelados e avermelhados, variando de areia fina a grossa, com intercalação de camadas de conglomerados e de sedimentos argilosos. A espessura máxima é da ordem de 40 m, predominando valores entre 25 e 30 m (ZAINÉ, 1994). O mesmo autor sugere, ainda, um aprofundamento nas investigações, para um estudo aplicado e dirigido, principalmente, para edificações e obras, água subterrânea e mineração.*

#### **4.6 Aspectos geotécnicos**

Neste item são abordados e definidos alguns fatores e atributos geotécnicos que ajudarão a entender melhor os processos da dinâmica externa da crosta terrestre,

que têm se manifestado e, principalmente, vêm sendo acelerados pela ação antrópica. A ocupação urbana e rural tem registrado, ao longo do tempo, problemas de natureza diversa e gerado áreas de risco, sempre por intervenções e formas de usos do solo que não consideram adequadamente as características geológico-geotécnicas.

Alguns destes processos geodinâmicos são característicos da região estudada, compreendidos a partir da definição de alguns fatores e atributos geotécnicos, próprios das rochas e solos da área da pesquisa, assim como as formas resultantes. Os problemas observados na área de estudo serão abordados no Capítulo 5, e apresentados com uma descrição geral, conforme descritos a seguir.

Os atributos geológico-geotécnicos, juntamente com o entendimento dos processos da dinâmica externa da crosta, podem ajudar e orientar as diferentes formas de ocupação urbana, minimizando estes conflitos e evitando situações consideradas de risco causados pela ocupação e pela ação antrópica desordenada e não planejada.

A cidade de Rio Claro, como a maioria das cidades médias da região sudeste do Estado de São Paulo, teve nos anos 70/80, um grande crescimento urbano, em função do êxodo rural e da migração. Dessa forma, Rio Claro, que antes ocupava apenas o topo de um divisor de águas plano, com o crescimento, ultrapassou os limites do "tabuleiro", descendo as vertentes em direção aos vales, quando e onde emergem os problemas causados pela ocupação imprópria, a qual desconsidera as características e as "respostas" do meio físico às intervenções antrópicas.

Os registros mais antigos de degradação ambiental no município são grandes erosões ou boçorocas, localizadas na orla da ocupação urbana, tendo sido cadastradas através de estudo realizado no convênio IPT/DAEE (IPT, 1989), e também incluídas no mapeamento do Plano Diretor (RIO CLARO, 1992).

Segundo o Mapa de Erosão do Estado de São Paulo (IPT, 1995a), escala 1:1.000.000, o município de Rio Claro apresenta terrenos com média suscetibilidade à erosão. No levantamento de campo durante o projeto "Orientação para o combate à erosão no Estado de São Paulo - bacia do Médio Tietê", realizado em 1989, o IPT identificou e cadastrou oito erosões na área urbana o que levou a considerá-lo como um município crítico. Este alerta serve para mostrar que se deve planejar o uso e ocupação do solo na área, com especial atenção para os processos erosivos, para que

não ocorra o desenvolvimento de boçorocas, ravinas e sulcos, que podem comprometer as diversas atividades econômicas, tanto na área urbana quanto na rural.

A Formação Rio Claro, com predominância de rochas arenosas pouco consolidadas, é a que possui a maior incidência de feições erosivas de grande porte (boçorocas), mais precisamente associadas às vertentes com maior declividade junto às cabeceiras de drenagem. Essas erosões tiveram início, provavelmente, logo após a primeira fase de desmatamento na região, sendo, portanto, bastante antigas.

Ocorrências bastante comuns na área urbana de Rio Claro são abatimentos da superfície do terreno e avarias nas estruturas de construções que estão associadas a uma propriedade dos solos de topo, latossolo vermelho-amarelo, tipo de solo da maior parte da cidade, que é muito poroso e apresenta comportamento colapsível, ou seja, está sujeito à redução de volume por adição de água e sobrecarga.

Tais registros estão associados, mais comumente, a vazamentos de tubulações enterradas ou a períodos de grande concentração pluviométrica. Podem ocorrer de forma localizada e de caráter pontual (mais comuns), ou de forma mais abrangente, atingindo várias residências.

Acompanhando os fundos de vales e as lagoas, é comum a ocorrência de solo hidromórfico, quase sempre com muita matéria orgânica associada (camadas de turfa). Este material tem como característica uma plasticidade alta, portanto, baixa capacidade de suporte de cargas, de modo que a ocupação e implantação de obras nessas áreas devem ser sujeitas a análises e acompanhamento técnico especializado (estudos geológico-geotécnicos e projetos de engenharia).

Outro aspecto, embora não apresente registros de criticidade alta, é a estabilidade de taludes, por estar a cidade de Rio Claro assentada sobre terrenos de declividades suaves. Alguns casos registrados têm sido associados a cortes e aterros mal projetados ou, ainda, a processos erosivos.

A faixa de ocorrência de diabásio, principalmente no vale do ribeirão Claro, pode representar maiores dificuldades em obras que envolvam escavações ou movimentos de terra, pela presença de blocos ou maciços sub-aflorantes.

Episódios periódicos de enchentes e inundações do rio Corumbataí e do ribeirão Claro têm merecido destaque nos jornais e gerado preocupação por parte do

Poder Público. Estas várzeas bastante amplas que, praticamente, contornam a cidade, estão sujeitas periodicamente a cheias, ou seja, o rio deixa o seu leito menor (normal) e pode atingir o leito maior (leito de cheia). O Plano Diretor do Município tem especial cuidado com tais áreas, delimitando estas planícies de inundação, como “Zonas de Proteção Ambiental - ZPs”, ordenando o crescimento urbano nas mesmas.

A influência e interferência das atividades de mineração, tanto as desativadas, hoje englobadas pela malha urbana, como aquelas em atividade, conflitam com o crescimento urbano de forma bastante evidente. Os principais impactos causados pela exploração mineral referem-se a modificações na paisagem decorrentes de escavações, na maioria das vezes, não preenchidas e recuperadas. Os vários portos de areia na região também podem acarretar problemas, à medida que extrapolam os limites e os métodos permitidos para a retirada de areia.

Dentre os trabalhos publicados, enfocando a caracterização geotécnica dos terrenos onde está assentada a área urbana de Rio Claro, podem ser citados o de COTTAS (1983), de caráter mais abrangente, e algumas publicações que tratam de tópicos mais específicos, como as de CAMPOS (1979), CAMPOS & VICELLI NETTO (1987), OLIVEIRA (1987), ZAINÉ & PENTEADO-ORELLANA (1994b), BRAGA (1997) e GIBOTTI Jr. (1999).

## **5. ENSAIO DE APLICAÇÃO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO EM RIO CLARO - SP**

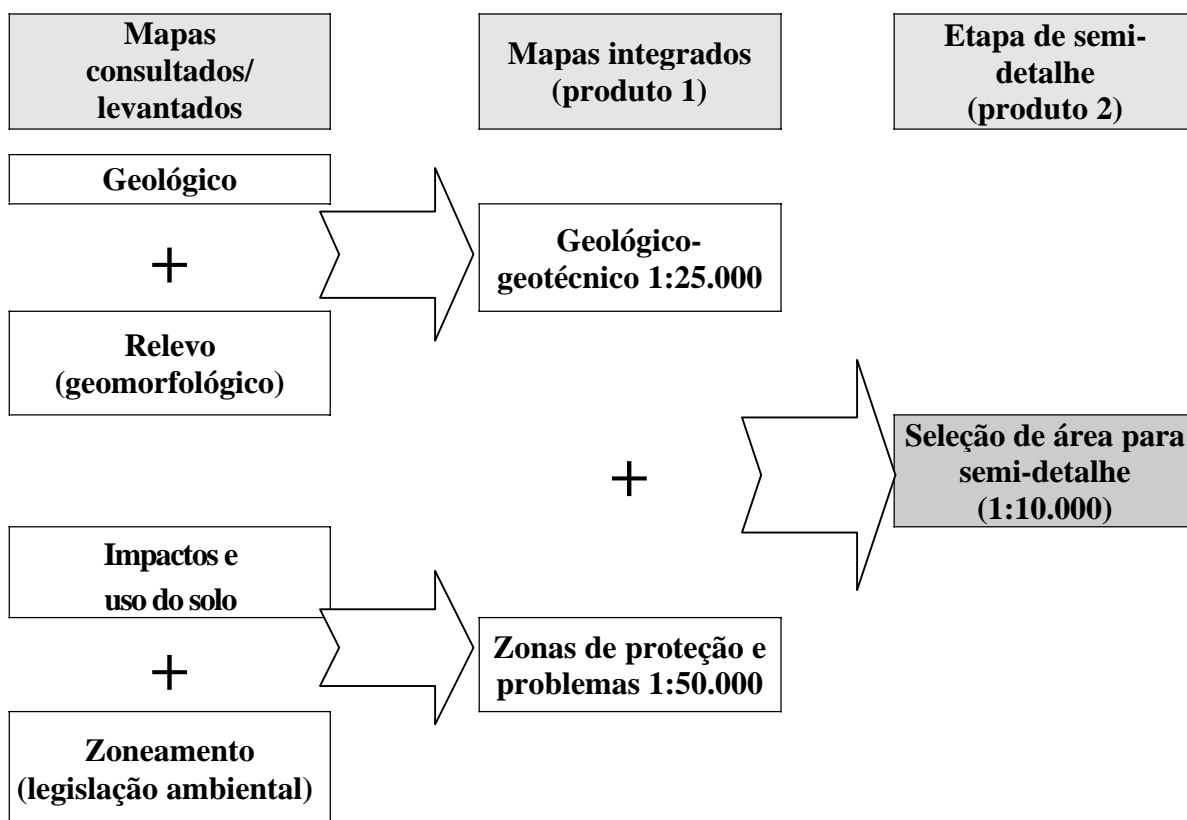
Este capítulo relata a seqüência dos trabalhos do ensaio de aplicação do detalhamento progressivo, na área urbana e peri-urbana de Rio Claro, descrevendo os estudos realizados, a fotointerpretação, os levantamentos de campo, ensaios, documentos cartográficos gerados, com respectivas descrições, avaliações e comentários sobre o desenvolvimento desta etapa da pesquisa.

### **5.1 Produtos gerados na etapa geral (1ª etapa), elaborados na escala 1:25.000**

Na etapa geral, ou 1ª etapa, optou-se pela escala 1:25.000, por se entender, ainda no planejamento do trabalho, a sua compatibilidade com a escala das fotografias aéreas (1:25.000) e das cartas topográficas disponíveis (1:50.000 e 1:10.000). Da mesma forma, o tamanho da área é compatível com a escala 1:25.000, para uma cidade de porte médio como Rio Claro. A área escolhida e delimitada tem uma área aproximada de 160 km<sup>2</sup>, resultando um produto cartográfico com dimensões consideradas aqui adequadas à visualização e manipulação.

A seqüência dos trabalhos e os tipos de cartogramas utilizados e elaborados na 1ª etapa são apresentados na [Figura 4](#).





**Figura 4 - Fluxograma mostrando a seqüência dos trabalhos e os tipos de cartogramas utilizados e elaborados na 1ª etapa (geral) .**

Os critérios utilizados para a definição dos limites da área cartografada partiram das características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e geotécnicas levantados no capítulo anterior. Aliado a estes fatores, este perímetro procurou envolver a área efetivamente urbanizada e as zonas de expansão urbana, cujos limites geográficos estão assim balizados: a norte pela rodovia SP-191, englobando o Distrito Industrial de Rio Claro; a leste pelo Ribeirão Claro e o Horto Florestal, a sul pelas áreas urbanas entre o rio Corumbataí e o ribeirão Claro e a oeste pela área de expansão urbana e os bairros existentes na vertente direita do rio Corumbataí ([Anexo 1](#)).

Na primeira etapa foram gerados os seguintes produtos cartográficos e figuras:

- Mapa de pontos - [Anexo 1](#)
- Mapa geológico-geotécnico 1:25.000 - [Anexo 3](#)
- Perfil esquemático - [Figura 7](#)
- Perfil geológico da Formação Rio Claro - [Figura 8](#)
- Mapa de zonas de proteção ambiental e de registros de problemas geológico-geotécnicos 1:50.000 - [Anexo 4](#)
- Área selecionada para semi-detalhe 1:10.000 - [Figura 9](#)

## 5.2 Mapa geológico-geotécnico 1:25.000

O mapa geológico-geotécnico gerado na etapa geral integra as informações obtidas nos seguintes mapas: geológico, geomorfológico e de solos.

Para elaboração de tal mapa foram realizados mapeamentos geológico e geomorfológico na escala 1:25.000, utilizando-se como ferramenta principal uma fotointerpretação bastante detalhada, com delimitação, primeiramente, das unidades geológicas, seguida pela demarcação das feições e características de relevo a partir da definição de uma legenda para orientar o mapeamento geomorfológico. A fotointerpretação definitiva foi orientada por um controle de campo, com a descrição de 168 pontos, atingindo-se, desta forma, a média aproximada de 1 ponto/km<sup>2</sup> ([Anexos 1](#) e [2](#)). Entende-se, que esta densidade de pontos atendeu às necessidades desta pesquisa.

### 5.2.1. Metodologias consultadas e critérios utilizados para definição das “unidades geológico-geotécnicas”

As unidades geológico-geotécnicas foram definidas com base nas observações e integração das características das unidades geológicas, das unidades geomorfológicas, das feições e elementos de relevo e ainda de informações sobre os tipos de solos da área, extraídas de PRADO *et al.* (1981), complementando-se com anotações de campo.

As adequações citadas procuraram compatibilizar a densidade de informações com a escala apresentada para a 1ª fase.

Para definição dos critérios de individualização e delimitação destas unidades foram consultados alguns trabalhos de elaboração de cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos realizados pelo IPT e pela EESC/USP, relacionados nas [Tabelas 13](#) e [15](#). Complementarmente, por se entender que tais critérios têm um importante componente com enfoques geomorfológicos, foram pesquisados alguns trabalhos e metodologias que buscam na análise do relevo um melhor entendimento da dinâmica e dos processos exógenos.

A seguir são descritos e comentados alguns trabalhos e as metodologias, nas quais foi baseada a divisão em unidades geológico-geotécnicas.

#### **a. Metodologia de análise da dissecação de relevo (MENDES, 1993)**

Uma das metodologias analisadas para a divisão de classes de terreno foi a apresentada por MENDES (1993), com base na técnica de SPIRIDONOV (1980), que avalia o grau de dissecação de relevo, a partir da elaboração da Carta de Energia do Relevo.

A Carta de Energia do Relevo é obtida com a integração de outras 3 cartas:

- Carta de Declividade: elaborada nos moldes usuais (ábacos).
- Carta de Dissecação Horizontal do Relevo: as áreas são classificadas de acordo com a dissecação horizontal ("comprimento de rampa"), ou seja, por meio da medida da distância entre os divisores de água e o talvegue do rio, em um plano horizontal.
- Carta de Dissecação Vertical do Relevo: a classificação das áreas é feita segundo a medida do nível vertical ("amplitude") entre os topos dos interflúvios e o talvegue.

O exame da Carta de Energia de Relevo da área de estudo (MENDES, 1993), associado à elaboração de um teste, obtido através do cruzamento das classes de terreno ([Figura 5](#)) com as unidades geológicas, mostrou um produto de difícil visualização e interpretação, devido à geração de um número muito elevado de unidades geológico-geotécnicas (32), com um detalhamento incompatível com a escala dos mapas da 1ª etapa.

CLASSES DE ENERGIA DO RELEVO	ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS		
	DECLIVIDADE (%)	DISSEC. VERT.(m)	DISSEC.HORIZ. (m)
MUITO FORTE	$\geq 25$	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 100 \end{array}$ 100	50 $\begin{array}{l} < 50 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 25 \end{array}$ 25	$\geq 100$	50 $\begin{array}{l} < 50 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
FORTE	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 25 \end{array}$ 25	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 100 \end{array}$ 100	50 $\begin{array}{l} < 50 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 25 \end{array}$ 25	80 $\begin{array}{l} < 80 \\ \geq 100 \end{array}$ 100	50 $\begin{array}{l} < 50 \\ \geq 800 \end{array}$ 100
MEDIAMENTE FORTE	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 20 \end{array}$ 20	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 80 \end{array}$ 80	$< 50$
	10 $\begin{array}{l} < 10 \\ \geq 20 \end{array}$ 20	40 $\begin{array}{l} < 40 \\ \geq 80 \end{array}$ 80	50 $\begin{array}{l} < 50 \\ \geq 100 \end{array}$ 100
MÉDIA	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 10 \end{array}$ 10	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 40 \end{array}$ 40	50 $\begin{array}{l} < 50 \\ \geq 100 \end{array}$ 100
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 20 \end{array}$ 20	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 80 \end{array}$ 80	100 $\begin{array}{l} < 100 \\ \geq 200 \end{array}$ 200
	$< 5$	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 80 \end{array}$ 80	100 $\begin{array}{l} < 100 \\ \geq 200 \end{array}$ 200
	15 $\begin{array}{l} < 15 \\ \geq 20 \end{array}$ 20	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 60 \end{array}$ 60	200 $\begin{array}{l} < 200 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 20 \end{array}$ 20	60 $\begin{array}{l} < 60 \\ \geq 80 \end{array}$ 80	200 $\begin{array}{l} < 200 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
FRACA	$< 5$	$< 20$	100 $\begin{array}{l} < 100 \\ \geq 200 \end{array}$ 200
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 15 \end{array}$ 15	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 60 \end{array}$ 60	200 $\begin{array}{l} < 200 \\ \geq 400 \end{array}$ 400
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 15 \end{array}$ 15	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 60 \end{array}$ 60	400 $\begin{array}{l} < 400 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
	$< 5$	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 40 \end{array}$ 40	400 $\begin{array}{l} < 400 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 15 \end{array}$ 15	40 $\begin{array}{l} < 40 \\ \geq 60 \end{array}$ 60	$\geq 800$
	10 $\begin{array}{l} < 10 \\ \geq 15 \end{array}$ 15	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 40 \end{array}$ 40	$\geq 800$
MUITO FRACA	$< 5$	$< 20$	400 $\begin{array}{l} < 400 \\ \geq 800 \end{array}$ 800
	5 $\begin{array}{l} < 5 \\ \geq 10 \end{array}$ 10	20 $\begin{array}{l} < 20 \\ \geq 40 \end{array}$ 40	$\geq 800$

Figura 5 - Classes de energia de relevo (MENDES, 1993).

### b. Análise de relevo com base em “landforms”

Ao aplicar o método de avaliação de terrenos (AITCHISON & GRANT, 1968), os trabalhos de LOLLO (1995) e GRECCHI (1997), dentre outros desenvolvidos pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP, utilizam o conceito de “landforms” com significado um pouco distinto da tradução simples (*formas ou feições de relevo*).

LOLLO (*op. cit.*) define “landform” da seguinte maneira: “*porção de terreno originada de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais “landforms”) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo*”.

O mesmo autor faz algumas colocações sobre as diferentes dimensões dos “landforms” e utiliza a classificação em três níveis hierárquicos: sistema de terreno, unidade de terreno e elemento de terreno (Figura 6).

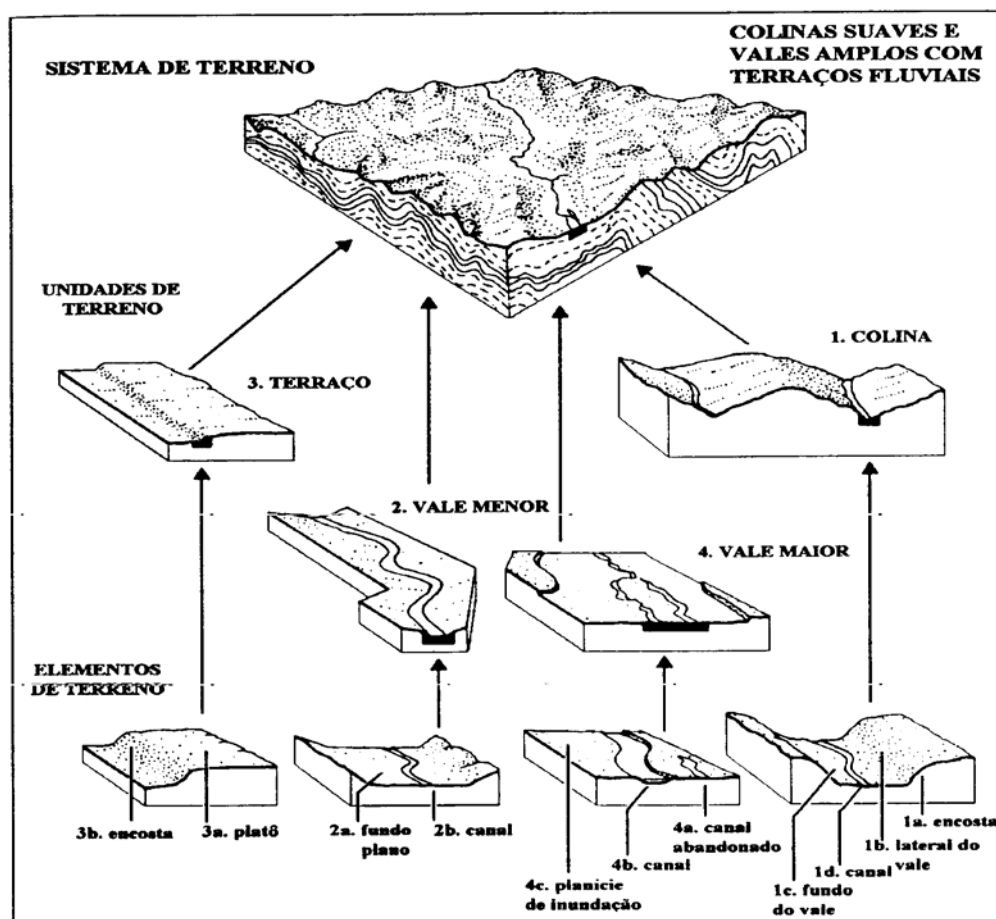


Figura 6– Blocos-diagramas mostrando a seqüência aplicada na técnica de avaliação de terreno (COOKE & DOORNKAMP, 1990, traduzido por LOLLO, 1995).

Embora LOLLO (op. cit.) utilize a divisão de unidades de terreno com base nessa definição, pode ser feita uma analogia com os critérios utilizados para divisão de unidades em trabalhos de Geomorfologia, como os do IPT (PONÇANO et al., 1981) e do RADAM (IBGE, 1994), onde, inclusive, os critérios de hierarquização são os mesmos.

GRECCHI (1997) e LOLLO (1995) admitem a utilização do conceito de “landforms” para um zoneamento preliminar na confecção de mapas e cartas geológico-geotécnicas, com dois tipos de enfoques: 1º) Fisiográfico (“landscape approach”) - onde as ferramentas básicas são fotografias aéreas e trabalhos de campo; 2º) Paramétrico (“parametric approach”) - onde são medidos parâmetros

representativos da geometria (declividades, amplitudes, extensões, parâmetros da rede de drenagem, etc.).

### **c. Análise de relevo com base em mapas geomorfológicos**

Para a padronização do trabalho, foram utilizados alguns conceitos fundamentais em geomorfologia, visando ao melhor entendimento dos processos, à caracterização das unidades e à identificação de formas e elementos de relevo e drenagem. A definição destes conceitos foi extraída de livros-textos (CHRISTOFOLETTI, 1974; GUERRA, 1978; CUNHA & GUERRA, 1998; COOKE & DOORNKAMP, 1990), além do trabalho de PENTEADO (1976), que aborda de forma detalhada a geomorfologia da região de estudo.

Os critérios para elaboração de mapas geomorfológicos são apresentados em trabalhos do IPT e no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO *et al.*, 1981), na sistemática definida pelo RADAM (IBGE,1994) e pelo novo Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS & MOROZ, 1997).

Os critérios adotados por PONÇANO *et al.* (*op. cit.*) têm como base o conceito de sistemas de relevo, para a subdivisão do relevo do Estado de São Paulo. O método de sistemas de relevo foi desenvolvido na Austrália, a partir da década de 40, para o mapeamento de grandes áreas. Métodos semelhantes também foram utilizados em vários países, como a antiga URSS, Inglaterra, Japão e EUA (COOKE & DOORNKAMP, 1974 in PONÇANO *et al.*, 1981).

Para a subdivisão com base em sistemas de relevo, a cartografia do Estado de São Paulo reconhece províncias, zonas, sub-zonas e delimita conjuntos de formas menores definidas como sistemas de relevo.

A representação dos sistema de relevo no Mapa Geomorfológico do Estado é feita através de números que têm o objetivo de mostrar, em ordem hierárquica, os grupos, sub-grupos e unidades. Dentro desta sistemática, são definidos para o Estado de São Paulo, cinco grupos de relevo com as respectivas classificações numéricas:

- Relevo de agradação (100)
- Relevo de degradação em planaltos dissecados (200)
- Relevos residuais suportados por litologias particulares (300)

- Relevos cársticos (400)
- Relevos de transição (500)

Outra metodologia de mapeamento geomorfológico, definida e utilizada pelo Projeto RADAM para grandes extensões territoriais (IBGE, 1994), baseia-se no ordenamento hierárquico da taxonomia de fatos geomorfológicos, partindo de domínios morfoestruturais (grandes conjuntos regionais), passando por regiões geomorfológicas até a delimitação de unidades geomorfológicas (associação de formas de relevo recorrentes) e, finalmente, num quarto táxon que são os tipos de modelados, para os quais são atribuídas letras:

- Modelado de Acumulação (A)
- Modelado de Aplainamento (P)
- Modelado de Dissecação (D)
- Modelado de Dissolução (K)

Um terceiro modelo de mapa geomorfológico analisado é o de ROSS & MOROZ (1997), onde se propõe uma organização hierárquica, partindo de grandes feições da crosta, denominadas geotextura, com a definição de seis táxons:

- 1º táxon: unidades morfoestruturais (bacias sedimentares, cinturões orogênicos, plataformas, crátons);
- 2º táxon: unidades morfoesculturais (produtos morfológicos de influência climática atual e pretérita);
- 3º táxon: unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes ou tipos de relevo;
- 4º táxon: cada uma das formas de relevo;
- 5º táxon: setores, partes ou elementos de cada uma das formas de relevo;
- 6º táxon: formas produzidas por processos atuais (ação antrópica).

A seguir são feitas algumas considerações, comparando-se os itens discutidos anteriormente, desde os trabalhos de geomorfologia, com sistemática visando mapeamento geomorfológico de grandes áreas, aos trabalhos mais específicos, como as cartas geotécnicas de LOLLO (1995), GRECCHI (1997), SOUZA (1992) e Carta de Energia de Relevo de MENDES (1993).

De certa forma, o mapa geológico-geotécnico, apresentado na primeira fase desta tese, pode ser considerado um mapa que contém um forte componente geomorfológico, tendo como pano de fundo a análise do seu substrato geológico, integrando algumas informações dos tipos de solos da área. Portanto, a utilização do termo unidades geológico-geotécnicas (unidades de relevo + unidades geológicas + informações pedológicas) é considerado mais adequado.

Comparando-se com os mapas elaborados por LOLLO (1995) e GRECCHI (1997), conclui-se que os “landforms” ou unidades de terreno, definidas por aqueles autores, correspondem às unidades geológico-geotécnicas adotadas neste trabalho.

Cabe aqui destacar a importância dos trabalhos de fotointerpretação para a definição e delimitação das unidades geológico-geotécnicas mapeadas nesta pesquisa.

A análise dos trabalhos citados no Capítulo 5 permitiu adotar uma legenda de convenções geomorfológicas, definindo-se unidades de relevo (adaptado de PONÇANO *et al.*, 1981), formas de vertentes e elementos de relevo (com base em legendas de mapas geomorfológicos e nas características descritas e mapeadas para a área de estudo).

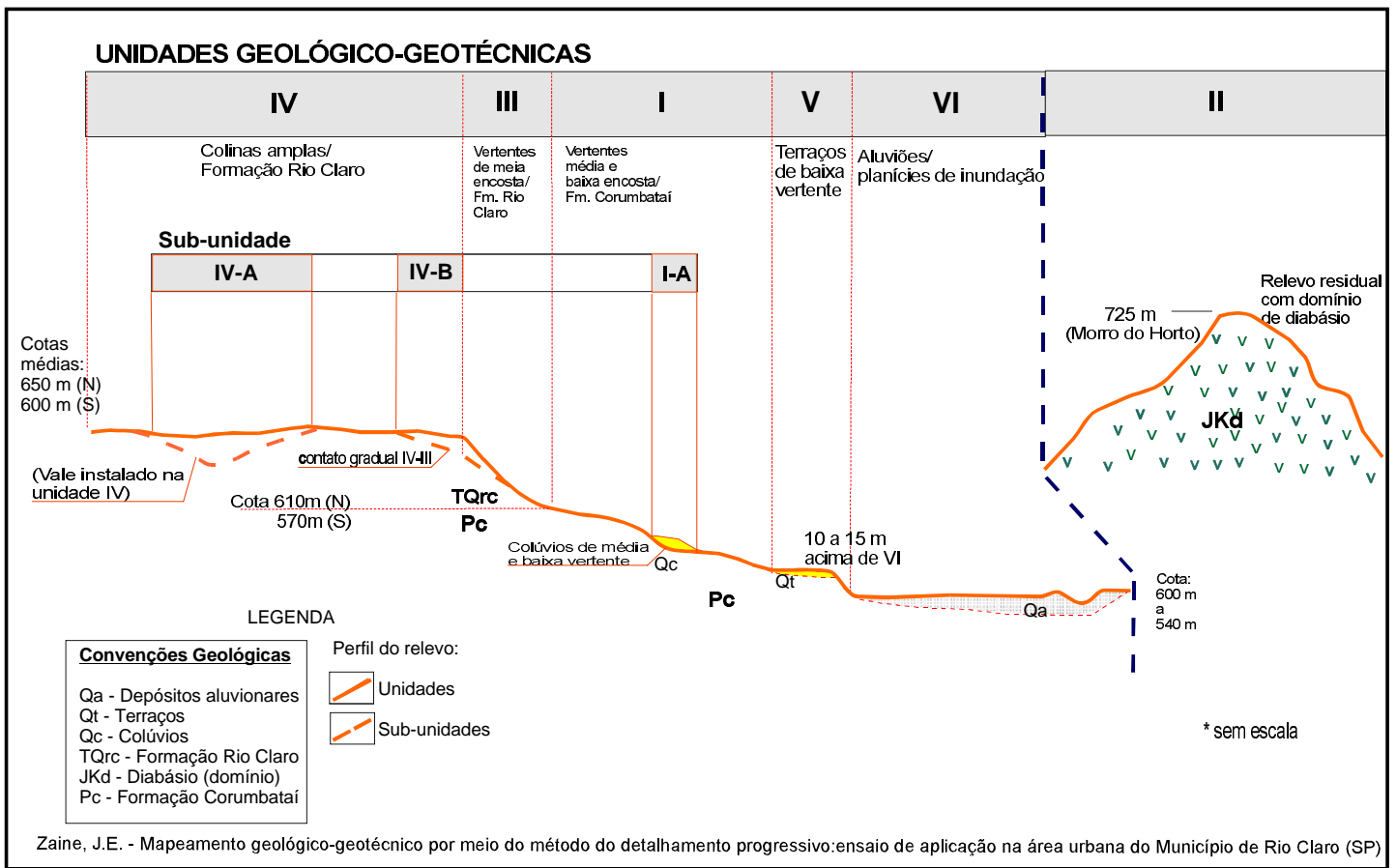
Definidas as convenções geomorfológicas, foi elaborada uma legenda geral das unidades geológico-geotécnicas com a descrição sucinta de suas características principais. A legenda é apresentada junto ao Mapa geológico ([Anexo 3](#)).

Como suporte para a definição das unidades e sub-unidades, e para o entendimento do posicionamento espacial das unidades, algumas características gerais foram desenhadas de forma esquemática, onde se procurou demonstrar as feições uma do relevo característico, tais como: perfil do relevo, extensão lateral e amplitudes, altitudes médias, de modo que possam ser visualizadas comparativamente ([Figura 7](#)).

Algumas unidades geológico-geotécnicas mapeadas possuem certas variações e particularidades de caráter mais localizado que, em alguns casos, permitem a divisão em sub-unidades, mesmo nesta escala geral.

No mapa geológico-geotécnico elaborado estão ilustrados os principais elementos de terreno, isto é, as formas de relevo e de drenagem extraídas das fotografias aéreas e mapeadas em campo. Tais elementos de relevo e drenagem foram ordenados na legenda deste cartograma e, junto com as informações geológicas e pedológicas, auxiliaram na definição das unidades e sub-unidades.





**Figura 7** - Perfil esquemático do relevo característico das unidades geológico-geotécnicas de Rio Claro (SP)

Também foi confeccionado um perfil cortando a área de estudo em direção aproximada W-E, apresentado junto ao Mapa geológico-geotécnico ([Anexo 3](#)), e que mostra, além das formas de relevo, o comportamento do substrato geológico da área.

A seguir são descritas as unidades geológico-geotécnicas definidas para a área de estudo, ordenadas em seqüência cronológica.

### **5.2.2 Descrição das unidades geológico-geotécnicas**

Neste item são descritas as unidades geológico-geotécnicas, que, ainda, poderiam ser designadas unidades de terreno, individualizadas, principalmente, com base em critérios geológicos e geomorfológicos.

#### **5.2.2.1 Unidade I - Área de domínio da Formação Corumbataí**

Tem sua ocorrência na porção compreendida entre a média e baixa vertente dos vales do ribeirão Claro e do rio Corumbataí, com grande expressão em área, num contexto mais regional, extrapolando, desta forma, os limites da área de estudo.

