

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

T858
2.3

ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS APLICADOS
AO PLANEJAMENTO URBANO DE RIO CLARO - SP

Luiz Roberto Cottas

Orientador: Prof. Dr. Vicente José Fulfaro

TESE DE DOUTORAMENTO

Área de Concentração: Geologia Geral e de Aplicação

VOLUME 1

São Paulo
1983



DEDALUS - Acervo - IGC



30900004827

*à Loanda,
ao Marcelo
e à Liane*

ÍNDICE

RESUMO	x
ABSTRACT	x
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 TRABALHOS PRÉVIOS	3
1.3 AGRADECIMENTOS	6
CAPÍTULO 2	8
A GEOLOGIA E O PLANEJAMENTO URBANO	8
2.1 O PLANEJAMENTO URBANO: CONCEITOS BÁSICOS E OBJETIVOS	8
2.1.1 CONCEITUAÇÃO DE PLANEJAMENTO	8
2.1.2 GRAUS DE PLANEJAMENTO	10
2.2 A GEOLOGIA NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO URBANO	10
2.2.1 GEOLOGIA DE PLANEJAMENTO E GEOLOGIA AMBIENTAL	10
2.2.2 META E OBJETIVOS DA GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO URBANO	13
CAPÍTULO 3	15
MODELO DE SISTEMÁTICA DE ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS APLICADOS AO PLANEJAMENTO URBANO	15
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
3.2 OS ESTUDOS GEOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS	18
3.2.1 CADASTRAMENTO DE DADOS - O MAPA DE DOCUMENTAÇÃO	18
3.2.2 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	19

3.2.2.1	O MAPA TOPOGRÁFICO	19
3.2.2.2	O MAPA DE DECLIVIDADES	20
3.2.3	ESTUDOS FISIAGRÁFICOS	22
3.2.3.1	O MAPA DE FORMAS DE RELEVO	22
3.2.3.2	O MAPA DE VEGETAÇÃO	23
3.2.4	ESTUDOS GEOLÓGICOS	25
3.2.4.1	O MAPA DO SUBSTRATO GEOLÓGICO E ESTRUTURAL	25
3.2.4.2	O MAPA DAS COBERTURAS INCONSOLIDA DAS	26
3.3	OS ESTUDOS GEOTÉCNICOS E HIDROGEOLÓGICOS	28
3.3.1	INVESTIGAÇÕES DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS	29
3.3.1.1	AMOSTRAGEM DE SOLOS	29
3.3.1.2	ÍNDICES FÍSICOS DE SOLOS	30
3.3.1.3	GRANULOMETRIA DE SOLOS	32
3.3.1.4	LIMITES DE CONSISTÊNCIA DE SOLOS	35
3.3.1.5	CLASSIFICAÇÕES GEOTÉCNICAS DE SOLOS	38
3.3.1.5.1	A CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA	38
3.3.1.5.2	A CLASSIFICAÇÃO HRB	39
3.3.1.6	ENSAIO CALIFÓRNIA	44
3.3.1.7	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	45
3.3.1.8	COMPRESSIBILIDADE DE SOLOS	47
3.3.1.9	PERMEABILIDADE DE SOLOS E DE ROCHAS	52
3.3.1.9.1	DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE SOLOS	53

3.3.10.2.2	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUB- TERRÂNEAS	82
3.4	DEDUÇÕES SOBRE ADEQUABILIDADES DOS TERRENOS	83
3.4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	83
3.4.2	ADEQUABILIDADE A FUNDAÇÕES	85
3.4.3	ADEQUABILIDADE A OBRAS VIÁRIAS	87
3.4.4	ADEQUABILIDADE A INSTALAÇÕES SUBTERRÂNEAS	88
3.4.5	ADEQUABILIDADE À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS	89
3.4.5.1	REJEITOS SÓLIDOS	89
3.4.5.2	REJEITOS LÍQUIDOS	91
3.4.6	DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE EXTRAÇÃO DE RE- CURSOS MINERAIS	92
3.4.7	DETERMINAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE RISCOS GEOLÓGICOS	93
3.5	INDICAÇÕES DA GEOLOGIA PARA FINS DE PLANEJAMEN- TO URBANO - O MAPA DE PLANEJAMENTO	93
	CAPÍTULO 4	96
	APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO NA ÁREA DO SÍTIO URBANO DE RIO CLARO-SP	96
4.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA	96
4.1.1	LOCALIZAÇÃO	96
4.1.2	ASPECTOS HISTÓRICOS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO MUNICÍPIO E DA CIDADE DE RIO CLARO	96
4.1.3	ASPECTOS FISIOGRÁFICOS REGIONAIS	99
4.1.3.1	ASPECTOS CLIMÁTICOS	99
4.1.3.2	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	99
4.1.3.3	ASPECTOS PEDOLÓGICOS E DA VEGETA- ÇÃO	102

4.1.4 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS	105
4.1.4.1 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DA BACIA DO PARANÁ	105
4.1.4.1.1 O SUBGRUPO ITARARÉ	105
4.1.4.1.2 A FORMAÇÃO AQUIDAUANA	106
4.1.4.1.3 A FORMAÇÃO TATUÍ	106
4.1.4.1.4 A FORMAÇÃO IRATI	107
4.1.4.1.5 A FORMAÇÃO CORUMBATAÍ	107
4.1.4.1.6 A FORMAÇÃO PIRAMBÓIA	108
4.1.4.1.7 A FORMAÇÃO BOTUCATU	108
4.1.4.1.8 A FORMAÇÃO SERRA GERAL E CORPOS INTRUSIVOS ASSO- CIADOS	109
4.1.4.1.9 DEPÓSITOS CENOZÓICOS	109
4.1.4.2 TRAÇOS TECTÔNICOS REGIONAIS	110
4.2 A GEOLOGIA E O PLANEJAMENTO DE RIO CLARO	111
4.2.1 OS ESTUDOS GEOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS EM RIO CLARO	111
4.2.1.1 O MAPA DE DOCUMENTAÇÃO	111
4.2.1.2 O MAPA TOPOGRÁFICO	112
4.2.1.3 O MAPA DE DECLIVIDADES	112
4.2.1.4 O MAPA DE FORMAS DE RELEVO	113
4.2.1.5 O LEVANTAMENTO GEOLÓGICO	113
4.2.1.5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDA- DES LITOLÓGICAS	113
4.2.1.5.2 O MAPA GEOLÓGICO	117
4.2.2 OS ESTUDOS GEOTÉCNICOS E HIDROGEOLÓGICOS EM RIO CLARO	119
4.2.2.1 INVESTIGAÇÕES DAS PROPRIEDADES <u>GED</u>	

TÉCNICAS DOS SOLOS	119
4.2.2.1.1 AMOSTRAGEM	119
4.2.2.1.2 ÍNDICES FÍSICOS	120
4.2.2.1.3 GRANULOMETRIA	120
4.2.2.1.4 LIMITES DE CONSISTÊNCIA	133
4.2.2.1.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	133
4.2.2.1.6 ENSAIO CALIFÓRNIA	134
4.2.2.1.7 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT	134
4.2.2.1.8 COMPRESSIBILIDADE	135
4.2.2.1.9 PERMEABILIDADE	136
4.2.2.2 O MAPA DE ESPESSURAS DA COBERTURA INCONSOLIDADA	138
4.2.2.3 O MAPA DE PROFUNDIDADES DO LENÇOL FREÁTICO	139
4.2.2.4 AVALIAÇÃO DOS RECURSOS DE MATE- RIAS DE CONSTRUÇÃO	140
4.2.2.5 ERODIBILIDADE DOS TERRENOS	141
4.2.2.6 ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA UR BANA DE RIO CLARO	142
4.2.2.6.1 O MAPA POTENCIOMÉTRICO	146
4.2.2.6.2 CARACTERÍSTICAS DIMENSIO NAIS DO AQUÍFERO TUBARÃO NA ÁREA	146
4.2.2.6.3 DETERMINAÇÃO DA TRANSMIS SIVIDADE DO AQUÍFERO TU BARÃO	148
4.2.2.6.4 A VAZÃO DE ESCOAMENTO NA TURAL DO AQUÍFERO TUBA-	

	RÃO	148
4.2.3	DEDUÇÕES SOBRE ADEQUABILIDADE DOS TERRENOS DE RIO CLARO	153
4.2.3.1	O MAPA DE ADEQUABILIDADE A FUNDAMENTAÇÕES	153
4.2.3.2	O MAPA DE ADEQUABILIDADE A OBRAS VIÁRIAS	154
4.2.3.3	O MAPA DE ADEQUABILIDADE A INSTALAÇÕES SUBTERRÂNEAS	155
4.2.3.4	O MAPA DE ADEQUABILIDADE À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS	156
4.2.3.4.1	REJEITOS SÓLIDOS	156
4.2.3.4.2	REJEITOS LÍQUIDOS	157
4.2.3.5	O MAPA DE ÁREAS COM POTENCIAL DE RISCOS GEOLÓGICOS	158
	CAPÍTULO 5	159
	CONCLUSÕES	159
5.1	INDICAÇÕES DA GEOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO URBANO DE RIO CLARO	159
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
	FIGURAS	
	FIGURA 01	24
	FIGURA 02	36
	FIGURA 03	40

FIGURA 04	50
FIGURA 05	50
FIGURA 06	55
FIGURA 07	57
FIGURA 08	60
FIGURA 09	60
FIGURA 10	86
FIGURA 11	97
FIGURA 12	101
FIGURA 13	103
FIGURA 14	115
FIGURA 15	116
FIGURA 16	116
FIGURA 17	116
FIGURA 18	118
FIGURA 19	118
FIGURA 20	137
FIGURA 21	143
FIGURA 22	144
FIGURA 23	145
FIGURA 24	149
FIGURA 25	150
FIGURA 26	152

TABELAS

TABELA 01	48
TABELA 02	80
TABELA 03	80

TABELA 04	121
TABELA 05	123
TABELA 06	126
TABELA 07	130
TABELA 08	147

QUADROS

QUADRO 01	16
QUADRO 02	33
QUADRO 03	40
QUADRO 04	41
QUADRO 05	42
QUADRO 06	43
QUADRO 07	65
QUADRO 08	131
QUADRO 09	132
QUADRO 10	160

RESUMO

Este trabalho procura mostrar a grande diversidade dos problemas geológicos referentes ao desenvolvimento de centros urbanos brasileiros e sugere uma metodologia adequada de abordagem destes condicionantes, com vistas à elaboração de planos diretores municipais.

O método compreende quatro categorias de estudos. A primeira trata de aspectos básicos da área urbana, tais como topografia, relevo e constituição de rochas e materiais de cobertura. A segunda visa a estudar as propriedades geotécnicas das rochas e solos e as características dos potenciais hídricos tanto das águas superficiais como subterrâneas. Na terceira categoria, são utilizados os resultados obtidos nas duas outras para se definirem as adequabilidades de áreas a utilizações, que dependem do quadro geológico-geotécnico da área. Estas compreendem fundações de prédios, sub-leitos de vias, instalações de obras subterrâneas, disposição de lixo e de material de esgoto e extração de recursos minerais. São ainda, demarcadas as áreas sujeitas a riscos geológicos, tais como erosão acelerada, instabilidade de encostas e enchentes. A última categoria de estudos consiste em se utilizarem todas as informações obtidas para a organização de uma carta que orienta onde o meio físico é mais adequado à ocupação dos diferentes setores urbanos (industrial, comercial, residencial e de circulação), e qual deve ser a ordem de prioridade desta ocupação.

O método proposto foi aplicado na área de desenvolvimento urbano da cidade paulista de Rio Claro, sendo confeccionadas quatorze cartas que mostram aspectos geológico-geotécnicos da área, entre elas a de indicações da Geologia para a melhor ocupação urbana.

ABSTRACT

The aim of the present work is to demonstrate the wide diversity of geological problems related to the development of Brazilian urban centers and to suggest adequate methods of approach to solve these problems and elaborate plans for land use in

municipal areas.

The method adopted consists of four types of studies. The first deals with basic aspects of urban areas such as topography, relief, constitution of rocks and soil cover. Secondly, the method involves a study of the geotechnical properties of rocks and soils, and surface and groundwater potentials. In the third type of study, results obtained from the two previous studies are used to define the suitability of an area for utilization depending on geological-geotechnical character of the area. This encompasses foundation for buildings and roads, installation of underground structures, garbage and waste disposal and extraction of mineral resources. Also included in this are geological hazards such as rapid erosion, slope instability and floods. The final study sums up and uses all the information obtained in order to organize a map for the purpose of representing different urban sectors that are most suitable for occupation, whether industrial, commercial, residential or circulation, and to establish their order of priority.

The method proposed was applied to an area under urban development in Rio Claro city, São Paulo State, and fourteen maps were prepared to show the geological-geotechnical aspects of the area including one with geological indication for a better occupation of urban land areas.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

Considerando-se o estágio embrionário em que se encontra a Geologia Aplicada aos Processos de Planejamento no Brasil, e a importância de que se reveste o tema em questão, é de premente necessidade o estabelecimento de uma metodologia adequada para os estudos geológicos que subsidiarão o planejamento dos centros urbanos em nosso país. Não se pode negar, em hipótese alguma, a vital importância das informações geológicas nos processos de planejamento urbano. Levando-se em conta os inúmeros condicionantes abordados pela Geologia e pela Geotécnica, pode-se afirmar com segurança que somente dispondo das informações geológicas, as Prefeituras conseguirão orientar adequadamente o vetor ocupacional, otimizando a utilização dos espaços e minimizando os custos de urbanização e os riscos de ocupação.

De uma maneira geral pode-se dizer que, em termos de planejamento urbano, os estudos de Geologia são solicitados somente em casos de riscos geológicos, quase sempre por imposição da comunidade afligida por tais problemas. Em raros outros casos, projetos individualizados são desenvolvidos para solucionar problemas ligados à disposição de rejeitos, ou extração de recursos naturais em áreas urbanas.

Por se julgar que nas poucas pesquisas até agora realizadas não foi possível o estabelecimento de uma metodologia básica adequada para o desenvolvimento de projetos de Geologia que visam aos processos de planejamento de centros urbanos, a preocupação primeira deste trabalho é a proposta de um novo modelo de abordagem do tema. Tal modelo compreende um conjunto metodológico inédito, onde combina-se uma série de novas investigações com outras anteriormente sugeridas de reconhecida eficiência para as finalidades propostas. Aconselha-se então, uma seqüência de estudos geológicos e geotécnicos, que culminam com a elaboração de uma série

de cartas representativas das propriedades geológico-geotécnicas da área em planejamento. Esta seqüência de estudos foi estruturada com base nas peculiaridades das condições geológicas de um país tropical, na tendência da evolução sócio-econômica do Brasil, e nas sugestões de trabalhos anteriores como o de *Sanejouand (1972)* e principalmente o de *Mathewson e Font (1974)*.

A maior parte das investigações num projeto deste gênero está relacionada com material inconsolidado de superfície, que, quando não se trata de deposições cenozóicas, são solos residuais de considerável espessura, apresentando, em ambos os casos, lixiviação e laterização profundas e generalizadas, com características típicas de país tropical. Pode-se depreender daí que a geotecnia de solos assume posição de vanguarda nos estudos para planejamento urbano. Por outro lado, nas recomendações da Geologia para o planejamento das cidades brasileiras, o zoneamento geotécnico, definido pelas características típicas dos solos, deverá orientar de modo particular o vetor ocupacional. Quando se faz referência às tendências da evolução sócio-econômica brasileira na estruturação deste modelo pretende-se evidenciar que os objetivos a serem atingidos no planejamento de nossas cidades são diferentes dos objetivos do planejamento dos centros urbanos de outros países. Como exemplo, num plano para cidades brasileiras pode-se considerar superfícies especificações para sistemas subterrâneos extensos, como aqueles já usados em países desenvolvidos.

O método, como poderia se esperar para um trabalho deste tipo é multidisciplinar, abordando aspectos ligados a vários ramos das geociências, destacando-se entre eles a Topografia, o Mapeamento Geológico, a Geomorfologia, a Pedologia, a Geofísica, a Mecânica dos Solos e das Rochas, a Geologia de Engenharia, a Prospecção, a Meteorologia e a Hidrogeologia. Considerando as inúmeras dificuldades encontradas pelo autor no desenvolvimento deste trabalho, em função do seu aspecto multidisciplinar, aconselha-se que os projetos de geologia para o planejamento urbano não sejam da competência de um só geólogo, mas sim desenvolvidos por equipes integradas por especialistas das diferentes áreas das geociências.

Tendo como objetivo principal o detalhamento da metodologia, o modelo proposto é aplicado na área do sítio urbano da ci

de paulista de Rio Claro, situada geologicamente na borda NE da Bacia Sedimentar do Paraná. Na área, os sedimentos da Formação Corumbataí (Permiano) e rochas intrusivas básicas relacionadas ao magmatismo cretácico da Bacia representam o substrato rochoso de diferentes tipos de depósitos sedimentares cenozóicos, destacando-se entre eles, a Formação Rio Claro.

Do ponto de vista prático o trabalho deve gerar subsídios para que a Prefeitura local oriente seu Plano Diretor.

1.2 TRABALHOS PRÉVIOS

As primeiras pesquisas em Geologia de Planejamento de desenvolveram-se intimamente ligadas à problemática da Geologia Ambiental, no final da década de 50, na Europa. Todavia, as primeiras publicações importantes começaram a aparecer no final dos anos 60.

Na revisão bibliográfica elaborada pelo autor, os trabalhos do exterior que mereceram destaque foram os seguintes: Matula (1969) - "Engineering Geologic Mapping and Evolution in Urban Planning"; Flawn (1970) - Environmental Geology; Sanejouand (1972) La Cartographie e Geotechnique en France; Legget (1973) - Cities and Geology; Aisenstein et al. (1974) - "The Geotechnical Map of Jerusalem"; Kalterherberg (1974) - "An Engineering Geological Map of a Township on the Lower Rhine"; Legget (1974) - "Engineering Geological Maps for Urban Development"; Mathewson e Font (1974) - "Geologic Environment: Forgotten Aspects in the Land Use Planning Process"; Matula (1974) - "Engineering Geology in Country and Urban Planning"; Montgomery (1974) - "Environmental Analysis in Local Development Planning"; Dearman e Matula (1976) - "Environmental Aspects of Engineering Geological Mapping"; Hofmann (1976) - "Mapping for Urban Land - Use Planning in Southeast Queensland - a First Approach"; Van Driel (1978) - "Practical Use of Geologic Information by Planners"; Abad Fernandez et al. (1979) - "Spanish Experience of Geotechnical Cartography in an Urban Area"; Arnould et al. (1979) - "Cartographie Geotechnique de la Ville de Paris - Premieres Realisations"; Coelho (1979) - "Engineering Geological Evo

luation of Slope Stability for Urban Planning and Construction" , Gounon (1979) "Integration des Risques Naturels dans Les Documents D'Urbanisme: Application a la Ville de Nice"; Reekie et al. (1979) - "Computer Aided Techniques in Urban Engineering Geological Mapping"; Rónai (1979)-"Fundamentals of Engineering Geological Maps"; Abad Fernandez et al. (1980)-"Large Scale, 1:1.000 - 1:5.000, Geotechnical Mapping by the Instituto Geológico Y Minero de España for Industrial and Urban Planning"; Gounon (1980) - "La Planification Urbaine Basee sur la Geologie, l'Hidrogeologie, la Geotechnique - Un Exemple: La Ville de Nice"; Matula e Letko (1980)- "Engineering Geology is Planning the Metropolitan Region of Bratislava"; Rengers e Soeters (1980) - "Regional Engineering Geological Mapping from Aerial Photographs".

As primeiras publicações brasileiras sobre Geologia de Planejamento são de autoria de Grehs que em 1970 apresenta duas contribuições abordando aspectos da Geologia como subsídio aos Planejamentos Urbano e Regional: "O Papel do Geólogo no Planejamento" e "O Uso de Mapas Geológicos, Mapas de Vegetação e Mapas de Drenagem de Irrigação". No ano de 1974 apareceria uma série de importantes trabalhos. Coulon, pela primeira vez no Brasil, elabora uma carta geotécnica na publicação "Mapa Geotécnico das Folhas de Morretes e Montenegros". Ainda em 1974, Guidicini e Prandini no trabalho "O Caso do Escorregamento de Vila Albertina: Seu Significado em Termos de Planejamento Urbano", discutem as causas e os efeitos de um escorregamento ocorrido na periferia da cidade paulista de Campos do Jordão e defendem a participação da cartografia geotécnica no planejamento urbano para evitar sinistros semelhantes ao de Vila Albertina. Prandini, Guidicini e Grehs no 28º Congresso Brasileiro de Geologia, também em 1974, coordenaram a mesa redonda "Geologia Ambiental ou de Planejamento", cujos resultados foram publicados nos anais daquele conclave. Outro trabalho do ano de 1974 foi "Condicionantes Geológicos e Geotécnicos da Degradação Ambiental" onde o autor Prandini discute uma série de aspectos geológicos voltados para o contexto da Geologia Ambiental. As próximas publicações de destaque só viriam no ano de 1976, com três trabalhos publicados nos anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia: Coulon - "A Geologia e o Planejamento Urbano - Questões para Debate e ou Reflexões"; Infantí Jr. "Geolo-

gia de Planejamento - Escopo e Metodologia", e Prandini - "O Brasil e a Geologia no Planejamento Territorial e Urbano". Como se pode observar pelos títulos dos trabalhos, a preocupação até então era definir as linhas de atuação da Geologia de Planejamento, o novo ramo das ciências geológicas que começava a se desenvolver no Brasil. No ano de 1978 iriam aparecer as primeiras contribuições consequências destas discussões metodológicas. No trabalho de Constanzo Jr. et al. "Contribuição à Cartografia Geotécnica da Região de Santa Maria-RS", os autores elaboram um mapa geológico da região de Santa Maria-RS e dão as características geotécnicas das unidades mapeadas. Outro trabalho do ano foi "O Mapeamento Geotécnico e Planejamento da Ocupação Urbana de Santa Maria-RS, onde o autor, Maciel Filho com base num mapeamento geotécnico na escala 1 : 15.000, faz recomendações da Geologia para o planejamento do sítio urbano da cidade de Santa Maria-RS. Prandini et al. na publicação "Uma Carta Geotécnica dos Terrenos Adjacentes ao Canal do Rio Tietê de Osasco a Guarulhos" sintetizam e interpretam todos os dados geotécnicos disponíveis numa faixa ao longo do Rio Tietê dentro da zona urbana da grande São Paulo. No ano seguinte (1979) Seignemartin em trabalho de tese de doutoramento intitulado "Geologia de Áreas Urbanas: O Exemplo de Ribeirão Preto-SP", adota a linha metodológica da escola francesa proposta por Sanejouand (1972) e define o condicionamento geológico para o planejamento da área urbana da cidade de Ribeirão Preto. Em 1980 num trabalho realizado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e pela Secretaria de Estado dos Negócios Metropolitanos é publicado o "Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de São Paulo", que procura definir o potencial mineral e de materiais de construção na área da Grande São Paulo, mostrando também, a interferência da mineração nos problemas ambientais e sua integração no planejamento metropolitano. Ainda no ano de 1980, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A. (IPT) publica a "Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente - Condicionantes do Meio Físico para o Planejamento Urbano", onde é elaborada uma carta geotécnica dos morros, palco de repetidos fenômenos de escorregamentos, acompanhada de uma tabela que determina os diferentes critérios de ocupação urbana para cada unidade mapeada. No ano de 1981, Zuquette, na dissertação de mestrado "Mapeamento Geo

técnico Preliminar na Região de São Carlos" aplica, na área desta cidade paulista, a mesma metodologia do trabalho de Seignemartin (1979).

1.3 AGRADECIMENTOS

O autor deseja consignar aqui, da maneira mais sincera, a sua profunda gratidão às pessoas e entidades que prestaram apoio a esta pesquisa.

Ao Professor Doutor Vicente José Fúlfaro, pelo incentivo e pela atenciosa e segura orientação prestada no desenvolvimento deste trabalho de tese;

ao Professor José Antônio Teixeira e Professor Doutor Alberto Pio Fiori, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP - Campus de Rio Claro, pela colaboração nos estudos de hidrogeologia e nos estudos de fotointerpretação geológica;

ao Professor Carlos de Almeida Nobrega, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP - Campus de Rio Claro, e Professores Orêncio Monje Villar, Gene Stancati, Antônio Airton Bortolucci e Doutor José Henrique Albiero da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, pelas discussões e sugestões nos estudos de Geotecnica;

à Professora Chisato Oka Fiori, pelas sugestões nos trabalhos de Geomorfologia;

ao Professor Doutor Antônio Manoel dos Santos Silva, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, de São José do Rio Preto-UNESP, pela revisão do texto;

aos colegas professores do Curso de Geologia de Rio Claro, pelo incentivo constante;

aos estagiários da disciplina Geologia Ambiental do Departamento de Geologia Geral e Aplicada da UNESP-Campus de Rio Claro, Silvana Ribeiro Liporaci, Jaime Ohata, Maria Irene Bartolomeu Raposo, Diego Migliorini Junior, Justino Faria Lemos Pinheiro e Mônica Fassheber Berlinck, pelo auxílio nos trabalhos de campo,

de laboratório e na confecção de mapas;

ao Senhor Francisco Manuel Garcia Barrera, eficiente técnico do Laboratório de Geotécnica do Departamento de Geologia Geral e Aplicada da UNESP-Campus de Rio Claro, pelos serviços prestados na coleta de amostras e nos ensaios de laboratório;

ao Senhor Antônio Cezário Porta Junior, desenhista do Departamento de Geologia Geral e Aplicada da UNESP-Campus de Rio Claro, pelo excelente serviço de desenho;

a Senhorita Selma Aparecida Joanoni, da Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Rio Claro pelo caprichoso trabalho de datilografia;

ao Senhor Aldo Mortari e Jorge Valério, pelo zeloso serviço de reprodução do trabalho;

ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP-Campus de Rio Claro, na pessoa de seu diretor Professor Doutor Paulo Milton Barbosa Landim, por ter proporcionado as condições necessárias à realização desta pesquisa;

à Prefeitura Municipal de Rio Claro, que cedeu funcionários para prestarem serviços a este trabalho;

ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo - DER., pela cessão de dados geotécnicos;

à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP., pelo apoio financeiro, fornecido no processo nº 80/1087.7;

enfim, a todos que de uma maneira ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho,

o mais profundo reconhecimento do autor.

CAPÍTULO 2

A GEOLOGIA E O PLANEJAMENTO URBANO

2.1 O PLANEJAMENTO: CONCEITOS BÁSICOS E OBJETIVOS

2.1.1 CONCEITUAÇÃO DE PLANEJAMENTO

A definição dos termos "planejamento" ou "planificação" tem sido alvo de muitas controvérsias, ao que tudo indica pela complexidade inerente ao próprio processo. Desta maneira a definição abaixo, sem a pretensão de ser a melhor, foi adotada em virtude de seu caráter operacional, e por atender de maneira prática à finalidade de se obter o conceito de planejamento.

"Planejamento é o processo contínuo de previsão e ordenação para conseguir, por meio de uma ação racional e mediante a fixação de objetivos, a melhor utilização dos recursos de uma sociedade em uma determinada época".

Com exceção do termo "contínuo", aqui incluído, esta é a definição de planejamento, que consta da "Carta dos Andes", elaborada em outubro de 1958, em Bogotá, na Colômbia, por ocasião do Seminário de Técnicos e Funcionários em Planejamento Urbano, promovido pelo CINVA - Centro Interamericano de Vivenda e Planejamento (in Ferrari - 1977). O termo "contínuo" foi incluído para expressar um caráter importante do processo de planejamento, infelizmente omitido pela definição da Carta dos Andes.

Diz-se que o planejamento é um "processo contínuo", pois o plano, produto final a ser obtido, jamais deve ser considerado definitivo. O processo, depois de implantado, sempre ficará sujeito à modificações, provocadas pela ocorrência de fatos novos e aleatórios que precisam ser considerados na época oportuna, mantendo sua capacidade de autocontrole (Ferrari - 1977). Em outras palavras, por ocasião da execução do plano, inevitavelmente verificam-se distorções do plano idealizado quando comparado com o

"plano realidade". Assim tornam-se necessárias as constantes revisões e atualizações.

Segundo a definição, o planejamento é um "processo de previsão e ordenação" porque ele deve organizar o espaço presente, e prevendo os acontecimentos, programar também a organização do espaço futuro.

O sintagma "ação racional" determina que o plano deve sempre conter soluções, que sejam viáveis tecnológica e financeiramente, que não colidam com os outros objetivos do plano, e que comprovadamente sejam adequadas a suas finalidades.

Se as soluções não podem conflitar os objetivos do plano, é óbvio que estes precisam ser previamente estabelecidos. Normalmente o processo é constituído de um objetivo geral com prioridades que podem ser de ordem econômica, social, de segurança, ambiental, etc. Adiante serão definidos os objetivos da Geologia no processo de planejamento urbano, possibilitando ao poder público uma real decisão de escolha.

A melhor utilização dos recursos da sociedade só é conseguida quanto o processo de planejamento considera concomitantemente, e de uma forma integrada, os aspectos físicos, os sociais e os econômicos. Isto significa, em outras palavras, que o profissional de cada um destes setores não deve querer resolver os problemas apenas com sua especialidade, ou ainda, que não confunda sua parcial verdade com a verdade total.

Outro aspecto importante do processo de planejamento é que as soluções para os diferentes problemas devem ser alternativas, possibilitando ao poder público uma real decisão de escolhas. Fica assim salvaguardado o caráter flexível do plano, o que facilita a sua transformação em lei.

Após escolhidas e aprovadas as soluções alternativas pelo poder público, que, lembrado em tempo, representa a sociedade, a equipe técnica deve elaborar o Plano Básico que será desta maneira aceitável politicamente, além de obedecer aos critérios de racionalidade. O Plano Básico é não definitivo, pelo seu caráter de atualização, como abordado atrás, é constituído de plantas, gráficos, quadros demonstrativos, além de relatórios, orçamentos, programas de obras, etc.

De uma maneira geral, o Plano Básico é apresentado para ser aplicado num prazo de 15 anos, pois para mais tornam-se extremamente difíceis as previsões inerentes ao processo, além do que este é o prazo suficiente para a amortização do equipamento de serviço público. Normalmente o poder político solicita dentro do Plano Básico um plano de ação a curto prazo onde se programam os serviços a serem realizados no período de vigência do mandato do governo que contratou o plano (4 ou 6 anos).

2.1.2 GRAUS DE PLANEJAMENTO

De acordo com a dimensão da área a ser planejada e de acordo com o nível de governo responsável por esta área, o planejamento pode ser classificado em: nacional, regional-federal, estadual, regional-estadual, municipal-territorial e urbano. Os dois primeiros são de competência do governo federal, os dois segundos do governo estadual e os dois últimos sob responsabilidade das prefeituras municipais. Os planos nacionais têm sua tônica nos problemas sócio-econômicos. Seus objetivos visam a mudanças nas estruturas econômico-sociais principalmente, valendo-se da organização do espaço físico como meio, para atingir aqueles fins. Já, no outro extremo da escala, ou seja, no planejamento urbano, ocorre a prevalência dos problemas físico-territoriais. Aqui os estudos sociais e econômicos são utilizados na maior parte como ferramentas de trabalho, para a resolução dos problemas físico-territoriais. Nos planos regionais e estaduais existe um equilíbrio entre os setores social, econômico e físico-territorial.

Com o setor físico-territorial, assumindo posição de vanguarda nos processos de planejamento urbano, fica patente a importância da participação da Geologia, que atua no setor juntamente com a Geografia, Engenharia Civil, Arquitetura e Agronomia.

2.2 A GEOLOGIA NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO URBANO

2.2.1 GEOLOGIA DE PLANEJAMENTO E GEOLOGIA AMBIENTAL

Ao situar a participação da Geologia no processo de planejamento urbano, inevitavelmente defrontar-se-ã com o problema da conceituação de Geologia Ambiental e Geologia de Planejamento. Prandini, Guidicini e Grehs, propuseram em 1974 que o termo Geologia Ambiental fosse substituído por Geologia de Planejamento, julgando estar este último mais intimamente ligado ao aproveitamento racional da superfície terrestre, sendo este o escopo da Geologia Ambiental. Em publicações posteriores, Coulon (1976), Infanti Jr (1976) e Prandini (1976), preocupados ainda com o conceito e metodologia deste novo ramo das ciências geológicas aceitaram o termo proposto por Prandini et al. (op.cit.). Em 1979 Seignemartin, após realizar trabalho de Geologia para fins de planejamento urbano, conclui que os objetivos de seu trabalho não coincidem com os objetivos mais amplos da Geologia Ambiental, tal como foi esta ciência introduzida no Brasil. Discorda então, esse autor de Prandini et al. (op.cit.), propondo a volta da Geologia Ambiental com seu sentido amplo, e cria a nova designação "Geologia de Áreas Urbanas" para os estudos de problemas geológicos relacionados ao planejamento de cidades.

Segundo a Sociedade Brasileira de Geologia (1983), Geologia Ambiental e Geologia de Planejamento são ciências diferentes, com os seguintes escopos:

- a) Geologia Ambiental - entre as disciplinas do "Conhecimento Geológico" - "Campo do conhecimento geológico que estuda as variações do meio físico decorrentes da interação entre os processos naturais e a ocupação humana. Inclui o estudo de noções fundamentais sobre meio ambiente e equilíbrio ecológico. Abrange o estudo de conservação e reciclagem de recursos naturais; a valorização econômica dos jazimentos incluindo os parâmetros ambiental e social, e os efeitos da mineração. Engloba também o estudo da conservação de solos, das alterações devido seus diversos usos, das boçorocas e da desertificação".
- b) Geologia de Planejamento - entre as disciplinas de "Metodologia Fundamental de Produção do Conhecimento Geológico" - "Campo de aplicação do conhecimento geológico em obras de Engenharia (barragens, escavações em rochas e solo, incluindo mineração, obras viárias, portos, canais, edificações e obras de arte). Análise ambiental, planejamento urbano e regional e recu

peração do meio ambiente, considerando os aspectos relacionados à Geologia. Confecção e utilização de cartas geotécnicas e geológicas. Legislação ambiental".

Ao término deste trabalho o autor conclui que os propósitos das pesquisas aqui realizadas se diferenciam daqueles definidos pela Geologia Ambiental, com seu conceito segundo Flawn (1970), que é o mais aceito pelos pesquisadores no assunto. A definição a seguir foi extraída da conceituação de Geologia Ambiental dada por Flawn (*op.cit.*):

"Geologia Ambiental é a ciência que deve estudar e apresentar soluções para os problemas que o homem passa a enfrentar ao fazer uso do solo, e para os problemas advindos da reação do solo a este uso, ou seja, propõe estabelecer o equilíbrio nas relações homem-habitat geológico".

Pode-se observar que enquanto a preocupação maior da Geologia Ambiental é com a relação homem-habitat geológico, a Geologia de Planejamento, ao procurar o melhor uso do solo nem sempre tem suas atenções voltadas para o meio ambiente. Este ponto de vista pode ficar mais claro com uma análise mais detalhada dos objetivos das duas ciências. Assim, nos processos de planejamento regional, onde o homem está mais distante, a preocupação com o ambiente torna-se irrelevante. É o caso dos estudos das ocorrências minerais para planejamento regional, onde as especificações de preservação do meio ambiente podem ser consideradas supérfluas. Por outro lado, a exploração de recursos minerais e de materiais de construção, que é um dos objetivos prioritários da Geologia de Planejamento, não se enquadra entre os objetivos da Geologia Ambiental.

Com relação à denominação criada por Seignemartin (1979), "Geologia de Áreas Urbanas", como substitutivo à Geologia de Planejamento Urbano, tendo em vista que o referido autor não apresenta justificativas para tal proposição, parece ser mais lógico a manutenção da denominação Geologia de Planejamento Urbano, mais específica e já mais consagrada.