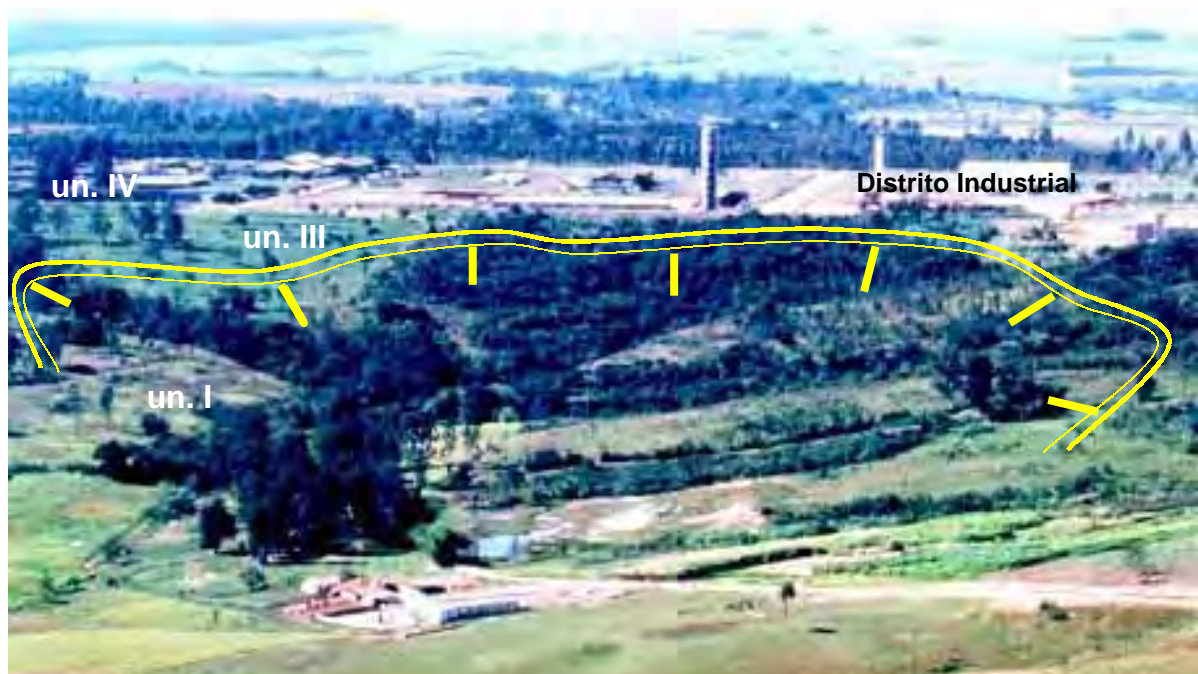
Corresponde à faixa de afloramentos com grande domínio da Formação Corumbataí, representada por siltitos e argilitos arroxeados e marrons ([Foto 1](#)), cujo relevo varia de colinas mais restritas, morrotes e espigões de topo aplainado. Devido à litologia de baixa permeabilidade, apresenta alta densidade de drenagem, com a formação de feições ou elementos morfológicos bastante característicos, que são os anfiteatros de nascentes ([Anexo 3](#); [Figura 7](#); [Foto 2](#)).

Apresenta, em geral, declividades baixas a médias, podendo, em áreas mais restritas, junto ao fundo do vale, mostrar ângulos mais acentuados (porções da baixa vertente mais íngremes), em situações onde os canais da drenagem se encontram encaixados ([Foto 3](#)).

Esta unidade apresenta solos geralmente pouco profundos, em média de 1 a 2 m, podzólicos e, por vezes, litólicos ([Foto 4](#)). O nível freático observado em alguns poços (tipo cisterna) e em escavações de obras é muito raso (em geral < 2m) no período de chuvas, com a profundidade variando nos períodos de estiagem.



**Foto 1** - Siltitos e argilitos da Formação Corumbataí, com processos de erosão generalizada instalados, aflorando em área de loteamento cancelado na estrada de Batovi, a oeste da cidade. Ponto RC-106.



**Foto 2** - Vista panorâmica da porção norte da área, mostrando um anfiteatro de nascentes (elemento de relevo, assinalado em amarelo), voltado para o vale do rio Corumbataí, característico do contato entre as unidades I e III; ao fundo o Distrito Industrial de Rio Claro, construído sobre a Unidade IV.



**Foto 3** - Vista aérea da Unidade I, mostrando parte do canal encaixado (elemento de relevo, assinalado em amarelo) do córrego Olinda e a ocupação urbana muito próxima, em área considerada de risco (**R**). Ponto RC-117.

**Foto 4** - Perfil de solo característico da Unidade I (transição entre podzólico e litólico), com siltitos arroxeados na porção inferior. Ponto RC-170 (etapa de semi-detalle).



Associado a esta unidade, cujo domínio é dado pela Formação Corumbataí, embora geologicamente distinta, existe a ocorrência bastante restrita, em pequenas faixas, de folhelho, calcário e sílex da Formação Irati, mapeada em dois pontos na área: no vale do ribeirão Claro, a nordeste, e próximo ao rio Corumbataí, a sudoeste, no bairro Jardim Nova Rio Claro ([Anexo 3](#)).

Ainda em domínio desta unidade, foram descritos pontos de ocorrência localizada, nas porções de média/baixa vertente, com solos mais desenvolvidos de textura areno-argilosa (latossolos). A estas porções pode ser atribuída uma gênese ligada a colúvios arenosos assentados sobre pelitos da Formação Corumbataí, sendo definidas, dentro do enfoque de cartografia geotécnica, como uma sub-unidade (**sub-unidade I-A**), registrada, mas não mapeável na escala da primeira etapa (1:25.000). O registro mais significativo desta sub-unidade ocorre no bairro Nosso Teto (zona noroeste), assinalado apenas com um ponto no [Anexo 3](#) e representado no perfil esquemático de relevo ([Figura7](#)).

Associados às características gerais desta unidade e às propriedades geotécnicas, têm sido registrados pela imprensa, Prefeitura e população em geral, além das observações feitas no campo, alguns tipos de problemas da ocupação urbana, peculiares da Unidade I, listados a seguir:

1. Lama (chuva) e poeira (seca) nos bairros não pavimentados.
2. Capacidade de suporte - pouca competência para alicerces rasos - solo plástico e expansivo. Também são constatados os mesmos problemas em aterros constituídos de material da Formação Corumbataí.
3. Empastilhamento em cortes (desagregação/desintegração resultante dos ciclos de secagem e umedecimento) - em construções que necessitem de corte e aterro é preciso descartar e importar material.
4. Restrições para disposição de resíduos, cemitérios, obras enterradas pelo nível freático raso (estação das chuvas), material não recomendável para cobertura (baixa permeabilidade).
5. Ocorrências de algumas fácies mais endurecidas de coloração cinza, representando dificuldades em escavações em obras, tubulações enterradas e até para a exploração mineral. No último caso, algumas lavras (fora da área urbana) de argila para cerâmica utilizam britador para exploração desta fácies.

6. Cavas de extração de argila para cerâmica, desativadas e em atividade, dentro do perímetro urbano e peri-urbano, geram um tipo de conflito, que envolve a degradação da paisagem, evoluindo para quadros mais alarmantes, como da formação de lixões nestas cavidades. Há necessidade de recuperação destas áreas degradadas e sua integração ao contexto urbano e de mitigação dos impactos gerados por lavras em atividade ([Foto 5](#)).

Cabe salientar que a Formação Corumbataí, no Município de Rio Claro e região, constitui a principal fonte de matéria-prima para a indústria cerâmica e olarias. Se, por um lado, cria um fator ou um polo de desenvolvimento, por outro, a atividade de mineração, realizada sem cuidados técnicos adequados, gera conflitos com outros tipo de uso do solo, destacando-se, neste caso, a ocupação urbana, além da degradação do meio ambiente nos seus vários aspectos.

#### **5.2.2.2 Unidade II - Áreas com relevo residual e domínio de diabásio**

Esta unidade foi definida a partir do mapeamento de áreas de domínio de corpos intrusivos básicos (diabásios) em dois tipos de situações distintas. No primeiro caso, mais marcante, apresenta características geomorfológicas peculiares, ou seja, um relevo residual suportado por este tipo de maciço básico intrusivo, com destaque na topografia local e regional. Na área de estudo é representado pelo morro do Horto Florestal Navarro de Andrade (faixa leste da área), com altitudes de até 725 m, cerca de 100 m acima da cota média da cidade de Rio Claro ([Anexo 3](#); [Figura 7](#) e [Foto 6](#)).

Numa segunda situação, as rochas básicas ocorrem em situação de média para baixa encosta, fundos de vales e leitos de rios, com destaque ao longo do vale do ribeirão Claro. Aparecem, também, no leito do Córrego da Servidão (zona sul) e no rio Corumbataí, como substrato da Unidade V, conforme observado nas obras de construção da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE, no Jardim das Palmeiras. A sul da área de estudo, o rio Corumbataí e o ribeirão Claro percorrem vários trechos em corredeiras e pequenas cachoeiras sobre afloramentos de diabásio ([Foto 7](#)).



**Foto 5** - Antiga cava de extração de argila da Formação Corumbataí no Jardim Wenzel. Ponto RC-2.



**Foto 6** - Vista panorâmica mostrando ao fundo o morro do Horto (relevo característico da Unidade II.) e, em primeiro plano, o relevo de colina tabuliforme da Unidade IV.



**Foto 7** - Corredeiras do ribeirão Claro, sobre soleira de diabásio na Usina Corumbataí, a sul da área..

Nesta unidade foram registrados e cartografados alguns elementos estruturais lineares bem marcados no relevo, através de porções mais íngremes em situação de meia encosta e nos rios, em segmentos retilíneos e de meandros encaixados, os quais conferem uma característica marcante à mesma.

A unidade representa, topograficamente, os pontos mais elevados do relevo desta porção da Depressão Periférica e as encostas exibem declividades médias a altas (porções bastante íngremes) e formas dos perfis convexos, côncavo-convexos e, por vezes, retilíneos.

Os tipos de solos dominantes, registrados nos trabalhos de campo são latossolo roxo e terra-roxa estruturada (PRADO *et al.*, 1981).

As espessuras de solo e materiais inconsolidados podem ser estimadas preliminarmente como variáveis, dependendo da posição topográfica e forma da encosta. Por exemplo: encostas íngremes de perfil retilíneo têm pequenas espessuras de solo. Em situações de média a baixa vertente foi registrado um solo coluvionar com blocos de rocha, o que pode representar espessuras maiores de cobertura de material inconsolidado. Tais observações de natureza genérica mostram que, nesta escala de trabalho, os dados (descrições de escavações, cortes, sondagens) para esta unidade foram muito restritos, faltando, portanto, dados representativos que quantifiquem os valores de espessuras da cobertura inconsolidada.

Assim como para a cobertura de solo, os valores da profundidade do nível freático na região do Horto Florestal, pela inexistência de dados (pontos de observação possíveis), carecem de investigações de sub-superfície: diretas (escavações, sondagens manuais ou mecânicas) e indiretas (ensaios geofísicos). Alguns pontos de observação permitem estimar a profundidade do N.A: em menos de 2 m.

Como se trata de uma rocha ígnea, praticamente impermeável quando são, pode-se esperar a presença de água em sub-superfície, condicionada ao limite solo-rocha, ou rocha alterada - rocha são (épocas de chuva) e, em maior profundidade, associada a fraturas abertas do maciço.

O perfil geológico W-E, apresentado juntamente com o Mapa geológico-geotécnico ([Anexo 3](#)) mostra a disposição espacial destas rochas ígneas, tanto como expressão topográfica, no morro do Horto, como a sua projeção em sub-superfície, na forma de uma grande soleira de diabásio sob a cidade de Rio Claro. Poços perfurados



para água subterrânea acusam espessuras da ordem de 70 a 100 m para este corpo básico.

Um tipo de problema registrado para a unidade, abordando os conflitos da ocupação urbana, é relativo à escavabilidade. A presença característica de blocos e “lajes” de diabásio não alterado pode dificultar a execução de obras, que envolvam terraplenagem e escavações, sendo necessária a adequação da obra a estas características do meio físico. A remoção de grandes blocos, por vezes, requer a utilização de explosivos. Como exemplo podem ser citados: a retirada de blocos do conjunto habitacional Oreste Giovanni (“Pé no Chão”) no bairro São Miguel ([Foto 8](#)) e a utilização de explosivos para abertura de corte na duplicação da rodovia SP-127, a sul da área de estudo ([Foto 9](#)).

### 5.2.2.3 Unidade III - Áreas de ocorrência da Formação Rio Claro na meia encosta

Esta unidade geológico-geotécnica foi definida a partir de áreas de ocorrência da Formação Rio Claro em sua faixa associada ao relevo de meia encosta. É delimitada, na base, pelo contato geológico da Formação Rio Claro com a unidade geológica subjacente (dominantemente, a Formação Corumbataí), sendo que seu limite superior foi definido pela ruptura de relevo positiva, que marca a borda da unidade de relevo denominada colina tabuliforme (PENTEADO, 1981) e, definida neste trabalho, como Unidade IV ([Anexo 3](#) e [Figura 7](#)).

Trata-se de uma unidade posicionada, topograficamente, em situação de meia encosta, em área de ocorrência de solos e rochas da unidade geológica cenozóica, denominada Formação Rio Claro, definida por BJÖRNBERG & LANDIM (1966), e descrita detalhadamente por ZAINE (1994) como sedimentos predominantemente arenosos de fraca litificação e profunda alteração pedogenética (solo profundo) e com espessuras médias da ordem de 25 a 30 m.

A [Figura 8](#) mostra um corte geológico, interpretado a partir da composição de várias informações de campo (afloramentos e cortes) e das seções descritas anteriormente por ZAINE (1994), com a distribuição espacial das litologias, em sub-

**São Miguel:  
“Pedra com mais de 60 toneladas é retirada”**

*Uma pedra enorme começou a ser retirada ontem no meio da rua da quadra R da Avenida 68-A, no conjunto habitacional Moradia Prá Valer do São Miguel. O trabalho está sendo feito com auxílio de três tratores da Secretaria de Obras. Durante a operação, a pedra com mais de 60 toneladas foi partida ao meio. Com a retirada do material, a via poderá ser aplainada e alguns dos transtornos dos moradores serão resolvidos.*

*Jornal Cidade - 4/10/97*



**Foto 8** - Bloco de diabásio sendo removido por máquinas no conjunto habitacional Oreste Giovanni. Ponto RC - 43.

Fonte: Jornal Cidade - 4/10/97



**Foto 9** - Instalação de explosivos em diabásio (Unidade II), sub-aflorante na SP-127, a sul da área, à época da duplicação da rodovia (novembro/97).

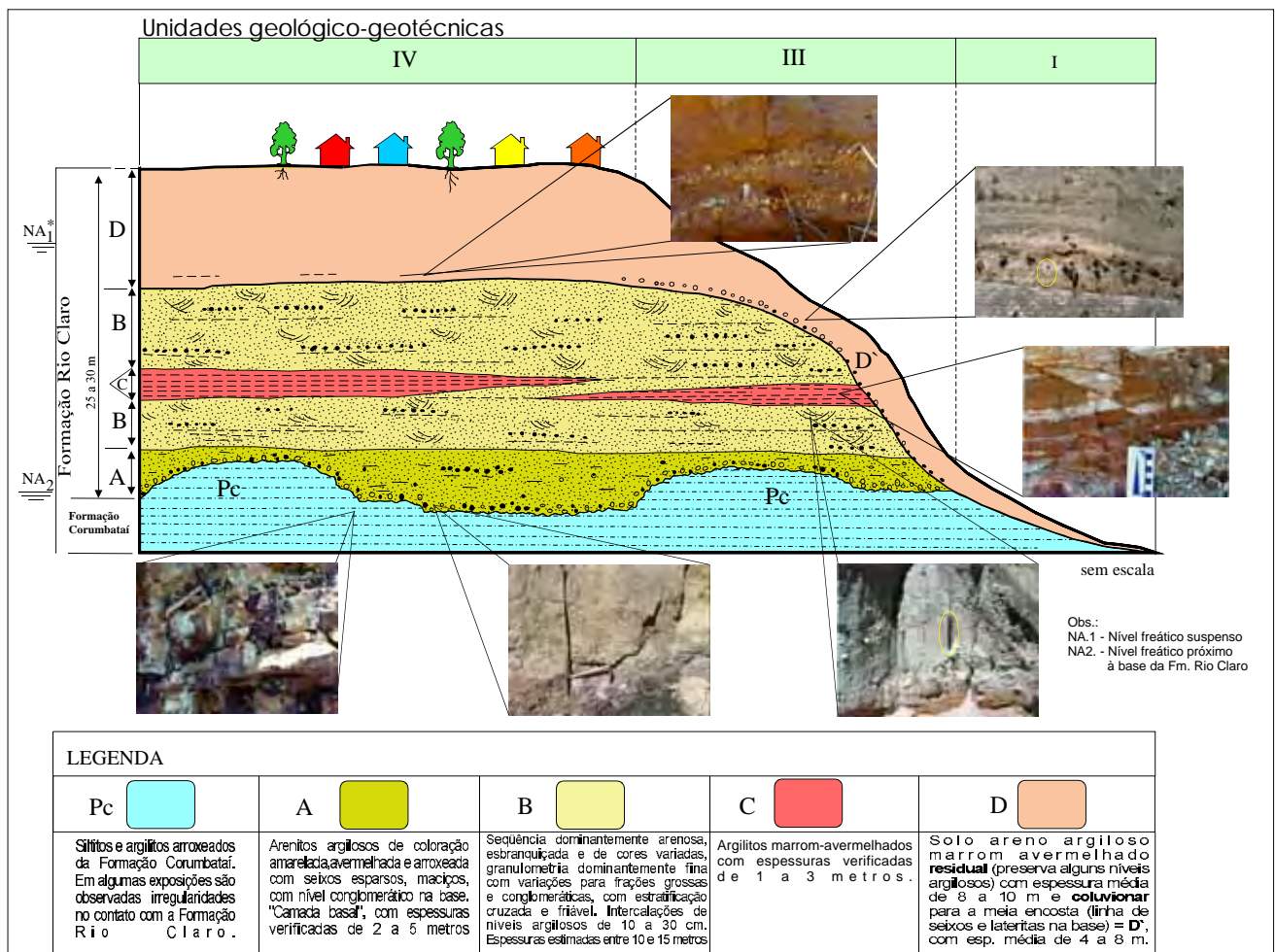


Figura 8: Perfil geológico composto da Formação Rio Claro (substrato geológico) - Unidades geológico-geotécnicas III e IV. Interpretada a partir de observações de afloramentos e das seções de ZAINE (1994).

superfície, interpretando suas variações horizontais e verticais, indicando de forma estimativa, as diferentes espessuras das camadas.

Esta unidade é caracterizada, geomorfologicamente, por configurar vertentes de meia encosta, limitada, na porção superior por uma quebra positiva bem marcada em fotografias aéreas. Nesta faixa da Unidade III, o relevo mostra declividades médias a altas. Uma mudança no perfil de relevo, passando para declives mais suaves, ou seja, uma quebra negativa tênue marca, geralmente, a passagem para a Unidade I.

São descritos para esta unidade, solos do tipo latossolos e podzólicos, variando de acordo com a posição topográfica e a distância dos corpos d'água. A espessura de material inconsolidado, considerada para efeito deste trabalho, correspondente à soma da cobertura de solo residual, coluvionar e incluindo litotipos de fraca litificação, é variável de acordo com a posição topográfica, estimando-se, nesta etapa do detalhamento progressivo, espessuras maiores (da ordem de 25 m, nas porções mais altas do relevo) e menores (da ordem de 5 m, nas porções mais baixas).

Acompanhando a base da cobertura de material inconsolidado, o nível freático também varia de acordo com a posição topográfica (de 5 m até 20 ou 25 m, definidos com base nas observações de superfície e em alguns dados de poços). A presença de um nível de água constante, junto ao contato das formações Rio Claro (permeável) e Corumbataí (impermeável), pode ser observada. Esta informação foi constatada em uma análise simples, ainda que preliminar, ou seja, na fotointerpretação, o limite de zonas homólogas permeável e impermeável é bem marcado e define alguns elementos de relevo e drenagem bastante característicos desta interface, compondo uma série de nascentes dispostas na forma de semi-círculo, denominados de “anfiteatros de nascentes” (vide [Foto 3](#)).

Associada à Unidade III, com distribuição areal e ocorrência mais restrita, foi definida a **sub-unidade III-A**, indicada com letras no mapa do [Anexo 3](#), denominada de anfiteatros de erosão, com a presença de fenômenos de erosão acelerada. Estas áreas mantêm as características gerais da Unidade III, com uma declividade aparente mais acentuada e a presença de várias boçorocas e ravinas, por vezes agrupadas.

Os principais problemas desta unidade são as boçorocas e ravinas, ou seja, a suscetibilidade aos processos erosivos, com ocorrência associada em maior número e expressão nestas vertentes de solo com perfil predominantemente arenoso, e que constituem a característica marcante da **sub-unidade III-A** ([Fotos 10](#) e [11](#)).

#### 5.2.2.4 Unidade IV - Áreas de ocorrência da Formação Rio Claro com relevo de colinas tabuliformes

A Unidade IV foi definida com base na unidade geomorfológica definida por PENTEADO (1981) como colinas tabuliformes, denominação específica para as colinas amplas de PONÇANO *et al.* (1981) - vide [Foto 6](#). Desta forma, a definição da unidade baseia-se no relevo e no substrato geológico constituído pela Formação Rio Claro.

Uma de suas características mais marcantes é a declividade bastante baixa. Nesta escala de trabalho, no qual as considerações são apenas qualitativas, é possível estimar que as declividades sejam inferiores a 2%, ou seja, uma área praticamente plana. Outra característica observada sobre esta superfície aplainada é a baixa densidade de drenagem.

É possível a observação de afloramentos desta unidade em algumas escavações e cortes de rodovias e da ferrovia, onde pode ser observado um perfil de solo residual e coluvionar bastante profundo, podendo chegar até 10 m, em alguns casos. Os solos são descritos como latossolo vermelho-amarelo e vermelho-escuro.

Uma feição morfológica marcante é a presença de lagoas fechadas e de cabeceiras, estas últimas mapeadas na **sub-unidade IV-A**.

O perfil geológico da Formação Rio Claro ([Figura 8](#)) mostra, indicativamente, as variações e relações entre o capeamento de solo nas diferentes unidades geológico-geotécnicas. Cabe relatar outras análises de estratos pertencentes a esta unidade geológica. Com base na presença de uma linha de seixos, os trabalhos de BJÖRNBERG & LANDIM (1966) e SOARES & LANDIM (1976), adotados por MELO (1995), admitem a existência de duas seqüências para esta unidade: uma superior, formada por depósitos coluvionares e uma inferior, representando depósitos aluviais. Trabalhos de natureza mais aplicada à geologia de engenharia, como o de



**Foto 10** - Vista aérea de boçoroca em a (Unidade III/ sub-unidade III-A), no Bairro Mãe Preta, zona norte da cidade. Ponto RC- 5. Boçoroca (e-17, Anexo 4) aterrada com fibra de vidro em b.  
Fonte: Prefeitura Municipal de Rio Claro, novembro/90.



***EROSÃO  
AVANÇA NO JD.  
BANDEIRANTES  
MORADORES  
COBRAM  
PROVIDÊNCIAS  
PARA EVITAR  
DESABAMENTOS***

Jornal Cidade 2/12/97

**Foto 11** – Erosão em cabeceira de drenagem da Unidade III/sub-unidade III-A, com desabamento das galerias de águas pluviais. Local: entre os bairros Jardim Bandeirantes e São Miguel. Ponto RC - 42 (e-14, Anexo 4).

Fonte: Jornal Cidade 2/12/97

COTTAS (1983), subdividem em Formação Rio Claro laterizada (porção superior) e estruturada (porção inferior). ZAINE (1994), concordando com a interpretação de FULFARO & SUGUIO (1968), atribui a gênese da parte superior desta unidade a uma profunda alteração pedogenética de sedimentos predominantemente arenosos, de fraca litificação.

Nesta unidade, a espessura de material inconsolidado e a profundidade do nível freático foram calculadas com base nos contatos marcados no mapa topográfico e na diferença de cotas (da base até os pontos mais altos em superfície). Para ambos, é considerada uma posição espacial bastante próxima, ou seja, em níveis situados junto ao contato da seqüência arenosa da Formação Rio Claro com o seu substrato (preferencialmente, os pelitos da Formação Corumbataí).

A espessura da cobertura de material inconsolidado, calculada com base no mapa topográfico mostra valores máximos da ordem de 30 m, na região norte da cidade, adelgçando para a região sul, associado ao caimento da superfície topográfica, para valores entre 20 e 15 m. A profundidade do nível freático pode ser estimada, acompanhando a base da Formação Rio Claro, também com a mesma tendência de profundidades maiores para a região norte (cerca de 25 m) e um pouco menos profundo para sul (de 20 a 15 m).

Os principais problemas registrados nesta unidade são: 1) colapsividade - devido ao solo ser colapsível, submetido à adição de água e sobrecarga, pode ocorrer uma redução de volume, causando problemas de trincas nas construções ([Foto 12](#)) e afundamentos localizados, estes últimos, muitas vezes, estão associados a vazamentos de tubulações enterradas; 2) alagamentos ([Foto 13](#)) - por se tratar de uma área de relevo bastante aplainado, apesar do solo permeável, o escoamento superficial das águas de chuvas é bastante lento, causando alagamentos em vários pontos, cujo problema é agravado dia a dia pela crescente impermeabilização do solo e arborização urbana bastante precária; 3) as lagoas fechadas e de cabeceiras presentes nesta unidade são classificadas pela legislação ambiental áreas de preservação permanente ou zonas de proteção, a presença deste corpo d'água natural está associada com características geológico-geotécnicas peculiares nesta área (por exemplos: a presença solos orgânicos e hidromórficos e N.A. raso nas proximidades). A ocupação destas áreas e de suas orlas em associadas tem acarretado uma série de problemas, que vão desde a

**PROBLEMAS URBANOS**

## Casas na Cidade Nova correm risco eminente\* de desabamento



Moradores da avenida 6-A, entre ruas 1-B e 2-B, na Cidade Nova, tiveram uma surpresa na manhã de 22 de novembro : 17 residências das 22 da avenida apresentaram trincas e rachaduras pelas paredes, que “afundaram” cerca de três centímetros. Chamaram o Daae que fez sondagens na rua e afirmou não ser nada relativo à água ou esgoto, instruindo os moradores a procurarem o departamento de engenharia da prefeitura, que enviou funcionários ao local com uma notificação de interdição dos imóveis, que foi assinada pelos proprietários.

Algumas casas apresentam rachaduras que colocam em risco toda a estrutura

Página 5

**Foto 12** - Casa da Av. 6-A, no bairro Cidade Nova, região central, escorada devido a trincas provocadas por colapso de solo. Ponto RC - 168; registro **C-1**, Anexo 4.

\* Obs.: risco iminente (sic)

Fonte: Jornal Diário do Rio Claro - 03/12/96



**Foto 13** - Registro de inundação/alagamento na Avenida Visconde do Rio Claro.

Fonte: Jornal Cidade - 23/2/99



degradação das características naturais destas áreas até as dificuldades para saneamento e escoamento de águas pluviais, deste modo podemos considerar estas áreas como de “maior fragilidade” ou mais suscetíveis a alguns processos exógenos. Por um lado, a ocupação urbana exerce maior interferência, mudando as condições geo-ambientais naturais e, em sentido inverso, as características geológico-geotécnicas destas áreas têm gerado alguns problemas que atingem mais diretamente a população destas áreas. Algumas lagoas ainda preservam algumas de suas características naturais, caso da lagoa do posto Cacareco, ao norte da área de estudo ([Foto 14](#)) e outras, já inseridas no contexto urbano foram drenadas e aterradas, caso da lagoa seca do bairro Cervezon ([Anexo 3](#); [Fotos 15](#) e [16](#)).

Algumas variações nas características gerais que definiram a Unidade IV levaram à delimitação de áreas com elementos e formas mais específicas e localizadas, ou seja, a demarcação de duas sub-unidades, descritas a seguir:

#### **a. Sub-unidade IV- A - vale do córrego da Servidão**

Esta sub-unidade foi definida nas áreas de vales instalados na Unidade IV, como é o caso do vale do córrego da Servidão, que corta a cidade de nordeste para sudoeste. Os limites foram marcados com base em fotografias aéreas e controle de campo, em áreas de declividade média, com uma passagem gradual da porção mais aplainada do relevo para o caimento até o talvegue, isto é, sem uma ruptura de relevo bem marcada. A [Figura 7](#) e a [Foto 17](#) ilustram este tipo de situação, comparando a superfície definida para a Unidade IV e a variação desta na **sub-unidade IV-A**.

Desta forma, pode-se resumir a descrição desta sub-unidade como vales abertos instalados num relevo de colina amplas, tabuliformes, que têm como substrato geológico a Formação Rio Claro.

Algumas áreas com ocorrência de depósitos aluvionares (Unidade VI) e elementos de relevo e drenagem, como bacias e lagoas de cabeceiras, podem estar associadas a esta unidade. A relação entre relevo e drenagem leva à ocorrência de solos podzólicos em média encosta e hidromórficos e orgânicos (turfas), associados aos fundos de vales e lagoas de cabeceiras.



**Foto 14** - Vista aérea da lagoa do posto Cacareco, norte da área. Ponto RC - 147.  
Fonte: Prefeitura Municipal de Rio Claro, 1990



**Foto 15** - Antiga lagoa do bairro Cervezon (zona norte) no início da ocupação urbana no local (anos 70).

Fonte: Arquivo Histórico do Município de Rio Claro

**Foto 16** - Ocupação atual da antiga lagoa do Cervezon, drenada e aterrada. Ponto RC - 116.

Fonte: Jornal de Rio Claro - 10/7/97





**Foto 17** - Vista aérea, de norte para sul, de vale característico da sub-unidade IV-A (Unidade IV). Córrego Wenzel, afluente do córrego da Servidão.

Há uma variação dos solos desta sub-unidade, aparentemente bastante lixiviados, a uma transição entre podzólicos e hidromórficos, popularmente denominados “saibro” ([Foto 18](#)), antigamente utilizados como argamassa na construção civil. Este tipo de solo (saibro) pode ser encontrado, tanto no vale do córrego da Servidão, nas proximidades do Lago Azul, onde existem, inclusive, duas ruas designadas Saibreiro I e Saibreiro II, como no vale do córrego Lavapés, próximo ao Campus da Unesp ([Anexo 3](#)).

Nesta sub-unidade, as profundidades de cobertura oscilam acompanhando a topografia, podendo ser consideradas espessas (10 a 25m). A profundidade do nível freático pode apresentar variações mais significativas, sendo bastante raso, próximo de córregos e cabeceiras, aflorante na forma de nascentes e “olhos d’água” ou sub-aflorante, conforme observado, durante os trabalhos de campo, em escavações de obras ou sondagens que estavam sendo realizadas por terceiros, onde foram descritas profundidades entre 2 e 4 m ([Foto 19](#)). Este N.A. mais raso, próximo de corpos d’água, aprofundando em direção à média encosta, parece ter ocorrência restrita (nível freático suspenso), talvez com área de ocorrência associada a **sub-unidade IV-A**.

Os principais problemas que podem ocorrer nesta sub-unidade são: áreas localizadas próximas às baixadas com registros de inundações e alagamentos em alguns pontos como por exemplo no córrego da Servidão na Av. Visconde do Rio Claro (vide [Foto 13](#)); as drenagens que cortam a área urbana recebem toda a carga de esgoto doméstico; também nesta sub-unidade a capacidade de suporte e o caráter colapsível do solo podem causar avarias em algumas edificações; além destes problemas de natureza geológico-geotécnica, pode ser acrescentada a poluição destas drenagens que cortam a área urbana, pois recebem toda a carga de esgoto doméstico.

#### **b. Sub-unidade IV-B - Vertentes com caimento suave**

Esta sub-unidade foi definida com base em critérios geomorfológicos, representando vertentes com caimento suave, isto é, áreas com passagem gradual da Unidade IV para III ([Figura 7](#)). Estas porções, onde não existe uma quebra positiva bem marcada, foram mapeadas de forma distinta, e a atuação de processos morfodinâmicos também se processa diferentemente, sobretudo os potencializados



**Foto 18** - Perfil de solo exposto na vertente do córrego Lavapés, característico da sub-unidade IV-A, transição entre o solo hidromórfico da baixada e podzólico da meia encosta.



**Foto 19** - Escavação, expondo o perfil de solo hidromórfico argiloso, com N.A. a cerca de 2 m da superfície. Local: Av. 24-A, próximo ao córrego Lavapés. Ponto RC - 46.

pela interferência antrópica.

Como a Unidade IV, nesta sub-unidade o substrato geológico é representado pela seqüência predominantemente arenosa da Formação Rio Claro, em relevo classificado como de colinas amplas, com solos de perfil arenoso, classificados como latossolos e declividades passando de baixas a médias.

A cobertura de material inconsolidado, admitida como sendo o capeamento de solos e litotipos da Formação Rio Claro, e a profundidade do nível freático (como na sub-unidade IV-A), variam de acordo com a posição topográfica, tendo sido estimados valores entre 10 e 20 m.

Além da colapsividade já registrada na Unidade IV, outros problemas registrados na sub-unidade IV-B, estão relacionados com a transição para a Unidade III, onde foi observada a instalação de processos erosivos pela concentração de águas pluviais, principalmente nos bairros com ruas não pavimentadas, na forma de erosão em sulcos generalizados e ravinas ([Foto 20](#)) e problemas de escavabilidade, com blocos de laterita ferruginosa, mapeados no Jardim Novo I, alguns de dimensões métricas, que impediram a abertura de valas para a construção de alicerce de casas por meio de escavações manuais e escavadeiras mecânicas ([Foto 21](#)).

#### **5.2.2.5 Unidade V - Terraços de baixa vertente**

O termo “terraço” é definido por GUERRA (1980): “*superfície horizontal ou levemente inclinada, constituída por depósito sedimentar ou superfície topográfica modelada pela erosão fluvial, marinha ou lacustre e limitada por dois declives do mesmo sentido (baqueta ou patamar)*”.

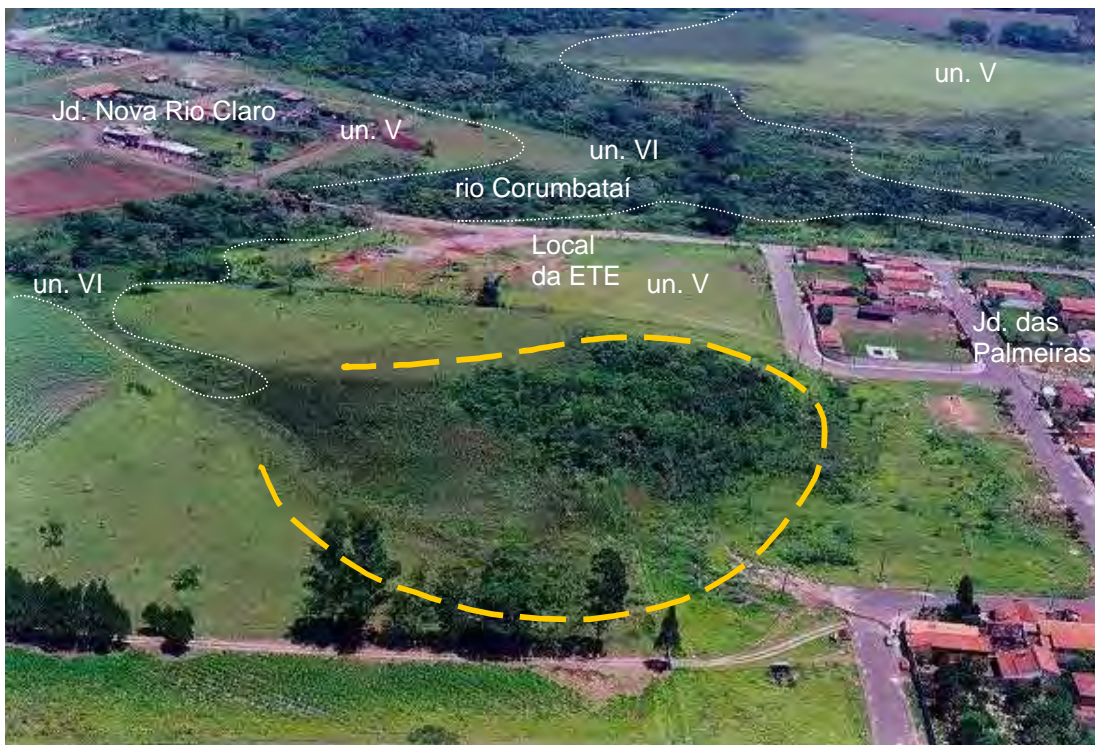
A Unidade V foi definida com base neste conceito e delimitada, essencialmente, por fotointerpretação, com posterior verificação de campo. Foram identificadas e mapeadas as superfícies erosivas aplainadas, situadas cerca de 10 a 15 m acima do nível atual dos rios (PENTEADO, 1976), posicionadas e associadas às baixas vertentes dos vales do rio Corumbataí e do ribeirão Claro ([Foto 22](#)).

Estas superfícies, em alguns locais da área de estudo, esculpiram um substrato mais antigo, que pode ser das formações Corumbataí, Irati ou soleiras de



**Foto 20** - Erosão em sulcos em ruas não pavimentadas na transição da sub-unidade IV-B para a Unidade III.

**Foto 21** - Grande bloco de laterita ferruginosa, representando áreas com problemas de escavabilidade. Associado à Unidade III. Local: Jardim Novo, sul da área. Ponto RC - 48.



**Foto 22** - Vista aérea do terraço e planície aluvionar do rio Corumbataí (unidades V e VI). Notar a nascente com formato circular “anfiteatros de nascentes de baixa encosta” (elemento de relevo). Local: Jardim das Palmeiras, próximo à atual ETE.

Fonte: DAAE - 1998

diabásio; o perfil do [Anexo 3](#) e a [Foto 22](#) ilustram estas situações. Nesses terraços também podem ser encontrados, em alguns pontos, registros de depósitos, marcados por linhas de seixos (cascalheiras).

Para esta unidade, os parâmetros cobertura de material inconsolidado e nível freático são considerados de ocorrência em pequena profundidade (rasos), pela situação topográfica e proximidade de corpos d'água. Os tipos de solos mais comumente encontrados nesta unidade são os hidromórficos e orgânicos subordinadamente litólicos e podzólicos.

Associados a esses terraços de baixa vertente e à faixa de contato com a Unidade I, são registrados elementos de relevo e drenagem, onde se concentram nascentes dispostas em forma circular, como se fossem pequenas bacias de recepção, tanto das águas superficiais como das de sub-superfície (vide [Foto 22](#)). O contato com a Unidade I é bem marcado em fotografias aéreas pela ruptura negativa e pela diferença de tonalidade (passagem da zona mais seca para uma zona mais úmida), sendo um elemento de relevo também destacado no mapa geológico-geotécnico ([Anexo 3](#)).

Para a área mapeada, cabe aqui ressaltar a ocorrência bastante expressiva da Unidade V no vale do rio Corumbataí, a sudoeste da cidade, associado provavelmente a uma paleo-planície alveolar, formada a montante das ocorrências de diabásio no leito deste rio.

A ocupação urbana nesta unidade é bastante restrita, assim como a sua área de ocorrência é pouco extensa, em relação às demais unidades. Desta forma, pode-se indicar, de forma preventiva, que a ocupação das zonas mais úmidas (N.A. mais raso) poderá acarretar problemas, principalmente estruturais e de umidade em habitações de população de baixa renda durante períodos de chuvas mais prolongadas.

### **5.2.2.6 Unidade VI - Aluviões**

Trata-se de uma unidade onde os limites são coincidentes nos mapas geológico e geomorfológico. São depósitos aluvionares quaternários, representados por sedimentos arenosos e argilosos (geralmente com espessura inferior a 5 m), solos



hidromórficos e orgânicos, e que compõem as planícies de inundação dos principais cursos d'água da área ([Anexo 3](#); [Figura 7](#); [Foto 23](#)).

Na área de estudo, aluviões de grande expressão são os do rio Corumbataí e do ribeirão Claro, que são áreas planas bastante extensas (até cerca de 1 km de largura) com o nível freático bastante raso (< 2 m).

Depósitos de assoreamento ([Fotos 24 e 25](#)) podem ser associados à Unidade VI, geralmente ligados a afluentes desses rios, principalmente aqueles que drenam a área urbana (associados aos processos erosivos instalados em áreas com grandes movimentos de terra, como loteamentos e grandes obras, ou em áreas agrícolas com manejo inadequado).

Os principais problemas que ocorrem nessa unidade são enchentes e inundações periódicas ([Foto 26](#)), pois essas áreas representam as planícies de inundação natural do rio (leito de vazante). Como as várzeas possuem grande extensão e contornam boa parte da área urbana, existe uma forte pressão para ocupação das mesmas, principalmente por loteamentos ([Foto 27](#)).

O mapa de zoneamento urbano do Plano Diretor do Município de Rio Claro as define como “ZP-5” - zona de proteção ambiental, restringindo, desta forma, os tipos de uso, devido a suas características e fragilidade (RIO CLARO, 1992).



**Foto 23** - Vista aérea da várzea/planície de inundação (Unidade VI) do rio Corumbataí próximo à estrada de Jacutinga. Observar os meandros abandonados (**m**), antiga cava de extração de barro para olaria (**b**) e, ao fundo, lavra atual de argila da Formação Corumbataí (Unidade I) para cerâmica (**c**). Local: estrada de Jacutinga, zona noroeste.  
Fonte: DAAE - 1999



**Foto 24** - Vista panorâmica mostrando as faixas de ocorrência das unidades geológico-geotécnicas I, III, IV e VI, com as seguintes características: boçorocas (e), depósitos de assoreamento (a), áreas sujeitas a inundações (i), ocorrência de solo hidromórfico e orgânico (h). Destaque para a porção do bairro, hoje desapropriada, localizada na planície de inundação, com os antigos leitos do córrego Cachoeirinha assinalados em azul. Local: Vila Industrial, zona norte de Rio Claro.

Fonte: Prefeitura Municipal de Rio Claro - 1990



**Foto 25** - Detalhe de depósito de assoreamento, soterrando a tubulação da galeria pluvial. Local: córrego junto aos bairros Jardim Bandeirantes e São Miguel. Ponto RC - 42.



**Foto 26** - Planície aluvionar do rio Corumbataí (Unidade VI) com registro de inundação. Local: Jardim Nova Rio Claro, zona sudoeste.

Fonte: Jornal de Rio Claro - 8/1/99



**Foto 27** - Planície de inundação do ribeirão Claro (Unidade geológico-geotécnica VI), aterrada para instalação do conjunto habitacional do Jardim Conduta. Ponto RC - 64.

### **5.3 Mapa de zonas de proteção ambiental e de registros de problemas geológico-geotécnicos**

O Mapa de zonas de proteção ambiental e de registros de problemas geológico-geotécnicos ([Anexo 4](#)) apresenta-se como um produto complementar aos estudos geológico-geotécnicos. Este documento congrega informações obtidas nas observações de campo e na consulta a um grupo de mapas que contêm informações relativas à influência antrópica na paisagem, ou seja, uso e ocupação do solo, impactos gerados por intervenções inadequadas, além de áreas de proteção ambiental (principalmente as faixas que acompanham os cursos d'água).

O objetivo foi o de mostrar a distribuição espacial dos diferentes problemas geológico-geotécnicos para associá-los às unidades de estudo definidas nos itens anteriores.

As feições e problemas gerados pela ação antrópica foram resgatadas através dos seguintes levantamentos:

1. Informações obtidas e deduzidas através de observações de campo;
2. Reconstituição de evolução das feições, através da análise comparativa de aerofotos de diferentes épocas (principalmente, no caso da evolução dos processos erosivos);
3. Notícias de jornais;
4. Relatos de moradores e funcionários municipais mais antigos;
5. Trabalhos anteriores desenvolvidos pela Unesp;
6. Relatórios, mapas e fotos do acervo municipal.

Os pontos e áreas reconhecidos neste trabalho e levantados através de diversas fontes, estão catalogados no mapa do [Anexo 4](#), através de letras ou símbolos, acrescido de uma numeração associada ao local. O [Anexo 5](#) mostra a relação dos locais onde foram registrados problemas de natureza geológico-geotécnica, áreas estas que podem ser consideradas impactadas.

Na [Tabela 18](#) é apresentada uma síntese dos registros de problemas ambientais associados ao meio físico levantados na área urbana e de crescimento urbano de Rio Claro.

**Tabela 18 - Síntese dos registros de problemas ambientais/geológico-geotécnicos.**

PROCESSOS/REGISTROS	FEIÇÕES	REPRES.	Nº DE PONTOS CATALOGADOS
1. Processos erosivos instalados	boçorocas, boçorocas aterradas, erosão em ruas, ravinas, sulcos e erosão fluvial (vide Fotos 1, 3, 10, 11 e 20)	“e”	31
2. Depósitos de assoreamento	depósitos tipo leques associados aos processos erosivos e depósitos ao longo dos corpos d’água (vide Fotos 24 e 25)	“a”	15
3. Registros de casos de colapso de solo	ocorrência de trincamento de edificações e afundamento da superfície do terreno (Foto 12)	“c”	2
4. Ocorrência de solos orgânicos e hidromórficos de fundo de vale - plasticidade	locais com registro de solo de comportamento plástico (Fotos 19 e 28)	“h”	10
5. Ocorrência de escorregamentos - instabilidade de taludes	acidentes localizados, associados a taludes artificiais e aterros (Foto 29)	“t”	3
6. Ocorrência de núcleos e blocos rochosos	pontos de difícil escavabilidade na instalação de obras (vide Fotos 8 e 9)	“r”	3
7. Áreas com registro e sujeitas a enchentes e inundações periódicas	planícies de inundação e zonas alagáveis de escoamento pluvial lento (Fotos 12, 26 e 27)	“i”	10
8. Áreas de exploração mineral em atividade ou desativadas	cavas de mineração em atividade atual ou desativadas (Fotos 5 e 23)	⊗	6
9. Lagoas e lagoas secas, depressões fechadas e de cabeceira de drenagem	áreas de grande fragilidade associadas a lagoas pouco modificadas ou aterradas e urbanizadas (vide Fotos 14, 15 e 16)	“I”	7
10. Depósitos de entulho de construção civil com lixo associado	áreas de disposição controlada, ou não, de resíduos da construção civil (Foto 30)	Δ	10

Também foram juntados ao mapa ([Anexo 4](#)), alguns dados de orientação ao planejamento regional e municipal, na forma de instrumentos legais. Foram agrupadas neste mapa, áreas de proteção ambiental, regulamentadas por leis federais, estaduais e municipais ([Anexo 4](#)).



**Foto 28** - Solos hidromórficos e orgânicos (t), associados à Unidade geológico-geotécnica V, correspondente a Unidade de cobertura 5o Observar nível argiloso (a) com deformações plásticas.

Local: Jardim Bandeirantes.  
Ponto RC - 42.

**Foto 29** - Escorregamento envolvendo aterro e corte em solo hidromórfico (Unidade geológico-geotécnica VI, contato com IV-A).

Local: Av. Tancredo Neves. Ponto RC - 160.  
Situação em out/99.



**Foto 30** - Área de ocorrência da Unidade geológico-geotécnica VI, utilizada para disposição, não autorizada, de entulho de construção civil.

Local: Jardim Conduto..  
Ponto RC - 64.

Dentre as leis citadas, cabe aqui destaque para as municipais, considerando-se, primeiramente, a Lei Orgânica, seguida pelas regras definidas no Plano Diretor de Desenvolvimento do Município, nas quais se incluem as leis de Zoneamento Urbano e Rural e de Parcelamento do Solo. Este conjunto de leis do Plano Diretor é composto, além de seus vários artigos, pelos seguintes documentos cartográficos:

Mapa P-II-2-A - Zoneamento Urbano - escala 1:10.000

Mapa D-II-3 - Áreas sob impactos ambientais - escala 1:10.000

Mapa D-II-4 - Zonas de Proteção Ambiental - escala 1:10.000

Mapa de Zoneamento Rural - escala 1:50.000

Mapa de Interflúvios Planos - escala 1:50.000

Desta forma, as informações compiladas desses documentos legais foram plotadas, primeiramente numa base topográfica na escala 1:25.000 e posteriormente apresentadas no mapa de zonas de proteção ambiental e de registros de problemas geológico-geotécnicos na escala 1:50.000 ([Anexo 4](#)).

Estes dados são representados de forma sintética de modo que permita uma visualização conjunta dos diferentes tipos de informações, como, por exemplo, as zonas de proteção ambiental municipais; o limite da Área de Proteção Ambiental Estadual, APA Piracicaba - Área I, que engloba áreas da bacia do rio Corumbataí e, especificamente, da captação de água para a cidade de Rio Claro, delimita a porção da bacia do ribeirão Claro que constitui um dos mananciais de abastecimento público.

No mapa ([Anexo 4](#)) também se localizam informações mais específicas, como as áreas sob impactos ambientais (ZPAV - “Zona de Proteção Impactada por Voçoroca”) e zonas de maior fragilidade (ZPA - “Zona de Proteção de Anfiteatros de Nascentes”, mapas DII-3 e PII-2A - Rio Claro, 1992).

Como o mapa foi gerado a partir de documentos cartográficos de diferentes escalas, desde 1:10.000 até 1:50.000, considerando-se, ainda, a densidade de informações e a melhor visualização do contexto geral, optou-se pela apresentação na escala 1:50.000.

A espacialização dos dados ambientais permitiu o registro de pontos e áreas degradadas e críticas, catalogadas no mapa de zonas de proteção ambiental e de



registros de problemas geológico-geotécnicos ([Anexo 4](#)), no qual três áreas foram consideradas bastante impactadas: Área A - bairros Jardim Bandeirantes, Vila Industrial e Mãe Preta; Área B - bairros Cervezon, Santa Maria e Wenzel, e Área C - Jardim Nova Rio Claro e área rural do campo do Cocho (sudoeste do município).

#### **5.4 Integração e definição de área para estudos de semi-detalle**

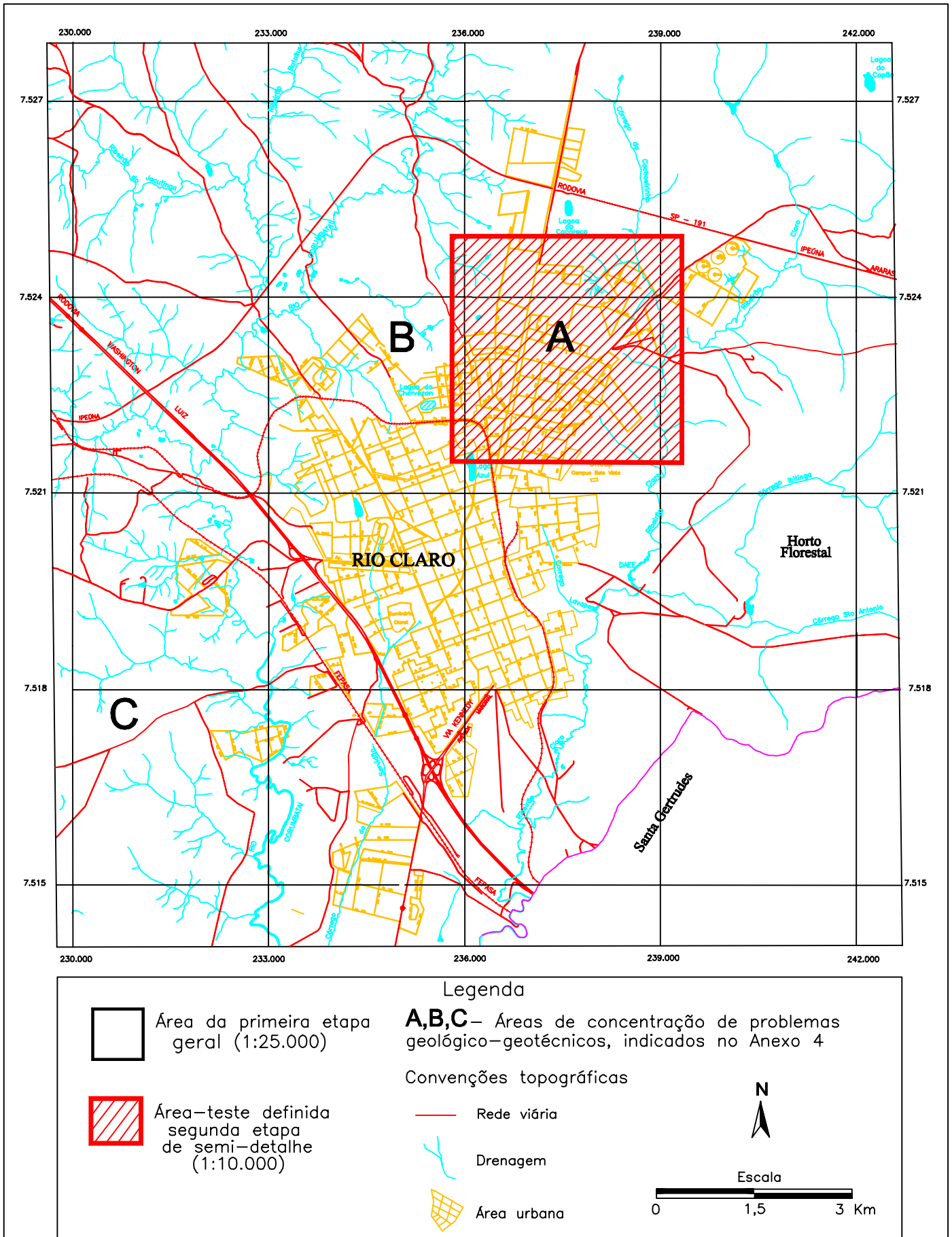
Com base nos mapas produzidos na etapa geral (escala 1:25.000), dentro do escopo do detalhamento progressivo foram identificadas e mapeadas as diferentes unidades do mapa geológico-geotécnico, apresentadas no Anexo 3, além de algumas concentrações de pontos problemáticos associados a zonas de proteção ambiental, conforme observado no [Anexo 4](#).

A conjugação dos dois produtos permitiu definir três áreas para estudo de semi-detalle, assinaladas com as letras A, B e C no [Anexo 4](#). As áreas A e B são contíguas e compreendem alguns bairros da zona norte da cidade, área esta de características urbanas, onde existe uma dinâmica intensa de crescimento, este, iniciado de forma desordenada na década de 80. Uma terceira área, assinalada com a letra C no [Anexo 4](#), pode ser classificada como de características rurais e mistas, dado pelo limite entre os bairros periféricos e áreas com atividade rural, situados na margem direita do rio Corumbataí. As três áreas pré-selecionadas representam o conjunto de características das unidades geológico-geotécnicas, anteriormente descritas.

Desta forma, considerando-se a área de características urbanas, com uma dinâmica maior dos processos modificadores (naturais e antrópicos) foi priorizada a realização de mapas de semi-detalle, na escala 1:10.000, para as áreas A e B ([Anexo 4](#)).

Para efeito desta tese, onde se buscou testar uma metodologia, foi escolhida uma área-teste, inserida dentro das áreas A e B. Justifica-se sua escolha por se entender que tem dimensões adequadas e significativa representatividade ao ensaio de aplicação do método do detalhamento progressivo.

A área resultante indicada pela primeira etapa para a realização dos trabalhos na etapa de semi-detalle e a área-teste selecionada são apresentadas na [Figura 9](#).



**Figura 9 - Seleção da área para estudos de semi - detalhe**

## 5.5 Etapa de semi-detálhe (2º etapa) - 1:10.000

O método do detalhamento progressivo propõe para a segunda etapa, ou etapa intermediária, a elaboração de cartogramas em áreas de adensamento ou de expansão urbana. Desta forma, foi selecionada uma área localizada na zona norte da cidade, conforme já referido.

O detalhamento das características do meio físico foi realizado com a quantificação de alguns parâmetros, como declividade e a profundidade do nível de água subterrânea e um levantamento e descrição das coberturas inconsolidadas (incluem-se os sedimentos de fraca litificação da Formação Rio Claro).

Os cálculos e projeções destes parâmetros foram baseados em informações da superfície cartografada e da base topográfica, com a projeção dos mesmos em perfis e sua interpolação com os dados de sub-superfície, levantados através de dados de sondagens existentes e de informações obtidas por meio de ensaios geofísicos do tipo Sondagens Elétricas Verticais - SEVs. A interpretação destes dados foi orientada pelo perfil geológico composto da Formação Rio Claro, apresentado na [Figura 8](#).

Nesta etapa de trabalho foram elaborados os seguintes mapas na escala 1:10.000:

Mapa de declividades - [Anexo 6](#)

Mapa indicativo da profundidade do nível de água subterrâneo - [Anexo 7](#)

Mapa de cobertura de material inconsolidado - [Anexo 8](#)

### 5.5.1 Mapa de declividades

Foi elaborado, manualmente, com base na metodologia de DE BIASI (1970), utilizando-se base topográfica do IGC 1:10.000, com equidistância das curvas de 5 m e lançando mão de alguns critérios complementares, ou seja, para áreas de unidade com relevo aplainado, como os aluviões (Unidade VI - [Anexo 3](#)) foi pré-definida uma área com declividade < 5%.

Foram definidos três intervalos de classes de declividade:

➤ < 5% ⇒ inexistência de processos erosivos nessas áreas

➤ **entre 5 e 15%**

➤ **>15%** ⇒ áreas com maior incidência de processos erosivos

Em áreas com declividades superiores a 15%, a legislação municipal considera um valor acima do qual existe maior criticidade à erosão. Para tanto, a Lei do Plano Diretor prevê e orienta obras e loteamentos que pretendem ocupar tais faixas de terreno.

Para o mapa de declividade foi definida uma legenda semafórica, que delimita as áreas mais planas ou de relevo mais suave (< 5% ) com a cor verde e que, no caso, ocupa as áreas coincidentes com a Unidade IV ([Anexos 3 e 6](#)) no alto da colina ampla, além das unidades V e VI (terraços e planícies aluvionares).

A análise deste cartograma permite correlacionar as áreas de maiores declividades com as unidades geológico-geotécnicas ([Anexos 3 e 6](#)), havendo uma maior associação com as cabeceiras de drenagem na Unidade III; algumas áreas na Unidade II, no vale do ribeirão Claro e, também, na Unidade I, no noroeste da área, mais especificamente, nas proximidades das drenagens.

### **5.5.2 Mapa indicativo da profundidade do nível de água subterrâneo (N.A.)**

Este cartograma foi elaborado com base em observações de campo, mapas e aerofotos para marcação de nascentes, minas e olhos d'água; em observações feitas a partir de escavações e sondagens de obras que estavam sendo executadas durante o período de obtenção de dados (vide [Foto 19](#)), além de alguns dados de sondagens para exploração de água subterrânea e investigações indiretas (SEVs).

A grande variação das cotas do N.A. nos pontos distribuídos por toda a área levou a mudanças na forma de análise e interpretação dos dados. A proposição inicial, mais usual nos trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico, previa a elaboração de um mapa de profundidade do nível freático, com a interpolação manual dos pontos e obtenção de uma superfície única.

As observações levaram à conclusão de que, na área, existem dois ou mais níveis de água subterrânea, podendo, ainda, ser atribuídos à presença de níveis (N.A.) suspensos sustentados por horizontes argilosos/impermeáveis (AZEVEDO &

ALBUQUERQUE F<sup>o</sup>, 1998). Os níveis argilosos podem corresponder a camadas de argilitos da Formação Rio Claro, ou ainda, a irregularidades do topo da Formação Corumbataí (paleo-relevo pré-Rio Claro - [Figura 8](#)).

Dessa forma, optou-se pela confecção de um mapa que delimitasse áreas com diferentes profundidades do N.A., procurando-se associá-las às diferentes suscetibilidades tanto para contaminação do N.A., como da interferência negativa de áreas de N.A. mais raso para alguns tipos de ocupação (edificações e obras em geral, dificuldades para drenagem e saneamento). Para tanto, foram definidos os seguintes intervalos de profundidade do N.A.:

a) < **5 m** - áreas com N.A. raso, consideradas de maior fragilidade ou maior suscetibilidade (risco de contaminação, exigindo maiores critérios e limitações para construções, fundações e obras enterradas). Foram delimitadas a partir dos critérios: proximidade dos corpos d'água e nascentes, informações complementares de poços, escavações, SEVs, topografia, projeção gradiente hidráulico e interpolações dos dados disponíveis.

b) **entre 5 e 10 m** - considerado uma forma intermediária, balizado e controlado pelos dados anteriormente citados.

c) > **10 m** - valor considerado com base nos estudos realizados na 1<sup>a</sup> etapa e em algumas informações de sondagens de fundações, indicando que o limite entre o solo residual e os sedimentos preservados da Formação Rio Claro se situa na profundidade de 10 m ([Figura 8](#)).

### 5.5.3 Mapa de cobertura de material inconsolidado (solo)

Para efeito desta pesquisa foram definidas e individualizadas como unidades de cobertura de material inconsolidado, ou unidades de cobertura inconsolidadas, ou ainda, unidades de solos, as áreas representativas das variações do capeamento dos diferentes tipos de solos na área definida para os trabalhos de semi-detalle. Nesta fase foi dada ênfase especial para a porção de solo mais próxima à superfície do terreno, segmento considerado como sujeito a maiores alterações e de influência mais direta às intervenções antrópicas comuns em áreas urbanas e peri-urbanas.

A classificação definida no estudo para as coberturas de material inconsolidado partiu da divisão pela gênese (solos residuais, colúviais e aluviais) e na classificação de VARGAS (1978), que divide em solos residuais, transportados, orgânicos e lateríticos, sendo que ambas são baseadas em aspectos descritivos geológicos e pedológicos. Além das classificações genéticas de materiais de cobertura, existem as denominadas geotécnicas convencionais e não convencionais, obtidas através de dados gerados após vários ensaios de laboratório (PASTORE & FORTES, 1998).

Nesta linha de raciocínio, poder-se-ia ainda admitir que, para uma classificação genética, fossem utilizados dados obtidos em ensaios de laboratório (p.e. granulometria), porém, dentro da sistemática proposta optou-se por uma avaliação mais direta, baseada nas descrições de campo e nos dados quantitativos já disponíveis, obtidos para a determinação dos parâmetros descritos nos itens anteriores (declividade e profundidade do N.A.).

A partir de tais definições e justificativas foram direcionados os trabalhos de mapeamento e distribuição espacial das unidades de cobertura. O levantamento seguiu uma seqüência natural comum a mapeamentos geológicos e geotécnicos, porém, em escala de semi-detalle.

Para o maior detalhamento foram utilizadas aerofotos na escala 1:5.000, com uma fotointerpretação detalhada, onde se buscou identificar e individualizar áreas de características semelhantes, correspondentes às unidades de cobertura. Esta fotointerpretação preliminar direcionou as investigações de campo, onde foram realizadas descrições (tátil-visual) das exposições de solo e dos perfis de alteração, que orientaram o fechamento definitivo dos contatos nas aerofotos das unidades de cobertura superficial ([Anexo 8](#)). O mapa geológico-geotécnico gerado na 1ª etapa ([Anexo 3](#)) foi de grande utilidade para orientar e otimizar os trabalhos de elaboração deste cartograma de semi-detalle.

No mapa de coberturas inconsolidadas, apresentado como [Anexo 8](#), foram definidas oito unidades e sub-unidades, descritas resumidamente na legenda e apresentadas na [Tabela 19](#), onde estão associadas às unidades geológico-geotécnicas da 1ª etapa, ao substrato geológico, constando as características geotécnicas pertinentes e os principais problemas correlatos.

**Tabela 19 - Unidades de cobertura superficial definidas para a etapa de semi-detalhe 1:10.000.**

<b>DESCRIÇÃO</b> <b>Unidades de cobertura superficial</b>	<b>UNIDADES</b> <b>GEOLÓGICO-</b> <b>GEOTÉCNICAS</b> <b>(1ª ETAPA)</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS</b>  (declividade, cobertura de material inconsolidado, profundidade do N.A., principais problemas)
	<b>SUBSTRATO</b> <b>GEOLÓGICO</b>	
<b>1 – Solo argiloso marrom arroxado</b> , pouco espesso (<1,5 m), podzólico a litólico.	<b>I</b> <b>Pc</b>	Área de N.A. raso, oscilando com o período de chuvas e de estiagem, declividades médias, mais acentuadas em anfiteatros de nascentes (noroeste da área), material de comportamento plástico pouco adequado para aterros.
<b>2 - Solo residual e coluvionar</b> , argiloso, marrom escuro a avermelhado (latossolo roxo), podendo apresentar blocos e lajes de diabásio.	<b>II</b> <b>JKd</b>	Material de baixa suscetibilidade à erosão. A presença de grandes blocos e lajes de rocha são capazes de acarretar problemas de escavabilidade. Apresenta declividades média a alta.
<b>3 - Solo coluvionar</b> , arenoso, marrom-avermelhado, laterítico. Associado às vertentes de meia encosta.	<b>III,</b> <b>III-A</b> <b>TQrc</b>	Esta unidade tem como característica marcante a suscetibilidade à erosão linear, principalmente associada a cabeceiras de drenagem (sub-unidade III-A) com declividades mais acentuadas.
<b>4r - Solo residual</b> amarelo-acinzentado e marrom-avermelhado, arenoso, laterítico. Pode apresentar espessuras de até 10 m (verificada em sondagens para fundações). Seu contato com as unidades 3 e 4c é gradacional, isto é, há uma passagem gradativa entre o solo residual do alto da colina ampla e o solo coluvionar dos flancos e dos vales instalados na Unidade IV.	<b>IV</b> <b>TQrc</b>	Ocorrência associada a áreas de baixa declividade (< 5%), espessuras de até 10 m, com N.A. profundo (>10 m, podendo chegar a 25 m). Os registros mais marcantes nesta unidade são de abatimentos associados a vazamentos de tubulações enterradas, que podem ser atribuídos a um comportamento colapsível deste material e de alagamentos associados à baixa declividade, por conseqüente escoamento lento das águas pluviais e acumulação em áreas mais deprimidas.
<b>4c - Solo coluvionar</b> amarelo-acinzentado, areno-argilosos, descrito informalmente como “saibro”. Associado aos vales, cabeceiras e lagoas instaladas na Unidade IV.	<b>IV,IV-A</b> <b>TQrc</b>	Nas áreas mais próximas de córregos e cabeceiras, tem o N.A. raso (< 5 m), aprofundando para a média encosta. Estas áreas podem ser consideradas de maior suscetibilidade à erosão.
<b>4h - Solo hidromórfico</b> , predominantemente argiloso, com material orgânico associado, com ocorrência ao longo dos corpos d’água (lagoas, nascentes e córregos).	<b>IV,IV-A,</b> <b>I, III,</b> <b>TQrc</b> <b>Pc</b>	Material com plasticidade elevada, com baixa capacidade de suporte. Pode estar associado com minas d’água.
<b>5o – Solo</b> arenoso e argiloso, de cores cinza claro a escuro, <b>hidromórfico com material orgânico associado</b> , em alguns pontos níveis turfosos de até 50 cm de espessura. Ocorre em áreas de baixa encosta associado a áreas de nascente atuais ou representando antigas cabeceiras de drenagens. São áreas bem marcadas nas aerofotos, tanto pela sua feição de relevo, como pela tonalidade mais escura (áreas de maior umidade).	<b>V,</b> <b>III/I</b> <b>Qt</b> <b>TQrc/</b> <b>Pc</b>	Material com plasticidade elevada, com baixa capacidade de suporte. Pode estar associado com minas d’água. Em alguns pontos, a retirada deste material sem critérios técnicos adequados, utilizado para obras de jardinagem, tem gerado algumas áreas degradadas.
<b>6 - Solo aluvionar/hidromórfico</b> associado às planícies aluvionares/de inundação (fundos de vales do ribeirão Claro, rio Corumbataí e principais afluentes).	<b>VI</b> <b>Qa</b>	Áreas planas onde ocorre alternância (tanto na horizontal como na vertical) de argilas e areias, com espessuras estimadas de 3 a 5 m e N.A. a menos de 2 m de profundidade. Áreas sujeitas a cheias periódicas e áreas de proteção de manancial e abastecimento público, na bacia do ribeirão Claro, a montante da captação da ETA I (Anexo 3). Ocorrência de lagoas naturais (meandros abandonados) e cavidades de áreas de extração de argila para olarias (barreiros).
<b>6a – Solo</b> predominantemente arenoso, constituindo <b>depósitos de assoreamento</b> , ocorrendo em forma de leques, em áreas de confluência de drenagens e em corpos alongados paralelos aos cursos d’água.	<b>VI</b> <b>Qa</b>	Material heterogêneo predominantemente arenoso, com espessuras máximas de 1 a 2 m, podendo conter fragmentos de materiais diversos provenientes principalmente da área urbana (concreto, cerâmicas, etc.). Associados a processos erosivos a montante e indicam locais de mudança da energia de transporte dos cursos d’água e enxurradas. Alteram a dinâmica fluvial e o seu ecossistema. Podem comprometer a captação de água para abastecimento público (quantidade e qualidade).