Os conceitos e objetivos formulados pela *Sociedade Brasileira de Geologia* (1983) para a Geologia Ambiental e Geologia de Planejamento parecem ao autor deste trabalho completamente equivocados. A maior parte dos objetivos atribuídos à Geologia de Planejamento pertencem à Geotécnica e à Geologia de Engenharia, termos já bastante consagrados nos meios geológicos. Outras questões que podem ser levantadas são: será que nos processos de planejamento não são necessários os levantamentos de recursos minerais; ou então, porque "recuperação do meio ambiente" e "legislação ambiental" são temas da Geologia de Planejamento e não da Geologia Ambiental? Tudo leva a crer que o termo Planejamento foi erroneamente usado, não condizendo com o conjunto de objetivos montado para aquela disciplina.

Ainda com respeito à publicação em discussão, os objetivos lá formulados para a Geologia Ambiental parecem indicar que a referida ciência se preocupa apenas com as alterações do meio físico causadas pelas atividades humanas, não incluindo os fenômenos naturais de riscos. Se assim for, fica contrariado o conceito de Geologia Ambiental adotado praticamente por unanimidade entre os especialistas no assunto.

2.2.2 META E OBJETIVOS DA GEOLOGIA DO PLANEJAMENTO URBANO

Entende-se por "meta" em planejamento o propósito amplo do plano ou como define *Mathewson e Font* (1974) o seu produto final ideal. Os "objetivos" podem ser definidos como sendo os propósitos específicos do plano, que, juntos, conduzem à meta.

Pode-se afirmar que a meta da Geologia no processo de planejamento urbano é "recomendar o melhor uso do solo urbano, con^{di}zente com as condições geológicas dos terrenos e com a evolução natural dos processos geológicos". Por outro lado os objetivos in^{cl}uem uma série de projetos com as seguintes finalidades:

- a) definir as melhores áreas do ponto de vista geotécnico para os diferentes tipos de construções urbanas;
- b) testar e definir os métodos mais seguros e higiênicos para a

- disposição de rejeitos sólidos e líquidos, nos locais mais apropriados do ponto de vista geológico;
- c) localizar as ocorrências minerais na área planejada e as ocorrências de materiais de construção na área planejada ou próximo a ela, assim como definir os métodos mais apropriados, seguros e higiênicos de exploração destas ocorrências;
 - d) determinar os potenciais hídricos tanto superficiais como subterrâneos, da área planejada, além de detectar e definir como combater suas diferentes fontes de poluição; no caso de água subterrânea, sugerir o tipo de exploração mais racional para evitar a alteração do equilíbrio dinâmico e químico das águas.
 - e) evidenciar onde e como os fenômenos geológicos podem causar riscos à população, e propor como evitar tais riscos, e
 - f) prever onde a urbanização interferirá na evolução natural da superfície do terreno, procurar minimizar tais influências ou mesmo encontrar soluções para os problemas advindos das modificações inevitáveis.

Com base nestas informações, que retratam a meta geológica no planejamento urbano, o geólogo planejador deve elaborar propostas alternativas para o melhor uso do solo. Estas, por sua vez, deverão ser julgadas juntamente com as recomendações das outras áreas do setor físico-territorial e com as proposições dos setores social e econômico do processo de planejamento urbano.

CAPÍTULO 3

MODELO DE SISTEMÁTICA DE ESTUDOS GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICOS APLICADOS AO PLANEJAMENTO URBANO

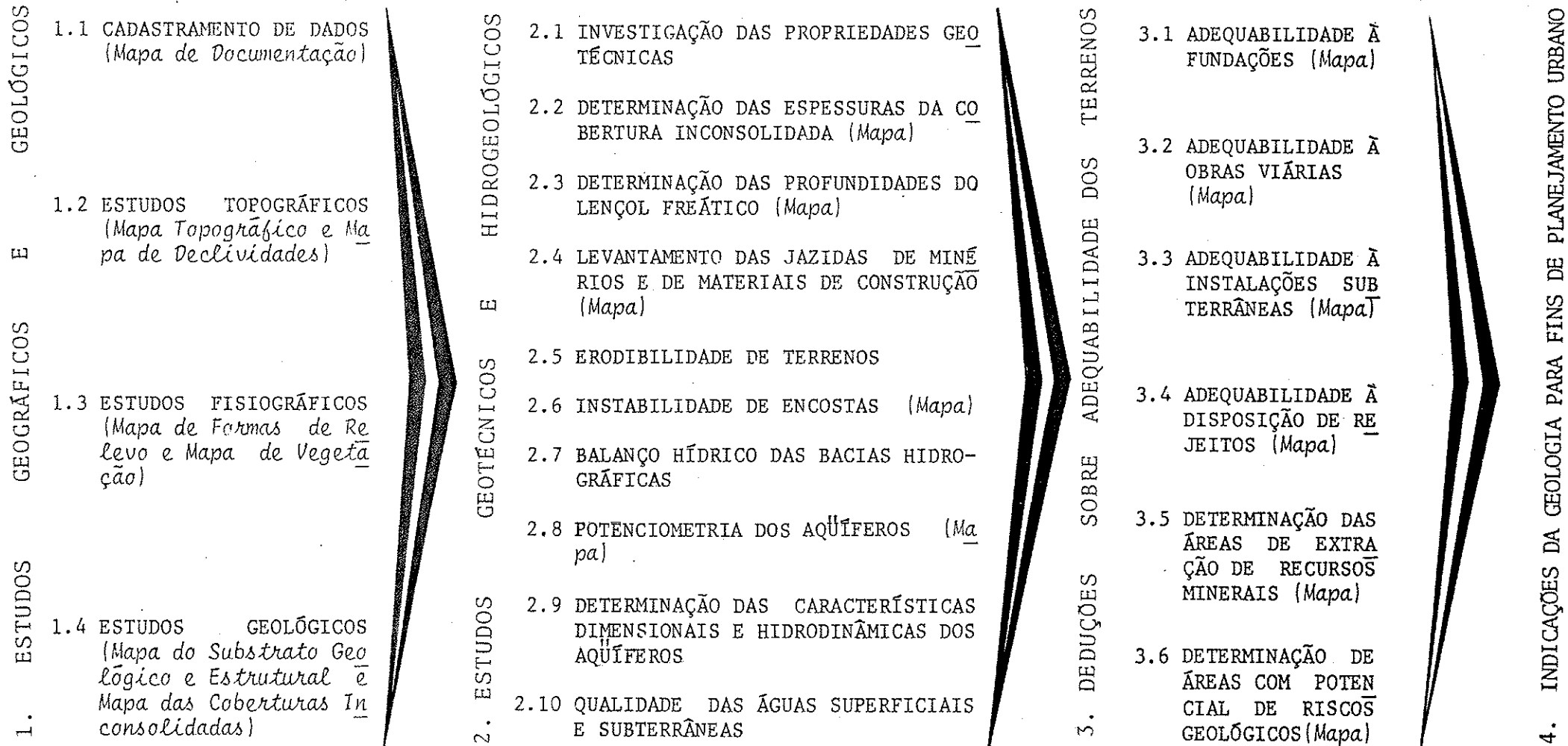
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Muitas são as metodologias que podem ser adotadas para se procurar as soluções mais satisfatórias de problemas específicos que ocorrem em diferentes regiões. Por conseguinte, na tentativa de buscar uma padronização metodológica, uma das preocupações principais do modelo aqui proposto é tentar uma abordagem ampla dos problemas geológicos referentes ao planejamento urbano, a ponto de sua aplicabilidade independer de fatores regionais.

O método estabelece quatro categorias de estudos como mostra o Quadro 1. As duas primeiras têm por finalidade buscar as informações geológicas e geotécnicas, complementadas com algumas considerações de cunho geográfico, importantes para o processo de planejamento urbano. As duas últimas seguem, com algumas modificações, o esquema apresentado por *Mathewson e Font (1974)* para classificar os mapas usados pela cartografia geotécnica norte-americana. Na terceira categoria são realizados estudos de interpretação das informações obtidas nas categorias anteriores. Aqui, os resultados dos levantamentos geológicos e geotécnicos são usados para se decidir a adequabilidade dos terrenos às diferentes instalações urbanas, ou mesmo para se determinar quais as áreas com riscos geológicos existentes ou em potencial. A quarta categoria trata-se de uma síntese geral, onde todas as informações já obtidas são ponderadas na elaboração de propostas alternativas da Geologia para o melhor uso do solo urbano.

Um aspecto importante deve ser ressaltado com relação aos estudos de terceira e quarta categorias. Como podem ser usados pelo público em geral, ou seja, por leigos em assuntos de geologia e de engenharia, os produtos de tais estudos devem ser reproduzidos em uma edição mais ampla. A venda deles pode cobrir os altos custos das investigações detalhadas de primeira e segunda categorias. Estas, por sua vez, funcionando como uma base técnica

QUADRO 01: SEQUÊNCIA DE ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO



continua para futuras revisões e atualizações dos estudos de adequabilidade e do mapa de planejamento, podem ter seus produtos reproduzidos em uma edição mais limitada.

Os resultados destes estudos em sua maioria (excetuam-se alguns estudos da segunda categoria) são apresentados em forma de mapas, a maneira mais eficiente e prática de transmitir as informações para o planejamento. Como poderá ser observado, nem todos os mapas aqui confeccionados são mapas geotécnicos, o que prejudica a denominação "cartografia geotécnica", aplicada indistintamente para especificar as cartas de um projeto deste gênero. A terminologia "cartografia geológico-geotécnica", adotada por *Seignemartin* (1979), parece ser a mais indicada no caso.

Um problema dos mais importantes relativo aos mapas aqui discutidos se prende à escolha da escala dos mesmos. No desenvolvimento deste trabalho, pode-se observar que a escala adotada, 1 : 20.000, (as razões desta adoção serão discutidas posteriormente) não foi suficientemente adequada para o mapeamento de determinadas características que, por razões inerentes a sua própria aplicação, exigem uma escala maior. Foi, por exemplo, o caso do mapa de "espessuras dos materiais inconsolidados", onde a escala 1 : 20.000 só permitiu a separação de isolinhas com equidistâncias de 4 metros. No entanto, intervalos de 1 e 2 metros de profundidade já são significativos para diferenciação de condições do solo para determinadas instalações urbanas.

Se, por um lado, determinados fatores geológicos ou geotécnicos exigem uma escala maior, pode-se contra argumentar, por outro, que mapas de escalas grandes são extensos e de difícil manuseio, prejudicando a confecção de mapas interpretativos pelo método da superposição. O fato de os mapas interpretativos serem elaborados a partir dos demais também exclui a possibilidade de uso de diferentes escalas no mesmo projeto. Considerando que o número de mapas de um trabalho deste gênero é relativamente alto, deve-se concluir ainda que o fracionamento de cartas de escalas grandes em um número também alto de partes pode vir a constituir problema de ordem financeira para o projeto. É bom mencionar aqui que os mapas para planejamento, por exigência do método da superposição, devem ser confeccionados em uma base geográfica reprodu-

zida em material não dilatável de custo relativamente alto.

Após estes considerandos pode-se concluir que o tamanho da cidade a ser planejada não deve interferir na escolha da escala dos mapas, a não ser que esteja em planejamento uma área metropolitana, onde a metodologia se diferencia bastante. Outra conclusão é que a escolha da escala dos mapas geológico-geotécnicos para planejamento urbano, deve recair num intervalo bastante restrito de valores. Após ponderar os problemas surgidos na elaboração deste trabalho, o autor aconselha o uso da escala 1 : 10.000. Parece ser um valor onde é menos acentuado o efeito dos problemas já citados.

A seguir serão comentados os significados dos estudos propostos e suas linhas metodológicas. As análises de dados, assim como as maneiras de representação dos resultados das investigações realizadas na área estudada, serão desenvolvidas no capítulo seguinte.

3.2 OS ESTUDOS GEOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS

Estes estudos são de observações gerais que procuram as informações básicas de geografia e geologia, sobre as quais se fundamentarão os posteriores estudos específicos. São em número de quatro, que deverão conduzir à elaboração de sete mapas.

3.2.1 CADASTRAMENTO DE DADOS: O MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

Ao se iniciar um projeto deste gênero todos os dados disponíveis em repartições públicas, cartórios e firmas da cidade em planejamento, devem ser levantados para posteriormente se organizar o sistema de coleta dos demais dados imprescindíveis à pesquisa. De posse de todas as informações geológicas necessárias, deve se proceder à elaboração do mapa de documentação.

O mapa de documentação, proposto por Sanejouand (1972), cartografa os locais de coleta de dados da área planejada. Pode conter ainda as informações de ordem geral necessárias às conclusões

sões de planejamento, que não são fornecidas pelos demais mapas de estudos específicos. As principais informações que devem constar do mapa de documentação são:

- a) localização dos afloramentos geológicos;
- b) localização dos poços profundos com seus principais dados;
- c) localização dos pontos de amostragem, com especificações de seus diferentes tipos;
- d) perímetro urbano atual;
- e) localização das zonas urbanas atuais (distrito industrial, zonas residenciais, zonas comerciais);
- f) índice de ocupação urbana atual dentro da setorização do Plano Diretor em vigência, e
- g) informações de ordem geral.

Outra observação de Sanejouand (*op.cit.*) salienta a extrema utilidade do mapa de documentação na implantação de bancos de dados, pois, além de simplificar o armazenamento de informações, facilita o acesso às mesmas.

3.2.2 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Fazem parte deste item, os trabalhos que conduzirão à feitura do mapa topográfico e do mapa de declividades da área planejada.

3.2.2.1 O MAPA TOPOGRÁFICO

Como base para a confecção de uma grande parte dos mapas aqui realizados o mapa topográfico é um dos documentos obrigatórios num projeto deste gênero.

Normalmente, as Prefeituras dispõem de levantamentos topográficos atualizados de seus municípios, mas, caso contrário, deve-se incluir no projeto a elaboração do mapa topográfico.

O método mais utilizado atualmente para se fazer o levantamento topográfico de uma região é o da "restituição", onde os restituidores analíticos, aparelhos que dispõem de computador

res, utilizam o cálculo eletrônico para transformar as parâxas de um par estereoscópico de fotografias aéreas em coordenadas re- tangulares, a fim de se proceder ao traçado de curvas de nível.

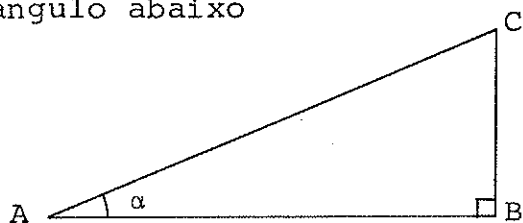
Considerando a escala sugerida de 1 : 10.000, aconselha- se também o uso da equidistância de 5 metros para as curvas de ní- vel. É o valor mais adequado para atender às diferentes necessida- des de outros mapas confeccionados a partir do mapa topográfico.

3.2.2.2 O MAPA DE DECLIVIDADES

Este mapa mostra áreas com diferentes porcentagens de inclinação dos terrenos. A metodologia para a sua elaboração, já sugerida e utilizada por outros autores (*De Biasi-1970, Libaud-1975, Siegnemartin-1979*), consiste em determinar no mapa topogrâ- fico plani-altimétrico, áreas de um mesmo intervalo de inclinação dos terrenos. Para isso os limites dos intervalos são previamente escolhidos (função da própria variação de inclinação dos terrenos e da finalidade de uso do mapa), e transformados em distâncias en- tre as curvas de nível. Assim, as áreas de diferentes inclinações estarão limitadas por curvas de nível, e por segmentos transver- sais a elas de comprimentos proporcionais aos limites de declivi- dades previamente escolhidos.

Para melhor compreensão do conceito de declividade, con- siderem-se os seguintes elementos geométricos:

No triângulo abaixo

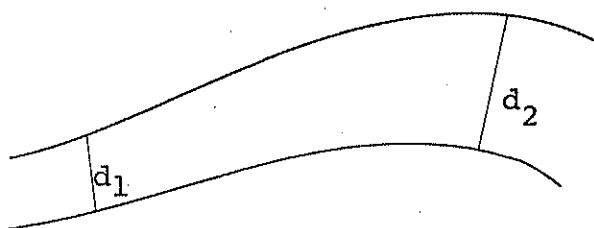


(esquema 1)

a declividade da rampa AC é definida como:

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AB}, \text{ sendo } i = \text{declividade em } \%$$

Considerando-se duas curvas consecutivas de um mapa topográfico, tem-se



(esquema 2)

$$d = \frac{e}{i} , \text{ sendo: } d = \text{espaçamento entre as curvas,}$$

$$e = \text{equidistância, e}$$

$$i = \text{declividade}$$

Comparando com o esquema 1, tem-se

$$e = BC$$

$$d = AB$$

$$i = i = \text{declividade em \%}$$

Com os valores de declividade (i) preliminarmente escolhidos e com a equidistância e , determina-se os valores d que, colocados em espaçamento de um compasso, permitem determinar os limites entre as curvas de nível das áreas do mesmo intervalo de declividades. Por exemplo, num mapa de escala 1 : 10.000, com curvas de nível em equidistância de 5 metros, foram escolhidos os intervalos de declividade: até 2,5%, de 2,5 a 5%, de 5 a 10%, de 10 a 20% e superiores a 20%. Na escala 1 : 10.000, 5 metros correspondem a 0,05 cm. Assim, aplicando

$$d = \frac{e}{i} , \text{ tem-se:}$$

$$d_1 = \frac{0,05}{2,5\%} = \frac{0,05}{0,025} = 2 \text{ cm}$$

$$d_2 = \frac{0,05}{5\%} = \frac{0,05}{0,05} = 1 \text{ cm}$$

$$d_3 = \frac{0,05}{10\%} = \frac{0,05}{0,1} = 0,5 \text{ cm}$$

$$d_4 = \frac{0,05}{20\%} = \frac{0,05}{0,2} = 0,25 \text{ cm}$$

A declividade dos terrenos é importante para uma série de estudos posteriores de geologia de planejamento urbano. Assim, controlando o escoamento e a infiltração de água, a declividade controla também a erodibilidade, a estabilidade de taludes, a instalação de sistemas de saneamento (baixa declividade dificulta o escoamento). Por outro lado, controla diretamente instalações subterrâneas, tais como redes de esgoto e canalizações hidrográficas que exigem no mínimo 5% de declividade. O limite de 10% é o máximo para ruas e estradas. Áreas com declividades altas (acima de 20%), face aos inúmeros problemas apresentados, devem ser considerados inaptas à ocupação urbana em projetos de planejamento (Seignemartin - 1979).