A distribuição das unidades na área estudada em semi-detalle é a seguinte:

a) grande área de ocorrência da Unidade **4r**, correspondendo ao relevo aplainado de topo (colina ampla), onde é delimitado o solo residual que tem como substrato geológico os sedimentos predominantemente arenosos da Formação Rio Claro;

b) ocorrência das unidades **4c** (solo coluvionar) e **4h** (solo hidromórfico) associadas a áreas deprimidas, também de relevo suave e onde ocorrem lagoas e lagoas de cabeceiras, como a do Lago Azul;

c) a unidade cartografada como **4h** está sempre associada aos corpos d'água, acompanhando os cursos e nascentes;

d) os solos coluvionares arenosos da Unidade **3** ocorrem acompanhando as faixas de meia encosta no noroeste da área e na faixa leste, nas vertentes do ribeirão Claro e do córrego Cachoeirinha;

e) na porção sudeste da área, que abrange o Campus da Unesp e o Horto Florestal, associada à ocorrência de diabásios com solos coluvionares e residuais, distingue-se a Unidade **2**, cuja peculiaridade é a presença de blocos de dimensões métricas, como no conjunto habitacional Oreste Giovanni, localizado no bairro São Miguel ([Foto 8](#));

f) associada à Formação Corumbataí, distribui-se a Unidade **1** por uma faixa N-S, ao longo dos vales do ribeirão Claro e córrego Cachoeirinha, e no extremo noroeste, correspondendo a anfiteatro de nascentes de afluente do rio Corumbataí, cartografado no Anexo 3 ([Foto 2](#));

g) na escala 1:10.000 foram mapeadas cinco manchas de ocorrência de solo hidromórfico, definidas como Unidade **5o** e tendo como característica a presença marcante de níveis com material orgânico ([Foto 28](#));

h) solos hidromórficos associados a depósitos aluvionares correspondem à Unidade de cobertura **6**, com área bastante expressiva e ocorre no fundo do vale do ribeirão Claro e principais afluentes ([Foto 24](#));

i) associados às planícies aluvionares, foram delimitados em aerofotos na escala 1:5.000, corpos em forma de leques nas confluências de drenagens e com formas amendoadas/alongadas, paralelas aos cursos d'água ([Fotos 24](#) e [25](#)), correspondentes a depósitos de assoreamento, feições associadas a Unidade **6** (aluviões), assinaladas no mapa do [Anexo 8](#) como sub-unidade **6a**.



#### 5.5.4 Integração dos dados da etapa de semi-detalhe

A integração dos três mapas gerados nesta etapa permitiu uma avaliação do comportamento geotécnico das unidades de cobertura ([Anexo 8](#)). Essa integração consistiu de uma avaliação completa de todas as unidades perante os atributos listados, através da elaboração de uma matriz de correlação, classificando e integrando o mapa de coberturas inconsolidadas ([Anexo 8](#)), com as classes de diferentes declividades (< 5%, 5-15%, > 15%) definidas no [Anexo 6](#) e com os 3 intervalos de profundidade do N.A. (< 5 m, 5- 10 m, > 10 m) apresentados no [Anexo 7](#).

A [Tabela 20](#) ilustra a matriz de correlação, onde é avaliado o comportamento das unidades de coberturas inconsolidadas quanto às propriedades e características geotécnicas, considerando a **suscetibilidade** em relação à ocorrência de processos de erosão, assoreamento, enchentes, inundações e alagamento, colapso do solo e deformações plásticas; e a **adequabilidade**, relacionada a escavações, fundações, implantação de obras viárias, instalações subterrâneas e disposição de resíduos.

Para o preenchimento da Tabela 20 foram usados símbolos, de modo que a visualização geral destacasse as classes de alta suscetibilidade e áreas inadequadas, ou de alta criticidade, associando-as com os temas dos 3 mapas apresentados na etapa de semi-detalhe.

**Tabela 20 - Avaliação das unidades de coberturas inconsolidadas quanto à suscetibilidade e à adequabilidade.**

Suscetibilidade	Decliv. N.A.↓	Unidades de coberturas inconsolidadas																							
		1			2			3			4r			4c			4h			5o			6		
		<5%	5-15%	>15%	<5%	5-15%	>15%	<5%	5-15%	>15%	<5%	5-15%	>15%	<5%	5-15%	>15%	<5%	5-15%	>15%	<5%	5-15%	>15%			
Erosão linear	< 5m	+	○	○	+	○	○	○	○	●	-	-	-	+	○	○	+	○	○	+	○	-	+	-	-
	5-10	-	-	-	+	○	○	○	○	●	-	-	-	+	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	-	-	-	+	○	○	○	○	●	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erosão fluvial	< 5m	+	+	○	+	○	○	+	○	●	-	-	-	-	-	-	+	○	●	+	○	-	●	-	-
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Assoreamento	< 5m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	+	●	○	-	●	-	-
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enchentes, inundações e alagamentos	< 5m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	●	+	+	○	+	-	●	-	-
	5-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colapso do solo	< 5m	+	+	+	+	+	+	○	○	○	-	-	-	○	○	-	○	○	+	+	+	-	+	-	-
	5-10	-	-	-	-	-	-	●	●	●	-	-	-	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deformações plásticas	< 5m	●	●	●	○	○	○	○	○	○	-	-	-	○	○	-	●	●	●	●	●	-	●	-	-
	5-10	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Adequabilidade																									
Escavações	< 5m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	○	-	-
	5-10	+	+	+	○	○	○	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	+	+	+	○	○	○	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fundações	< 5m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	○	-	○	-	-
	5-10	+	+	+	+	+	+	○	○	○	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	+	+	+	+	+	+	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Obras viárias	< 5m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	○	-	○	-	-
	5-10	+	+	+	○	○	○	+	+	○	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	+	+	+	○	○	○	+	+	○	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instalações subterrâneas	< 5m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	○	-	●	-	-
	5-10	+	+	+	○	○	○	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	+	+	+	○	○	○	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Disposição de resíduos	< 5m	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	-	-	●	●	●	●	●	-	●	-	-
	5-10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	>10m	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Legenda**

**Classes de suscetibilidade:**

-	situação inexistente	●	Alta	○	Baixa	+	Não suscetível
---	----------------------	---	------	---	-------	---	----------------

**Classes de adequabilidade:**

-	situação inexistente	●	Inadequada	○	Com restrições	+	Adequada
---	----------------------	---	------------	---	----------------	---	----------

Na avaliação de terreno foram definidas 3 classes de **suscetibilidade**:

- Alta - áreas com maior número de registros e mais expressivos
- Baixa - áreas com poucos registros e de pouca expressão
- Não suscetível - áreas consideradas sem problemas em relação a um certo processo.

Quanto à **adequabilidade**, as 3 classes definidas foram:

- Inadequada ou imprópria - áreas não favoráveis à execução de intervenções
- Com restrições - áreas com características geológico-geotécnicas desfavoráveis, podendo se tornar adequadas com a execução de obras de engenharia corretivas
- Adequada - áreas onde as características do meio físico dispensam obras corretivas.

Salienta-se que, para algumas unidades, certas situações de correlação não existem. Tomando como exemplo a Unidade 4r, a situação somente pode ser avaliada com classe de declividade < 5% (área plana) e N.A. >10 m (profundo).

#### **5.5.4.1 Avaliação da suscetibilidade das unidades de material de cobertura**

A avaliação da suscetibilidade de terrenos com base na [Tabela 20](#) permite as seguintes conclusões:

##### **a) quanto aos processos erosivos (erosão linear e fluvial)**

As áreas de solo arenoso, com declividades maiores, como é o caso da Unidade 3 ([Anexo 8](#)), onde estão instaladas as boçorocas e algumas ravinas, são áreas de alta suscetibilidade, enquanto as unidades 1 e 2 podem ser consideradas de baixa suscetibilidade, com registros, principalmente, de sulcos.

A erosão instalada nas faixas marginais aos cursos d'água tem uma certa associação com a declividade dos perfis longitudinal e transversal das drenagens podendo ocorrer em várias unidades.

Os estudos indicados para a etapa de detalhe, a partir dessa avaliação, são direcionados para:

- a) orientação de obras de prevenção e contenção de erosão
- b) orientação de obras de aterramento e recuperação de boçorocas
- c) análise da dinâmica da microbacia e o escoamento pluvial (regime de chuvas)

Nesses estudos podem estar programados ensaios e quantificações envolvendo: análise da granulometria, do teor de argila, da permo-porosidade, além de levantamento e análise de dados pluviométricos e fluviométricos.

### **b) quanto aos processos de assoreamento, enchentes, inundações e alagamentos**

Os depósitos de assoreamento, mapeados e representados como 6a, estão associados principalmente à Unidade 6 e, secundariamente às unidades 4h e 5o ([Anexo 8](#)).

As áreas suscetíveis a inundações são assinaladas na [Tabela 20](#) como de ocorrência associada à Unidade 6, representada na área de semi-detalle pela planície aluvionar do ribeirão Claro. Alagamentos estão ligados a áreas mais planas e são ocasionados pelo escoamento superficial lento de águas pluviais, agravado pela impermeabilização do solo urbano, com maior incidência nas unidades 4r e 4h; na última podendo estar associada a enchentes (vide [Foto 13](#)).

Alguns estudos sugeridos para a etapa de detalhe devem envolver: análise da dinâmica da microbacia e do escoamento pluvial (regime de chuvas), e, ainda, da capacidade de infiltração e retenção de água de chuva nos solos; zoneamento de área de risco sujeitas a inundações periódicas e plano preventivo de cheias. Também merecem ser mencionados estudos para a implantação de obras como galerias e “piscinão”.

Os ensaios e quantificações indicados para a etapa de detalhe são os mesmos citados em relação aos processos erosivos: análise da granulometria, do teor de argila, da permo-porosidade, e levantamento e análise de dados pluviométricos e fluviométricos.

### **c) quanto ao colapso do solo**

Os solos arenosos da Formação Rio Claro, representados, em suas variações, pelas unidades 3, 4r e 4c ([Anexo 8](#)) são aqui relacionados aos processos de colapso. Essa

classificação baseia-se nos registros de casos observados neste trabalho (vide [Foto 12](#)) e nos estudos realizados por CAMPOS (1979) e CAMPOS & VICELLI NETO (1987), na cidade de Rio Claro.

Esta etapa indica que as edificações e obras em geral construídas sobre terrenos das unidades 3, 4r e 4c oferecerão maior segurança, se precedidas e orientadas por estudos de caracterização geológico-geotécnica detalhada, que deverão prever os seguintes ensaios de laboratório: análise granulométrica, determinação de índices físicos e ensaio de adensamento.

Os estudos da etapa de detalhe deverão abordar a avaliação do comportamento colapsível do solo ante as necessidades de edificações e obras.

#### **d) quanto a deformações plásticas**

A [Tabela 20](#) associa os solos mais suscetíveis a deformações plásticas, preferencialmente as unidades 1, 4h, 5o e 6, compostas por litologias argilosas, nas faixas próximas a corpos d'água, nascentes ou com N. A. mais raso. Tal característica desses terrenos tem grande importância na análise de capacidade de suporte do solo.

Para tanto, a etapa de semi-detalhe recomenda que sejam realizados estudos de caracterização detalhada para as situações mostradas através da [Tabela 20](#) em relação às unidades de cobertura 1, 4h, 5o e 6, onde é analisada a capacidade de suporte dos solos caracterizados por alta plasticidade.

Os ensaios empregados nos estudos devem abranger: análise mineralógica (presença de minerais expansivos), índice de resistência à penetração e caracterização local do N. A. (profundidade, direção de fluxo), através de investigações indiretas (geofísica) e diretas (sondagem manual, poços).

#### **5.5.4.2 Avaliação da adequabilidade das unidades de material de cobertura**

A [Tabela 20](#) mostra os resultados da avaliação da adequabilidade a intervenções de engenharia: escavações, fundações, obras viárias, instalações subterrâneas e disposição de resíduos.

Para obras que envolvam escavações, a avaliação da adequabilidade mostra que a ocorrência de núcleos sub-afflorantes e blocos rochosos classifica a Unidade 2 (diabásio) como a de maior dificuldade, ou seja, com restrições. Além desses, foi verificado que blocos de laterita ferruginosa na Unidade 3, de ocorrência restrita e fora da área definida para a etapa de semi-detache, também podem atribuir o caráter de difícil escavabilidade aos locais de registro.

Para efeito de análise, a classe com restrições foi aplicada para as áreas de N.A. raso, também consideradas de certo grau de dificuldade para escavações.

Propõem-se estudos de definição de topo rochoso e núcleos de rocha sã nas áreas de ocorrência da Unidade geológico-geotécnica II e da Unidade de cobertura 2 (diabásio).

Ensaios geofísicos (SEVs) e de investigação direta (sondagem manual e poços ) são recomendados para avaliação da escavabilidade.

Para fundações foram consideradas áreas restritivas aquelas associadas a:

- a) faixas de N.A. mais raso, em quase todas as unidades, coincidentes com as classes de maior suscetibilidade a deformações plásticas;
- b) presença de solo colapsível nas unidades 3, 4r e 4c.

A avaliação da adequabilidade à implantação de obras viárias coloca como mais restritivas:

1. áreas com maior suscetibilidade a processos erosivos, com destaque para a Unidade 3;
2. áreas próximas a corpos d'água e de N.A. raso;
3. áreas sujeitas a deformações plásticas, associadas às unidades 1, 4h, 5o e 6.

Os solos residuais e coluvionares, característicos da Unidade 2, são os mais problemáticos a obras que envolvam instalações subterrâneas, representando áreas restritivas com grande dificuldade para escavação de núcleos rochosos e remoção de blocos (vide [Fotos 8 e 9](#)). Também são classificadas, de restritivas a inadequadas, as instalações subterrâneas em áreas com N.A. mais raso, principalmente próximo a corpos d'água.

Embora a questão de disposição de resíduos na área estudada (área urbana) possa apresentar outras restrições de caráter distinto do geológico-geotécnico, a análise

realizada permite classificar como inadequadas as áreas com N.A. mais raso, um atributo bastante determinante na avaliação das unidades de cobertura.

## 5.6 Etapa de detalhe (3ª etapa)

O método do detalhamento progressivo prevê para a etapa de detalhe, ou 3ª etapa, a seleção de áreas e estudos específicos orientados pelas etapas anteriores. Tais estudos de detalhe, dependendo dos objetivos e extensão do local a ser estudado, podem ser pontuais ou, com distribuição espacial, que comporte a elaboração de cartogramas na escala 1:5.000 ou maior.

A avaliação das unidades de cobertura, levando-se em conta os estudos anteriormente realizados (1ª e 2ª etapas), mostrou a associação de maior ou menor suscetibilidade a processos diversos com uma ou mais dessas unidades ([Tabela 20](#)).

Para a área urbana de Rio Claro, as etapas geral e de semi-detalhe indicaram, com base nas características do meio físico, nos processos atuantes, em normas definidas por legislações diversas e demandas de crescimento, que os estudos de detalhe podem estar direcionados aos seguintes aspectos:

- a) comportamento colapsível dos solos das unidades de cobertura 4r e 4c;
- b) prevenção e correção de erosões associadas às unidades 3 e 4c ([Anexo 8](#));
- c) dinâmica fluvial em função dos depósitos de assoreamento (relação da capacidade de transporte/deposição) e enchentes, associadas à Unidade 6 ([Anexo 8](#));
- d) caracterização detalhada das áreas das unidades de cobertura 4h e 5o - capacidade de suporte em solos hidromórficos e orgânicos (plasticidade), com N.A. raso;
- e) definição de topo rochoso e núcleos de rocha sã (ensaio geofísico - SEVs) nas áreas de ocorrência da Unidade geológico-geotécnica II - diabásio (Unidade de cobertura 2) - [Anexos 3 e 8](#).

Além dos pontos destacados a partir da análise de **suscetibilidade** de terrenos mostrada na [Tabela 20](#), a escolha de estudos de detalhe também levou em conta a questão da **adequabilidade** dos terrenos, considerando-se o fato de que as etapas anteriores devem orientar planos e projetos direcionados a diversos tipos de

obras de construções, loteamentos e disposição de resíduos (caracterização de áreas pré-selecionadas), entre outros.

A definição de um estudo de detalhe deve atentar, ainda, para fatores emergenciais, sociais, econômicos e políticos, priorizado pelas necessidades e tendências ligadas ao desenvolvimento e crescimento urbano.

Em relação ao estudo de detalhe, aqui definido para a 3ª etapa do detalhamento progressivo, uma forte demanda pela implantação de postos de abastecimento de veículos, levou o Poder Público municipal a normatizar, na forma de leis, a instalação destes estabelecimentos. Paralelamente à demanda, problemas ambientais associados a freqüentes vazamentos de tanques de armazenamento são classificados como bastante graves e de difícil recuperação das áreas afetadas pela contaminação e poluição dos solos e das águas subterrâneas, conforme constatado no estudo de GIBOTTI Jr. (1999).

Com base em tais colocações, justifica-se para a etapa de detalhe a realização de estudos de caracterização geológico-geotécnica direcionados à implantação de postos de abastecimento de veículos, estudo este, de caráter pontual, que envolve um dos itens levantados pela 2ª etapa, ou seja a avaliação da suscetibilidade aos processos de colapso dos solos da Unidade de cobertura 4r.

Complementarmente, é importante destacar que a viabilização do estudo de detalhe nesta fase da pesquisa foi possível graças à realização de um projeto desenvolvido através de convênio entre a Fundunesp (Fundação para o Desenvolvimento da Unesp) e a empresa interessada na instalação de um posto de abastecimento de veículos (FUNDUNESP, 1999).

### **5.6.1 Parâmetros a serem considerados na instalação de postos de abastecimento de veículos**

A armazenagem de combustíveis diversos (gasolina, óleo diesel e álcool) em tanques subterrâneos é a forma mais comum utilizada pelos postos de abastecimento de veículos.

GIBOTTI Jr. (1999), com base em dados da Europa e dos EUA, relata que uma parte significativa dos tanques instalados apresenta problemas de corrosão em



período de 15 a 20 anos. Além dos vazamentos associados à corrosão dos tanques, também são freqüentes vazamentos em tubulações devido a instalações mal realizadas ou a peças danificadas.

GIBOTTI Jr. (*op. cit.*, baseado em HOLT, 1997 e ZUQUETTE, 1999 – comunicação pessoal) relaciona os seguintes fatores como responsáveis pela deterioração das condições de “estanqueidade” dos tanques e estruturas enterradas:

- a) presença de solos corrosivos
- b) proximidades de sistemas de corrente contínua (p.e. linhas férreas eletrificadas)
- c) qualidade do revestimento do tanque, bem como falhas no processo de instalação
- d) áreas inundáveis
- e) presença de turfas ou materiais sujeitos à combustão espontânea
- f) áreas com nível freático próximo à superfície
- g) presença de solos colapsíveis
- h) solos expansivos e camadas compressíveis

Dentre os fatores e processos interagentes entre o meio e o tanque, com interesse mais direto à área de pesquisa, concorda-se com a seguinte citação de (GIBOTTI Jr., 1999): “*os processos corrosivos são os principais responsáveis pela deterioração das características físico-químicas de estruturas de composição metálica, enquanto que a principal característica geotécnica dos materiais de cobertura da Formação Rio Claro é o potencial comportamento colapsível*”.

### **5.6.2 Distribuição dos postos de abastecimento de veículos em Rio Claro e escolha da área de estudo de detalhe**

Os tanques de armazenagem subterrânea de combustíveis têm suas especificações técnicas definidas de acordo com a NBR-13312, classificando-os quanto a sua capacidade volumétrica e aos tipos de revestimentos protetores da corrosão a serem utilizados.

A instalação de postos na cidade de Rio Claro é regulamentada através de lei municipal, que define os critérios com base nas normas da ABNT, a qual classifica as instalações de equipamentos subterrâneos como classe 3, orientadas pelas NBRs 13.781 e 13.786 (ABNT, 1997a). Nestas normas a ABNT define os cuidados que devem ser tomados, desde a abertura da cava de instalação dos tanques até a identificação de fatores agravantes para as estruturas enterradas e que podem apresentar restrições à instalação, ou seja, as características geológico-geotécnicas do terreno (nível freático elevado, solo instável, presença de rocha), ou algumas características oriundas de fatores antrópicos, tais como: solo contaminado, antigas fundações, galerias de serviços e tubulações de água, gás, etc. (RIO CLARO, 1998).

De acordo com o levantamento realizado por GIBOTTI (*op. cit.*), a cidade de Rio Claro possuía, em 1998, 37 postos de serviços e de abastecimentos de veículos, com a instalação de cerca de 170 tanques metálicos enterrados, com capacidade volumétrica, características tecnológicas e idades diversas. Do total de postos, 2 estão fora da área urbana e 8 situam-se em terrenos abrangidos por áreas de fundo de vale e de solos aluvionares (a maioria deles ao longo da Av. Visconde do Rio Claro), correspondendo, nesta pesquisa, às unidades de cobertura de material inconsolidado 6, 7 e 8 da etapa de semi-detalhe ([Anexo 8](#)).

A grande maioria destes estabelecimentos, ou seja, 27 postos, está assentada sobre solos areno-argilosos da Formação Rio Claro, os quais, conforme observado no mapa geológico-geotécnico ([Anexo 3](#)) estão nas unidades III e IV.

Para executar a etapa de detalhe, foi utilizada uma área onde foram efetuados estudos de viabilidade para implantação de um posto de abastecimento de veículos. Tal escolha se justifica pelo fato do local do pretendido estabelecimento estar inserido na Unidade geológico-geotécnica IV (comum à maioria dos postos) e Unidade de coberturas inconsolidadas 4r, uma área de relevo bastante plano (< 5% [Anexo 6](#)) e com profundidade do N.A. entre 5 e 10m ([Anexo 7](#)).

A área situa-se na zona norte de Rio Claro, especificamente, na Av. Brasil, esquina com a Av. M-19, Vila Martins, conforme mostrado na [Figura 10](#).

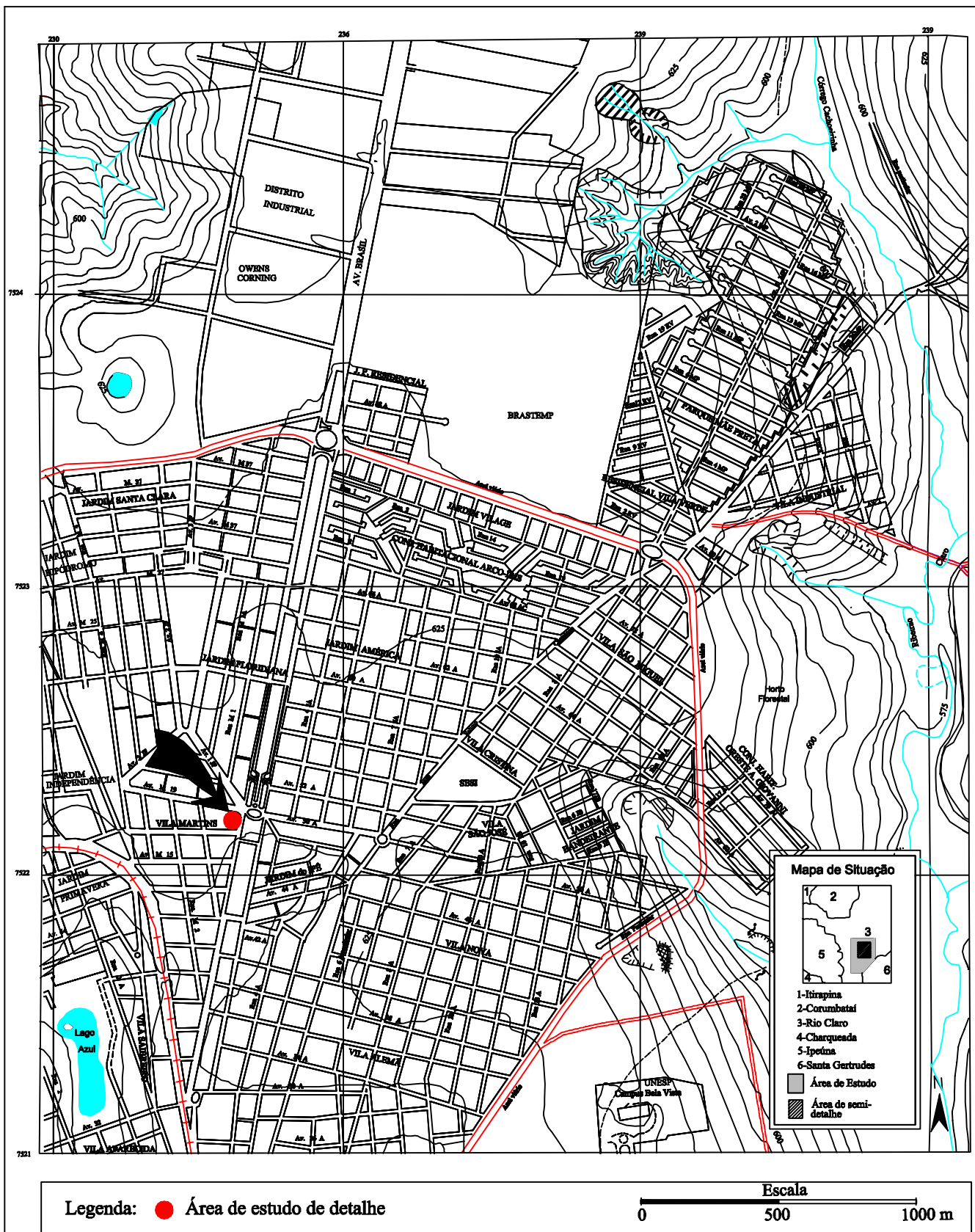


Figura 10 - Localização da área de estudo de caracterização geológico-geotécnica de detalhe (3<sup>a</sup> etapa), dentro da área de semi-detalhe.

### 5.6.3 Investigações, ensaios e análises

Os estudos geológico-geotécnicos de detalhe na área de interesse foram realizados a partir do desenvolvimento das seguintes procedimentos:

- investigações preliminares - sondagem manual (trado);
- investigações indiretas - execução de ensaios geofísicos: sondagens elétricas verticais (SEVs) e seções de radar (GPR);
- investigações diretas de sub-superfície: sondagens a percussão e poço de amostragem, com coleta de amostras do solo (deformadas e indeformadas) e da água; e
- análise dos solos em termos de colapsividade, expansibilidade e capacidade de carga nas diferentes profundidades (níveis de suporte) e análises da água e dos solos quanto ao grau de corrosividade por meio de ensaios de laboratório.

#### 5.6.3.1 Investigações preliminares

Nessa fase da investigação, foi realizada, em fevereiro de 1999, uma sondagem com trado manual, para descrição tátil-visual do perfil de solo, onde foi constatada a presença do N.A. à profundidade de 5,30 m.

Da observação mais detalhada que na 2ª etapa, foi possível apurar que as declividades são < 2%.

#### 5.6.3.2. Investigações indiretas (ensaios geofísicos)

A execução dos ensaios geofísicos (SEVs) objetivou a determinação do nível d'água (N.A.), a caracterização da zona saturada, o gradiente hidráulico e a direção do fluxo de água. Tais investigações também subsidiaram a definição da variação sazonal do N.A..

Na área foram executadas 3 sondagens elétricas verticais, além de duas seções de radar (GPR). A [Figura 11](#) indica a localização das investigações geofísicas realizadas.

As sondagens elétricas verticais acusaram um nível geoeletrico com resistividade baixa (entre 72 e 209 ohm.m), no intervalo de 5,00 a 6,00 m de

profundidade, e com espessura entre 5,00 e 9,00 m, podendo corresponder a um N.A. suspenso, uma vez que os resultados dos ensaios geofísicos indicaram um nível geoeletrico inferior com valores de resistividade mais elevados, entre 910 e 990 ohm.m.

As seções de radar (GPR) identificaram uma interface sub-horizontal em profundidade de cerca de 14,00 m, que delimita estratos de diferentes condutividades eletro-magnéticas, que pode estar relacionado à camadas com características geotécnicas distintas, ou seja, abaixo dessa profundidade, o horizonte de solo deve apresentar-se mais compacto que o horizonte superior. A aproximadamente 34,00 m de profundidade também foi identificada uma interface que deve estar associada ao contato entre a Formação Rio Claro (superior) e a Formação Corumbataí.

Através do Mapa Potenciométrico (Figura 11), elaborado a partir das investigações geofísicas e dados de sondagem a percussão, foi possível observar dois sentidos principais de direção do fluxo de água de sub-superfície, para sudeste e sudoeste, ambos com gradiente hidráulico suave.

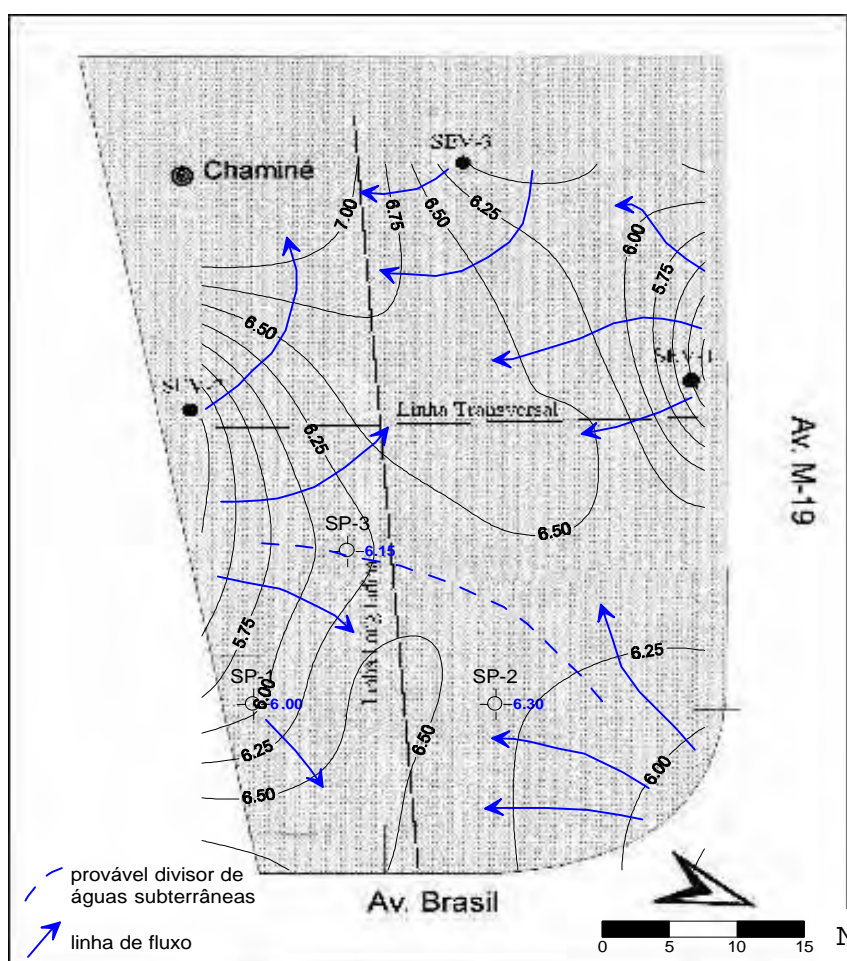


Figura 11 - Mapa potenciométrico da área de estudo de detalhe (FUNDUNESP, 1999).

### 5.6.3.3 Investigações diretas de sub-superfície

As investigações diretas de sub-superfície compreenderam os seguintes procedimentos: escavação de poço de amostragem e sondagem a percussão.

#### a) Poço de amostragem

A escavação para abertura do poço de amostragem foi feita com retroescavadeira, tendo atingido a profundidade final de 3,50 m (a profundidade prevista da base dos tanques é 3,50 m), possibilitando a coleta de amostras deformadas e indeformada do solo. Foram coletadas as seguintes amostras de solo:

- amostras deformadas: a 2,50 e 3,50 m de profundidade, tendo sido utilizadas para a realização de ensaios de caracterização,
- amostra indeformada: coletada a 3,50 m de profundidade, para a realização de ensaios de adensamento.

Essas amostras passaram por: a) análises granulométricas; b) índices físicos; c) ensaios de adensamento - para avaliação da colapsividade do solo; d) análises físico-químicas de solo para avaliar sua corrosividade; e) análise mineralógica para, juntamente com ensaios de adensamento, avaliar a expansividade do solo.

#### b) Sondagem a percussão

Na área foram executadas 3 sondagens a percussão (com realização de ensaios SPT - *Standard Penetration Test*, de metro em metro).

A execução das sondagens objetivou atender ao disposto na norma técnica NBR-8036 (ABNT, 1983), que estabelece o número de sondagens com ensaio de penetração, para obras com área entre 200 e 400 m<sup>2</sup>.

As investigações diretas foram realizadas de modo a permitir a caracterização dos materiais de sub-superfície e a determinação do N.A. nas proximidades dos locais de instalação dos tanques de armazenagem de combustível,

bem como para atender às necessidades do projeto de fundações da obra como um todo.

As sondagens a percussão, representadas na [Figura 11](#), atingiram as seguintes profundidades: SP 1 - 15,45 m; SP 2 - 15,45 m, SP 3 - 16,10 m ([Anexo 9](#)).

Além da descrição dos materiais e profundidades do N.A., da obtenção dos valores do Índice de Resistência à Penetração - IRP, as sondagens serviram para avaliar os níveis de suporte do terreno e corrosividade da água, com análise físico-química de amostra de água do N.A..

#### **5.6.4 Avaliação da área quanto à corrosividade, colapsividade, níveis de suporte e expansibilidade**

O presente item aborda detalhadamente os aspectos referentes aos seguintes temas, de relevante importância à implantação do empreendimento:

1. classificação e avaliação dos solos e das águas quanto ao grau de corrosividade
2. colapsividade dos solos
3. níveis de suporte do solo em diferentes profundidades
4. expansibilidade dos solos

##### **5.6.4.1 Classificação e avaliação dos solos e das águas quanto ao grau de corrosividade**

De acordo com GENTIL (1996), corrosão é a deterioração química de um material, geralmente metálico, pela ação química ou eletroquímica do ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e seu meio operacional representa alterações prejudiciais, sofridas pelo material, tais como: desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, que o tornam inadequado para o uso.

O referido autor considera que o solo pode se comportar como um meio corrosivo complexo, fazendo-se necessária a identificação das características físico-químicas do mesmo, das condições microbiológicas e, posteriormente, das condições

operacionais que podem influenciar na ação corrosiva sobre tanques e tubulações metálicas enterradas.

A ocorrência de água no solo pode catalisar o processo corrosivo, cujo desenvolvimento pode estar associado à presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão, quais sejam: sais, ácidos, bases e gases dissolvidos, e microorganismos.

Dependendo da quantidade destas substâncias, a influência da água na ação corrosiva deve ser considerada com maior ou menor detalhamento.

A identificação de determinadas características físico-químicas da água e do solo permite a classificação quanto ao grau de corrosividade, sendo os resultados obtidos comparados com intervalos de valores estabelecidos em tabelas de classificação ou de referência.

Nesse estudo de detalhe foram adotados como referência para análise do comportamento corrosivo da água e do solo, os intervalos de valores de alguns atributos propostos por ZUQUETTE (1993), apresentados na [Tabela 21](#). Foram aqui considerados somente os atributos necessários à caracterização geológico-geotécnica do estudo de detalhe.

Os intervalos de valores pertencentes às classes **favorável**, **moderada**, **severa** e **restritiva** referem-se, originalmente, à classificação de unidades de mapeamento nas quais existe a possibilidade do desenvolvimento do processo corrosivo em intensidade crescente, e a necessidade do emprego de recursos tecnológicos menos ou mais complexos, para adequação ao problema .



**Tabela 21 - Atributos e classes da carta de potencial à corrosividade, segundo ZUQUETTE, 1993.**

COMPONENTES	ATRIBUTOS	CLASSES			
		favorável	moderada	severa	restritiva
SUBSTRATO ROCHOSO	LITOLOGIA			rochas com cimento carbonático	calcário, filito carbonoso
	SO <sub>3</sub> (%)	não	< 0,2		> 0,8
MATERIAIS INCONSOLIDADOS	TEXTURA	arenosa	areno-siltosa	qualquer com carbonatos	intercalações de texturas nos perfis
	ORIGEM	residual e maduro			residual jovens, tálus
	SO <sub>3</sub> (%)	não	< 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
	S	não			
	pH (ferro/concreto)	6,5 - 8,5	4 - 6,5	2 - 4	> 2
	ACIDITY (meq/100 g)	< 8	8 - 12	12 - 15	> 15
	POTENCIAL REDOX (mV)	> 100	50 - 100	0 - 50	< 0
	CONDUTIVIDADE (mmhos/cm)	< 0,2	<0,4	<1,0	>1,0
	RESISTIVIDADE (ohm.cm)	ferro	> 1500	1200 - 1500	700 - 1200
aço		> 7500	4000 - 7500	2000 - 4000	< 1000
ÁGUAS	SO <sub>3</sub> (g/l)	não	< 0,3		> 1,2
	FLUTUAÇÕES DO N.A.	muito pequena	pequena (< metro)	significativa (metros)	significativa (metros)
	DRENABILIDADE	boa (zonas secas)			má (zonas úmidas)
	pH	6,5 - 8,5	4,0 - 6,5	2 - 4	< 2
	POTENCIAL REDOX (mV)	> 100 mV	50 - 100	0 - 50	negativo

### a) Avaliação da área quanto à corrosividade do solo

As análises físico-químicas da amostra de solo, coletada a 2,50 m de profundidade no poço de amostragem, apresentaram os resultados reproduzidos na [Tabela 22](#), onde é feita a definição das classes de acordo com intervalo de valores constantes da [Tabela 21](#).

**Tabela 22 - Resultados de análise físico-química da amostra de solo e o respectivo comportamento quanto à corrosividade.**

ATRIBUTO	VALORES	CLASSE	CORROSIVIDADE
pH	5,96	moderada	corrosivo
EH (potencial redox)	2,94 mV	severa	corrosivo
Condutividade elétrica	0,056 mmhos/cm	favorável	não corrosivo

A tendência de comportamento ácido do solo indicado pelo  $\text{pH} < 7$ , associado com o potencial redox próximo de valores negativos, permite estimar que o meio, quando saturado, apresenta condições redutoras anaeróbicas, favoráveis ao desenvolvimento de processos corrosivos. O valor da condutividade elétrica, apesar de classificado como fator não corrosivo, não é indicativo da ausência de condições de propagação de correntes elétricas. Tal valor reflete a baixa concentração de eletrólitos (íons) disponíveis no meio, que poderiam catalisar reações de oxi-redução, bem como uma maior propagação de correntes elétricas, necessárias ao desenvolvimento de processos corrosivos.

As análises físico-químicas complementares realizadas, envolvendo a capacidade de troca catiônica (CTC), porcentagem de carbonatos e taxa de carbono orgânico objetivaram estimar a capacidade de retenção de íons contaminantes, a presença de materiais solúveis e a presença de carbono orgânico de qualquer natureza (matéria orgânica ou de hidrocarbonetos no solo), respectivamente. Os resultados obtidos em ensaios laboratoriais estão reproduzidos na [Tabela 23](#).

**Tabela 23 - Resultados da análise físico-química da amostra de solo coletada a 2,50 m de profundidade.**

ANÁLISES LABORATORIAIS	VALORES
CTC	22,7 mmolc/dm <sup>3</sup> ou 2,27 meq/100 cm <sup>3</sup>
CARBONATOS	500 mg/kg ou 500 ppm
CARBONO ORGÂNICO TOTAL	0,1%

Os baixos valores obtidos refletem a constituição predominantemente quartzosa da fração areia e caulínica das frações silte e argila do solo. Os valores de

CTC são compatíveis com os de solos ácidos e lixiviados, cujo argilomineral predominante é a caulinita, mineral de baixa capacidade de troca catiônica.

A baixa concentração de carbonatos reflete, também, a ausência de minerais carbonáticos na análise mineralógica. A baixa taxa de carbono orgânico total indica a ausência de matéria orgânica ao longo do perfil, sendo identificados, provavelmente, compostos que foram lixiviados dos níveis superiores e/ou fragmentos de carvão, comum ao longo do perfil dos solos desenvolvidos sobre a Formação Rio Claro (ZAINE, 1994; MELO, 1995).

A classificação da corrosividade do solo é embasada, fundamentalmente, nas análises físico-químicas, porém, esse processo pode ser potencializado nas situações em que os tanques e as instalações metálicas enterradas estejam submetidos a tensões. Esta análise é relatada por GIBOTTI Jr. (1999), que atribui o aumento do processo corrosivo em pontos onde os equipamentos enterrados estão sob tensão causada por pequenos recalques em solos de comportamento colapsível.

## b) Avaliação da área quanto à corrosividade da água

As análises físico-químicas da amostra de água coletada na sondagem SP-02, a 6,30 m de profundidade, apresentaram os resultados constantes da [Tabela 24](#). Para efeito da análise da corrosividade da água foram adotados os mesmos intervalos de valores propostos por ZUQUETTE (1993) para solo.

**Tabela 24 - Resultados da análise físico-química da amostra de água e o respectivo comportamento quanto à corrosividade.**

ATRIBUTO	VALORES	CLASSE	COMPORTAMENTO
pH	6,8	favorável	não corrosiva
EH (potencial redox)	2,69 mV	severa	corrosiva
Condutividade elétrica	0,123 mmhos/cm	favorável	não corrosiva

Comparando-se os valores de pH obtidos das amostras de solo e da água subterrânea do local, observa-se que o pH da água se encontra próximo da neutralidade, diferentemente do valor de pH da amostra de solo situada em menor profundidade, que apresenta uma tendência de caráter ácido. Tal fato se deve,

provavelmente, ao aporte de íons  $\text{OH}^-$ , provenientes da dissociação da água ao longo do perfil.

O valor obtido para a condutividade elétrica, apesar de classificado como não corrosivo, não indica necessariamente que o meio não permita a propagação de correntes elétricas (inerentes ao desenvolvimento do processo corrosivo), mas sim, uma baixa concentração de íons. Desta forma, a concentração de eletrólitos não se caracteriza como um fator catalisador de propagação de correntes elétricas.

As condições anaeróbicas e a predominância de íons  $\text{OH}^-$  do meio são refletidas no baixo valor de potencial redox, indicando a tendência do caráter redutor do meio, condições favoráveis para desenvolvimento de processos corrosivos em materiais constituídos à base de ferro ou aço.

Deve-se destacar que o nível freático, em setembro de 1999, se posicionava a 6,30 m de profundidade e, em fevereiro do mesmo ano, encontrava-se a 5,30 m, conforme resultado obtido em sondagem a trado manual realizada para reconhecimento preliminar.

#### **5.6.4.2 Avaliação da área quanto à colapsividade do solo**

Os ensaios laboratoriais de caracterização geológico-geotécnica voltados para análise da colapsividade do solo da área de detalhe, foram realizados em amostras deformadas e indeformada, coletadas no poço de amostragem, a 3,50 m de profundidade, nível próximo da base dos prováveis futuros tanques. A curva granulométrica apresentada na [Figura 12](#) mostra que mais de 80% do solo é composto por areia fina e média, enquanto a fração argilosa é de aproximadamente 12% (solo areno-argiloso).

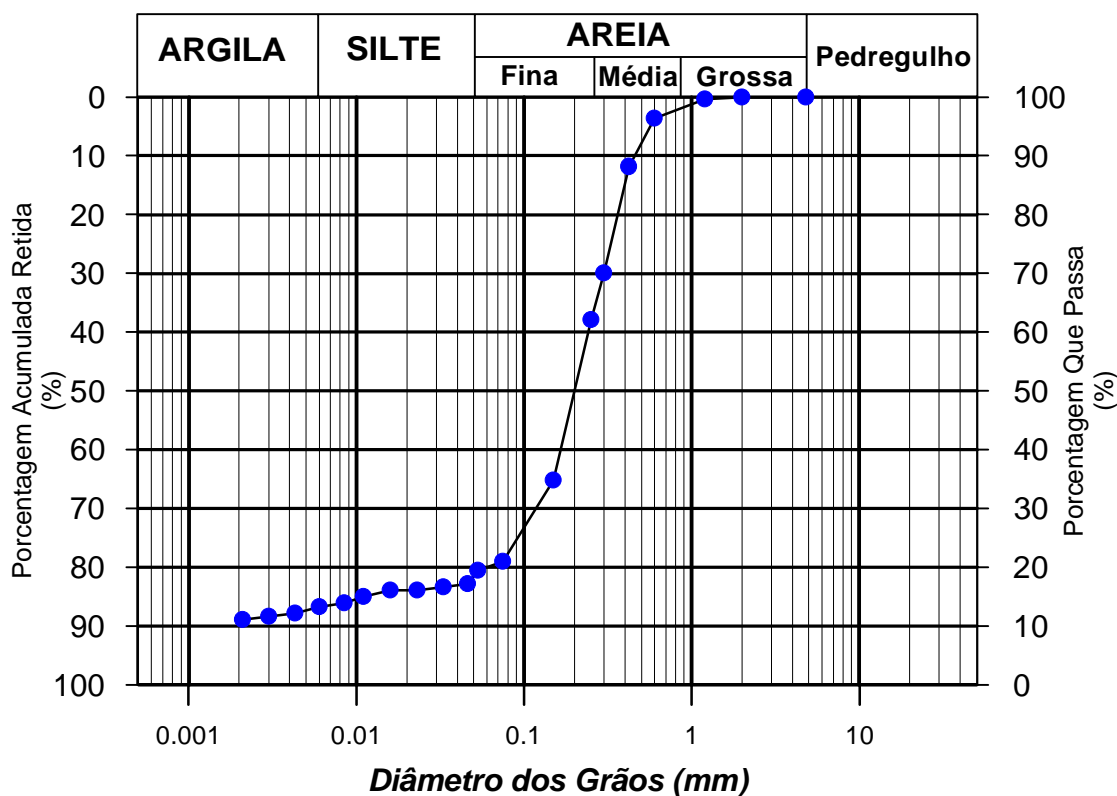


Figura 12 - Curva granulométrica de amostra de solo, coletada na área do estudo de detalhe.

Os resultados dos demais ensaios realizados, índices físicos, massa específica seca máxima e umidade ótima no ensaio de compactação no Proctor Normal são apresentados na [Tabela 25](#).

Tabela 25 - Índices físicos e resultados do ensaio de compactação (Proctor normal).

ÍNDICES FÍSICOS	SÍMBOLO	VALORES
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$	1,67
Massa específica seca (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$	1,52
Massa específica dos sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$	2,65
Teor de umidade (%)	W	9,97
Massa específica seca máxima (Proctor normal) (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dm\acute{a}x}$	2,01
Umidade ótima (%)	$W_{ot}$	9,99
Porosidade (%)	N	43,00
Índice de vazios	$E_o$	0,74
Grau de saturação (%)	Sr	35,70

O fenômeno da colapsividade refere-se ao comportamento dos solos denominados colapsíveis que, segundo VILAR *et al.* (1981), são solos que, ao aumentar o conteúdo de água em seus vazios ou serem carregados e posteriormente

umedecidos, experimentam uma brusca redução do volume. A variação do volume do solo pode danificar as estruturas e/ou comprometer a segurança de uma obra civil.

ZUQUETTE (1993) sugere uma relação empírica para determinação do comportamento colapsível de um solo, sendo assim expressa: para  $\rho / \rho_{dmáx} < 80\%$ , o solo é colapsível.

A partir dos resultados apresentados na [Tabela 25](#) e aplicando-os na relação proposta por ZUQUETTE (*op. cit.*), obtém-se o valor de **83%**.

Como o resultado obtido é muito próximo do valor limite estabelecido pelo autor citado, foi realizado um ensaio de adensamento para comprovar o comportamento do solo da área de detalhe.

Segundo VILAR *et al.* (1981), a realização de ensaios de adensamento é o critério mais confiável para a identificação do comportamento colapsível de um solo. No presente estudo, optou-se em submeter um corpo de prova indeformado ao ensaio de adensamento simples com saturação a uma determinada tensão, conforme procedimento da norma técnica NBR-12007 (ABNT,1990).

Considerou-se a inundação sob uma tensão de 80 kPa, tensão esta semelhante à aplicada por um conjunto tanque (de capacidade de 15.000 litros, cheio de combustível) e aterro sobre a base da futura cava de instalação. Os resultados do ensaio de adensamento, realizados no laboratório da EESC-USP, são apresentados no [Anexo 9](#).

VARGAS (1978) define como critério de identificação de solo colapsível a determinação do coeficiente de colapso (**i**) a uma determinada tensão, assim expresso:

$$i = \frac{\Delta e}{1+e_{pn}}$$

sendo:

$\Delta e$  - variação do índice de vazios, devido à inundação

$e_{pn}$  - índice de vazios, antes da inundação, sob a ação de uma determinada tensão

Segundo o autor referido, por este critério, solos que apresentam  **$i > 2\%$** , são considerados colapsíveis.

Para o cálculo do coeficiente de colapso do corpo de prova proveniente da área de estudo de detalhe, obteve-se:

$$\Delta e = 0,798 - 0,700; e_{80} = 0,798; \text{ logo } i = 5,45\%.$$

Como o resultado obtido é  $> 2\%$ , concluiu-se que o solo é colapsível, conforme o critério definido por VARGAS (1978).

### 5.6.4.3 Avaliação da área quanto à capacidade de suporte do solo (níveis de suporte em diferentes profundidades)

A estimativa da capacidade de suporte do terreno, em diferentes profundidades, pode ser realizada por meio dos resultados de ensaios de penetração (SPT), realizados de metro em metro, em sondagens a percussão. Os ensaios SPT foram realizados de acordo com as recomendações da ABGE (1990) e NBR-6484 (ABNT, 1979).

De acordo com os valores de IRP ou N (índice de resistência à penetração) obtidos nos ensaios SPT, foram analisados os diferentes graus de compactação, tendo por referência a classificação apresentada na [Tabela 26](#), para solos arenosos.

**Tabela 26 - Graus de compactação de solos arenosos em função de valores de IRP (N). Modificado da NBR-7250 (ABNT, 1982).**

ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO - (IRP ou N)	DESIGNAÇÃO
< 4	fofo
5 - 8	pouco compacto
9 - 18	medianamente compacto
19 - 40	compacto
> 40	muito compacto

Desta forma, foram identificados 2 horizontes com diferentes compactações, ou seja, apresentam níveis de suporte distintos. O primeiro horizonte compreende desde a superfície do terreno até a profundidade de 8,00 a 9,00 m, e é constituído por areia média, de coloração creme, com espessura de 5,00 a 6,00 m, apresentando compactação fofo. A partir desse intervalo até a profundidade entre 8,00 e 9,00 m, é constatado um aumento das frações finas, passando a areia média a fina, argilosa, variegada, com a mesma compactação do nível superior (fofo).

O segundo horizonte atinge a profundidade de 15,45 a 16,10 m, sendo constituído por areia grossa esbranquiçada, com aumento gradativo do IRP de acordo com a profundidade. Esse horizonte se apresenta pouco compacto, passando a medianamente compacto e compacto e atingindo compacidade elevada (muito compacto) no trecho final das sondagens. Os perfís das sondagens a percussão realizados são apresentados no [Anexo 9](#).

#### **5.6.4.4 Avaliação da área quanto à expansibilidade do solo**

A expansibilidade de um solo está associada à presença de argilominerais expansivos, do grupo das esmectitas (montmorilonita, nontronita, etc.) que, em contato com a água, aumentam significativamente de volume.

Conforme análise mineralógica (macroscópica e microscópica), o mineral predominante é o quartzo (>90%). A fração fina (argila e silte), submetida à difratometria de raio-X, indicou a caulinita e o quartzo como minerais predominantes e, secundariamente, illita e muscovita, minerais estes de comportamento não expansivo.

Complementarmente, deve-se destacar que os resultados do ensaio de adensamento comprovaram o comportamento não expansivo do solo da área de estudo de detalhe, uma vez que não foi observado aumento nos valores do índice de vazios com o descarregamento.

#### **5.6.5 Avaliação dos resultados do estudo de detalhe**

Como resultado das observações de campo, das análises realizadas na área de estudo de detalhe e dos ensaios de laboratório em amostras do solo e da água coletadas, as seguintes considerações puderam ser apresentadas, objetivando atender às condições de segurança contra vazamentos de combustíveis e a conseqüente contaminação do solo e da água:



- o conjunto de investigações realizadas permitiu a reunião de dados de sub-superfície plenamente suficientes para subsidiar a elaboração de um projeto adequado de obra de engenharia;
- o nível d'água (N.A.) foi identificado às profundidades de 5,30 m (em fevereiro/1999) e 6,30 m (em setembro/1999), ou seja, mesmo com a variação sazonal do N.A., os tanques deverão permanecer sempre acima da zona saturada;
- os estudos de comportamento do solo em relação à obra que se pretende implantar indicaram que o mesmo é corrosivo e colapsível;
- em razão desse comportamento corrosivo, cabe destacar a necessidade a instalação de tanques de armazenagem subterrânea que apresentem maior resistência à corrosão. A legislação municipal exige a instalação de tanques com estas características (tanques de parede dupla, resistentes à corrosão ou constituídos de materiais não corrosivos). Adicionalmente, é recomendado que as tubulações enterradas (linhas de transporte de combustíveis) não sejam constituídas de metais ferrosos, ou seja, também apresentem resistência à corrosão. A utilização de luvas, roscas e conexões das tubulações enterradas deve ser minimizada tanto quanto possível;
- em razão do comportamento colapsível do solo e em adição às medidas voltadas a evitar a ocorrência de vazamentos de combustíveis, são recomendados cuidados especiais para que não ocorram vazamentos nas redes de água e de esgoto no caso de implantação da obra;
- é recomendado que o projeto de fundação dos tanques de armazenagem subterrânea e das edificações, se implantadas, venha a ser elaborado de modo que considere, não só os valores de resistência à penetração, mas também a possibilidade da ocorrência de colapso do solo (mesmo que remota, considerando-se a implantação do conjunto de medidas anteriormente citadas). A este respeito, salienta-se que, geralmente, os colapsos ocorrem no horizonte superior do solo, mais suscetível à ação de vazamentos (água e esgoto) e com maior índice de vazios.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

As considerações finais e conclusões desta pesquisa podem ser divididas em duas linhas que caminharam conjuntamente, quais sejam, uma envolvendo a discussão das metodologias utilizadas anteriormente para cartografia geotécnica ou mapeamentos geológico-geotécnicos, bem como uma avaliação do método do detalhamento progressivo, e a outra, onde são discutidos, no âmbito geológico-geotécnico, a análise dos dados levantados, os produtos elaborados e as interpretações.

A aplicação do método do detalhamento progressivo, conforme o trabalho em questão, pode ser demonstrada através da [Figura 13](#), na qual estão representadas as etapas, a seqüência dos trabalhos com os produtos cartográficos gerados e estudos realizados, as bases topográficas e as aerofotos utilizadas e, ainda, os ensaios e quantificações realizados em cada uma das três etapas.

A comparação da [Figura 13](#) com a síntese das etapas do detalhamento progressivo, apresentada na [Tabela 4](#) do item 2.1 - Fundamentos Metodológicos, mostra que a aplicação deste método seguiu a proposta inicial, quanto à área de estudo, aos objetivos, produtos, ensaios e quantificações.

Com a finalidade de demonstrar comparativamente as metodologias da EESC/USP e do IPT, juntamente com os enfoques dados no detalhamento progressivo, são expostas, a seguir, várias análises.

ETAPAS DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO	MAPAS GERADOS	MATERIAL CARTOGRÁFICO UTILIZADO	ENSAIOS/ QUANTIFICAÇÃO
<b>1ª ETAPA (GERAL)</b>		Mapa topográfico 1: 10.000 Base 1: 25.000 Aerofotos 1: 25:000	
<b>2ª ETAPA (SEMI-DETALHE)</b>		Mapa topográfico 1: 10.000 Base 1: 10.000 Aerofotos 1: 5:000	Cálculos de declividades Sondagem elétrica vertical Dados de sub-superfície
<b>3ª ETAPA (DETALHE)</b>		Planta de detalhe (1:500) com a localização dos ensaios e futuras instalações	Ensaios geofísicos Granulometria Índices físicos Ensaio de adensamento Análises físico-químicas (solo e água) Análise mineralógica SPT - resistência à penetração

**Figura 13** - Sequência dos trabalhos do método do detalhamento progressivo, mostrando as etapas descritas e os trabalhos realizados em cada etapa.

a) Quanto à análise das escalas de trabalho e tamanho da área, pode ser ressaltado que os trabalhos da EESC/USP, geralmente, apresentam escalas pequenas e alguns trabalhos envolvem grandes áreas como, por exemplo, o Distrito Federal

(AGUIAR, 1997). Já os trabalhos do IPT são localizados e em grande escala (geralmente entre 1:5.000 e 1:10.000).

Comparativamente, o método do detalhamento progressivo proposto nesta pesquisa produziu documentos cartográficos em diferentes escalas, 1:25.000 na primeira etapa e 1:10.000 na segunda etapa, para uma área de 160 km<sup>2</sup> do Município de Rio Claro.

A escala 1:25.000 foi compatível com as bases cartográficas e aerofotos disponíveis, com a representação gráfica das diferentes informações, desde as convenções topográficas, as unidades geológico-geotécnicas e os elementos de relevo. Também se pode concluir que as dimensões finais do documento cartográfico apresentado ([Anexo 3](#)) se mostraram bastante adequadas para visualização geral e manipulação.

b) Em relação ao número de unidades de análise - nos trabalhos da EESC/USP, o cruzamento de vários mapas de atributos produz muitas unidades, o que dificulta a leitura dos cartogramas.

Na presente pesquisa, de forma semelhante ao IPT, o método do detalhamento progressivo apresentou mapas, tanto na escala geral como na de semi-detalhe, com menos de 10 unidades.

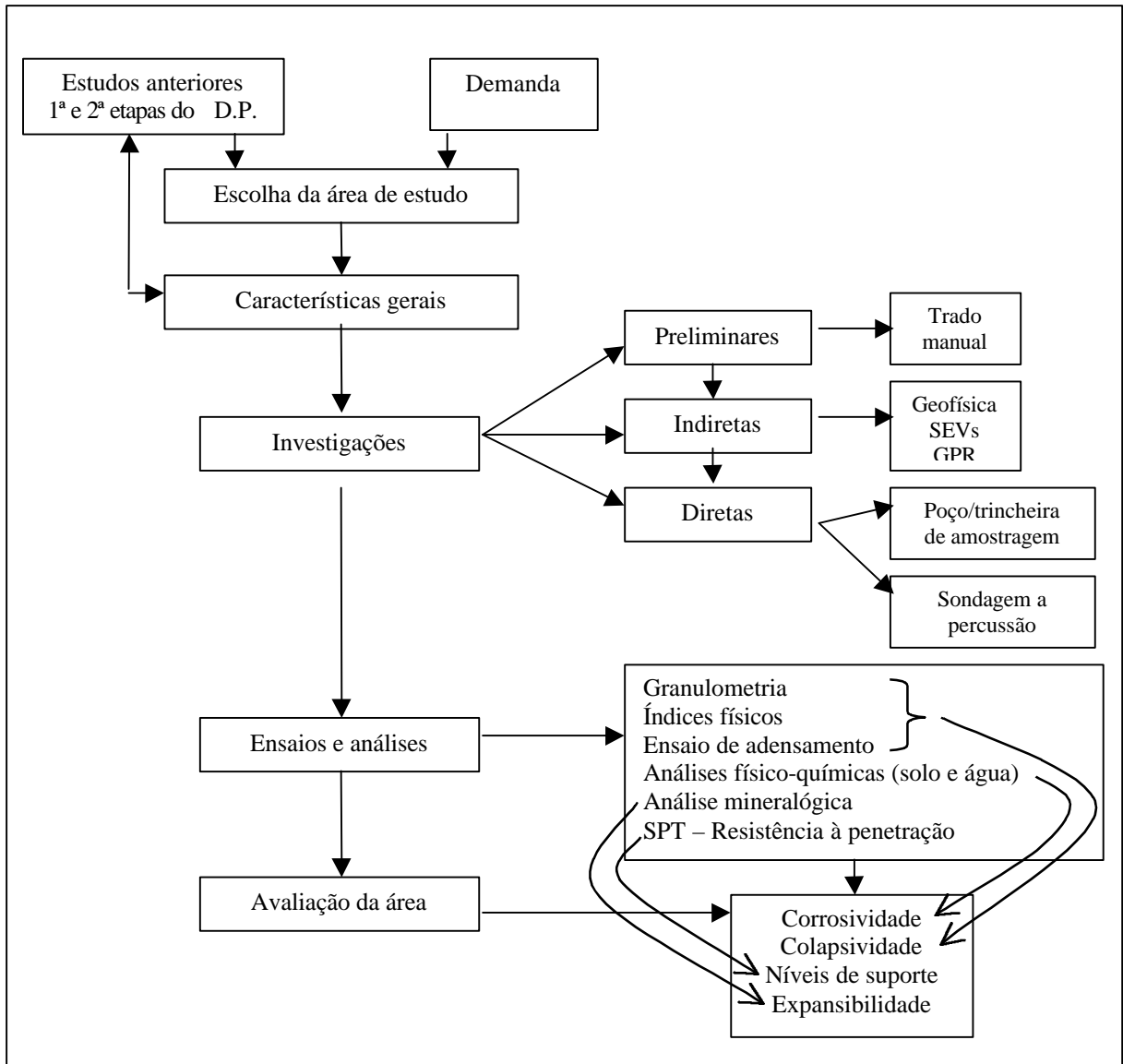
c) No tocante ao número de classes, segundo no ensaio do detalhamento progressivo ora apresentado, procurou-se defini-las de acordo com a aplicabilidade e leitura mais fácil e direta. Para os mapas de declividade e profundidade do N.A. foram estipuladas 3 classes, de acordo com registros de processos geológicos definidos na etapa geral.

d) Quanto à realização de ensaios de laboratório, observa-se que são extensos nos trabalhos da EESC/USP, enquanto os trabalhos do IPT não apresentaram quantificação de parâmetros através de ensaios de laboratório.

Nesta pesquisa não foram realizados ensaios e quantificações na primeira etapa (geral), tendo sido indicados somente alguns valores relativos e estimados qualitativamente para alguns parâmetros. Na segunda etapa (semi-detalhe), para os

mapas de declividade e profundidade do N. A. foram realizadas medidas de superfície e dados de sub-superfície, além de ensaios geofísicos (SEVs).

Para a terceira etapa (detalhe), envolvendo o estudo de caracterização geológico-geotécnica para implantação de posto de abastecimento de veículos, realizou-se uma série de investigações e ensaios de laboratório, de acordo com as necessidades da obra a ser instalada, conforme mostram as [Figuras 13 e 14](#).



**Figura 14 - Avaliação da etapa de detalhe. Seqüência das investigações, análises e avaliações. (D.P. = detalhamento progressivo)**

e) Em relação ao número de documentos cartográficos produzidos, os trabalhos da EESC/USP apresentam uma série de cartas/mapas geotécnicos, todos na mesma escala e para a mesma área, enquanto nos relatórios do IPT é apresentado,

como produto final, um mapa único que congrega todas as informações levantadas no estudo.

Para o método do detalhamento progressivo avaliado na presente pesquisa foram produzidos 2 mapas na etapa geral, sendo um geológico-geotécnico e que possui certa semelhança com o apresentado nos trabalhos do IPT; 3 mapas na etapa de semi-detalle: declividade, profundidade do N.A. e cobertura de material inconsolidado. Na etapa de detalhe não foi elaborado mapa, pois se tratou de estudo localizado, em área restrita, direcionado para orientação de uma obra.

f) Quanto à abordagem de processos geológicos, foi possível verificar que é dada maior ênfase nas cartas produzidas pelo IPT do que nos trabalhos da EESC/USP.

Na presente abordagem do ensaio de aplicação do método do detalhamento progressivo, o enfoque voltado ao estudo e registro de processos geológicos foi fundamental para o entendimento da dinâmica superficial nas 3 etapas.

g) Em referência à finalidade, os trabalhos da EESC/USP destinam-se ao planejamento do uso do solo, enquanto os trabalhos do IPT analisados representam cartas geotécnicas dirigidas, aplicáveis, principalmente, à correção de problemas.

A aplicação do detalhamento progressivo em Rio Claro teve por finalidade caracterizar as unidades geológico-geotécnicas e diagnosticar áreas problemáticas na etapa geral, além de dispor de instrumentos de planejamento urbano.

Os documentos gerados na etapa de semi-detalle também servem à orientação do planejamento urbano, porém, de modo setorizado e direcionado.

Para a etapa de detalhe, a finalidade foi orientar a instalação de uma atividade econômica (posto de abastecimento de veículos), assim como seu projeto e construção.

A comparação do método do detalhamento progressivo, utilizado no ensaio ora realizado, com as metodologias da EESC/USP e IPT mostrou que a mesclagem de alguns aspectos analisados pode se apresentar como uma boa ferramenta em mapeamentos geológico-geotécnicos.

Embora sob o ponto de vista da quantificação, o mapa geológico-geotécnico apresentado ([Anexo 3](#)) seja semelhante aos produtos do IPT, que constituem mapas

dirigidos e em escalas maiores, sua elaboração utiliza ferramentas similares à avaliação de terrenos de AITCHISON & GRANT (1968) e utilizada no trabalho de LOLLO (1995), desenvolvido na EESC/USP, dentre outros.

Na análise da eficácia do método do detalhamento progressivo quanto à real necessidade das três etapas realizadas, pode ser considerado o seguinte:

- O trabalho realizado mostrou boa compatibilidade entre o volume de dados, tipos de informações, tamanho da área e escala de trabalho nas três etapas.
- A realização do trabalho em três etapas e em escalas progressivas evita inferências e generalização de algumas informações quantificadas e de análises laboratoriais para uma escala geral. Estas inferências podem incorrer em alguns erros.
- Além do estudo de detalhe realizado nesta pesquisa, as etapas geral e de semi-detalhe indicaram alguns outros estudos (comportamento colapsível do solo, prevenção e correção de erosões, capacidade de suporte em áreas de solos hidromórficos e orgânicos, definição de topo e núcleos de rocha sã nas áreas de ocorrência de diabásio), podendo ainda subsidiar novos estudos em função da identificação de uma nova demanda ou prioridade.

As conclusões relativas aos produtos do trabalho estão, necessariamente, colocadas ao final de cada etapa, justificando a etapa posterior.

As respostas às questões embutidas na hipótese de trabalho puderam ser obtidas a partir do desenvolvimento desta pesquisa. Com relação à tomada de decisão durante o transcorrer do trabalho, este procedimento valorizou mais as etapas anteriores, principalmente a primeira etapa, onde foi obtido um panorama geral da área de estudo e estas informações foram, necessariamente, levadas para as etapas subseqüentes.