3.2.3 ESTUDOS FISIAGRÁFICOS

Dois aspectos fisiográficos importantes deverão constar das informações básicas de um projeto como este. Um deles diz respeito aos estudos geomorfológicos que deverão conduzir à elaboração do mapa de formas de relevo. O outro é o levantamento dos tipos de vegetação que ocorrem na área planejada.

3.2.3.1 O MAPA DE FORMAS DE RELEVO

O levantamento geomorfológico da área em planejamento, além de fornecer subsídios para a diferenciação dos tipos geotécnicos de solos, no mapeamento das coberturas inconsolidadas, como será abordado adiante, é indispensável nos estudos de erodibilidade dos terrenos e de instabilidade de encostas, dois assuntos importantíssimos em geologia de cidades.

Através de fotointerpretação devem ser estudados e classificados os diferentes elementos geomorfológicos da área dando-se ênfase às formas de encostas. Desta maneira, é importante o registro completo das redes hidrográficas que atuam na área pesquisada. Por outro lado, a classificação de terraços deverá ser de grande valia na elaboração de mapa de depósitos superficiais. A demarcação dos divisores de água (principais e secundários) junta

mente com uma classificação detalhada dos tipos de vertente serão os elementos geomorfológicos mais importantes do mapa. *Troeh (1965)*, considerando declives radiais convergentes e divergentes, combina os aspectos concavidade e convexidade para classificar quatro tipos de vertentes como mostra a Figura 1 (A, B, C e D). *Soares e Fiori (1976)* considerando apenas o perfil das encostas distinguem os tipos mostrados na Figura 1 (E, F, G e H). Uma outra classificação apresentada por *Oka Fiori (1980)*, parece distinguir melhor as formas de vertentes (Figura 1 - I, J, L e M). Um aspecto importante que deve ser ainda considerado ao se classificar as encostas é a presença ou não de ravinamentos incipientes.

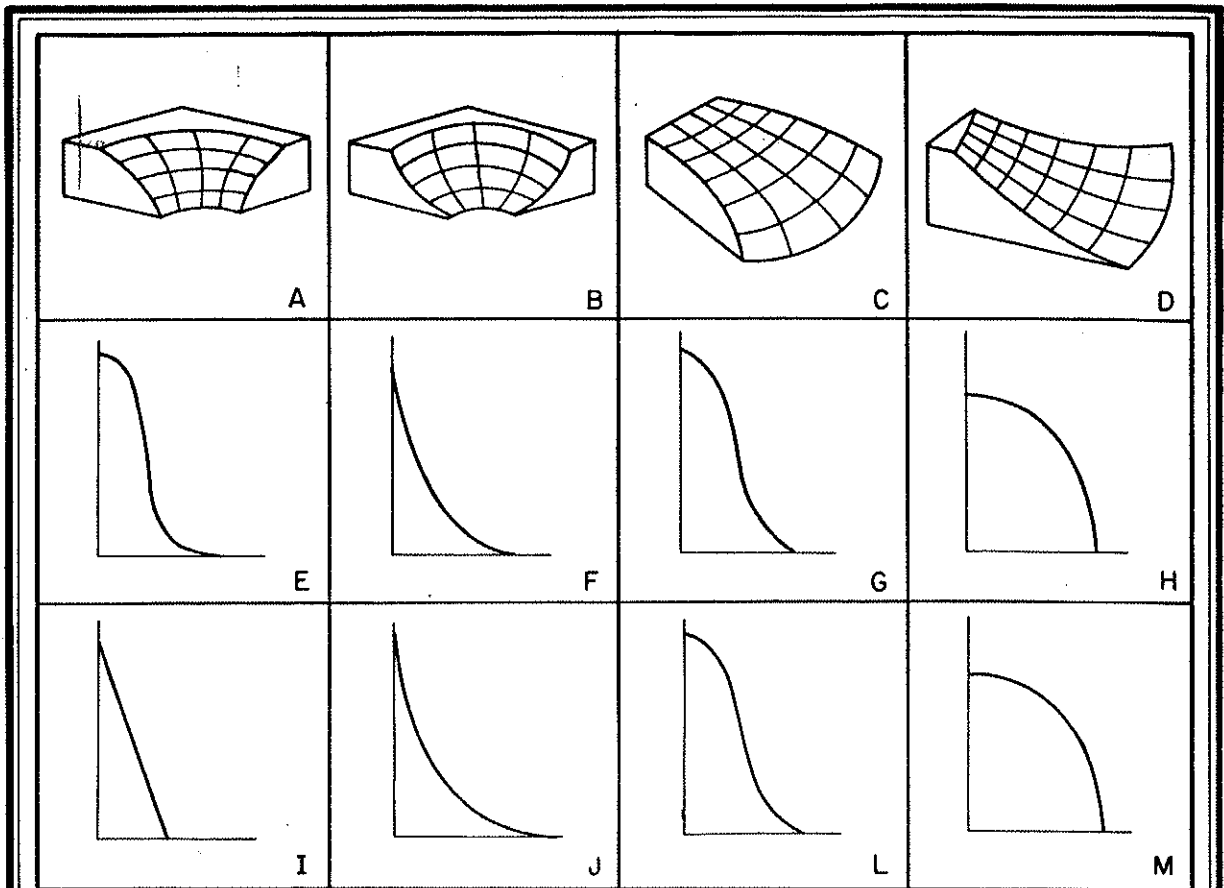
3.2.3.2 O MAPA DE VEGETAÇÃO

O levantamento da distribuição dos tipos de vegetação aqui proposto tem como objetivo único, subsidiar os estudos geológicos do projeto. Aconselha-se, no entanto, que este levantamento seja elaborado, se possível, por especialistas, pois deve servir também em outros setores do planejamento, tais como o agrônomo (distribuição de áreas verdes), o da engenharia civil (fontes de fornecimento de madeira), etc. Na Geologia, a vegetação é importante como elemento controlador de fenômenos geológicos como a erosão, a infiltração de água e a movimentação de massas inconsolidadas em encostas.

De uma maneira geral, esta carta diferencia três tipos de vegetação: a nativa, a secundária e a cultivada.

"Nativa" é a vegetação de origem ou natural, que pode ser de dois tipos; a de galeria, vegetação que acompanha os córregos é a variável segundo as áreas climáticas. Nestas diferenciam-se os bosques sazonais sempre verdes, os bosques sazonais semi-caducifólios (parte das árvores apresentam-se desfolhadas), os bosques sazonais caducifólios (maioria das árvores desfolhadas), os bosques espinhosos e as vegetações de cactus.

A vegetação "secundária" é uma vegetação natural ou nativa de um segundo desenvolvimento, sem estar em equilíbrio com o meio. Em outras palavras, é a vegetação que se desenvolve natu



SEGUNDO TROEH (1965)

- A - ENCOSTAS COM RADIAIS CONVEXAS E CONTORNOS CÔNCAVOS.
 B - ENCOSTAS COM RADIAIS CÔNCAVAS E CONTORNOS CÔNCAVOS.
 C - ENCOSTAS COM RADIAIS CONVEXAS E CONTORNOS CONVEXOS.
 D - ENCOSTAS COM RADIAIS CÔNCAVAS E CONTORNOS CONVEXOS.

SEGUNDO SOARES E FIORI (1976)

- E - ENCOSTA CÔNCAVO - RETILÍNEO - CONVEXA.
 F - ENCOSTA CÔNCAVA.
 G - ENCOSTA CÔNCAVO - CONVEXA.
 H - ENCOSTA CONVEXA.

SEGUNDO OKA FIORI (1980)

- I - ENCOSTA RETILÍNEA
 J - ENCOSTA CÔNCAVA.
 L - ENCOSTA CÔNCAVO - CONVEXA.
 M - ENCOSTA CONVEXA.

FIGURA 01: TIPOS DE ENCOSTAS

ralmente após uma queimada, ou um desmatamento. Os tipos mais comuns são os cerrados, pastagens naturais, pequenos bosques e gramíneas.

A vegetação "cultivada" pode ser de dois tipos: as culturas anuais como o milho, arroz, soja, algodão, etc., e as culturas permanentes como citrus, café, eucaliptos, e outras (Oliveira et al. - 1979).

3.2.4 ESTUDOS GEOLÓGICOS

Os estudos geológicos num projeto de geologia para planejamento de áreas urbanas devem ser orientados para a confecção dos mapas do substrato geológico e estrutural (mapa geológico) e das coberturas inconsolidadas de superfície (mapa de solos no conceito de engenharia). Estas cartas consistirão no subsídio mais importante para o zoneamento geotécnico; daí a exigência de que devem ser elaboradas no maior detalhe permitido pela escala adotada.

3.2.4.1 O MAPA DO SUBSTRATO GEOLÓGICO E ESTRUTURAL

O mapa do substrato geológico e estrutural deve apresentar diferenciação de todas as litologias, em se tratando de áreas cristalinas, e alcançar particularização a nível de membros ou litofácies, quando no caso de áreas sedimentares. Juntamente com o mapeamento devem ser realizados todos os estudos de geologia que visam à caracterização da estratigrafia, assim como das unidades estratigráficas da área. Desta maneira, além do levantamento geológico de superfície, são importantes os estudos de geologia de subsuperfície realizados em poços profundos.

Com alusão às estruturas, devem ser registrados todos os tipos de falhamentos, dobramentos, fraturas, foliações, lineamentos e outras que ocorrem na área pesquisada.

O mapa do substrato geológico e estrutural tem sua importância ressaltada nos locais desprovidos de depósitos superfi

ciais, ou onde o solo é pouco espesso. Do contrário, o zoneamento geotécnico se fundamentará basicamente no mapa das coberturas in consolidadas, caso que caracteriza as áreas urbanas brasileiras, já que solos espessos são comuns em regiões tropicais.

3.2.4.2 O MAPA DAS COBERTURAS INCONSOLIDADAS

Considerando que as características geotécnicas dos ma teriais de superfície, para serem extrapoladas dentro de uma de terminada área, exigem uma homogeneidade representativa dos mate riais desta área, pode-se concluir que o mapa das coberturas in consolidadas ou mapa de solos deve apresentar uma diferenciação bastante detalhada destes materiais. Por conseguinte, na elaboração desta carta, devem ser utilizados todos os critérios que per mitam diferenciar materiais inconsolidados. Aconselha-se então que se faça fotointerpretação acompanhada da caracterização petro gráfica de campo e ensaios preliminares de laboratório. Na fotoin terpretação, devem ser utilizados critérios genéticos, geomorfoló gicos e pedológicos para a diferenciação das unidades mapeadas.

Em países não tropicais, onde são comuns depósitos ceno zóicos eólicos e glaciais e onde a evolução pedogenética do solo carece de importância, costuma-se usar uma classificação de solos* essencialmente genética para fins de mapeamento geotécnico. São diferenciados os solos residuais, coluviais, aluviais, eólicos, glaciais e marinhos (Rengers e Soeters - 1980).

A classificação apresentada a seguir (modificada de Var gas - 1978), específica para solos tropicais, leva em considera ção critérios de diferenciação genéticos, geomorfológicos e pedo genéticos.

Inicialmente são diferenciados quatro tipos básicos: so los residuais, solos transportados, solos orgânicos e solos late

* para facilidade de referência será usado neste trabalho o termo "solo" com seu significado geotécnico, ou seja, como denominação de todos os tipos de materiais inconsolidados de cobertura.

rizados.

a) Solos Residuais

São produtos de alteração da rocha "in situ", isto é, sem ou com um mínimo de transporte.

Um aspecto geotécnico muito importante deste tipo de solo é o que se refere aos seus diferentes horizontes. Conforme o grau de alteração intempérica, pode-se distinguir neles diferentes horizontes, que, no entanto, são normalmente de difícil individualização por apresentarem entre si uma transição gradativa.

b) Solos Transportados

Compreende os depósitos sedimentares inconsolidados. Por critérios genéticos e geomorfológicos eles podem ser assim classificados:

b.1) Depósitos Coluviais de Terraços: coluviões, ou seja, material transportado lentamente pela ação da gravidade, depositando-se em superfícies horizontais ou pouco inclinadas que interrompem declives (terraços).

b.2) Depósitos Coluviais de Espigão: coluviões que ocupam o topo dos espigões ou divisores de água.

b.3) Depósitos Coluviais de Encostas ou Rampas de Colúvios: compreende materiais coluvionares que ocupam as superfícies inclinadas das vertentes.

b.4) Depósitos Aluviais de Vales: depósitos que ocupam os vales dos rios e riachos, relacionados à deposição de água corrente; normalmente apresentam gradação granulométrica com grãos maiores na base e menores no topo da seqüência.

b.5) Depósitos Aluviais de Terraços: aluviões depositados em terraços fluviais.

b.6) Depósitos de Talus: compreende os materiais de transporte rápido com grãos angulosos e mal selecionados, depositados em sopés de morros.

b.7) Depósitos de Praia: areias marinhas, geralmente com retrabalhamento eólico, caracterizados por boa seleção.

b.8) Depósitos Aluviais de Regiões Litorâneas: ficam aqui incluí

dos os aluviões deltáicos, aluviões de estuários e baixadas litorâneas, argilas de mangue, sedimentos lagunares, etc.

c) Solos Orgânicos

Caracterizam-se pela presença de matéria orgânica. Quando esta for o constituinte principal do solo, normalmente na forma de restos vegetais alterados, estes depósitos recebem a denominação específica de "turfa".

d) Solos Laterizados

São aqueles que sofreram o fenômeno da laterização com enriquecimento de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, na fração argilosa. Merecem destaque por apresentarem comportamento geotécnico característico. São colapsíveis sob condição de saturação, propriedade esta observada em ensaios de adensamento com inundação do corpo de prova.

3.3 OS ESTUDOS GEOTÉCNICOS E HIDROGEOLÓGICOS

Os estudos geotécnicos têm por objetivo as investigações das propriedades geotécnicas dos terrenos da área planejada, visando aos zoneamentos geotécnicos que definirão as diferentes aptidões para a ocupação urbana.

As características geotécnicas das rochas, em estudos que visam ao planejamento urbano, não têm a mesma importância das propriedades geotécnicas do solo. De uma maneira geral são as propriedades da cobertura inconsolidada que norteiam os zoneamentos geotécnicos para fins de planejamento. Assim as sondagens SPT, penetrando até níveis menos alterados das rochas, satisfazem as exigências do projeto, com relação à qualificação dos terrenos para fins de fundação. Por outro lado, os estudos geológicos devem fornecer os elementos necessários às interpretações qualitativas a respeito das rochas para fins de estudo de estabilidade de taludes. Sendo assim, tudo leva a crer que as únicas propriedades geotécnicas das rochas, cujas investigações são necessárias neste tipo de projeto, são a permeabilidade e a expansibilidade. As demais características geotécnicas são da cobertura de material inconsolidado,

ou solo, como se define em engenharia.

Um aspecto a ser aqui ressaltado é que os parâmetros geotécnicos não podem ser representados em mapas de isolinhas, com interpolação e extrapolação dos valores, pois estes representam características pontuais.* Após a melhor individualização dos tipos homogêneos de materiais, cada tipo deverá ser representado pelas médias de cada parâmetro geotécnico.

Os estudos hidrogeológicos procurarão definir as características dos potenciais hídricos, tanto superficiais como subterrâneos, com o intuito de orientar os órgãos planejadores sobre o melhor sistema de exploração destes recursos.

3.3.1 INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS

Ensaio para determinação de índices físicos, juntamente com ensaios de granulometria, limites de consistência, resistência ao cisalhamento, adensamento e permeabilidade deverão fornecer os parâmetros geotécnicos de solos indispensáveis às interpretações dos projetos de geologia que visam ao planejamento urbano. Os índices físicos têm sua importância ressaltada nos casos em que são requisitados trabalhos de laboratórios para a distinção das unidades mapeadas.

Por se tratar da etapa mais importante da coleta de dados para os fins a que se propõe este tipo de trabalho, será dada atenção especial ao item em discussão, onde procurar-se-á detalhar melhor os métodos propostos.

3.3.1.1 AMOSTRAGEM DE SOLOS

O método mais simples de coleta de amostras de solo pa-

* não confundir com as propriedades espessura de solo e profundidade do lençol freático, cujo significado está relacionado à distribuição espacial.

ra ensaios geotécnicos, consiste em retirá-las de um poço raso do tipo "cisterna", aberto até a profundidade de 10 a 12 metros, desde que não alcance o nível de água subterrânea.

Dois tipos de amostras podem ser coletadas: as deformadas e as indeformadas. Deformadas são aquelas escavadas nas laterais dos poços e recolhidas em saquinhos plásticos. As indeformadas, geralmente coletadas no fundo dos poços, são devidamente condicionadas para que conservem suas características naturais de umidade e estrutura. A amostra indeformada consiste em um bloco cúbico de aproximadamente 25 cm de aresta, talhado no local da coleta, revestido com parafina e entretela e posteriormente colocado em caixa de madeira com os espaços laterais sendo preenchidos por serragem. Os blocos, após rotulados, com indicação da posição dos mesmos no terreno, são condicionados em câmaras úmidas, até o momento de serem ensaiados em laboratório.

As amostras deformadas servem para ensaios de caracterização, ou seja, para a determinação das propriedades genéricas de solos de mesma constituição. Neste projeto, são feitos com estas amostras os ensaios de índices físicos, granulometria e limites de consistência.

Com as amostras indeformadas são confeccionados corpos de prova, cujos ensaios devem conduzir à definição do comportamento do solo, tal como este se apresenta no local onde os blocos foram coletados. Estas amostras servirão, neste tipo de projeto, para ensaios de adensamento, de permeabilidade e de eventuais ensaios de compreensão triaxial.