Com relação às análises quantitativas realizadas nesta pesquisa, foram incluídas nas etapas de semi-detalhe e de detalhe. Na etapa geral, a legenda do mapa geológico-geotécnico ([Anexo 3](#)) contém, nas características das unidades, alguns parâmetros como profundidade do N. A. (raso ou profundo) e espessura das unidades de cobertura, declividade (baixa – alta), ainda de forma qualitativa.

Com relação à densidade de informações, o número de pontos levantados na primeira etapa correspondeu a 1 ponto/km<sup>2</sup> para o mapeamento na escala 1:25.000, atendendo às necessidades de coleta de dados nesta etapa. Como o trabalho do método do detalhamento progressivo foi realizado sequencialmente, a densidade de informações e a coleta de dados para a segunda etapa partiu de um patamar de conhecimento da área atingido na etapa anterior. Desta forma, não foi realizado um novo levantamento sistemático e sim um levantamento direcionado, otimizando-se os recursos disponíveis.

Os resultados obtidos no desenvolvimento desta pesquisa permitem concluir que o método do detalhamento progressivo pode ser aplicado, tanto a estudos de planejamento como para a solução de problemas de natureza geológico-geotécnica.

Complementarmente, pode-se afirmar que a dinâmica proposta no desenvolvimento deste método se apresenta como uma nova ferramenta, que tem uma utilização efetiva pelo Poder Público, como instrumento de planejamento. Justifica-se tal colocação, pois a elaboração destes trabalhos, em etapas sucessivas, pode ser viabilizada, deixando-os mais acessíveis em termos de recursos necessários (dinheiro, pessoal, tempo e tecnológicos) a serem despendidos por etapa. Por outro lado, a dinâmica criada pela inter-relação das etapas forma um vínculo entre os órgãos públicos e os profissionais habilitados para a execução dos mapas e estudos geológico-geotécnicos necessários.

Acredita-se, então, com base no desenvolvimento desta pesquisa e na experiência adquirida na Prefeitura Municipal de Rio Claro, que o método do detalhamento progressivo representa uma ferramenta de efetiva utilização de mapas e estudos geológico-geotécnicos por parte dos órgãos públicos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'ABER, A.N. - 1969. A Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica da Bacia do Paraná. *Boletim Instituto Geografia - USP, Geomorfologia*, **15**: 15p.
- ANDREW, C.O. & HILDEBRAND, P.E. - 1982. Planning and conducting applied agricultural research. Westview: Boulder, 94 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - ABGE - 1990. Diretrizes para a execução de sondagens. São Paulo, 3.ed., 45p. (Boletim especial).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - 1979. Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos; método de ensaio. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-6484).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - 1982. Norma: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-7250), 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - 1983. Norma: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-8036), 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - 1990. Norma: Solo - ensaio de adensamento unidirecional. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-12007), 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - 1995. Norma: Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-13312), 11p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - 1997. Norma: Instalação de tanque atmosférico subterrâneo em postos de serviço. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-13.781), 13p.

- AGUIAR, R.L. - 1989. Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos - SP. São Carlos, SP. 2v. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- AGUIAR, R.L. - 1994. Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental: bases conceituais para aplicação no Distrito Federal - DF. São Carlos, SP. 88p. (Monografia - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- AGUIAR, R.L. - 1997. Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental. São Carlos, SP. 2v. (Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- AITCHISON, G.D. & GRANT, K. - 1968. Proposal for the application of the PUCE Program of terrain classification and evaluation to some engineering problems. In: Conf. Ass. Road Railway Builders, 4., *Proceedings*, v.4.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim Instituto Geográfico e Geológico*, **41**: 169-263.
- ANDRADE, S.M. & SOARES, P.C. - 1971. Geologia de semi-detalhe do centro-leste do Estado de São Paulo. Petrobrás. (Relatório interno, DESUL, 407).
- ANON. - 1972. The preparation of maps and plans in terms of Eng. Geol. Q. J. L. Eng. Geol., p. 293-381, London.
- A.R.D.A. - 1965. The Canada Land Inventory - Objectives, Scope and Organization. Department of Forestry Publication, 1088, Canada.
- ÁVILA, I.G. *et al.* - 1987. Carta Geotécnica do Município de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., 1987, São Paulo. *Anais...* São Paulo, ABGE, v. 2, p. 389-398.
- AZEVEDO, A.A. & ALBUQUERQUE Fº, J.L. - 1998. Águas subterrâneas. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Editores) - *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE, 1. ed., p.111-130.

- BARISSON, M.R. - 1995. Mapeamento geotécnico regional da Quadrícula de Amparo - SP. Escala 1:50.000, com base na análise das formas de relevo ("landforms") e de perfis típicos de alteração. São Carlos, SP. 2v. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- BARROSO J.A; CABRAL S.; MALTA C. S. - 1993. Subsídios geológico-geotécnicos como apoio ao Plano Diretor do município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., Poços de Caldas, 1993. *Anais ...* São Paulo, ABGE. v.2, p.167-176.
- BARROSO, J.A. *et al.* - 1986. Geological-geotechnical mapping of Rio de Janeiro metropolitan region. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 5., Buenos Aires, 1986. *Proceedings ...* Buenos Aires: IAEG, v.6, p.1715-1724.
- BITAR, O.Y. (coord.) - 1995. *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. ABGE/IPT-DIGEO, São Paulo. Série Meio Ambiente. 247 p.
- BITAR, O.Y.; CERRI, L.E.S. & NAKAZAWA, V.A. - 1992. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2., São Paulo, 1992. *Anais ...* São Paulo, p.35-41.
- BJORNBERG, A.J.S.; LANDIM, P.M.B.; MEIRELLES, G.M.F. (1964a)- Restos de plantas modernas em níveis elevados na região de Rio Claro - São Paulo. *Boletim Escola Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo. Geologia 11: 37-57.
- BJORNBERG, A.J.S.; MACIEL, A.C.; GANDOLFI, N. (1964b)- Notas sobre os depósitos modernos da região de Rio Claro - São Paulo. *Boletim Escola Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo. Geologia 11: 21-36.
- BJÖRNBERG, A. & LANDIM, P.M.B. - 1966. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neoceno-zóico). *Boletim Sociedade Brasileira Geologia*, 15 (4): 43-67.

- BOTTINO, G. & CIVITA, M. - 1982. Study of physiography in the territory of “Hill Community of Friou” methods, techniques and results. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 4., 1982, New Delhi . Theme I, v.2, p.339-413.
- BRAGA, A.C.O. - 1997. Métodos geoeletricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica - formações Rio Claro e Corumbataí, no Município de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP. 169p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp - Rio Claro).
- CAMPOS, J.O. - 1979. Formação Rio Claro - aspectos geotécnicos. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., Rio Claro, 1979. *Atas ...* São Paulo: SBG, v.2, p. 35-49.
- CAMPOS, J.O. & VICELLI NETTO, O. - 1987. Ponderações sobre o comportamento geotécnico da Formação Rio Claro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., São Paulo, 1987. *Anais ...* São Paulo, ABGE, v.2, p.323-336.
- CERRI, L.E.S. - 1990. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. *Anais ...* Salvador, ABGE, v.1, p. 309-317.
- CERRI, L.E.S. - 1993. Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta metodológica para prevenção de acidentes. Rio Claro. 197p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Unesp).
- CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O. & ZAINÉ, J.E. - 1996. 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., Rio de Janeiro, 1996. *Anais...* Rio de Janeiro, ABGE, v.2, p. 537-548.
- CERRI, L.E.S.; SILVA, V.C.R. da & AUGUSTO FILHO, O. - 1995. Considerações sobre a representação cartográfica de riscos geológicos. *Revista Instituto Geológico*, São Paulo, volume especial, p.45-49.

- CHRISTOFOLETTI, A. - 1974. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 149 p.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. - 1990. Mapping Geomorphology. In: COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. *Geomorphology in Environmental Management: a new introduction*. New York, Claredon Press. 2.ed., cap. 2, p.19-63.
- COTTAS, L.R. - 1983. Estudos geológico-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro - SP. São Paulo, SP. 171 p., 2 v. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/ USP).
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CRH - 1986. Plano estadual de recursos hídricos. DAEE, São Paulo.
- CUNHA, S.B. da & GUERRA, A.J.T.- 1998. *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Ed. Bertrand, 342 p.
- DE BIASI, M. - 1970. Cartas de declividade: confecção e utilização. *Geomorfologia*, São Paulo, v. 21: 8-13.
- DIAS, R.D. - 1995. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. *Revista Instituto Geológico*, São Paulo, volume especial, p.51-55.
- FREITAS, C.G. *et al.* - 1990. Carta Geotécnica do Município de Guarujá: situações de risco nas diferentes unidades homogêneas. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2., São Paulo, 1990. *Atas ...* São Paulo, p. 359-369.
- FULFARO, V.J. & SUGUIO, K. - 1968. A Formação Rio Claro (Neo-cenozóico) e seu ambiente de deposição. *Boletim Instituto Geográfico e Geológico*, **20**: 45-60.
- FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA UNESP - FUNDUNESP - 1999. Estudos geológico-geotécnicos de detalhe na área de implantação de posto de abastecimento de combustíveis e derivados na Av. Brasil, esquina com Av. M-19, Rio Claro (SP). Rio Claro, Relatório Técnico, 21p., il.

- GENTIL, V. - 1996. *Corrosão*. Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos Científicos. 3 ed., 338p.
- GIBOTTI Jr., M. - 1999. Subsídios geológico-geotécnicos para a implantação de tanques de armazenagem subterrânea de combustíveis: estudo de caso em um solo da Formação Rio Claro. Rio Claro, SP. 94 p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp).
- GRANT, K. - 1975 a. The PUCE Programme for Terrain Evaluation for Engineering Purposes. I. Principles. Melbourne: CSIRO - Division of Applied Geomechanics Technical Paper n. 15, 32p.
- GRANT, K. - 1975 b. The PUCE Programme for Terrain Evaluation for Engineering Purposes. II. Procedures for Terrain Classification. Melbourne: CSIRO – Division of Applied Geomechanics Technical Paper n. 19, 68p.
- GRECCHI, R.C. - 1997. Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba - SP, com auxílio de geoprocessamento. São Carlos, SP, 132 p. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- GUERRA, A. T. - 1980. *Dicionário geológico-geomorfológico*. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 6. ed., 446 p.
- GUERRA, S.M.S. - 1998. Cartografia geológico-geotécnica de áreas costeiras: o exemplo de Suape - PE. Rio Claro, SP, 2 v. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp).
- HOLT, G.S. - 1997. Risk assessment program of underground storage tank systems. In: CORROSION CONFERENCE, 2., Johannesburg, 1997. *Proceedings ...* Johannesburg, 10p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY - IAEG - 1976. *Engineering geological maps: a guide to their preparation*. Paris: Unesco Press. 79p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - 1969. Folha topográfica Rio Claro SF-23-M-I-4, escala 1:50.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - 1994. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro, IBGE, Projeto RADAMBRASIL.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - 1996. Contagem da população 1996. Rio de Janeiro, IBGE, p. 485.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1980. Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente - SP. São Paulo. (IPT - Relatório 11559).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1981. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo- escala 1:1.000.000. São Paulo. 2v. (IPT. Séries Monografias).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1989a. Carta geotécnica do Município de Guarujá - SP. São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - 1989b. Orientação para combate `a erosão no Estado de São Paulo - Bacia do Médio Tietê. Convênio IPT/DAEE. Relatório interno IPT nº 29.004. v. 2. Anexo C (inédito).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1991a. Apoio técnico à elaboração da Carta Geotécnica de Cuiabá - MT. São Paulo. (IPT - Relatório 29.033).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1991b. Carta Geotécnica do Município de Ubatuba - SP. São Paulo. (IPT - Relatório 28.975).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1992. Carta Geotécnica de Petrópolis. São Paulo, (IPT - Relatório 30.339).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1994. Carta geotécnica do Município de São Paulo - SP. São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - 1995a. Mapa de Erosão do Estado de São Paulo - escala 1:1.000.000 . São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT - 1995b. Subsídios técnicos para elaboração de um plano de desenvolvimento sustentável para o Município de Itapeverica da Serra - SP. São Paulo. (IPT - Relatório 32.924/95).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - 1996. Carta geotécnica de São José dos Campos - SP. São Paulo. (IPT - Relatório 34.645/96).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - 1997. Subsídios técnicos para o Plano Diretor de Mococa - SP. São Paulo. (IPT - Relatório 35476/97).

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC - 1979. Folha Córrego Cachoeirinha (63/91)- SF-23-Y-A-I-4-NE-F, escala 1:10.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC - 1979. Folha Ribeirão do Jacutinga (63/90) - SF-23-Y-A-I-4-NE-E, escala 1:10.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC - 1979. Folha Rio Claro I (64/90)- SF-23-Y-A-I-4-SE-A, escala 1:10.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC - 1979. Folha Rio Claro II (64/91) - SF-23-Y-A-I-4-SE-B, escala 1:10.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC - 1979. Folha Rio Claro III (65/90) - SF-23-Y-A-I-4-SE-C, escala 1:10.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC - 1979. Folha Santa Gertrudes I (65/91) - SF-23-Y-A-I-4-SE-D, escala 1:10.000.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY - IAEG - 1992. *Statutes*. Newsletter, nº 19, Paris, dezembro de 1992.



- KELLER, E.A. - 1982. *Environmental Geology*. Columbus, Charles E. Merrill Publishing Company, 3. ed.
- KÖFFLER, N.F. - 1993. Diagnóstico do uso agrícola das terras da bacia do rio Corumbataí (SP). Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp - Rio Claro. Relatório, 102p.
- LEINZ, V. & AMARAL, S.E. - 1989. *Geologia Geral*. São Paulo, Nacional, 11.ed., 512p.
- LOLLO, J.A. de - 1995. O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração de Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação na Quadrícula de Campinas. São Carlos, SP. 253 p. 2v. (Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- MACARI, R. - 1996. Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de Campinas - SP: porção noroeste. Escala 1:25.000. São Carlos, SP, 2v. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/ USP).
- MATHEWSON, C. & FONT, R.G. - 1974. Geologic environment: forgotten aspect in the land use planning process. In: THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ENGINEERING GEOLOGY. Case Histories, USA, Boulder, v.10, p. 23-28.
- MATULA, M. - 1976. Environmental aspects of engineering geological mapping. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF GEOLOGY, 25., Sydney, 1976.
- MELO, M.S. de - 1995. A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neoceno-zóica na Depressão Periférica Paulista. São Paulo, SP. 144 p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).
- MENDES, I.A.- 1993. Carta de energia de relevo. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp, Relatório.
- MONTEIRO. C.A.F. - 1973. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. Instituto de Geografia - USP, São Paulo. 130 p.

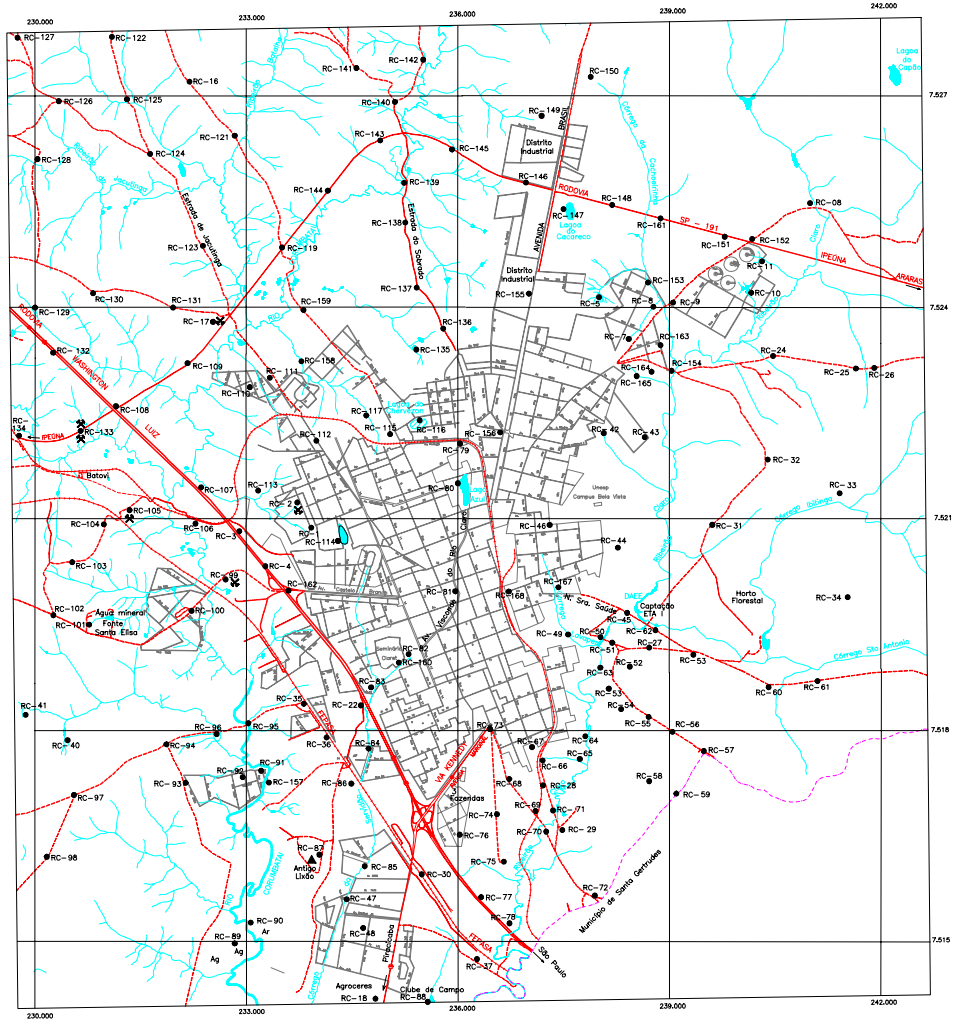
- NAKAZAWA, V.A; PRANDINI, F.L.; SANTOS, A.R. dos & FREITAS, C.G.L. de. - 1991. Cartografia Geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. *Anais...* São Paulo, SBG/SP-RJ, p.329-336.
- OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (editores) - 1998. *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE. 576 p.
- OLIVEIRA, A.M.S.; BITAR, O.Y.; FORNASARI Fº, N. - 1995. Geologia de Engenharia e meio ambiente. In: BITAR, O.Y. (Coordenador). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo. ABGE/IPT, p.5-15.
- OLIVEIRA, E.G. - 1987. Formação Rio Claro - caracterização de uma área para utilização na indústria de vidro e fundição. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., Rio Claro, 1987. *Atas ...* Rio Claro: SBG, v.2, p.401-412.
- PASTORE, E.L. & FORTES, R.M. - 1998. Caracterização e Classificação de Solos. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Editores). *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE. 1ª ed., p.197-210.
- PEJON, O.J. - 1987. Estudos geológico-geotécnicos da região urbana de Araraquara - SP. São Carlos, SP, 2v. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- PEJON, O.J. - 1992. Mapeamento geotécnico regional da Folha de Piracicaba - SP (escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos, SP, 2v. (Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- PENTEADO, M.M. - 1976. Geomorfologia do Setor Centro-Occidental da Depressão Periférica Paulista. Instituto de Geografia - USP. Série Teses e Monografias nº 22, 86 p.
- PENTEADO-ORELLANA, M.M. - 1981. Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro (SP). *Notícia Geomorfológica*, Campinas, **21** (42): 23-56.

- PIRES NETO, A. & YOSHINAGA, - S. 1995. O planejamento territorial no Instituto Geológico: revisão e avaliação da experiência. *Revista Instituto Geológico*, São Paulo, volume especial, p.37-43.
- 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, escala 1:500.000. São Paulo, IPT. 2 V. (Publicação IPT 1183 - Monografias 5).
- PRADO, H. do; OLIVEIRA, J.B. de; ALMEIDA, C.L.F. de - 1981. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. Escala 1:100.000. Instituto Agrônomo de Campinas.
- PRANDINI, F.L. *et al.* - 1980. Carta Geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo, IPT (Relatório Técnico nº 1153). 31p.
- 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.). 1995. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE/IPT-DIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente. p.187-202.*
- REGO, M.C.A.M. - 1997. Mapeamento geotécnico da porção sul da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Descoberto. Brasília, DF. 1v. (Dissertação de Mestrado - Faculdade de Tecnologia/Universidade Nacional de Brasília - UNB).
- RIO CLARO - 1984. Base topográfica, escala 1:10.000. Prefeitura Municipal de Rio Claro, SP.
- RIO CLARO - 1990. Lei Orgânica do Município de Rio Claro - SP.
- RIO CLARO - 1992. Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Rio Claro - SP. Lei Municipal n ° 2492/92, Mapa P-II-2.
- RIO CLARO - 1998. Lei Municipal n ° 2492/98 (Regula a Construção de Postos de Abastecimento e de Serviços de Veículos). Rio Claro, 9p.
- ROSIM, P. - 1997. Características climáticas do Município de Rio Claro (SP) no período de 1955 a 1996. Rio Claro, SP. 36p. (Trabalho de Formatura - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp - Rio Claro).

- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. - 1997. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. p. 15-19.
- RUIZ, M.D. & GUIDICINI, G. - 1998. Introdução à Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Editores). *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE, 1ª ed.p.1-5.
- SANCHEZ, M.C. - 1973. A Cartografia como técnica auxiliar da Geografia. *Boletim de Geografia Teorética*, **3** (6): p.31-46.
- SANCHEZ, M.C. - 1981. Conteúdo e eficácia da imagem gráfica. *Boletim de Geografia Teorética*, **11**(21-22): 74-80.
- SANEJOUAND, R. (ed.) - 1972. *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., 95p.
- SANTOS, A.R. - 1994. Fundamentos filosóficos e metodológicos da geologia de engenharia. São Paulo. Publicação IPT n° 2088, 5p. (Comunicação Técnica).
- SANTOS, M.J.Z. dos - (1986/1987). Análise da variabilidade anual das precipitações em Rio Claro (SP). *Revista de Geografia*, São Paulo, **5/6**: 29-53.
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. - 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. *Anais...* Porto Alegre, SBG, v.1, p. 41-65.
- SEIGNEMARTIN, C.L. 1979. Geologia de Áreas Urbanas: o exemplo de Ribeirão Preto - SP. São Paulo, SP. 2v. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).
- SOARES, P.C. & LANDIM, P.M.B. - 1976. Depósitos cenozóicos na região centro-sul do Brasil. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, **16** (31): 17-39.
- SOUZA, N.C.D.C. de - 1992. Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguai: com base na compartimentação das formas de relevo e perfis tipos de alteração. São Carlos, SP. 2v. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).

- SPIRIDONOV, I. - 1981. Principípios de la metodologie de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico. Trad. Alvarez R. del Busto, Univ. Habana, v. 3.
- TROPMAIR, H. - 1978. Aspectos geográficos - o quadro natural. Rio Claro, Museu Histórico e Pedagógico Amador Bueno da Veiga, p. 75-87.
- TROPMAIR, H. - 1992. *Atlas da qualidade ambiental e de vida de Rio Claro - SP*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP. 72p.
- VARGAS, M. - 1978. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo, McGraw-Hill/Edusp. 509p.
- VARGAS, M. - 1985. Origem e desenvolvimento da Geotecnologia no Brasil. Quipo, São Paulo, v.2, n.2, p.263-279.
- VARNES, D.J. - 1974. The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. *Professional Paper 837*, U.S. Geological Survey, 48p.
- VILAR, O.M.; RODRIGUES, J.E.; NOGUEIRA, J.B. - 1981. Solos colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. Rio de Janeiro, 1981. *Atas ...* Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ - CNPq - ABMS, v.1, p.209-224.
- YOSHINAGA, S.; FERNANDES, A.J.; NOGUEIRA, S.A.A.; HASSUDA, S.; PIRES NETO, A.G. - 1995. Subsídios ao planejamento territorial de Campinas: aplicação da abordagem de tipos de terrenos. *Revista Instituto Geológico*, São Paulo, volume especial, p.71-75.
- ZAINE, J.E. - 1994. Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP). Rio Claro, SP. 98p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP).
- ZAINE, J.E. - 1997. Cartografia geotécnica por meio da sistemática do detalhamento progressivo. Rio Claro, SP. 89 p. (Exame de Qualificação para Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP).

- ZAINE, J.E. & PENTEADO-ORELLANA, M.M. - 1994a. APA Piracicaba no Município de Rio Claro, SP: Proposta de mudança com base em critérios geomorfológicos e políticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos...*Balneário Camboriú, SBG, v.1, p.488.
- ZAINE, J.E. & PENTEADO-ORELLANA, M.M. - 1994b. Evolução de processos morfogenéticos acelerados pela ação antrópica: exemplos em Rio Claro - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos ...* Balneário Camboriú, SBG, v.1, p. 516-517.
- ZAINE, M.F. & PERINOTTO, J.A.J. - 1996. *Patrimônios Naturais e Historia Geológica da Região de Rio Claro - SP*. Câmara Municipal de Rio Claro e Arquivo Público e Histórico do município de Rio Claro, 91 p.: il.
- ZUQUETTE, L.V. - 1987. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. São Carlos, SP. (Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- ZUQUETTE, L.V. - 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, SP. 2v. (Tese de Livre Docência - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).
- ZUQUETTE, L.V. *et al.* - 1991. Carta de risco da região de Ribeirão Preto (SP): escala 1:50.000. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. *Atas ...* São Paulo, SBG, p.361-366.
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. - 1992. Mapeamento geotécnico da região de Campinas (SP, Brasil) e sua importância para o planejamento territorial. *Geociências*, São Paulo, **11**(2); p.191-206.



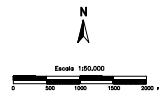
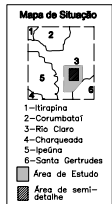
Legenda

RC-34 Pontos estudados

CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

	Área Urbana		Boçoroca
	Rodovias pavimentadas		Boçoroca aterrada
	Estradas não pavimentadas		Limite do Município
	Ferrovia		Mineração
	Lagoa		Mineração abandonada
	Lagoa aterrada		
	Drenagem		

Mapas Base utilizados  
 Folhas 1:110.000 083/090 083/091  
 084/090 084/091  
 085/090 085/091  
 (Folhas pertencentes ao Plano Cartográfico do Estado de São Paulo - Coordenadas de Aço Regional - Divisão de Geografia - 1979)  
 Área urbana: Mapa de Bórnios Prefeitura Municipal de Rio Claro-1:110.000 (1999)  
 Fotografias aéreas 1:25.000-1995



**unesp** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 "JULIO DE MESQUITA FILHO"  
 Campus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós - Graduação em Geociências

Tese de Doutorado  
**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO  
 POR MEIO DA SISTEMÁTICA DO DETALHAMENTO  
 PROGRESSIVO: APLICAÇÃO NA ÁREA  
 URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)**

Doutorando: José Eduardo Zaine  
 Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio S. Cerri

**ANEXO 1  
 MAPA DE PONTOS**

Escala 1:50.000

Rio Claro  
 2000

## **ANEXO 2**

### **RELAÇÃO DOS PONTOS DE OBSERVAÇÃO 1ª ETAPA OU ETAPA GERAL**



**Relação dos pontos de observação - 1ª etapa ou etapa geral**

Ponto	Localização	Unidade geológico-geotécnica	Observação
RC-01	Jd. Santa Elisa, próximo ao conj. habit. CDHU	III/I	
RC-02	Jd. Wenzel – antiga cava	III/I	
RC-03	Rod. Washington Luiz - km 175 + 500 m	III/I	
RC-04	Rod. Washington Luiz - km 175 (trevo da Av Castelo Branco)	III/IV	
RC-05	Boçoroca da Mãe Preta	III-A	
RC-06	Granja Rosada	III-A	boçoroca aterrada
RC-07	Continuação Rua 6 A - saída p/ Araras	III-A	cabeceira de boçoroca aterrada
RC-08	Continuação Rua 6 A - saída p/ Araras	III-A	boçoroca
RC-09	Continuação Rua 6 A - saída p/ Araras	III/I	
RC-10	Boçoroca do Residencial Florença	III-A	
RC-11	Boçoroca do Residencial Florença	III-A	
*RC-12	Fazenda Vista Alegre - Distrito de Ajapi	III/I	
*RC-13	Mineração Mandu - Distrito de Ajapi	III/I	
*RC-14	Estr. vicinal Ajapi - Ferraz	---	
*RC-15	Fazenda Santana do Urucaia	---	
RC-16	Bairro rural Batalha	III/I	
RC-17	Estr. de Jacutinga c/ SP-191 - antiga cava	III/I	
RC-18	Boçoroca da Agroceres - SP-127, km 3	III-A	
*RC-19	Fazenda Santana do Urucaia	---	
*RC-20	Corte da ferrovia - cruzamento c/ SP-191	---	afloramento das “3 Eras”
*RC-21	SP-191 – próximo de Ipeúna	---	
RC-22	Rod. Washington Luiz - Hotel Plaza	IV-B	
*RC-23	SP-191 - “Tira Chapéu”, prox. de Ipeúna	---	
RC-24	Estrada velha de Araras	I	
*RC-25	Estrada velha de Araras	I	
*RC-26	Estrada velha de Araras	II/I	
RC-27	Horto Florestal	II	
RC-28	Estrada vicinal Sta. Gertrudes	III/I	
RC-29	Estrada vicinal Sta. Gertrudes	VI/I	
RC-30	Ferrovia, a sul da SP-127	VI (I)	
RC-31	Horto Florestal	II	
RC-32	Horto Florestal	III	
RC-33	Horto Florestal	II	
RC-34	Horto Florestal	II	
RC-35	Jd. Paulista - ferrovia	III/I	lixão (entulho)
RC-36	Jd. Paulista - ferrovia	III	
RC-37	Ferrovia, próximo do rib. Claro	V/II	
*RC-38	Rod. Washington Luiz - retorno CEPAR	I	
*RC-39	Rod. Washington Luiz - Sta. Gertrudes	---	
RC-40	Boçoroca Sítio Ipê - Campo do Cocho	III-A	
RC-41	Boçoroca Sítio Ipê - Campo do Cocho	III-A	
RC-42	Boçoroca Jd. Bandeirantes	III-A	
RC-43	Conj. hab. Oreste Giovanni - S. Miguel	II db	blocos diabásio
RC-44	Unesp - Asfafi	II db	
RC-45	Captação rib. Claro p/ ETA I	II	

\* Ponto localizado fora do perímetro definido para o estudo.