3.3.1.2 ÍNDICES FÍSICOS DE SOLOS

Segundo *Bueno e Vilar (1980)*, os índices físicos são relações entre as fases ar, água e sólidos, em termos de massas e volumes, que procuram caracterizar as condições físicas naturais em que um solo se encontra.

Parte dos índices físicos são determinados em laboratório, e parte, por fórmulas de correlação. Em laboratório são obtidos o teor de umidade (h), a massa específica natural (γ) e a massa específica dos solos (δ).

O teor de umidade do solo (h) é definido como a relação expressa em porcentagem, entre a massa de água contida num certo volume de solo e a massa dos grãos sólidos desse mesmo volume. O procedimento para determinação do teor de umidade normalizada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) consiste em pesquisar uma amostra natural de peso $P = P_s + P_a$ (sendo P_s = peso dos grãos e P_a = peso da água) e secá-la a 110°C até a constância de peso. O teor de umidade será dado pela fórmula: $h = \frac{P_a}{P_s} \cdot 100$.

A massa específica natural do solo (γ) é a relação entre massa e volume de uma amostra deste solo.

Em laboratório utilizam-se corpos de provas cilíndricos talhados para outros ensaios de Mecânica de Solos e fazem-se as medidas de diâmetro e altura do cilindro para cálculo do volume e a pesagem do corpo de prova.

Define-se massa específica dos sólidos como sendo a relação entre a massa dos sólidos e o volume dos mesmos. As operações para a obtenção deste índice também foram normalizadas pela ABNT. Para tal utiliza-se um balão volumétrico (picnômetro) no qual se coloca uma porção do solo (80 g para argilosos e 150 g para arenosos) e preenche-se com água destilada até a marca de referência. Pesa-se o conjunto frasco, água e solo, determina-se a temperatura da suspensão e, mediante uma curva de calibração do picnômetro, determinam-se o peso do frasco e água para a temperatura do ensaio. A massa específica dos sólidos (δ) é dada pela fórmula:

$$\delta = \frac{M_s \cdot \delta_{aT}}{M_s + M_2 - M_1}$$

onde: M_1 = massa do frasco mais solo e água,
 M_2 = massa do frasco com água pura,
 M_s = massa do solo seco e
 δ_{aT} = densidade da água à temperatura $T^\circ\text{C}$ do ensaio

Os demais índices, determinados por fórmulas de correlação são: o índice de vazios (e) a porosidade (n), o grau de saturação (S), a massa específica seca (γ_s) e a massa específica saturada (γ_{sat}).

O índice de vazios (e) é dado pela relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos, ou seja, $e = V_v/V_s$.

A porosidade (n) é definida pela relação entre o volume de vazios e o volume total da amostra, ou seja, $n = V_v/V$.

O grau de saturação (S) representa a relação entre o volume de água e o volume de vazios, ou seja, $S = V_a/V_v$.

A massa específica seca (γ_s) e a massa específica saturada (γ_{sat}) são definidos em função da quantidade de água presente no solo. Assim, a massa específica seca, dada quando não existe água nos vazios ($S = 0\%$), é definida pela relação entre a massa dos sólidos e o volume total, ou seja, $\gamma_s = M_s/V$. Por outro lado, a massa específica saturada, definida quando todos os vazios estão preenchidos de água ($S = 100\%$), é dada pela relação entre a soma das massas de água e dos sólidos pelo volume, ou seja, $\gamma_{sat} = M_a + M_s/V$. O Quadro 2 mostra as diferentes fórmulas de correlação entre os índices físicos dos solos.

3.3.1.3 GRANULOMETRIA DE SOLOS

Em Geotecnia, os ensaios de granulometria são realizados com a finalidade de se obter a curva de distribuição granulométrica do solo (curva de porcentagens acumuladas). Esta, por sua vez, segundo *Bueno e Vilar (1980)*, encontra aplicação prática na classificação textural do solo, na estimativa do coeficiente de permeabilidade e no dimensionamento de filtros de proteção.

Neste projeto, a distribuição granulométrica deverá ser de grande utilidade na elaboração das classificações Unificada (USCS) e HRB dos materiais inconsolidados.

Nos laboratórios geotécnicos, os ensaios de granulometria são realizados, utilizando-se o método do peneiramento para separação das frações areia e pedregulho, e o método da sedimentação ou do densímetro para a quantificação das frações silte-argilosas. Estes métodos, cujos procedimentos de laboratório são descritos a seguir, foram também padronizados pela ABNT.

Para se realizar o ensaio de granulometria, toma-se uma amostra de solo que apresente um peso tal que a parte separada para o ensaio de sedimentação (que passa na peneira de malha 0,150

QUADRO 02: FÓRMULAS DE CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS

TEOR DE UMIDADE h (%)	$h = \frac{S e \gamma_a}{\delta}$	$h = \frac{n S \gamma_a}{(1-n) \delta}$	$h = \frac{S \gamma_a (\delta - \gamma_s)}{\delta \sigma_s}$
MASSA ESPECÍFICA NA TURAL ₃ γ (g/cm ³) 0 < S < 100%	$\gamma = \frac{\delta + S e \gamma_a}{1 + e}$	$\gamma = \delta - (\delta + S \gamma_a) n$	$\gamma = \gamma_s (1 + h)$
MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS δ (g/cm ³)	$\delta = \gamma_s (1 + e)$	$\delta = \frac{\gamma_s}{1-n}$	$\delta = \frac{S e \gamma_a}{h}$
ÍNDICE DE VAZIOS - e -	$e = \frac{\delta}{\gamma_s} - 1$	$e = \frac{n}{1-n}$	$e = \frac{\delta h}{S \gamma_a}$
POROSIDADE n (%)	$\eta = \frac{e}{1+e}$	$\eta = 1 - \frac{\gamma_s}{\delta}$	$\eta = \frac{\delta h}{S \gamma_a + \delta h}$
GRAU DE SATURAÇÃO s (%)	$s = \frac{h \delta}{e \gamma_a}$	$s = \frac{h \delta (1-n)}{n}$	$s = \frac{\delta \gamma_s h}{\gamma_a (\delta - \gamma_a)}$
MASSA ESPECÍFICA SECA γ_s (g/cm ³) s = 0%	$\gamma_s = \frac{\delta \gamma_a}{1 + e}$	$\gamma_s = (1-n) \delta$	$\gamma_s = \frac{\gamma}{1 + h}$
MASSA ESPECÍFICA SATURADA γ_{sat} (g/cm ³) s = 100%	$\gamma_{sat} = \frac{\delta + e \gamma_a}{1 + e}$	$\gamma_{sat} = \frac{\delta - (\delta - \gamma_a) n}{1-n}$	$\gamma_{sat} = \frac{\delta (1+h)}{1+e}$

mm, ou nº 100 - USBS) tenha de 40 a 70 gramas de material. A experiência tem mostrado que nesta quantidade, os resultados do ensaio são melhores. Após juntar água e uma substância defloculante, que evita a aglutinação das partículas menores (hexametáfosfato ou pirofosfato de sódio), a mistura é peneirada com o auxílio de lavagem na peneira de malha 100 ou 0,150 mm. O material que passa é recolhido numa proveta graduada para 1.000 cm³, sendo destinado ao ensaio de sedimentação. O material retido, após secagem em estufa, é passado por uma bateria de peneiras, movimentadas por vibração. Pesam-se as frações retidas em cada peneira e, em função do peso seco final da amostra, determinam-se as porcentagens retidas e as acumuladas das frações grosseiras. No ensaio de sedimentação a velocidade de queda da partícula é obtida indiretamente, determinando-se a densidade da suspensão, em diferentes intervalos de tempo. Para isso, a suspensão contida na proveta é agitada para homogeneização, após o que são feitas as leituras de densidade. Com as leituras do densímetro, através da Lei de Stokes, determinam-se os diâmetros (D) equivalentes das partículas em suspensão e as correspondentes porcentagens (N) de partículas com diâmetros menores do que o diâmetro calculado. As fórmulas abaixo para cálculo de D e N são simplificadas, não levando em consideração a variação do peso específico e viscosidade da água com a temperatura; seus resultados apresentam uma aproximação razoável dentro do exigido na prática de Mecânica dos Solos:

sendo:

$$D = 0,1 \sqrt{\frac{Z}{t}}$$

D = diâmetro em mm,

Z = distância entre a superfície da suspensão e o centro de volume do bulbo do densímetro, em cm,

t = tempo decorrido em segundos.

sendo:

$$N = \frac{160}{P_f} L_c$$

N = porcentagens,

L_c = leituras do densímetro corrigidas,

P_f = peso seco final em gramas.

Para a construção da curva granulométrica utiliza-se gráfico semilogarítmico, onde as porcentagens acumuladas são colocadas em ordenada (escala aritmética), em função dos respectivos diâmetros em abscissas (escala logarítmica).

As diferentes escalas de diâmetro de grãos usadas em Geotecnia utilizam quatro designações para intervalos granulométricos, cujos limites são variáveis entre estas escalas. São eles: pedregulho, areia, silte e argila. A Figura 2 mostra, no gráfico usado para a representação das curvas acumulativas, quatro escalas granulométricas utilizadas nos laboratórios brasileiros: a da AASHO (American Association of State Highway Officials), a da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a do MIT (Massachusetts Institute of Technology) e a Escala Granulométrica Internacional. Aconselha-se o uso da escala AASHO nos projetos de Geologia para planejamento urbano com base nas seguintes ponderações: primeiramente, esta escala é a mais usada para fins rodoviários, sendo que um dos objetivos do estudo da granulometria neste projeto é a aplicação em planejamento de obras viárias, por outro lado, é a escala que tem os limites de intervalos mais próximos da escala mais usada por geólogos em ensaios de sedimentologia e pedologia (escala de Wentworth); por fim, sendo este um projeto multidisciplinar, é importante que as referências aos intervalos granulométricos dos engenheiros sejam as mesmas dos geólogos.

3.3.1.4 LIMITES DE CONSISTÊNCIA DE SOLOS

Dependendo da quantidade de água presente, o solo argiloso pode-se apresentar em vários estados de consistência. O estado líquido é aquele em que o solo apresenta as propriedades e a aparência de suspensão. No estado plástico, o solo apresenta propriedade de plasticidade. O terceiro estado é o semi-sólido, onde o solo, apesar da aparência de sólido, sofre deformações volumétricas ao ser secado. Finalmente, no estado sólido o solo não passa por variações de volume pela secagem.

A passagem de um destes estados para outro é gradativa, e os limites entre eles são estabelecidos arbitrariamente através de ensaios padronizados. Estes limites são denominados "limites de consistência" ou "limites de Atterberg", nome do cientista que primeiro se preocupou com o estabelecimento deles.

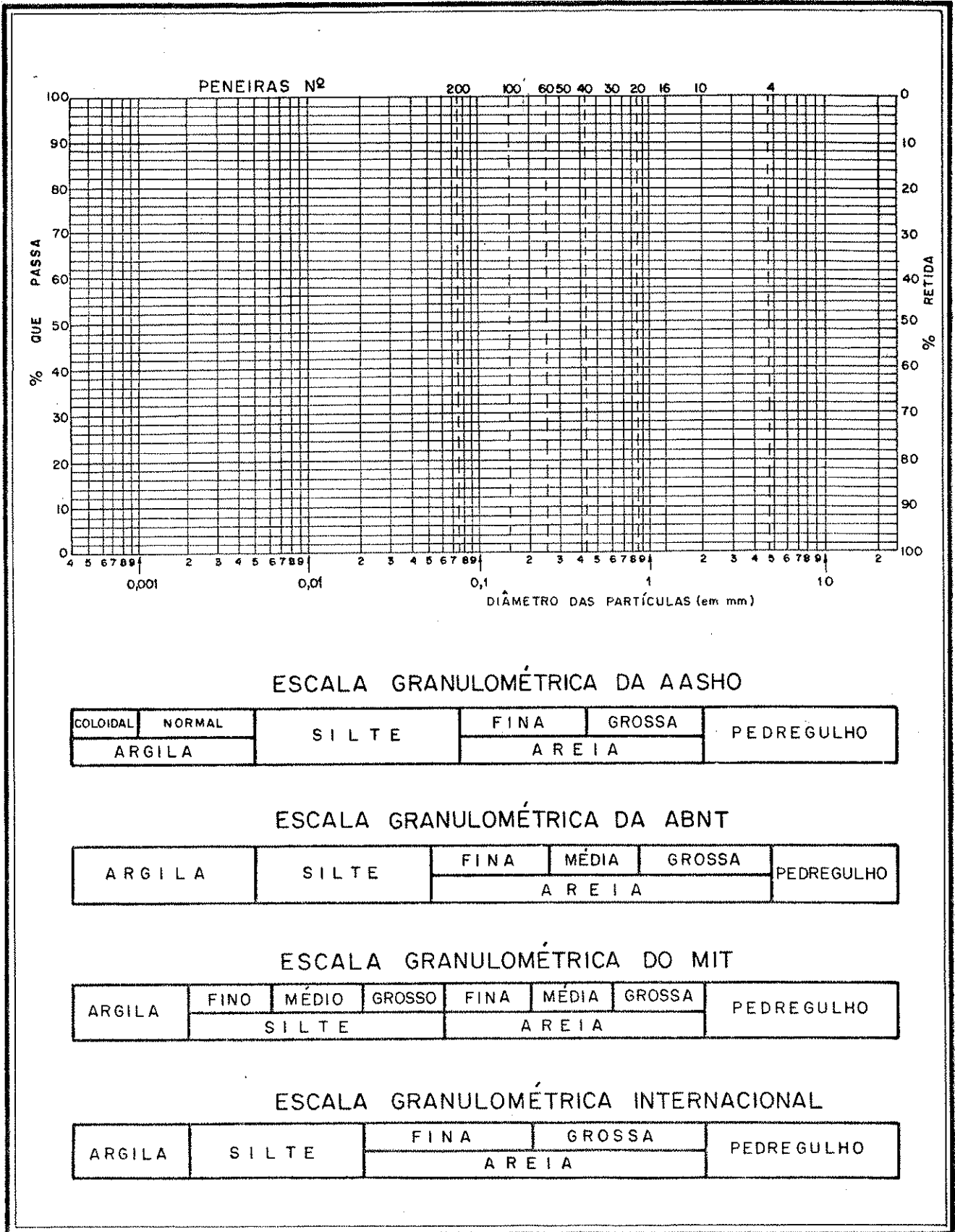


FIGURA 02: GRÁFICO PARA REPRESENTAÇÃO DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS E ESCALAS GRANULOMÉTRICAS USADAS EM GEOTECNIA

Os limites são: de liquidez (LL) entre o estado líquido e o plástico; de plasticidade (LP) entre os estados plástico e semi-sólido, e de contração (LC) entre o estado semi-sólido e sólido.

Neste projeto, os limites de Atterberg serão usados para as classificações geotécnicas dos solos. Estas, no entanto, utilizam apenas os limites de liquidez e de plasticidade; razão pela qual só estes serão tratados a seguir.

O limite de liquidez (LL) de um solo argiloso é determinado em laboratório por meio do aparelho de Casagrande, constituído de uma concha metálica que se movimenta sobre uma base de ebonite. No sistema de fixação da concha, a base, existe um excêntrico que permite a concha se elevar e cair sobre a base, de uma altura pré-fixada. Com a fração do solo que passa na peneira de 0,42 mm (malha 40-USBS) é feita uma pasta, a qual é colocada na concha. Com um cinzel apropriado faz-se uma ranhura no material e em seguida gira-se a manivela do excêntrico à razão de duas revoluções por segundo, para que a concha caia e bata contra a base do aparelho. Conta-se o número de golpes suficientes para o fechamento da ranhura numa extensão de 12 mm; após isto, é determinado o teor de umidade do solo. O processo é repetido para diferentes teores de umidade e os valores obtidos são lançados em um gráfico semilogarítmico, com os teores de umidade nas ordenadas e os números de golpes nas abscissas. Traça-se a reta que melhor se ajusta a esses pontos e determina-se o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que será o limite de liquidez.

O limite de plasticidade é obtido rolando-se pequenas quantidades de solos sobre uma placa de vidro fosco até que o diâmetro do rolinho seja de 3 mm (para tal rola-se conjuntamente um cilindro padrão de metal com o mesmo diâmetro) e começam a aparecer fissuras no solo. Determina-se o teor de umidade do rolinho neste instante que representa o limite de plasticidade do solo. O processo deve ser repetido pelo menos cinco vezes para que se obtenha uma média aceitável.

Outro parâmetro importante relacionado aos estados de consistência dos solos é o índice de plasticidade (IP), definido como o intervalo de umidade no qual o solo se encontra no estado

plástico. Logo $IP = LL - LP$.

3.3.1.5 CLASSIFICAÇÕES GEOTÉCNICAS DE SOLOS

As classificações geotécnicas dos solos são elementos imprescindíveis nos projetos de Geologia para planejamento urbano. Elas constituem o mais importante fator de caracterização de materiais inconsolidados, além de classificá-los para seus diferentes empregos em obras de engenharia.

Os dois principais sistemas de classificação de solos são: a Classificação Unificada (USC-Unified Soil Classification) e a Classificação HRB (Highway Research Board).

3.3.1.5.1 A CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA

A Classificação Unificada ou USCS (Unified Soil Classification System) se originou da Classificação de Solos para Aeroportos (Airfield Classification-AC) idealizada e apresentada em 1942 por Arthur Casagrande.

Nesta classificação, os elementos qualificadores são a granulometria e os limites de consistência. O solo é representado por uma simbologia de duas letras: um prefixo que corresponde aos grupos gerais e um sufixo relacionado aos subgrupos determinados pelas características granulométricas e pela plasticidade. Os materiais clásticos são divididos em dois grupos gerais: materiais grossos, aqueles cujos grãos são retidos na peneira nº 200 (0,074 mm) em mais de 50% de seu peso, e materiais finos, onde mais de 50% em peso de solo passa pela peneira nº 200. O grupo dos materiais grosseiros foi dividido em duas classes: pedregulhos e areias, representados pelos prefixos G (gravel) e S (sand), iniciais das palavras em inglês. Estas duas classes, por sua vez, foram divididas em quatro subclasses designadas pelos sufixos W (well) - material bem graduado, P (poor) - material mal graduado, C (clay) - material rico em argila e F (fine) - material com excesso de finos. O grupo dos materiais finos se subdivide em três

classes: silte de prefixo M (mo); argila inorgânica de prefixo C (clay), e silte e argilas orgânicas de prefixo O (organic). Estas classes são também subdivididas em duas subclasses representadas pelos sufixos: H (high) - materiais de alta compressibilidade com LL acima de 50, e L (low) - materiais de baixa compressibilidade com LL abaixo de 50.

Os solos finos são classificados em função de seus limites de liquidez e índices de plasticidade. Para tal utiliza-se o gráfico de plasticidade (Figura 3) que, apresentando LL em abscissas e IP em ordenadas, é dividido em regiões limitadas por duas linhas. A linha A com equação $IP = 0,73 (LL - 20)$ separa os solos orgânicos dos inorgânicos. A linha B, paralela ao eixo das ordenadas com equação $LL = 50$, separa os materiais de alta compressibilidade (direita) dos de baixa compressibilidade (esquerda). O material cujo ponto cai em região fronteira é designado por símbolos dobrados, como CL-ML.

Além dos grupos grosseiros e finos citados acima, existe um terceiro tipo que são os solos turfosos, com alto teor de matéria orgânica, designados pelo símbolo Pt (peat) e caracterizados por altíssima compressibilidade.

Os quadros 3, 4 e 5 resumem a Classificação Unificada.

3.3.1.5.2 A CLASSIFICAÇÃO HRB

A Classificação HRB (Highway Research Board) foi proposta com o objetivo de ser usada na área de estradas e provém de uma adaptação da classificação do U.S. Public Roads. Aqui também os materiais são classificados em grupos e subgrupos em função da sua granulometria e plasticidade.

Distinguem-se os "solos granulares", que compreendem os grupos A-1, A-2 e A-3 e os "solos finos", com os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Os grupos A-1, A-2 e A-7 dividem-se em subgrupos.

O Quadro 6 mostra os tipos de materiais, sua identificação e a classificação como subleito de estradas, segundo o sistema HRB.

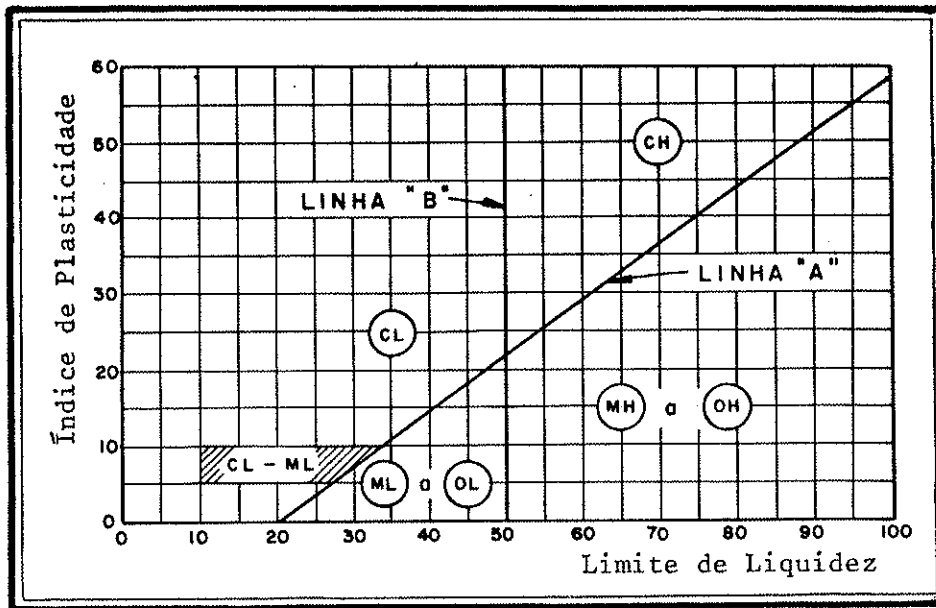
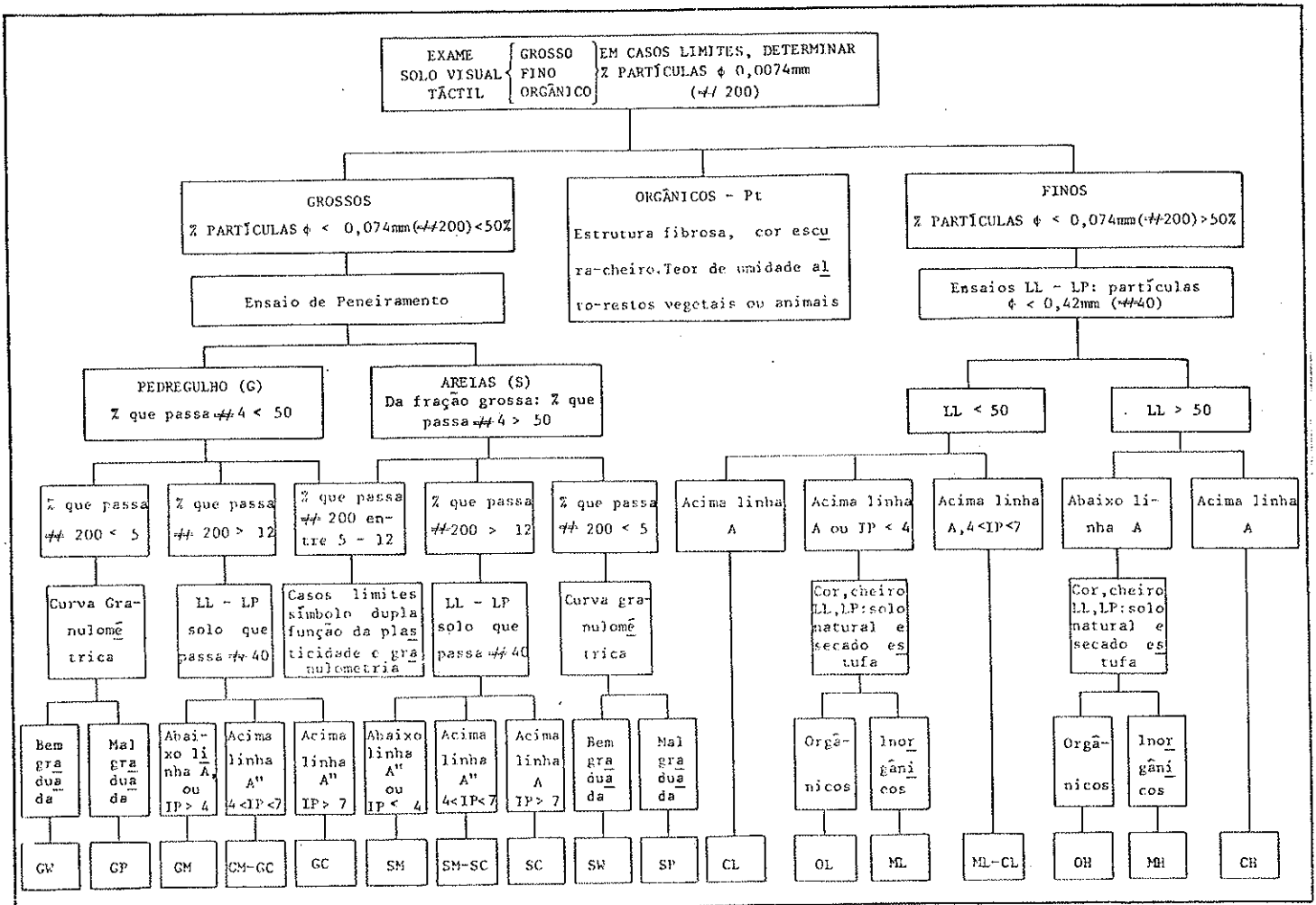


FIGURA 03: GRÁFICO DE PLASTICIDADE



QUADRO 03: CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA - SEQUÊNCIA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS EM LABORATÓRIO (IN BUENO E VILAR - 1980)

QUADRO 04: CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA-SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (IN BUENO E VILAR - 1980)

DIVISÕES PRINCIPAIS		IDENTIFICAÇÃO DE CAMPO (PARA PARTÍCULAS MENORES DO QUE 76mm, SEPARAÇÃO EM FRAÇÕES BASEADA EM PESOS ESTIMADOS)				SUBGRUPO	SÍMBOLO	INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS À BOA DESCRIÇÃO DO SOLO	CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO EM LABORATÓRIO			
SOLOS GRANULARES: % retida na #200 > 50%	Pedregulhos: % retida na #4 > 50%	Solos facilmente identificáveis a olho nu. Para se estabelecer o tipo de graduação, demanda experiência. Resistência do solo seco, desprezível, indica solo com pouco ou nenhum fino; resistência do solo seco, média a alta, indica ligante argiloso. Partículas com 4,76 < φ < 76mm, são predominantes.				Pedregulhos, mistura areia-pedregulho, bem graduadas, pouco ou nenhum fino.	GW	Amostras indeformadas; informações sobre estratificações, grau de compactação, cimentação, umidade, características de drenagem. Nome típico; percentagens de areia e de pedregulho; diâmetro máximo; angularidade; condição da superfície; dureza; nome local e geológico e outras descrições pertinentes. Símbolo entre parênteses. Ex. Areia silto-pedregulhosa; partículas pedregulhos angulares, com 20% dureza φ max = 15 mm; partículas areia grossa a fina, polidas e angulares com 15% de finos não plásticos, com pouca resistência seca; compacta e úmida "in situ" areia aluvional (SM).	Determinar percentagem de pedregulho e areia, na curva granulométrica; dependendo da quantidade de finos (φ < 0,074mm, #200) os solos granulares podem ser classificados em: <5% → GW, GP, SW, SP >12% → GM, GC, SM, SC	C _u > 4 C _u = $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ 1 < C _c < 3 C _c = $(d_{30})^2 / d_{10} \times d_{60}$		
		Partículas com 0,074 < φ < 4,76mm são predominantes, e identificáveis a olho nu. Sensação áspera, quando rolados entre os dedos. Resistência seca desprezível, indica não existência de finos, enquanto resistência seca média a alta, indica presença de solo fino.				Areias, ou areia pedregulhosa bem graduada; pouco ou nenhum fino.	SW			entre 5 e 12%: casos limites que requerem símbolo duplo.	Não são satisfeitos, todos os requisitos de granulometria, do grupo GW. IP < 4; ou ponto abaixo linha A. Ponto acima da linha A, com 4 < IP < 7, condições limites; símbolo duplo.	
		Partículas não são visíveis a seco	Resistência seca	Mobilidade d'água	Dureza	Areias, ou areia pedregulhosa mal graduada; pouco ou nenhum fino.	SP				IP < 4; ou ponto abaixo linha A. Ponto acima da linha A, condições limites; símbolo duplo.	
						Areias siltosas; mistura areia - silte.	SM					
	Areias não são visíveis a seco	Resistência seca	Mobilidade d'água	Dureza	Areias argilosas; mistura areia - argila.	SC	IP < 4; ou ponto abaixo linha A. Ponto acima da linha A, condições limites; símbolo duplo.					
	SOLOS FINOS: % que passa na #200 > 50%	Siltes e Argilas: LL < 50%	olho nu. Não são ásperas ao tato. Apresentam pouca ou nenhuma contração.	Nenhuma	Rápida	Nenhuma	Siltos inorgânicos, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas; siltos argilosos de baixa plasticidade.	ML	Amostras indeformadas; informações sobre estrutura, estratificação, consistência nos estados amolgados e indeformados; umidade e condição de drenagem. Nome típico; grupo e caráter da plasticidade; quantidade - diâmetro máximo partículas grossas; cor, quando molhado; odor; local e nome geológico; outras informações pertinentes; símbolo entre parênteses. Ex. Silte argiloso marrom, levemente plástico; pequena percentagem areia fina; numerosas raízes verticais; firme e seco "in situ". Loess (ML).	Granulometria e limites de consistência, se aplicável		
				Média	Nenhuma a muito lenta	Média	Argilas inorgânicas baixa - média plasticidade; argilas arenosas; siltos argilosos; argilas magras.	CL		Limites de Consistência.		
				Pouca a média	Lenta	Pouca	Siltos orgânicos; argilas siltosas de baixa plast.	OL		LL e LP: estado nat. e secado em estufa.		
		Siltes e Argilas: LL > 50%	Saponáceos ao tato. Apresentam contração, e compressibilidade considerável.	Pouca a média	Nenhuma a lenta	Pouca a média	Siltos inorgânicos, solos micáceos ou diatomáceos de alta compressibilidade.	MH	Granulometria: limites de consistência, se aplicável			
				Alta a muito alta	Nenhuma	Alta	Argilas inorgânicas de alta plast.; argilas gordas.	CH	Limites de consistência.			
Média a Alta				Nenhuma a muito alta	Pouca a média	Argilas orgânicas de média a alta plasticidade; siltos orgânicos.	OH	Limites de consistência: estado natural e secado em estufa.				
Solos altamente orgânicos		Solos facilmente identificáveis por cor, odor, sensação esponjosa: textura fibrosa.				Turfa e outros solos altamente orgânicos.	Pt	Teor de umidade; ensaio de adensamento.				

QUADRO 05: CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA - INFORMAÇÕES SOBRE PROPRIEDADES DOS SOLOS (IN BUENO E VILAR - 1980)

DIVISÕES PRINCIPAIS		SUBGRUPO	SÍMBOLO	TRABALHABILIDADE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	PERMEABILIDADE QUANDO COMPACTADO	RESISTÊNCIA COMPACTADA E SATURADA	COMPRESSIBILIDADE DE COMPACTADA E SATURADA	γ_d , máx. para w_{ot} (Proctor Normal) g/cm ³	VALOR COMO FUNDAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM		
SOLOS GRANULARES	PEDREGULHOS E SOLOS PEDREGULHOSOS	Pedregulhos; mistura areia pedregulho bem graduada; pouco ou nenhum fino	GW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	De 2,00 a 2,20	Boa a excelente	Excelente		
		Pedregulhos; mistura areia pedregulho mal graduada; pouco ou nenhum fino	GP	Boa	Muito Desprezível	Boa	Desprezível	De 1,80 a 2,00		Excelente		
		Pedregulhos siltosos; mistura pedregulhos - areia - silte	GM	Boa	Semipermeável a impermeável	Boa	Desprezível	De 1,92 a 2,20		Regular a Má		
		Pedregulhos argilosos; mistura pedregulhos - areia - argila	GC	Boa	Impermeável	Regular a Boa	Muito Pequena	De 1,84 a 2,10		Má		
	AREIAS E SOLOS ARENOSOS	Areias, ou areias pedregulhosas bem graduadas; pouco ou nenhum fino	SW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	De 1,76 a 2,10		Má a boa - depende do peso específico	Excelente	
		Areias, ou areias pedregulhosas mal graduadas; pouco ou nenhum fino	SP	Regular	Permeável	Boa	Muito Pequena	De 1,60 a 1,92	Excelente			
		Areias siltosas; misturas areias - siltes	SM	Regular	Semipermeável a impermeável	Boa	Pequena	De 1,76 a 2,00	Má a boa	Regular a Má		
		Areias argilosas; misturas areias - argilas	SC	Boa	Impermeável	Regular a Boa	Pequena	De 1,68 a 2,00	Má a boa	Má		
		SOLOS FINOS	SILTES E ARGILAS COM LL < 50%	Siltes inorgânicos, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas; siltes argilosos de baixa plasticidade	ML	Regular	Semipermeável a impermeável	Regular	Média	De 1,52 a 1,92	Muito má; susceptível de liquefação	Regular a Má
				Argilas inorgânicas baixa-média plasticidade; argilas argilosas; siltes argilosos; argilas magras	CL	Regular a Boa	Impermeável	Regular	Média	De 1,52 a 1,92	Má a Boa	Má
Siltes orgânicos, argilas siltosas org. de baixa plastic.	OL			Regular	Semipermeável a impermeável	Baixa	Média	De 1,28 a 1,60	Má	Má		
SILTES E ARGILAS COM LL > 50%	Siltes inorgânicos, solos micáceos ou diatomáceos de alta compressibilidade		MH	Má	Semipermeável a impermeável	Baixa a Regular	Alta	De 1,12 a 1,52	Má	Regular a Má		
	Argilas inorgânicas de alta plasticidade; argilas gordas		CH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	De 1,20 a 1,68	Regular a Má	Má		
	Argilas orgânicas de média a alta plasticidade; siltes orgânicos		OH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	De 1,10 a 1,60	Muito má	Má		
SOLOS ORGÂNICOS	Turfa e outros solos altamente orgânicos	Pt	Compactação extremamente difícil; não utilizados como aterro; devem ser removidos das fundações; recalques excessivos; resistência muito baixa.									

QUADRO 06: SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO HRB (IN CAPUTO - 1977)

Classificação Geral	Solos Granulares ($P_{200} < 35\%$)							Solos Silto-Argilosos ($P_{200} > 35\%$)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
P_{10} P_{40} P_{200}	<50 <30 <15	— <50 <25	— >50 <10	— — <35	— — <35	— — <35	— — <35	— — >35	— — >35	— — >35	— — >35
LL IP	— <6	— <6	— NP	<40 <10	>40 <10	<40 >10	>40 >10	<40 <10	>40 <10	<40 >10	>40 >10
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	<4	<4	<8	<12	<16	<20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como subleito	Excelente o Bom						Regular o mau				

NOTAS: (1) - P_{10} , P_{40} e P_{200} indicam, respectivamente as porcentagens que passam nas peneiras n^{os} 10 (2mm), 40 (0,42mm) e 200 (0,074mm).

(2) - LL e IP referem-se a fração passando na #40.

(3) - Para o subgrupo A-7-5: $IP < LL-30$ e para o A-7-6: $IP > LL-30$.