**Relação dos pontos de observação - 1ª etapa ou etapa geral**

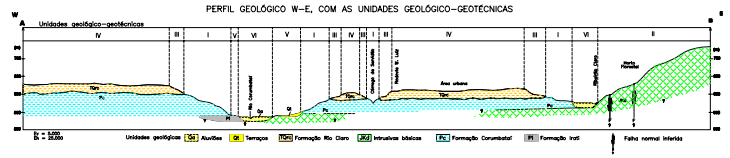
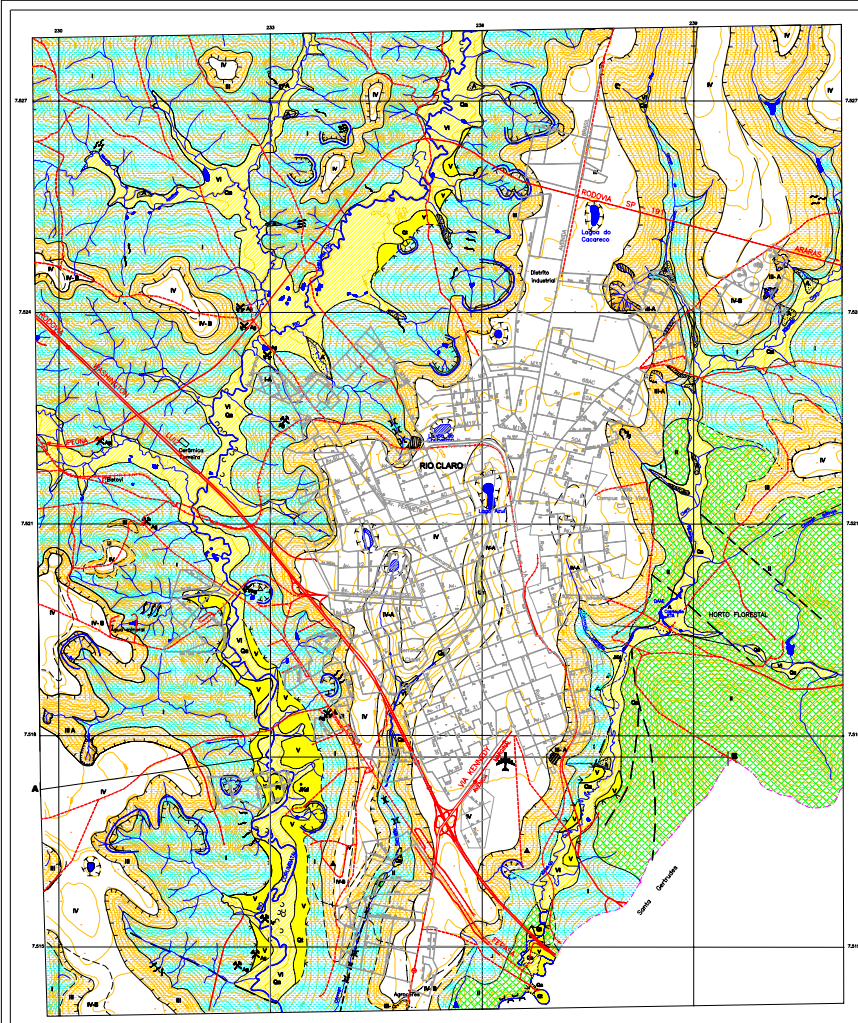
Ponto	Localização	Unidade geológico-geotécnica	Observação
RC-46	Av. 24 A, próximo Av. Ulysses Guimarães	IV-A	
RC-47	Córrego da Servidão - Jd. Novo II	VI/II	
RC-48	Jd. Novo I	III	blocos de laterita ferruginosa
RC-49	Estr. Horto Florestal - córrego Lavapés	VI/I	
RC-50	Estr. Horto Florestal - rib. Claro	<sup>1</sup> VI/I	
RC-51	Estr. Horto Florestal	II db	
RC-52	Horto Florestal - acesso p/ torre TV	II db	
RC-53	Horto Florestal - acesso p/ torre TV	II (Pc)	intercalações da Fm. Corumbataí
RC-54	Horto Florestal - acesso p/ torre TV	II db	
RC-55	Horto Florestal - acesso p/ torre TV	II db	
RC-56	Horto Florestal - acesso p/ torre TV	II db	
RC-57	Horto Florestal - acesso p/ torre TV	II db	alto - divisa c/ Sta. Gertrudes
RC-58	Horto Florestal - próximo torre TV	II db	
RC-59	Horto Florestal	II db	
RC-60	Horto Florestal	II db	
RC-61	Horto Florestal	II db	
RC-62	Horto Florestal	II db/colúvio	blocos de arenito
RC-63	Várzea rib. Claro - V. Paulista	VI/II	
RC-64	Várzea rib. Claro - Jd. Conduta	VI	conj. habit. do Jd. Conduta – projeto “Pé-no-chão”
RC-65	Jd. Conduta - afluente rib. Claro	Pc/VI	erosão fluvial/leque assoreamento
RC-66	Jd. Conduta - erosão ferroviária	III/I	solo hidromórfico
RC-67	Praça Tilápias	III	recuperação de boçoroca
RC-68	Rua 9 - estr. velha Sta. Gertrudes	IV	lixo
RC-69	Rua 9 - estr. velha Sta. Gertrudes	I	
RC-70	Rua 9 - estr. velha Sta. Gertrudes	VI	rib. Claro
RC-71	Estr. vicinal Sta. Gertrudes - entrada Faz. Pindorama	I	antiga cava
RC-72	Estr. vicinal Sta. Gertrudes - próx. divisa c/ RC	I	lixão Sta. Gertrudes
RC-73	Aeroclube - Posto Copacabana	IV	
RC-74	Estr. Matadouro	IV	
RC-75	Estr. Matadouro	III	
RC-76	Marginal Aeroclube	IV	
RC-77	Rod. Washington Luiz - subida rib. Claro	I	
RC-78	Rod. Washington Luiz - subida rib. Claro	V	
RC-79	Pontilhão Jd. Primavera	IV-A	
RC-80	Lago Azul	IV-A	
RC-81	Espaço Livre Av. Visc. Rio Claro	VI/IV-A	
RC-82	Av. Tancredo Neves - próx. Mc Donalds	IV-A	
RC-83	Av. Tancredo Neves - balão Rodoviária	VI/IV-A	
RC-84	Inocoop	VI/I	
RC-85	Jd. Guanabara	II	
RC-86	Jd. Brasília	III	
RC-87	Jd. Esmeralda/Estr. Costas	IV-B	antigo lixão
RC-88	Clube de campo - represa	II	
RC-89	Lavra argila, a sul do Jd. Nova Rio Claro	V/I	2 áreas de lavra
RC-90	Porto de areia - rio Corumbataí	VI	

**Relação dos pontos de observação - 1ª etapa ou etapa geral**

Ponto	Localização	Unidade geológico-geotécnica	Observação
RC-91	Jd. Nova Rio Claro	V/I	Formação Irati
RC-92	Jd. Nova Rio Claro	I	
RC-93	Jd. Nova Rio Claro	III/I	
RC-94	Estr. velha de Ipeúna	III	argilitos
RC-95	Estr. velha de Ipeúna/rio Corumbataí	VI	
RC-96	Estr. velha de Ipeúna	I	
RC-97	Estr. velha de Ipeúna - campo do Cocho	IV	
RC-98	Campo do Cocho	IV	próx. lagoa
RC-99	Estr. velha de Ipeúna/Jd. Bonsucesso	I	antiga lavra argila - lixão
RC-100	Jd. Bonsucesso	I	
RC-101	Estr. velha de Ipeúna - saída pela Av. Castelo Branco	III	água mineral Classic
RC-102	Estr. velha de Ipeúna	IV	
RC-103	A sul de Batovi	III	argilitos c/ fósseis
RC-104	A sul de Batovi - próximo ferrovia	III/I	contato inclinado TQrc/Pc
RC-105	A sul de Batovi - próximo ferrovia	I	lavra de argila
RC-106	Estrada de Batovi - Jd. Sigal	VI/I	loteamento cancelado
RC-107	Rod. Washington Luiz/rio Corumbataí	VI	
RC-108	Rod. Washington Luiz, cruzamento c/ SP-191	I	
RC-109	SP-191	I	“bica”
RC-110	Jd. Boa Vista (Nosso Teto)	I-A	
RC-111	Jd. Boa Vista (Nosso Teto)	I	solo litólico
RC-112	Estrada Jacutinga – Jd. Araucária	IV-III	
RC-113	Jd. Panorama	I	solo litólico
RC-114	Lagoa da cerâmica Wenzel	IV(IV-A)	
RC-115	Antigo lixão Rua 6 - Cervezon	III	
RC-116	Lagoa Seca do Cervezon	IV(IV-A)	aterrada
RC-117	Córrego Olinda Jd. Azul - Jd. S. Caetano	I	erosão fluvial
RC-118	Jd. Progresso	I	solo litólico
RC-119	Continuação Rua 6, cruzamento c/ SP-191	I	
RC-120	Continuação Rua 6 - zona rural	III/I	
RC-121	Continuação Rua 6 - zona rural	I	
RC-122	Continuação Rua 6 - zona rural	III/I	
RC-123	Estrada de Jacutinga - zona rural	I	
RC-124	Estrada de Jacutinga - zona rural	I	
RC-125	Estr. Ferraz e Faz. Santana do Urucaia	I	
RC-126	Estrada Jacutinga - zona rural	I	
RC-127	Estr. Jacutinga e Faz. Santana do Urucaia	I	
RC-128	Jacutinga - zona rural	I	
RC-129	Estrada velha Brotas/Posto Caçador	IV/III	
RC-130	Estrada velha Brotas/Posto Caçador	IV/III	
RC-131	Estrada velha Brotas/Posto Caçador	IV- IV-B	
RC-132	Rod. Washington Luiz - pedágio	I	
RC-133	SP-191	I	lavras
RC-134	SP-191 cruzamento c/ antiga ferrovia	VI/I	
RC-135	Pesque-pague - Jd. Boa Esperança	I	anfiteatro de nascentes

**Relação dos pontos de observação - 1ª etapa ou etapa geral**

<b>Ponto</b>	<b>Localização</b>	<b>Unidade geológico-geotécnica</b>	<b>Observação</b>
RC-136	Estrada do Sobrado (Frigorífico Xavier)	IV	bolsão de entulho
RC-137	Estrada do Sobrado	I	
RC-138	Estrada do Sobrado	V	olaria
RC-140	Estrada do Sobrado	VI/I	
RC-139	Estrada do Sobrado	VI	sítio da ilha
RC-141	Bairro do Sobrado	III/I	
RC-142	Bairro do Sobrado	VII	
RC-143	SP-191 - Sobrado	I	
RC-144	SP-191	I	
RC-145	SP-191	I	
RC-146	SP-191	IV	
RC-147	Posto Cacareco - lagoa seca	IV (IV-A)	
RC-148	SP-191	III	
RC-149	Distrito Industrial	III	
RC-150	Sítio a norte do Distrito Industrial	III	boçoroca aterrada
RC-151	SP-191	IV	
RC-152	Continuação Rua 6 A - Recreio das Águas Claras	III/I	
RC-153	Bairro Mãe Preta	VI-II	depósito assoreamento
RC-154	Vila Industrial - córrego Cachoeirinha	VI-II	enchentes, assoreamento e turfas
RC-155	Escavação Distrito Industrial	IV	
RC-156	Av. Brasil c/ Av. M 19	IV	trado
RC-157	Jd. das Palmeiras - obras da ETE	V/II	
RC-158	Córrego Olinda - Jd. das Flores	VI	depósito assoreamento
RC-159	Continuação Rua 6	V/I	
RC-160	Av. Tancredo Neves - entrada Sé Supermerc.	VI/IV-A	obra/drenos
RC-161	SP-191 - córrego Cachoeirinha	III/I	
RC-162	Trevo Rod. Washington Luiz - Av. Castelo Branco	IV	lamitos
RC-163	Vila Industrial	VI/I	turfas
RC-164	Vila Industrial	III-A	boçoroca
RC-165	São Miguel/Horto	III-A	boçoroca
RC-166	Norte da SP-191	I	
RC-167	Av. Ulysses Guimarães/Av. N. Sra. Saúde	IV-A	
RC-168	AV. 6 A - bairro Cidade Nova	IV	trincas nas casas



LEGENDA  
Unidades Geológico-Geotécnicas

Características	Denúncia Geológica	Semiomorfologia (Categorias de relevo)	Solo	Declividade	Cobertura de vegetação	Profundidade do aquífero	Principais processos/potenciais
IV	Depósitos glaciais de superfícies de	1.1 Planícies inundáveis	Hidromórficos e orgânicos	Baixas	Depois (C3m)	Baixas (<3m)	*Inchadas
V	Depósitos glaciais de superfícies de	1.2 Terças de deposição glaciais	Hidromórficos e orgânicos	Baixas	Depois (C3m)	Baixas (<3 a 5m)	
VI	Depósitos glaciais de superfícies de	2.1 Planícies inundáveis	Litosseco arenoso (residual)	Baixas (C30)	Depois (10 a 20m)	Profundas (10 a 20m)	* Inchaço e Assentamento
VI-A	Depósitos glaciais de superfícies de	2.2 Terças de deposição glaciais	Hidromórficos, orgânicos (turfa) e pedregosos	Médo (2 a 15%)	Baixas (10 a 25m)	Baixas (10 a 25m)	* Estruturação por inchaço e assentamento, * Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento
VI-B	Depósitos glaciais de superfícies de	2.3 Terças de deposição glaciais	Litosseco	Médo (2 a 10%)	Depois (10 a 20m)	Profundas (10 a 15m)	* Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento
III	Depósitos glaciais de superfícies de	3.1 Planícies inundáveis	Litosseco e pedregoso	Médo a alta	Variação (5 a 25m)	Variação (5 a 25m)	* Estrada: sulcos
III-A	Depósitos glaciais de superfícies de	3.2 Terças de deposição glaciais	Litosseco e pedregoso	Alta a médo	Variação (5 a 25m)	Variação (5 a 25m)	* Estrada: sulcos (depósitos)
II	Depósitos glaciais de superfícies de	4.1 Planícies inundáveis	Terra rosa e estratificada (argilas, silte, areia)	Médo a alta (terras baixas, argilas)	Variação (5 a 25m)	Variação (5 a 25m)	* Escorridão
II-A	Depósitos glaciais de superfícies de	4.2 Terças de deposição glaciais	Médo/baixa (terras baixas, argilas)	Pedregoso e litosseco	Baixas a médo	Médo (2 a 5m)	chuva, * Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento, * Inchaço e Assentamento
I	Depósitos glaciais de superfícies de	5.1 Planícies inundáveis	Pedregoso (C3m) e litosseco	Baixas a médo	Depois (10 a 25m)	Baixas (10 a 25m)	* Terra e Lixo/ esgoto abandonado em * Estrada em * Estrada em

CONVENÇÕES GEOMORFOLÓGICAS

ELEMENTOS DE RELEVO E DRENAGEM  
FEIÇÕES MORFOLÓGICAS SUBORDINADAS

	Anfiliteiros de nascentes de drenagem
	Anfiliteiros de nascentes de baixa encosta
	Limites colinas amplas (quebras positivas)
	Limites terraços/encosta (quebras negativas)
	Lagos de lago e de cabeceira (depressões fechadas)
	Drenagens encobertas
	Cone de deposição (A) depósitos de assoreamento
	Meandros abandonados
	Boçoroca
	Boçoroca aterrada
	Ravinas
	Sulcos generalizados
	Linha de falha ou fratura
	Limites das unidades de terreno verificadas, inferidas, encobertas

CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

	Drenagem		Curvas de nível
	Drenagem retificada		Limite de município
	Drenagem canalizada		Área urbana
	Lagoa		Extração mineral
	Lagoa aterrada		Cava de mineração abandonada
	Estradas pavimentadas, não pavimentadas		Depósito de lixo/ entulho
	Ferrovia		

Mapas Base utilizados  
 Folhas 1:10.000 063/090 063/091 064/090 064/091 065/090 065/091  
 (Folhas pertencentes ao Plano Cartográfico do Estado de São Paulo - Coordenadoria de Apoio Regional - Direção de Geografia - 1979)  
 Área urbana: Mapa de Bairros Prefeitura Municipal de Rio Claro-110.000 (1999)  
 Fotografias aéreas 1:25.000-1995

Escala 1:25.000

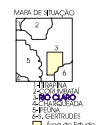
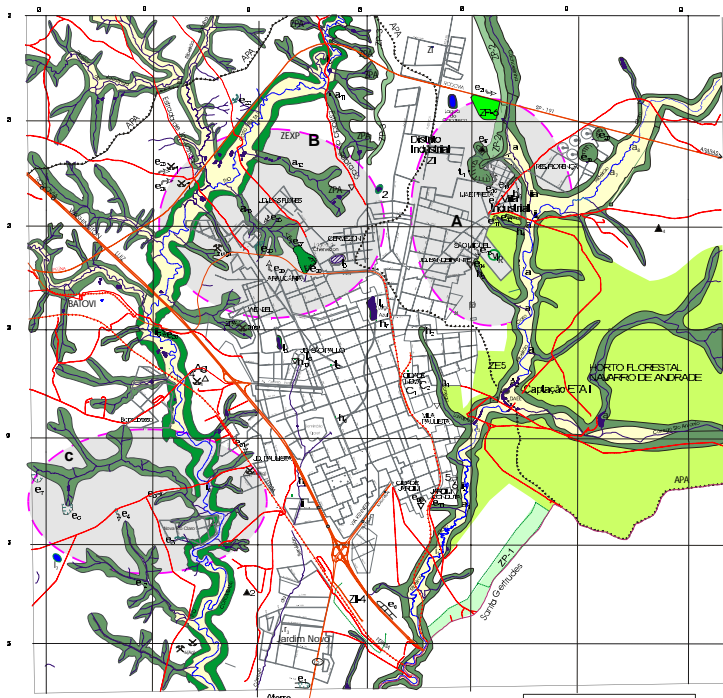
Mapa de Situação



**unesp** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO" - Câmpus de Rio Claro - Centro de Planejamento de Uso do Solo

Tese de Doutorado  
**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO POR MEIO DO MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO: ENSAIO DE APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)**  
 Doutorando: José Eduardo Zaine  
 Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio S. Cerri

**ANEXO 3**  
**MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO**  
 Escala 1:25.000  
 Rio Claro  
 2000



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1959  
E CORREÇÃO DE INCLINAÇÃO  
DO CENTRO DA FOLHA  
N. 14.381  
1995

A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA  
CRESCE ANUALMENTE

Convenções cartográficas	
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]
[Symbol]	[Symbol]

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL		
ZONAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL		
LEIS DO ZONAMENTO URBANO E RURAL (PLANO DIRETOR) E DE LEGISLAÇÃO MUNICIPAL	LEGISLAÇÃO FEDERAL (1) E ESTADUAL (2)	
[Symbol]	Zona de Proteção de Lagos (30 metros em torno)	APP (1)
ZP-30	Zona de Proteção Ambiental de 30 metros para cada lado	APP-30m (1)
ZP-50	Zona de Proteção Ambiental de 50 metros para cada lado (Rio Cumbatal)	APP-50m (1)
ZP-5	Planície Aluvial (várzea) * Ajustado de acordo com os limites da Unidade V - Anexo 3	Áreas sujeitas a inundação periódicas (2)
ZP-A	Zona de Proteção de Anfleiteiros de Nascentes	
ZP-AN	Zona de Proteção de Anfleiteiro (Impactado por Voçoroca)	
[Symbol]	Zona Degradada por Mineração (Paisagem a Recuperar) Voçorocas e Áreas de Risco de Impacto	
[Symbol]	Zona de Proteção (Área Verde) faixa de 200 m junto a divisa com o município de Santa Gertrudes	
ZP-2	Zona de Proteção de 250m junto a margem direita do córrego Cachoeirinha próximo ao DI	
ZP-3	Zona de Proteção de 100m junto ao limite do DI na vertente do Vais do Cumbatal	
ZP-3	Zona de Proteção de Remanescente Florestal	
ZP-5	Zona Especial do Horto Florestal	tombada pelo CONDEPHAAT (2)
[Symbol]	Zonas Industriais (incluindo o Distrito Industrial)	limite APA Praticaba Área I - (2)
ZEXP	Zona de Expansão Urbana	

REGISTROS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/ÁREAS PROBLEMÁTICAS		(nº de registros)
[Symbol]	Erosão (Processos erosivos instalados)	31
[Symbol]	Assoreamento	15
[Symbol]	Áreas com registro de colapso	02
[Symbol]	Soils Hidromórficos (plástico) e turfeiras	10
[Symbol]	Escorregamentos	03
[Symbol]	Blocos rochosos (escavabilidade)	03
[Symbol]	Inundações Periódicas	10
[Symbol]	Cava Abandonada (mineração ou área de empilhamento)	06
[Symbol]	Lagoas e lagoas aterradas	07
[Symbol]	Lago, Entulho, Áreas aterradas com entulho	10

Envoltória de áreas mais impactadas e ou de maior fragilidade



Tese de Doutorado

MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO  
POR MEIO DA SISTEMÁTICA DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO:  
APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)

Doutorando: José Eduardo Zaine  
Orientador: Prof. Dr. Leandro E. S. Cerri

**ANEXO 4**  
**MAPA DE ZONAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DE REGISTROS DE PROBLEMAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS**  
Rio Claro (SP)  
2000

## **ANEXO 5**

### **RELAÇÃO DE LOCAIS COM PROBLEMAS AMBIENTAIS DE NATUREZA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

**(complementar ao Mapa de zonas de proteção ambiental e de  
registros de problemas geológico-geotécnicos - ANEXO 4)**

## Relação de locais com problemas ambientais de natureza geológico-geotécnica

**1. Processos erosivos instalados:** representados pela letra “e” no ANEXO 4  
(contempla: boçorocas, boçorocas aterradas, erosão em ruas, ravinas, sulcos e erosão fluvial)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
e-1	Boçoroca Agroceres/SP-127, km 3	S	III	
e-2	Sulcos generalizados	SW	I	
e-3	Sulcos generalizados - próx. Nova RC	SW	I	
e-4	Ravina cabeceira córrego - Campo do Cocho	SW	III/I	
e-5	Ravina (antigo leito de estrada)	SW	I	
e-6	Boçoroca - Campo do Cocho	WSW	III	
e-7	Boçoroca - Campo do Cocho	WSW	III	
e-8	Boçoroca linear paralela à Rod. W. Luiz	S	III/I	com obras de contenção
e-9	Boçoroca aterrada - Praça Tilápias	SE	III/I	área recuperada e urbanizada
e-10	Boçoroca Jardim Conduta	SE	III/I	área recuperada parcialmente na rodovia e ferrovia
e-11	Boçoroca São Miguel/Horto	NE	III	cabeceira do córrego
e-12	Boçoroca Horto/Vila Industrial	NE	III/I	área recuperada parcialmente
e-13	Erosão em rua do bairro S. Miguel	NE	III	
e-14	Boçoroca Jardim Bandeirantes	NE	III	aterrada
e-15	Boçoroca linear paralela à rua 6-A, bairro Mãe Preta	NE	III	aterrada parcialmente com entulho
e-16	Boçoroca Mãe Preta	NE	III	com disciplinamento de águas
e-17	Boçoroca Granja Rosada	NE	III	aterrada com fibra de vidro
e-18	Erosão em rua - bairro Mãe Preta	NE	III	
e-19	Boçoroca Residencial Florença	NE	III/I	com disciplinamento de águas
e-20	Boçoroca Residencial Florença	NE	III	
e-21	Ravina paralela à SP-191	NE	III	
e-22	Ravina zona rural	N	III/I	
e-23	Ravinas e sulcos em área terraplenada	NW	IV/III	
e-24	Ravinas e sulcos em área terraplenada	NW	IV/III	
e-25	Erosão em rua Jardim das Flores	N	aterro	recuperada
e-26	Erosão fluvial Jardim Santa Maria	N	I	*área de risco
e-27	Erosão fluvial córrego Olinda - Cervezon	N	I	*área de risco
e-28	Boçoroca cabeceira drenagem	N	III/I	aterrada com entulho e lixo
e-29	Erosão ruas - Jardim Araucária	N	IV/III	recuperada
e-30	Sulcos generalizados - estrada de Batovi	NW	I	loteamento cancelado
e-31	Erosão Jardim Paulista - antiga estrada Ipeúna	NW	III/I	junto à antiga cava



## Relação de locais com problemas ambientais de natureza geológico-geotécnica

**2. Depósitos de assoreamento mapeados e/ou registrados:** representados pela letra “a” no ANEXO 4

(contempla: depósitos tipo leques associados aos processos erosivos e depósitos ao longo dos corpos d’água)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
a-1	Afluente do rib. Claro - Jardim Conduta	E	VI	associado a e-9
a-2	rib. Claro - captação ETA I	E	VI	*a-2 a 5 associados com boçoroca e erosões em área urbana
a-3	rib. Claro - captação ETA I	E	VI	
a-4	Afluente rib. Claro	NE	VI	
a-5	ribeirão Claro	NE	VI	
a-6	Planície rib. Claro - Vila Industrial	NE	VI	associado a e-12
a-7	Afluente do rib. Claro - Res. Florença	NE	VI	associado a e-19
a-8	Afluente do rib. Claro - Res. Florença	NE	VI	associado a e-20
a-9	rib. Cachoeirinha - bairro Mãe Preta	NE	VI	associado a erosões na implantação do bairro
a-10	Confluência córregos Mãe Preta e Cachoeirinha	NE	VI	associado a e-16/e-17
a-11	Afluente do rio Corumbataí	N	VI	
a-12	Afluente do rio Corumbataí	N	VI	
a-13	córrego Olinda	N	VI	
a-14	rib. Jacutinga e córrego Batalha	NW	VI	vários depósitos
a-15	córrego das Araras - Batovi	W	VI	

**3. Registros de casos de colapso de solo:** representados pela letra “c” no ANEXO 4

(contempla: ocorrência de trincamento em edificações e afundamento da superfície do terreno)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
c-1	Trincas em 17 casas na Av. 6-A bairro Cidade Nova	C	IV	associado a chuvas e vazamentos em tubulações enterradas
c-2	Trincas em reservatório do DAAE - ETA I	C	IV	associado a chuvas e vazamentos em tubulações enterradas

### Relação de locais com problemas ambientais de natureza geológico-geotécnica

**4. Ocorrências de solos orgânicos e hidromórficos de fundo de vale - solos plásticos:** representadas pela letra “h” no ANEXO 4  
(contempla: locais com registro de solo de comportamento plástico)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
<b>h-1</b>	córrego Lavapés / Av. Ulysses Guimarães	E	IV-A	
<b>h-2</b>	córrego Lavapés / Av. Ulysses Guimarães	E	IV-A	
<b>h-3</b>	córrego Jardim Bandeirantes	NE	III-A	retirada irregular de turfa
<b>h-4</b>	córrego S. Miguel - Horto Florestal	NE	I\VI	
<b>h-5</b>	Vila Industrial - Horto Florestal	NE	I\VI	
<b>h-6</b>	Abaixo da boçoroca da Mãe Preta	NE	III-A	
<b>h-7</b>	Orla do Lago Azul - margem cór. da Servidão	central	IV-A	
<b>h-8</b>	cór. da Servidão - Av. Tancredo Neves	central	IV-A\VI	
<b>h-9</b>	cór. da Servidão - Jardim Inocoop	S	I\VI	
<b>h-10</b>	Lagoa aterrada - Jardim S. Paulo e córrego Wenzel	W	IV-A	

**5. Ocorrências de escorregamentos - instabilidade de taludes:** representadas pela letra “t” no ANEXO 4  
(contempla: acidentes localizados, associados a taludes artificiais e aterros)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
<b>t-1</b>	Escorregamentos nos taludes da boçoroca	NE	III-A	boçoroca do bairro Mãe Preta
<b>t-2</b>	Talude de corte Hospital Unimed	Central	IV	
<b>t-3</b>	Av. Tancredo Neves - próximo Sé Superm.	Central	IV-A\aterro	
<b>t-4</b>	Corte da ferrovia - Jardim Paulista	W	III	

**6. Ocorrências de núcleo e blocos rochosos de difícil escavação:** representadas pela letra “r” no ANEXO 4  
(contempla: blocos de diabásio e lateritas ferruginosas)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
<b>r-1</b>	Rocha sã (diabásio) sub-aflorante - próx. ETA I	E	II	uso de explosivo para abertura de vala
<b>r-2</b>	Blocos de diabásio - conj. habit. Oreste Giovanni - S. Miguel	E	III/II	
<b>r-3</b>	Blocos de lateritas ferruginosas - Jd. Novo I	S	III	
<b>r-4</b>	Rocha sã (diabásio) sub-aflorante - SP-127, km 4	S	II	ponto localizado 1 km a sul da área de estudo

### Relação de locais com problemas ambientais de natureza geológico-geotécnica

#### 7. Áreas com registro e sujeitas a enchentes e inundações periódicas: representados pela letra "i" no ANEXO 4

(contempla: planícies de inundação e zonas alagáveis de escoamento pluvial lento)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
<b>i-1</b>	rib. Claro - estrada de Santa Gertrudes	S	VI	
<b>i-2</b>	rib. Claro - Jardim Conduta	S	VI	
<b>i-3</b>	rib. Claro - Vila Paulista	E	VI	
<b>i-4</b>	cór. Cachoeirinha e Rib. Claro, Vila Industrial	NE	VI	
<b>i-5</b>	rio Corumbataí - estrada do Sobrado	N	VI	
<b>i-6</b>	rio Corumbataí - estrada de Batovi	NW	VI	loteamento cancelado
<b>i-7</b>	rio Corumbataí - estrada velha de Ipeúna	W	VI	acesso ao bairro Bonsucesso
<b>i-8</b>	rio Corumbataí - estrada velha de Ipeúna (2)	W	VI	saída Hotel Plaza
<b>i-9</b>	rio Corumbataí - Jardim Nova Rio Claro	W	VI/V	
<b>i-10</b>	cór. da Servidão - Av. Visc. do Rio Claro	Central	VI	

#### 8. Áreas em atividade ou desativadas de exploração mineral: representadas pelo símbolo "X" no ANEXO 4

(contempla: cavas de mineração em atividade atual ou desativadas)

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
<b>X-1</b>	Antiga cava de argila e área de empréstimo (retirada de solo) - estrada de Jacutinga	NW	I\III	
<b>X-2</b>	Cava de argila Cerâmica Ferreira - Jd. Boa Vista	NW	I	
<b>X-3</b>	Antiga cava Cerâmica Wenzel	NW	I\III	
<b>X-4</b>	Cava de argila desativada - estr. velha de Ipeúna	W	I	atual depósito de entulho
<b>X-5</b>	Antiga cava de argila - Jardim Paulista	W	I\III	atual depósito de entulho
<b>X-6</b>	Cava de argila Cerâmica Ferreira e Tuti Mineração	SW	I\V	lavra e área de secagem

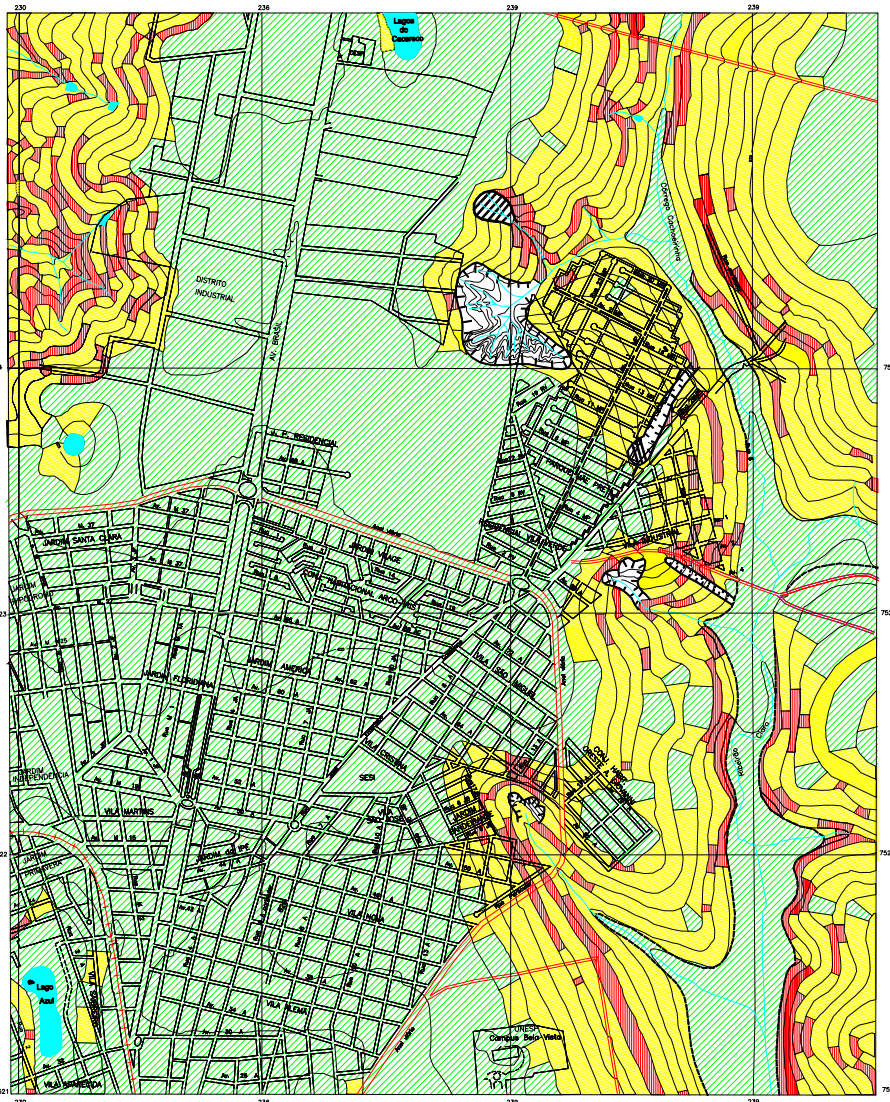
### Relação de locais com problemas ambientais de natureza geológico-geotécnica

**9. Lagoas e lagoas secas, depressões fechadas e de cabeceira de drenagem:** representadas pela letra "I" no ANEXO 4  
(contempla: áreas de grande fragilidade associadas a lagoas pouco modificadas ou aterradas e urbanizadas )

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
I-1	Lagoa do Posto Cacareco	N	IV	
I-2	Lagoa próxima ao Distrito Industrial	N	IV	
I-3	Lagoa aterrada, drenada e urbanizada - Cervezon	N	IV	
I-4	Lago Azul - lagoa de cabeceira	Central	IV-A	
I-5	Cerâmica Wenzel (parcialmente aterrada)		IV	
I-6	Lagoa aterrada e drenada - Jardim S. Paulo		IV-A	
I-7	Campo do Cocho - zona rural	SW	IV	Área de cava

**10. Áreas com lixo, entulho e aterradas com entulho:** representadas pelo símbolo  $\Delta$  no ANEXO 4

Nº	Descrição/local	Zona	Unidade geológico-geotécnica	Observações
$\Delta$ -1	Aterro Sanitário	S	IV-B	rodovia SP-127, km 3
$\Delta$ -2	Antigo lixão do Jd. Guanabara	S	IV.B	
$\Delta$ -3	Aterro industrial (fibra de vidro) - Granja Rosada	NE	III-B	boçoroca aterrada
$\Delta$ -4	Aterro industrial - estrada velha de Araras	NE	III	resíduos da indústria Nheel Química



Legenda

INTERVALOS DE DECLIVIDADES

- 0 - 5%
- 5 - 15%
- > 15%

CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

- Boporeca
- Boporeca alterada
- Limite de cidade (unidade V)
- Lagoa
- Lagoa alterada
- Drenagem
- Área Urbana
- Rodovias pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Ferrovia

Verse Bon offshoot

Folhas 1:10.000 042/200 043/201  
044/202 045/203  
(Folhas pertencentes ao Plano Cartográfico do Estado de São Paulo - Cartografia de 1970 - Regime - Estado de São Paulo - 1970)  
Para outros mapas de Boporeca, Prefeitura Municipal de Rio Claro - 1:10.000 (1999)  
Fotografias aéreas 1:50.000 - 1997

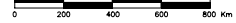
Mapa de Situação



- 1 - Itaipava
  - 2 - Carumbaté
  - 3 - Rio Claro
  - 4 - Chavantes
  - 5 - Ipaema
- Santa Gertrudes  
 Área de Estudo  
 Área de semi-detalhe



Escala 1:10.000



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Rio Claro  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Curso de Pós-Graduação em Geociências

Tese de Doutorado

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO  
POR MEIO DO MÉTODO DO DETALHAMENTO  
PROGRESSIVO: ENSAIO DE APLICAÇÃO NA ÁREA  
URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)**