(4) - A identificação é feita da esquerda para direita, razão porque o A-3 é colocado antes do A-2, sem que isto signifique superioridade daquele sobre este.

$$(5) - IG = \underbrace{(P_{200} - 35)}_{>0} \left[\underbrace{0,2 + 0,005(LL - 40)}_{>0} \right] + 0,01 \underbrace{(P_{200} - 15)}_{>0} \underbrace{(IP - 10)}_{>0}$$

$$\begin{array}{cccc} >0 & >0 & >0 & >0 \\ <40 & <20 & <40 & <20 \end{array}$$

3.3.1.6 ENSAIO CALIFÓRNIA

O Ensaio Califórnia foi idealizado a partir de estudos feitos pela California Division of Highways em 1929, para obtenção de um método de dimensionamento para pavimentos flexíveis.

Apesar de seu caráter empírico, este ensaio tornou-se largamente difundido no mundo todo, sendo de grande utilidade na técnica rodoviária.

A seqüência de laboratório é composta de três etapas:

- a) Ensaio de Compactação - para medir a umidade ótima e o peso específico máximo;
- b) Ensaio de Expansão - para determinação das características expansivas do material, e
- c) Determinação do "Índice de Suporte Califórnia" (ISC) ou "California Bearing Ratio" (CBR).

a) Ensaio de Compactação: Inicialmente uma amostra de solo que passa na peneira 19,1 mm é submetida a um ensaio de compactação padronizado num cilindro de 15 cm de diâmetro por 17 cm de altura, para se atingir, na umidade ótima, a massa específica aparente seca do material.

b) Ensaio de Expansão: Sobre um corpo de prova, moldado com a umidade ótima, é colocado um peso maior que 4,5 Kgf para simular a resistência que o peso do pavimento impõe à expansão do material. Em seguida, o sistema é imerso num depósito de água, durante o período de 96 horas, para que seja atingida a saturação. Por meio de um extensômetro (com sensibilidade de 0,01 mm), acoplado ao sistema, observa-se a expansão do material, fazendo-se leituras em intervalos de 24 horas. As expansões progressivas, assim como a expansão total do final dos 4 dias, são medidas em porcentagens relativas à altura inicial do corpo de prova.

c) Determinação do Índice CBR: O corpo de prova é levado a uma prensa, onde é pressionado por uma punção cilíndrica de 5 cm de diâmetro, acionado por um dispositivo hidráulico. Um manômetro registra a pressão aplicada, enquanto que a penetração do pistão na amostra é medida por um extensômetro. Com os valores

das cargas e das deformações constrói-se um gráfico, lançando -se as deformações nas abscissas (mm) e as cargas nas ordenadas (Kgf). Quando a curva obtida apresentar ponto de inflexão, deverá ser corrigida. Esta correção consiste em traçar uma tangente pelo ponto de inflexão, sendo sua interseção com o eixo das abscissas a nova origem que se deverá tomar para as penetrações. O "Índice Suporte Califórnia" (CBR) é definido como

$$\text{CBR} = \frac{P_o}{P_p} \cdot 100$$

sendo:

P_o = pressões obtidas para as penetrações 2,54 mm (0,1") e 5,08 mm (0,2"), em Kgf/cm^2 , e

P_p = pressões padrões, correspondentes à resistência que apresenta a pedra britada; o valor de 70 Kgf/cm^2 é relativo à penetração de 2,54 mm e o valor de 105 Kgf/cm^2 à penetração de 5,08 mm.

O índice CBR final será o maior dos dois valores obtidos.

3.3.1.7 ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO

O reconhecimento dos solos da área pesquisada, para de terminação dos tipos mais adequados de fundações de obras civis, implica na avaliação de duas importantes propriedades. A primeira é a resistência ao cisalhamento, que define a capacidade de carga dos solos. A outra é a compressibilidade, por meio da qual são avaliados os recalques, onde o adensamento é o fator provocante principal. Da resistência ao cisalhamento também dependem os problemas ligados à estabilidade de taludes, outro enfoque importante de um projeto de Geologia de Planejamento Urbano.

A resistência ao cisalhamento é definida como a tensão de cisalhamento sobre o plano de ruptura, na própria ruptura (*Leonards in Caputo - 1977*). Assim, se a tensão de cisalhamento em uma massa de solo excede a um determinado valor crítico, o solo se rompe. A ruptura pode ter como consequência o colapso de muros de arrimo, escorregamentos de massas de solos em taludes ou ainda o afundamento de fundações.

A resistência ao cisalhamento (τ) de um solo é decomposta em duas componentes: a "coesão - c " entre as partículas e o "atrito - ($\sigma \text{tg } \phi$)" entre as mesmas, conforme a equação do engenheiro francês Charles Augustin Coulomb: $\delta = C + \sigma \text{tg } \phi$, onde δ representa a pressão normal ao plano de ruptura e ϕ o ângulo de atrito interno do solo.

Taylor, na obra *Fundamental of Soil Mechanics* (in Caputo 1977), faz a seguinte observação: É de especial importância compreender que c e ϕ não são parâmetros constantes do solo e, sim, coeficientes empíricos que podem variar em largos intervalos para um solo dado, conforme as possíveis condições de pré-compressão, drenagem e outras variáveis. Por outro lado, deve-se considerar que, nos zoneamentos geotécnicos para planejamento, se necessita de parâmetros médios representativos das unidades geotécnicas. Tendo em vista estas duas observações pode-se concluir que a determinação dos parâmetros c e ϕ pelos métodos clássicos de laboratório (cisalhamento direto, compressão simples e compressão triaxial) e o emprego deles na qualificação dos tipos de solos parece não ser o procedimento mais apropriado. Por conseguinte sugere-se que a estimativa das cargas admissíveis dos tipos homogêneos de terrenos sejam feitas a partir de correlações baseadas em ensaios de resistência à penetração, os quais serão descritos a seguir.

O índice de resistência à penetração (N) foi definido por Terzaghi e Peck (1962) a partir do ensaio "Standard Penetration Test-SPT". Este ensaio concebido originalmente pela Raymond Concrete Pile Company (in Tschebotarioff - 1978) tem especificações padronizadas. Consiste em cravar no solo um amostrador com diâmetro externo de 5,1 cm, até uma profundidade de 46 cm, utilizando-se para isso um peso de 63,5 Kgf, que cai de uma altura de 76 cm. Desprezando-se os golpes correspondentes aos 15,2 cm iniciais da cravação (solo deformado), soma-se o número de golpes correspondentes aos 30,5 cm seguintes de penetração, para se obter o valor N do ensaio.

Apesar deste ensaio não ser considerado um método preciso de investigação, os valores de N fornecem uma boa orientação da consistência (solos argilosos) e da compacidade (solos arenosos) das camadas de solos investigadas. De um modo geral a inter-

pretação dos resultados do ensaio visam à escolha dos tipos de fundações e à estimativa das cargas admissíveis do terreno.

A Tabela 1 mostra correlações entre o número de golpes (N) do SPT com determinadas propriedades físicas dos solos. É importante ressaltar que os valores destas correlações são aproximados, principalmente os dos solos coesivos. Desta maneira o SPT não deve ser usado especificamente para determinação pontual dos parâmetros de resistência, o que deve ser feito por meio de amostras indeformadas em ensaios de laboratório.

3.3.1.8 COMPRESSIBILIDADE DE SOLOS

Um solo submetido a um esforço de compressão está sujeito a uma variação de volume. Considerando que a compressibilidade da fase sólida (grãos) e da fase líquida (água) é praticamente desprezível, a variação de volume se dá em função da redução dos vazios com a consequente expulsão da água intersticial. Esta remoção de água logicamente depende da permeabilidade do solo, sendo, por isso, rápida nas areias de permeabilidade alta e lenta nos solos argilosos de permeabilidade baixa. Essas variações de volume que se processam nos solos finos ao longo do tempo, até que se restabeleça o estado de equilíbrio em função das tensões aplicadas, constituem o fenômeno do "adensamento". É ele o principal responsável pelos recalques que experimentam as estruturas apoiadas sobre tais solos, tendo então importância destacada entre os estudos que visam ao zoneamento geotécnico para fundações.

Pelo ensaio de adensamento pode-se determinar os parâmetros necessários para se estimar os recalques provocados.

Em linhas gerais, o ensaio consiste em se instalar dentro de um anel de aço ou de bronze uma amostra indeformada de pequena espessura (em torno de 2,5 cm). Superior e inferiormente o corpo de prova fica em contato com material poroso que deve drenar a água da amostra, quando pressionada. Uma prensa aplica pressões verticais em vários estádios, sendo que cada um perdura até cessar as deformações a uma determinada tensão (em torno de 24 horas). As tensões são aumentadas (normalmente duplicadas) para os

TABELA 01: AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E DAS PRESSÕES ADMISSÍVEIS EM FUNÇÃO DO SPT
(ADAPTADO DE CAPUTTO - 1977 E LIMA - 1979)

		SOLOS	Nº DE GOLPES (N)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (IC)	GRAU DE COMPACTIDADE (GC)	COESÃO NÃO DRENADA (C _u) (kg/cm ²)	ÂNGULO DE ATRITO	TENSÕES ADMISSÍVEIS (kg/cm ²)
ARGILOSOS (ARGILA 30%)	MUITO MOLE	< 2	0	—	< 0,12	—	< 0,25	
	MOLE	2 - 4	0-0,25	—	0,12-0,25	—	0,25-0,50	
	MÉDIO	4 - 8	0,25-0,50	—	0,25-0,50	—	0,50-1,00	
	RIJO	8 -15	0,50-0,75	—	0,50-1,00	—	1,00-2,00	
	MUITO RIJO	15 -30	0,75-1,00	—	1,00-2,00	—	2,00-4,00	
	DURO	> 30	> 1,00	—	> 2,00	—	> 4,00	
ARENOSOS (ARGILA 30%)	MUITO FOFO	< 4	—	< 0,2	—	< 30°	< 1,0	
	FOFO	4 -10	—	0,2-0,4	—	30°-35°	1,0-2,0	
	MÉDIO	10-30	—	0,4-0,6	—	35°-40°	2,0-4,0	
	COMPACTO	30-50	—	0,6-0,8	—	40°-45°	4,0-6,0	
	MUITO COMPACTO	> 50	—	> 0,8	—	> 45°	> 6,0	

demais estádios. Os resultados do ensaio são registrados num gráfico semilogarítmico, onde, nas ordenadas, tem-se as variações de volume (índices de vazios finais de cada estágio) e nas abscissas, de escala logarítmica, as pressões aplicadas. A curva obtida (Figura 4) mostra três partes distintas. A primeira é a "curva de recompressão" que mostra a recompressão do solo ocorrida em laboratório, já que a retirada da amostra do maciço terroso corresponde a um processo de descarregamento devido à retirada do peso das camadas subjacentes. A segunda parte é denominada "reta de compressão virgem" e é aquela que corresponde à primeira compressão do material em sua deposição geológica. Finalmente, a terceira parte é a "curva de expansão" correspondente ao descarregamento da amostra.

A compressibilidade de um solo é avaliada por meio de dois parâmetros fornecidos pelo ensaio de adensamento: o "índice de compressão" e a "pressão de pré-adensamento".

O índice de compressão (C_c) é o coeficiente angular da reta de compressão virgem, e mede a compressibilidade como um parâmetro inerente ao próprio tipo de solo.

Com base na amplitude de variação do índice de compressão, pode-se classificar a compressibilidade dos solos em três níveis. Assim são considerados solos de baixa compressibilidade aqueles que apresentam $C_c \leq 0,25$. Os solos com C_c , variando entre 0,25 e 0,50, são de média compressibilidade, enquanto solos com $C_c > 0,50$ são de alta compressibilidade.

A pressão de pré-adensamento (P_a) é definida como a pressão limite da curva de recompressão, ou o valor a partir do qual o solo começa a comprimir-se segundo a reta virgem. A pressão de pré-adensamento corresponde ao estado de sollicitação a que esteve submetida anteriormente a camada de solo. Ao contrário do índice de compressão, a pressão de pré-adensamento é controlada por fatores externos tais como o peso das camadas superiores, o fenômeno do ressecamento e a cimentação interpartículas.

Os procedimentos mais usados para determinação da pressão de pré-adensamento são o de Casagrande (*in Caputo-1977*) e o de Pacheco Silva (1970).

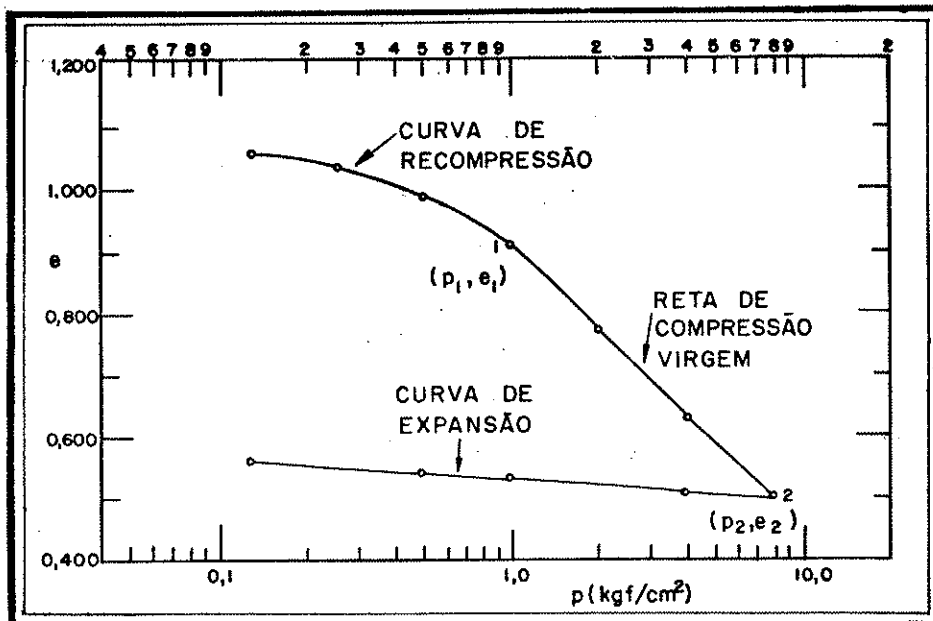


FIGURA 04: CURVA DO ENSAIO DE ADENSAMENTO

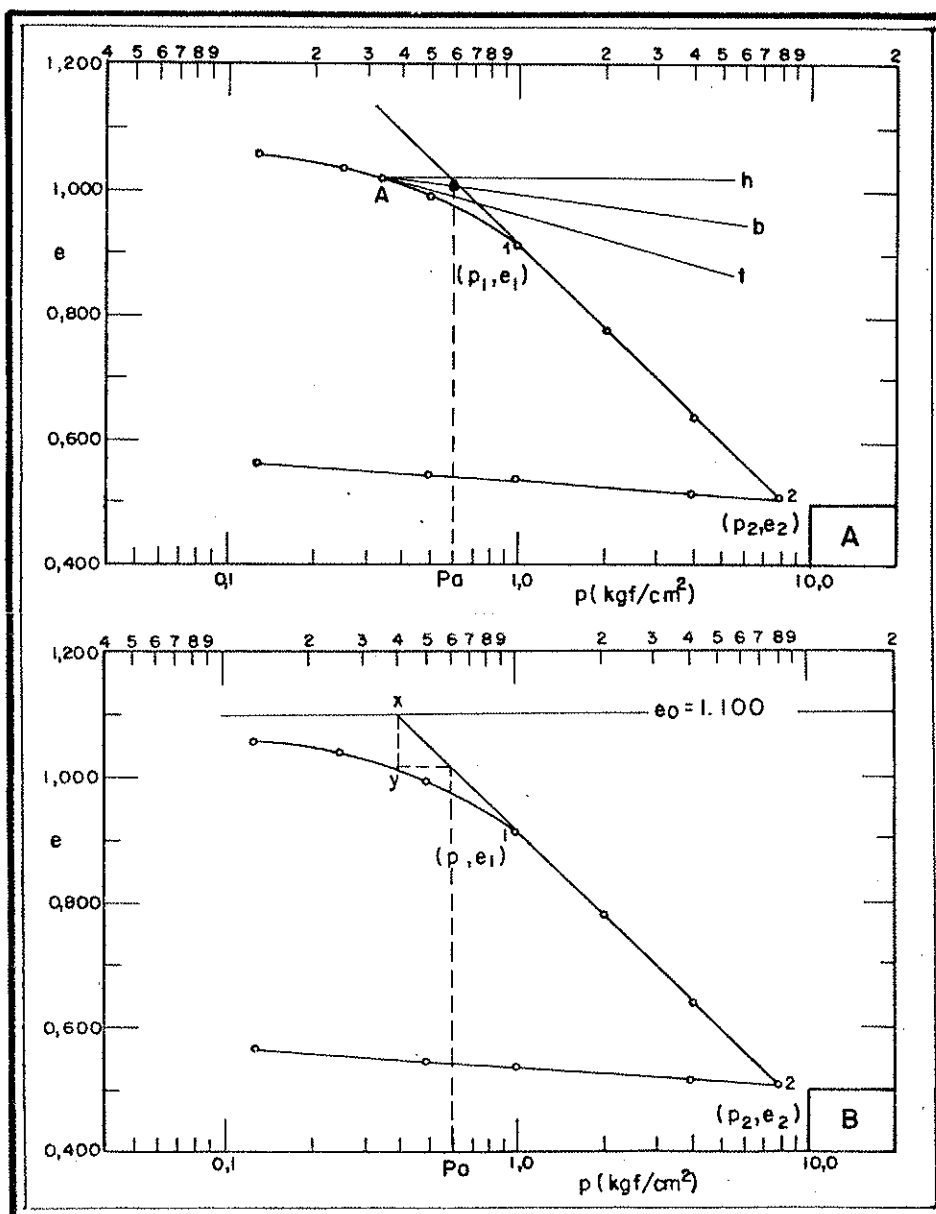


FIGURA 05: PROCESSOS GRÁFICOS PARA A DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO
 A - CASAGRANDE
 B - PACHECO SILVA

O processo gráfico de Casagrande (Figura 5-A) consiste em tomar um ponto (A) de menor raio de curvatura da linha " $e - \log P$ " e por ele traçar-se a horizontal h , a tangente t e a bissetriz b do ângulo formado por t e h . Prolonga-se a parte reta da linha (reta virgem) até encontrar a bissetriz. A abscissa desse ponto de intersecção é a pressão de pré-adensamento (P_a).