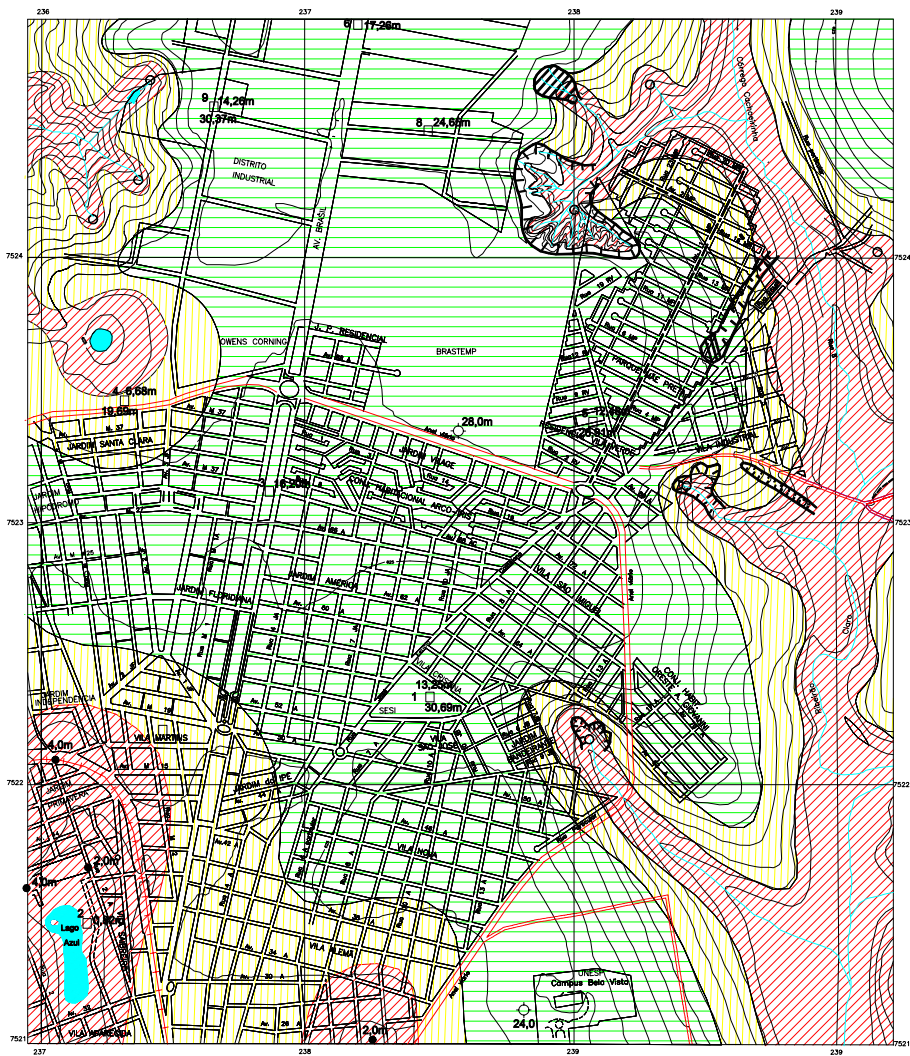
Doutorando: José Eduardo Zaine  
Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio S. Cerri

ANEXO 6

**MAPA DE DECLIVIDADES**  
ÁREA - TESTE - SEGUNDA ETAPA - SEMI-DETALHE

Escala 1:10.000

Rio Claro  
2000



Legenda

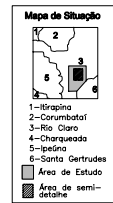
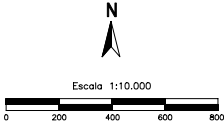
<p><b>INTERVALOS DE PROFUNDIDADE DO NA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;5m</li> <li>5-10m</li> <li>&gt;10m</li> </ul> <p>nascentes, minas, olhos d' água</p> <p>dados de escavações</p> <p>Profundidade do NA</p> <p>poços (água subterrânea)</p> <p>Nº de SEV</p> <p>13,26 m</p> <p>Sondagem Elétrica Vertical</p> <p>30,09 m</p> <p>Profundidade de cobertura Incompletada</p>	<p><b>CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baçanora</li> <li>Baçanora aterrada</li> <li>Limite de aluvião (unidade VI)</li> <li>Lagoa</li> <li>Drenagem</li> <li>Curvas de nível</li> <li>Área Urbana</li> <li>Rodovias pavimentadas</li> <li>Estradas não pavimentadas</li> <li>Ferrovia</li> </ul>
--	--

Mapas Base utilizadas  
 Folhas 1:10.000 063/090 063/091  
 064/090 064/091  
 065/090 065/091

(Folhas pertencentes ao Plano Cartográfico do Estado de São Paulo - Coordenadas de Açúcar Regional - Divisão de Geografia - 1979)

Área urbana - Mapa de Bases Prefeitura Municipal de Rio Claro-1:10.000 (1999)

Fotografias aéreas 1:25.000-1995



**unesp** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 "JULIO DE MESQUITA FILHO"  
 Campus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências

**Tese de Doutorado**  
**MAPEAMENTO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO**  
**POR MEIO DO MÉTODO DO DETALHAMENTO**  
**PROGRESSIVO: ENSAIO DE APLICAÇÃO NA ÁREA**  
**URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)**

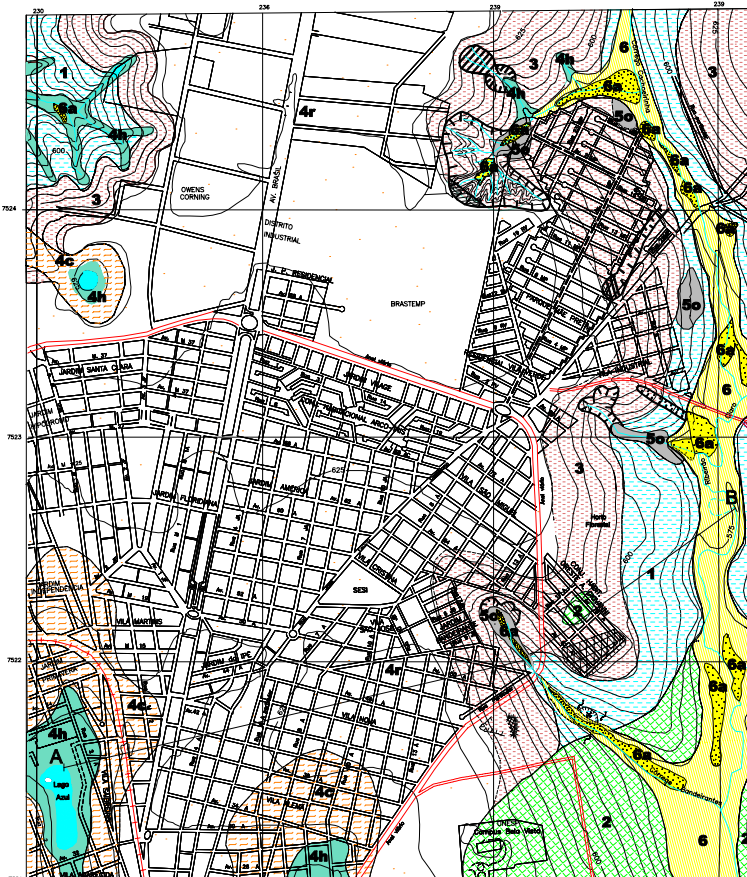
Doutorando: José Eduardo Zaine  
 Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio S. Cerrí

**ANEXO 7**  
**MAPA INDICATIVO DA PROFUNDIDADE**  
**DO NÍVEL DE ÁGUA (N.A.) SUBTERRÂNEO**

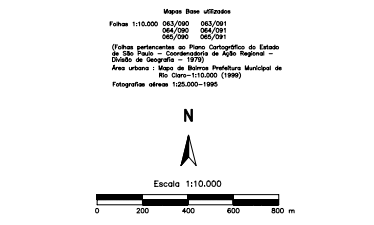
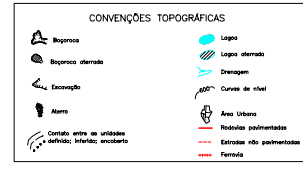
**SEGUNDA ETAPA - SEMI-DETALHE (INTERMEDIÁRIA)**

Escala 1:10.000

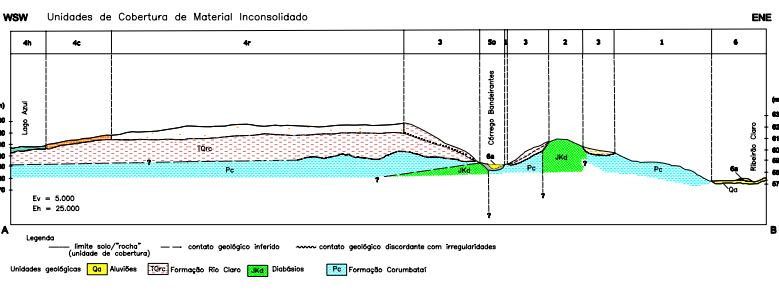
Rio Claro  
 2000



UNIDADES DE COBERTURA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS	Descrição	LEGENDA		CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS (Resistência, cobertura de material inconsolidado, profundidade do N.A. e outros parâmetros)
		Unidades Geológicas	Substrato Geológico	
5a	Solo predominantemente arenoso, constituído de depósitos de arenamento, ocorrendo em forma de lajeas, em áreas de confluência de drenagens e em corpos alongados paralelos aos cursos d'água.	VI	Qa	Material heterogêneo, predominantemente arenoso, com espessuras máximas de 1 a 2 m, podendo conter fragmentos de materiais diversos provenientes principalmente de áreas urbanas (concreto, cerâmicas, etc.). Associado a processos erosivos a montante e indica local de mudança de energia de flúvia de mudança de energia de transporte das águas e enterradas. Altera o diâmetro flúvia e o seu escoamento. Podem comprometer o captação de água para abastecimento público (quantidade e qualidade).
6	Solo colúvion / heterométrico associados às planícies aluvionares de município (Tendas de vales do ribeirão Claro, Corumbatuf e principais afluentes).	VI	Qa	Áreas planas com alternância (tanto na horizontal como na vertical) de argilas e areias, com espessuras estimadas de 3 a 5 m e N.A. a menos de 2 m de profundidade. Áreas sujeitas a cheias periódicas e áreas de proteção de mananciais e abastecimento público, na bacia do ribeirão Claro, a montante de confluência do EA (Área 3). Ocorrência de lagos naturais (meandros abandonados) e cavidades de áreas de entorção de argila para óleos (amarela).
5a	Solo arenoso e argiloso, de cores cinza claro a escuro, heterométrico com material argiloso arenoso, em alguns pontos níveis turbulentos de até 50 cm de espessura. Ocorre em áreas de baixa encosta associada a áreas de nascente atual ou representando antigos cabeceiras de drenagens. São áreas bem marcadas nos aerofotos, tanto pela sua feição de relevo, como pela tonalidade mais escura (áreas de maior umidade).	V, VI, III	Qc / Tqrc / Pc	Material com plasticidade elevada, com baixa capacidade de suporte. Pode estar associado com minas d'água. Em alguns pontos, a rede de drenagem não apresenta critérios técnicos adequados, utilizado para obras de drenagem, tem gerado algumas áreas degradadas.
4a	Solo heterométrico argiloso, com material orgânico associado, com ocorrência ao longo dos corpos dos corpos d'água (lagos, nascentes e córregos).	IV, V-A	Uu / Tqrc / Pc	Material com plasticidade elevada, com baixa capacidade de suporte. Pode estar associado com minas d'água.
4c	Solo colúvion arenoso silteoso, arenoso-argiloso, descritos informalmente como "tambor". Associado aos vales, cabeceiras e lagos instalados na Unidade IV.	IV, V-A	Tqrc / Pc	Nas áreas mais próximas de córregos e cabeceiras, tem o N.A. raso (<1m), aprofundando para o médio encosta. Estas áreas podem ser consideradas de maior suscetibilidade à erosão.
4r	Solo residual arenoso - silteoso e marrom - avermelhado, arenoso, laterítico. Pode apresentar espessura de até 10m (verificada em sondagens para fundações). Seu contato com as unidades 3 e 4c é gradacional, isto é, há uma passagem gradativa entre o solo residual do alto de colina amplo e o solo colúvion das flancas e das vales instaladas na Unidade IV.	IV	Tqrc	Ocorrência associada a áreas de baixa declividade (<5%), espessura de até 10 m, com N.A. profunda (2,10 m, podendo chegar a 25 m). Os registros mais marcantes nesta unidade são de abastecimentos associados a vazamentos de tubulações enterradas, que podem ser atribuídos a um comportamento normal deste material e de depósitos associados à baixa declividade, por consequente escoamento lento das águas pluviais e acumulação em áreas mais depressas.
3	Solo colúvion arenoso, marrom avermelhado laterítico. Associado às vertentes de maior encosta.	III, II-A	Tqrc	Esta unidade tem como característica marcante a suscetibilidade à erosão linear, principalmente associada a cabeceiras de drenagem (sub-unidade III-A) com declividades mais acentuadas.
2	Solo residual e colúvion argiloso, marrom escuro a avermelhado (tossoso raso), podendo apresentar blocos e lajes de diáclito.	II	Jk	Material de baixa suscetibilidade à erosão. A presença de grandes blocos e lajes de rocha só pode ocorrer problemas de estabilidade. Apresenta declividades médias a altas.
1	Solo argiloso marrom arenoso, pouco espesso (<1,5m), pedregoso e lúvico.	I	Pc	Área de N.A. raso, incluindo com o período de chuvas e de estiagem, declividades médias, mais acentuadas em vertentes de nascentes (barreiras da área), material de comportamento plástico pouco adequado para aterros.



PERFIL TOPOGRÁFICO WSW - ENE  
(RELAÇÃO ENTRE UNIDADES DE COBERTURA E SUBSTRATO GEOLÓGICO)



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"**  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências

**Tese de Doutorado**  
**MAPEAMENTO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO POR MEIO DO MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO: ENSAIO DE APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)**  
 Doutorando: José Eduardo Zaine  
 Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio S. Cerri

**ANEXO 8**  
**MAPA DE COBERTURA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS**  
 ÁREA-TESTE - SEGUNDA ETAPA - SEMI-DETALHE  
 Escala 1:10.000

Rio Claro  
 2000

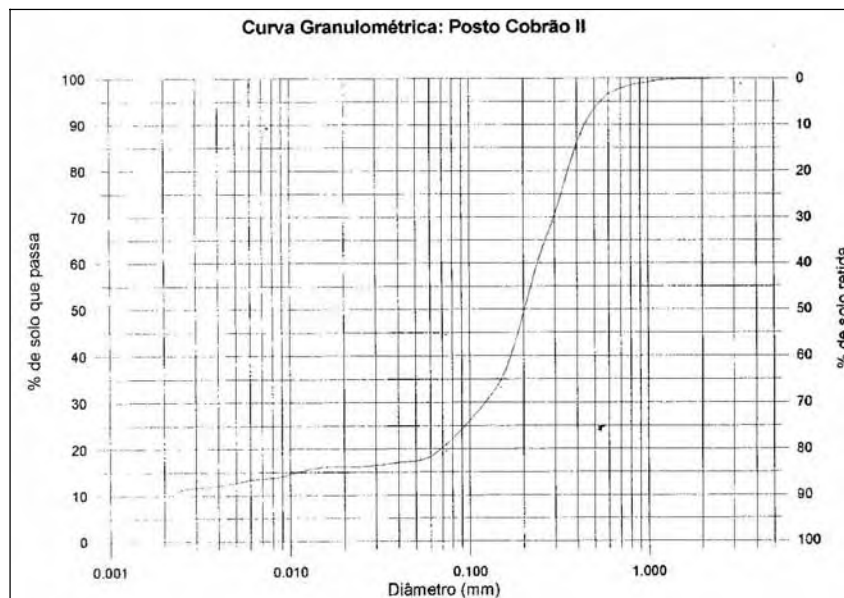
## **ANEXO 9**

### **RESULTADOS DE ANÁLISES DE LABORATÓRIO E PERFIS DE SONDAGEM A PERCUSSÃO**

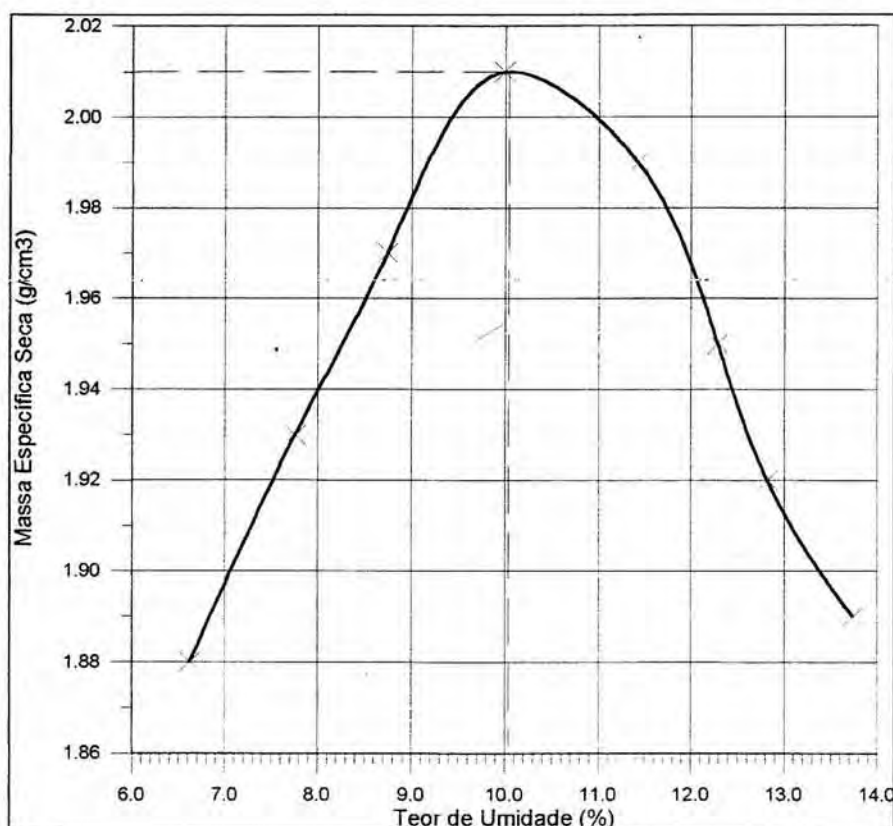
**3ª ETAPA (DETALHE)  
Estudo geológico-geotécnico para caracterização  
de área de posto de combustível**



UNESP - Campus de Rio Claro						
Departamento de Geologia Aplicada						
Laboratório de Geotécnica						
DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS						
Classificação: Solo Areno Argiloso			Local: Av. Brasil - Posto Cobrão			
			Sondagem n°: 01		Amostra n°: 01	
Técnico: Alan			Profundidade: 3,5 m		Data: 10/09/99	
			Poço n°: 01		Bloco n°: 01	
					C.P. n°: 01	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						
Determinação n°:		1	2	3	4	5
Cápsula n°:		23	32	17	04	31
Sólidos + Tara + Água:	g	24,58	24,61	23,69	27,20	27,61
Sólidos + Tara:	g	23,00	23,07	22,12	25,39	25,68
Tara:	g	6,69	7,44	6,36	7,43	6,98
Massa d'água:	g	1,58	1,54	1,57	1,81	1,93
Massa de sólidos:	g	16,31	15,63	15,76	17,96	18,70
<b>Teor de umidade</b>	%	9,68	9,85	9,96	10,07	10,32
ÍNDICES FÍSICOS						
Altura do C.P.	cm	H		3,03		
Diâmetro do C.P.	cm	D		4,81		
Área do C.P.	cm <sup>2</sup>	A		18,17		
Massa do C.P.	g	M		83,61		
Volume do C.P.	cm <sup>3</sup>	V		55,05		
<b>Massa específica</b>	g/cm <sup>3</sup>	$\rho$		1,67		
Teor de umidade	%	w		9,97		
<b>Massa específica Seca</b>	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_d$		1,52		
Massa Específica da água	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$		1,00		
<b>Índice de vazios</b>		e		0,74		
<b>Porosidade</b>	%	n		43,00		
<b>Grau de Saturação</b>	%	Sr		35,70		
<b>Massa Espec. dos sólidos</b>	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2,65		
Observações:						



UNESP - Campus de Rio Claro									
Departamento de Geologia Aplicada									
Laboratório de Geotécnica									
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (Proctor Normal)									
Classificação: solo areno argiloso					Local: Av. Brasil – Posto Cobrão				
					Sondagem n°: poço 01		Amostra n°: 01		
Massa Específica dos Sólidos: 2,65 g/cm <sup>3</sup>					Profundidade: 3,5 m		Data: 10/09/99		
Cilindro n°: 01		Massa: 2.340 g			Volume: 985,3 cm <sup>3</sup>			Técnico: Alan	
Massa do cilindro + C.P.:	g	4320	4390	4460	4520	4520	4500	4470	4450
Massa do C.P.:	g	1980	2050	2120	2180	2180	2160	2130	2110
Massa Específica ( ρ )	g/cm <sup>3</sup>	2,01	2,08	2,15	2,21	2,21	2,19	2,16	2,14
Cápsula n°:		41	08	28	45	37	14	29	32
Sólidos + Tara + Água:	g	17,86	27,34	19,71	20,89	24,56	23,39	27,30	27,80
Sólidos + Tara:	g	17,18	25,88	18,68	19,59	22,81	21,56	25,00	25,34
Tara:	g	6,92	7,08	6,90	6,58	7,51	6,67	7,07	7,44
Massa d'água:	g	0,68	1,46	1,03	1,30	1,75	1,83	2,30	2,46
Massa de sólidos:	g	10,26	18,80	11,78	13,01	15,30	14,89	17,93	17,90
Teor de umidade	%	6,62	7,76	8,74	9,99	11,43	12,29	12,82	13,74
Massa Esp. Seca ( ρ <sub>d</sub> )	g/cm <sup>3</sup>	1,88	1,93	1,97	2,01	1,99	1,95	1,92	1,89
Índice de Vazios:		0,40	0,37	0,34	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40
Grau de Saturação:	%	43,72	55,86	68,58	85,48	88,33	90,85	90,65	86,12



UNESP - Campus de Rio Claro					
Departamento de Geologia Aplicada					
Laboratório de Geotécnica					
DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS					
Classificação: Solo Areno Argiloso			Local: Av. Brasil - Posto Cobrão		
			Sondagem n°: 01	Amostra n°: 01	
Técnico: Alan			Profundidade: 3,5 m	Data: 10/09/99	
		Poço n°:01	Bloco n°: 01	C.P. n°: 01	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE			MASSA DE SOLO SECO (SÓLIDOS)		
Determinação n°:				Antes do Ensaio	Depois do Ensaio
Cápsula n°:					
Sólidos + Tara + Água:	g		Recipiente n°:		
Sólidos + Tara:	g		Recip. + solo:	g	
Tara:			Recipiente:	g	
	g				
Massa d'água:	g		Massa de solo:	g	20
Massa de sólidos:	g		Umidade	%	0
Teor de umidade			M / sólidos:	g	20
%					
MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS					
Determinação:			1	2	3
Picnômetro n°:			01	01	
Picnômetro + sol + água : (M <sub>1</sub> )	g		652,84	652,90	652,80
Temperatura	°C		25	25	25
Picnômetro + água: (M <sub>2</sub> )	g		640,36	640,36	640,36
Massa dos sólidos: (M <sub>s</sub> )	g		20	20	20
Massa Específica da água a T °C: (ρ <sub>w</sub> )	g/cm <sup>3</sup>		0,9971	0,9971	0,9971
Massa Espec. dos sólidos: (ρ <sub>s</sub> )			2,65	2,67	2,63
	2,65g/cm <sup>3</sup>				
Observações:					

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA  
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ENSAIO DE ADENSAMENTO

LOCAL: Rio Claro  
AMOST.: 1  
POÇO:  
PROF(m): 3.5  
IDENTIF.: RC-Cobrãol

BLOCO: 1  
ANEL: 18  
CP: 2  
PRENSA: 7  
DATA: 05/10/99

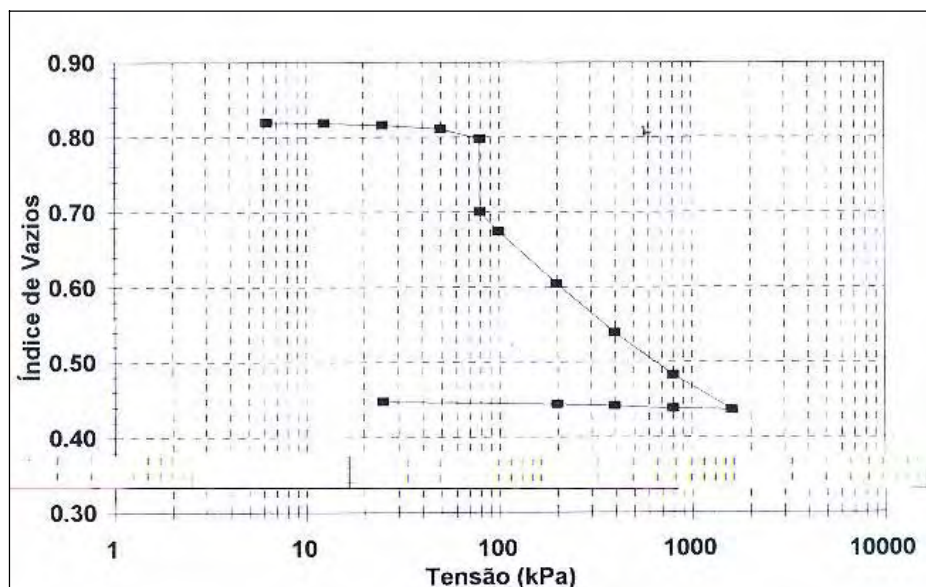
ARQUIVO

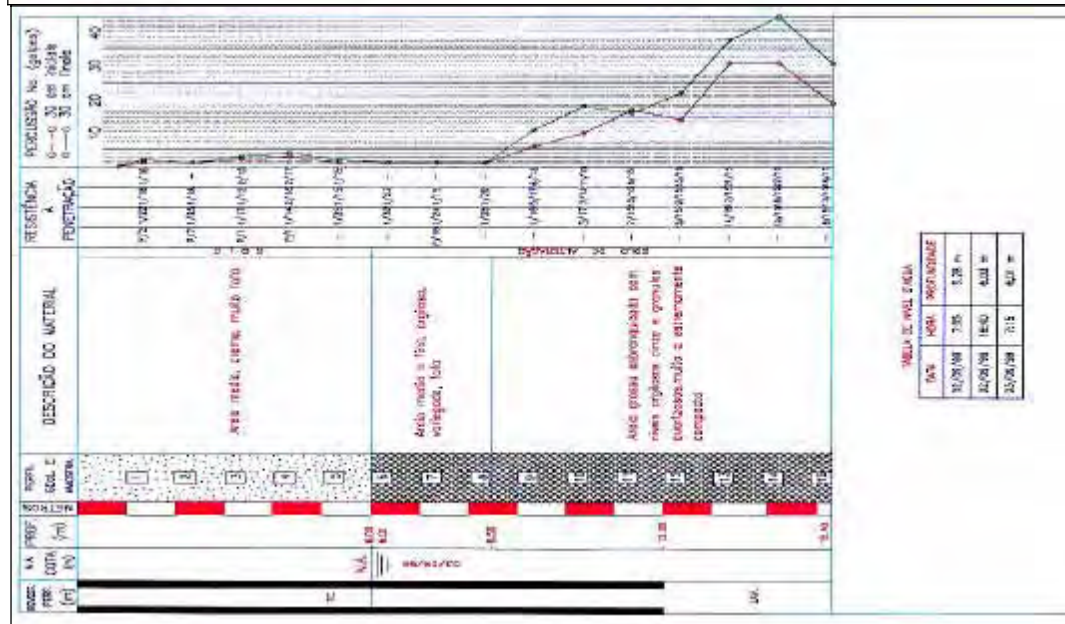
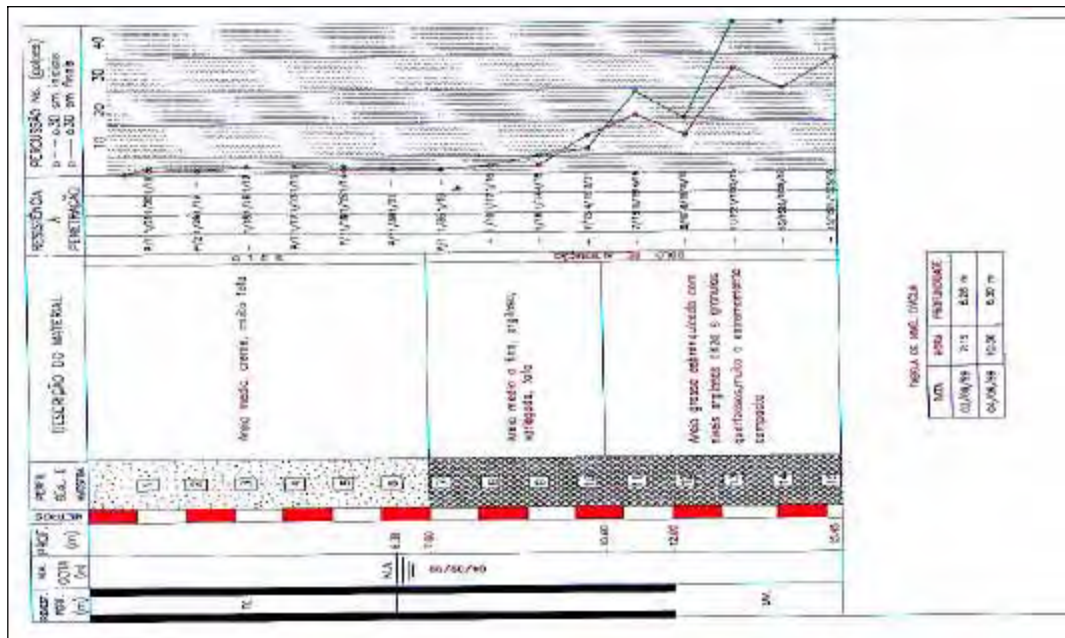
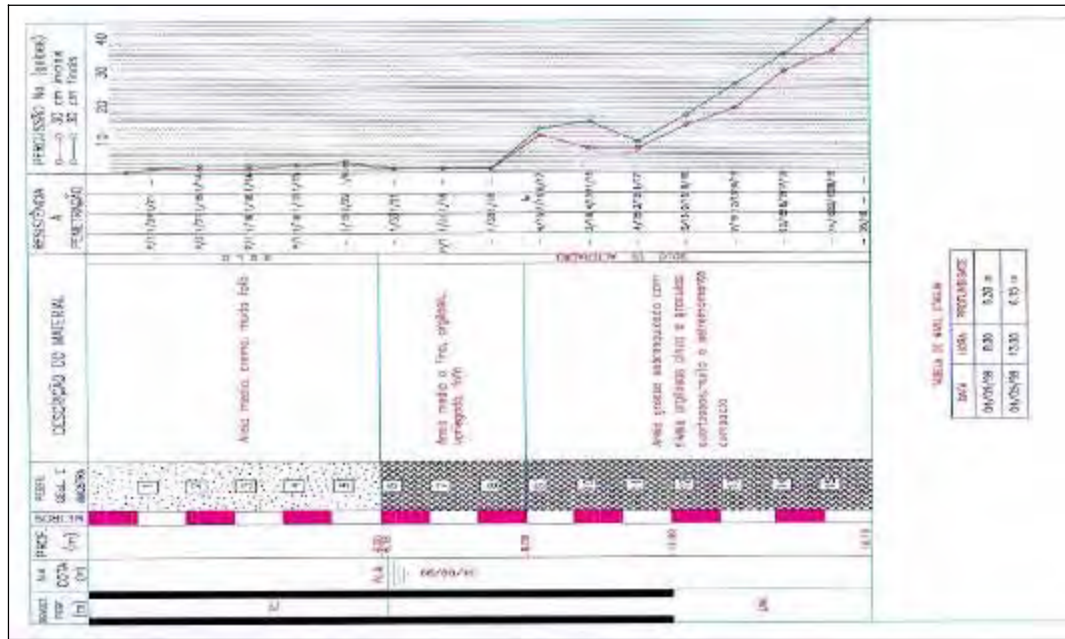
TEOR DE UMIIDADE

CÁPSULA	ANTES				DEPOIS	
	8	100	34	12	58	27
S+T+A (g)	90.54	80.07	69.47	77.35	80.90	71.19
S+T (g)	85.01	75.81	66.09	70.99	73.61	64.95
T (g)	24.01	28.57	28.61	31.17	25.72	26.16
A (g)	5.53	4.26	3.38	6.36	7.29	6.24
S (g)	61.00	47.24	37.48	39.82	47.89	38.79
w (%)	9.07	9.02	9.02	15.97	15.22	16.09
w média		9.03			15.76	

DIÂMETRO (cm)	7.50	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	44.18
ALTURA (cm)	1.91	VOLUME (cm <sup>3</sup> )	84.38
CP+ANEL (g)	255.47	M. ESPEC. (g/cm <sup>3</sup> )	1.62
TARA ANEL (g)	119.09	M. E. SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1.48
M. E. SOL. (g/cm <sup>3</sup> )	2.70	GRAU SATUR. (%)	29.69
		ÍNDICE VAZIOS	0.821

TENSÃO (kPa)	EXTENS. (mm)	DH (mm)	H (mm)	De	e	100-DH/H (%)	Md (kPa)
0.00	10.000	0.00	19.10	0.000	0.821	100.00	
6.25	9.980	0.02	19.08	0.002	0.820	99.90	5968.8
12.50	9.970	0.01	19.07	0.003	0.819	99.84	11925.0
25.00	9.945	0.03	19.05	0.005	0.816	99.71	9535.0
50.00	9.890	0.05	18.99	0.010	0.811	99.42	8656.8
80.00	9.750	0.14	18.85	0.024	0.798	98.69	4069.3
80.00	8.730	1.02	17.83	0.121	0.700	93.35	4069.3
100.00	8.460	0.27	17.56	0.147	0.675	91.94	1320.7
200.00	7.730	0.73	16.83	0.216	0.605	88.12	2405.5
400.00	7.040	0.69	16.14	0.282	0.539	84.50	4878.3
800.00	6.450	0.59	15.55	0.339	0.483	81.41	10942.4
1600.00	5.960	0.49	15.06	0.385	0.436	78.85	25387.8
800.00	5.980	-0.02	15.08	0.383	0.438	78.95	602400.0
400.00	6.020	-0.04	15.12	0.380	0.442	79.16	150800.0
200.00	6.040	-0.02	15.14	0.378	0.444	79.27	151200.0
25.00	6.080	-0.04	15.18	0.374	0.448	79.48	66237.5





SP-3

SP-2

SP-1

PERFIS DAS SONDAGENS A PERCUSSÃO EXECUTADAS NA ÁREA DE DETALHE