O processo de Pacheco Silva (Figura 5-B) manda prolongar a reta virgem até encontrar a horizontal que passa pelo índice de vazios naturais do solo (e_0), determinando o ponto x . A vertical por x determina o ponto y na curva " $e - \log P$ ". A horizontal por y determina sobre o prolongamento da reta virgem o ponto z , cuja abscissa é a pressão de pré-adensamento.

A pressão de pré-adensamento (P_a) quando comparada com a pressão que atua no local onde foi coletada a amostra, consequência do peso dos materiais subjacentes (P_e), permite classificar o solo em três tipos. O primeiro é o solo "normalmente adensado", quando as duas pressões se equivalem ($P_a = P_e$), ou seja, a máxima pressão que o solo já suportou corresponde ao peso atual do solo subjacente. O segundo tipo é o solo "pré-adensado" onde $P_a > P_e$, significando que este solo já esteve sujeito a cargas maiores do que as atuais. Finalmente, um caso mais raro, quando $P_a < P_e$, tem-se um solo que ainda não terminou de adensar-se sob a ação do seu próprio peso, sendo por isso denominado "parcialmente adensado".

Define-se "razão de pré-adensamento", ou "over consolidation ratio-OCR", como sendo a relação entre a pressão de pré-adensamento (P_a) e a pressão que atua no local de retirada da amostra (P_e), ou seja, $OCR = P_a/P_e$. Desta maneira para $OCR > 1$, os solos são pré-adensados. Para OCR igual ou próximo a 1, temos solos normalmente adensados e para $OCR < 1$, os solos são parcialmente adensados.

A classificação apresentada acima vem complementar a qualificação do solo quanto as suas características de compressibilidade. Independentemente do índice de compressão, os solos pré-adensados suportam, sem sofrer recalques, pressões maiores do que os normalmente e os parcialmente adensados, sendo que estes últimos recalcam mesmo sem pressões ocasionadas por estruturas sobrepostas.

De uma forma simplista, unindo os parâmetros pressão de pré-adensamento e índice de compressão, pode-se afirmar que o solo que menos sofre recalque é o que é mais pré-adensado e menos compressível.

Um aspecto importante relacionado com o fenômeno de adensamento é o que diz respeito aos "solos colapsíveis", ou porosos como conhecidos em engenharia. São estes, os solos lateríticos, onde os altos teores de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro são responsáveis pela estrutura instável do material (cimentação precária inter-partículas). Desta maneira, tais solos, quando sob um determinado carregamento, têm seu grau de saturação aumentado (infiltração de água de chuva, rompimento de condutores de água ou esgoto), apresentam uma repentina variação de volume, consequência da redução do índice de vazios.

Sendo o fenômeno da laterização uma consequência da atuação duradoura de condições climáticas tropicais sobre materiais inconsolidados, ele ocorre mais comumente na parte superficial dos depósitos cenozóicos, que já experimenta um novo ciclo de alteração intempérica. Assim é comum o fenômeno da colapsividade neste tipo de material, muito abundante entre os solos brasileiros, o que torna de fundamental importância os ensaios de adensamento com inundação do corpo de prova, quando se pretende avaliar os terrenos para fundações.

3.3.1.9 PERMEABILIDADE DE SOLOS E DE ROCHAS

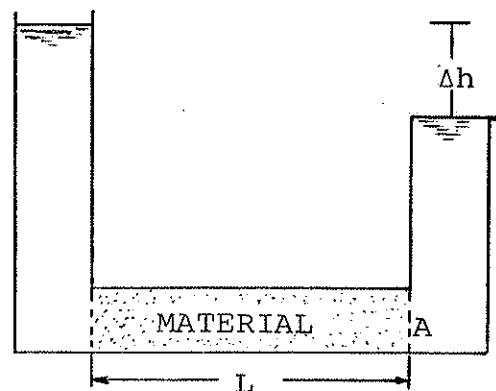
Permeabilidade é a propriedade dos solos e das rochas de permitir a passagem de fluídos entre seus vazios, sem que seja forçada sua estrutura.

A permeabilidade é regida pela lei de Darcy que pode ser expressa da seguinte forma:

$$V = K \cdot I \quad \text{ou} \quad Q = K \cdot I \cdot A$$

onde, de acordo com o esquema a seguir:

V = velocidade de descarga,
 K = coeficiente de permeabilidade
 de Darcy,
 $I = \Delta h/L$ - gradiente hidráulico,
 ou perda de carga (h) da per
 colação na distância L ,
 Q = vazão, e
 A = área da secção transversal.



A lei de Darcy é válida para escoamento laminar, de fluídos homogêneos, sem interação entre fluidos e o meio poroso, e considerando a secção transversal constante ao longo do corpo po
roso.

Segundo Casagrande e Fadum (in Terzaghi e Peck - 1962), os terrenos podem ser de "boa drenabilidade", quando apresentam K com os valores maiores que 10^{-4} , de "difícil drenabilidade" com K variando de 10^{-4} a 10^{-6} e "praticamente impermeáveis", quando K for menor que 10^{-6} cm/s.

O conhecimento da permeabilidade dos terrenos de uma área urbana é de grande utilidade na determinação da adequabilidade de destes terrenos para a disposição e tratamento de resíduos sépticos, como será visto adiante, no Ítem 3.4.5.

Em Geotecnia, as medidas do coeficiente de permeabilidade de de solos e rochas são comumente realizadas no campo, já que os resultados dos ensaios "in situ", de um modo geral, são mais representativos deste parâmetro. Para os projetos de Geologia que visam o planejamento urbano, aconselha-se o uso desta mesma metodologia, ressaltando-se, no entanto, que as medidas obtidas em laboratório também são úteis. Estas podem ser usadas em sistema de correlação com as primeiras, auxiliando bastante a determinação do valor que melhor representa a permeabilidade dos diferentes tipos de solos e rochas.

3.3.1.9.1 DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE SOLOS

a) Ensaaios "In Situ"

Os ensaios para a determinação da permeabilidade de solos "in situ" podem ser executados tanto nos furos das sondagens SPT, como nos poços de inspeção abertos para coleta de amostras indeformadas. Nos dois tipos de perfurações podem ser aplicadas diferentes modalidades de ensaios, dependendo da disponibilidade de equipamento e da posição em que se encontra o nível hidrostático no local ensaiado. Assim podem ser efetuados testes de infiltração, de rebaixamento, de recuperação ou de bombeamento.

A seguir, será discutido apenas o ensaio de infiltração, que por depender de pouco equipamento é o menos oneroso e mais utilizado. É um método que, no entanto, não se aplica a poços de inspeção mais profundos que o nível hidrostático.

O ensaio de infiltração consiste em colocar água no furo de sondagem até a boca, ou no poço de inspeção até um certo nível, tomando-se este instante como tempo zero. O nível de água na perfuração é mantido constante, sendo que o volume introduzido por uma fonte apropriada deve ser medido durante um determinado intervalo de tempo, obtendo-se assim a vazão, que será utilizada no cálculo da permeabilidade. Normalmente usa-se construir um gráfico com os valores do volume acumulado em função do tempo, para se observar a estabilização da vazão, que é caracterizada por uma reta.

O cálculo do coeficiente de permeabilidade é feito segundo as fórmulas apresentadas na Figura 6, sendo A e B os casos de ensaios realizados em trechos de furos de sondagem, situados respectivamente acima e abaixo do nível hidrostático. C representa os casos de ensaios efetuados em poços de inspeção.

b) Ensaaios de laboratório

A medida da permeabilidade de solos em laboratório é realizada com aparelhos denominados permeômetros, cujos funcionamentos são variáveis de acordo com o tipo de material ensaiado.

A — ENSAIO EM SONDAgens-ACIMA DO NÍVEL HIDROSTÁTICO.

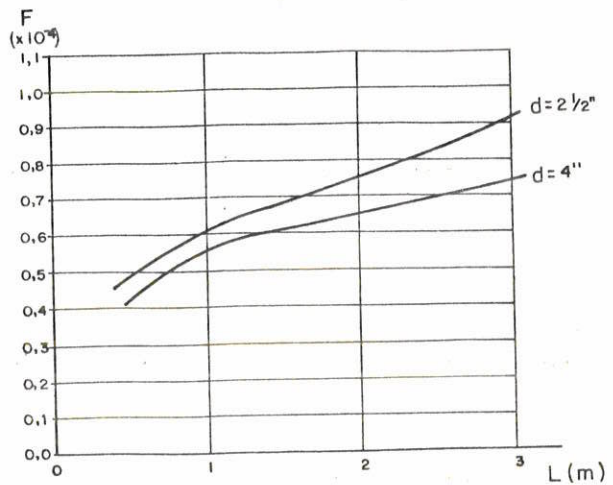
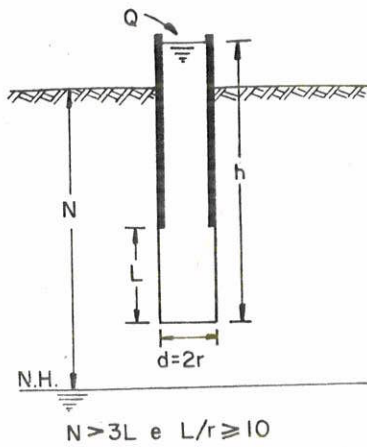
$$K = \frac{Q}{Lh} F$$

K - cm/s

L - m

Q - l/min

h - kg/cm²



B — ENSAIO EM SONDAgEM-ABAIxO DO NÍVEL HIDROSTÁTICO.

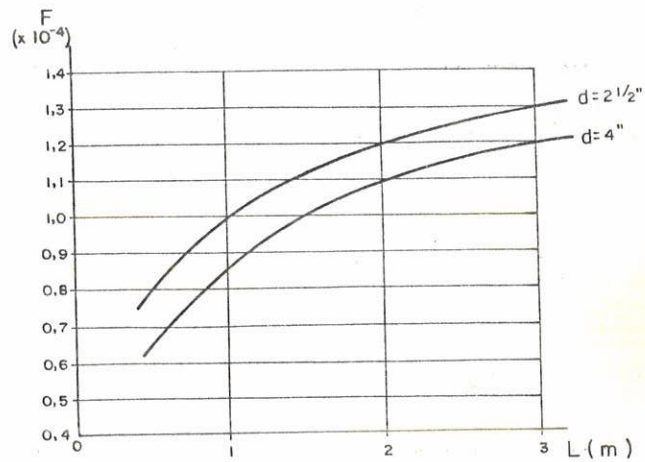
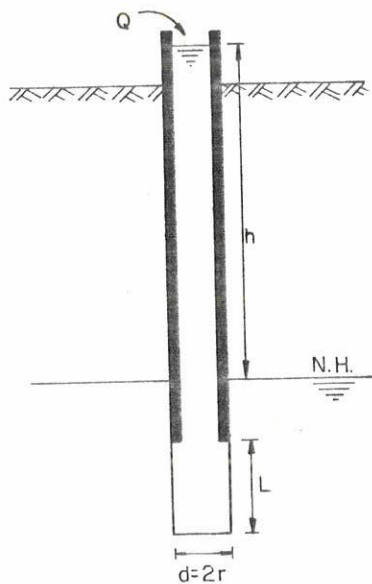
$$K = \frac{Q}{Lh} F$$

K - cm/s

L - m

Q - l/min

h - kg/cm²



Quando o fundo for impermeável despreza-se F.

C — ENSAIOS EM POÇOS DE INSPEÇÃO.

$$K = \frac{Q}{h 4\pi r \sqrt{\frac{L}{d} + \frac{1}{4}}}$$

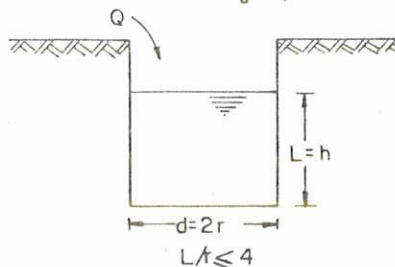


FIGURA 06: CÁLCULO DA PERMEABILIDADE EM ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO "IN SITU" (SEGUNDO OLIVEIRA ET AL. - 1981)

Assim, para materiais de permeabilidade alta, como areias incoerentes, utiliza-se o "permeâmetro de carga constante" (Figura 7-A). Por outro lado, para materiais de baixa permeabilidade como sedimentos inconsolidados argilosos e a grande maioria dos tipos de rochas, onde o intervalo de tempo necessário para que percole uma quantidade apreciável de fluido é bastante grande, é recomendado o uso do "permeâmetro de carga variável" (Figura 7-B).

Nos ensaios realizados com permeâmetro de carga constante, o coeficiente de permeabilidade é dado pela expressão

$$K = \frac{V L}{A h t}$$

onde

V = volume d'água percolado no intervalo de tempo t, em cm³,

L = altura do corpo de prova em cm,

A = área do corpo de prova em cm²,

h = altura da carga d'água constante do permeâmetro em cm,

t = tempo decorrido do início ao fim do ensaio em segundos.

Quando os ensaios são realizados com permeâmetro de carga variável, o coeficiente de permeabilidade é calculado pela fórmula

$$K = 2,3 \frac{a L}{A t} \log_{10} \frac{h_0}{h_1}$$

onde

a = área interna do tubo de carga em cm²,

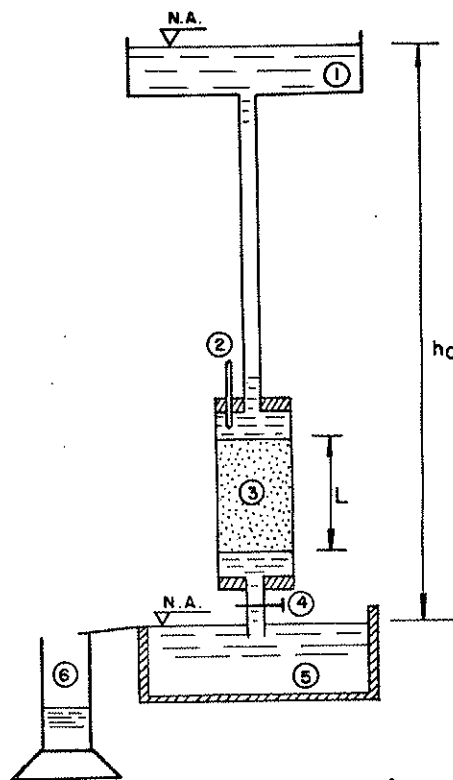
L = altura do corpo de prova em cm,

A = área do corpo de prova em cm²,

t = intervalo de tempo necessário para o nível baixar de h₀ para h₁ em segundos,

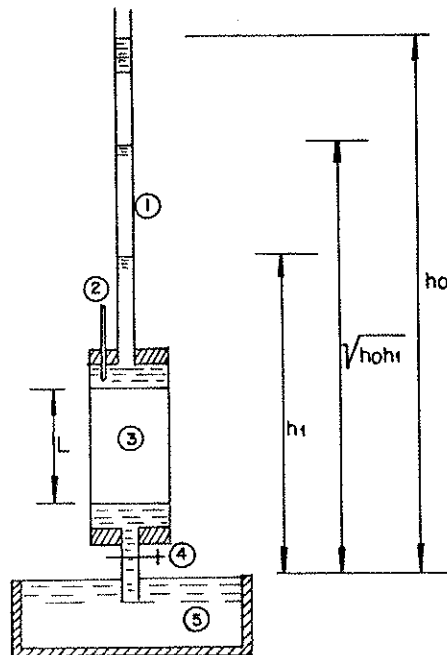
h₀ = distância da marca de referência superior ao nível d'água do reservatório inferior em cm,

h₁ = distância da marca de referência inferior ao nível d'água do



- 1- Reservatório d'água com carga constante h_0 .
- 2- Termômetro
- 3- Corpo de prova.
- 4- Torneira.
- 5- Reservatório para saída d'água após percolar através do corpo de prova.
- 6- Proveta graduada, para se medir o volume d'água percolada.

A - PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE.



- 1- Tubo de carga variável.
- 2- Termômetro.
- 3- Corpo de prova.
- 4- Torneira de saída d'água.
- 5- Reservatório de saída d'água.

B - PERMEÂMETRO DE CARGA VARIÁVEL.

reservatório inferior em cm.

Em qualquer um dos dois tipos de ensaios citados acima, é necessário medir a temperatura da água em intervalos regulares de tempo durante o ensaio, e obter-se uma média. Esta média representativa da temperatura $T^{\circ}\text{C}$ é usada para a transformação do coeficiente de permeabilidade à temperatura de 20°C , por meio da expressão

$$K_{20} = K_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}}$$

onde

K_{20} = coeficiente de permeabilidade a 20°C ,

K_T = coeficiente de permeabilidade a $T^{\circ}\text{C}$,

μ_T = viscosidade da água a $T^{\circ}\text{C}$, e

μ_{20} = viscosidade da água a 20°C .

3.3.1.9.2 DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE ROCHAS

a) Ensaio "In Situ"

Para se medir a permeabilidade de rochas "in situ", utiliza-se os "ensaios de perda d'água sob pressão". Estes ensaios consistem em injetar água sob pressão em um trecho de um furo de sondagem, e medir a quantidade de água que se infiltra na rocha, durante um certo tempo e sob uma dada pressão de injeção.

No furo de sondagem, o trecho de ensaio, geralmente de 3,0 metros, é limitado inferiormente pelo fundo do furo e superiormente pelo obturador. Se o ensaio não for realizado no final do furo, utiliza-se o obturador inferior.

O ensaio de perda d'água é realizado para vários estádios de pressão. Cada um deles é mantido durante o tempo mínimo necessário para que se obtenha uma vazão constante, conseguindo-se, dessa forma, condições de fluxo permanente. A infiltração que ocorre em cada estágio é registrada em forma de vazão. Cada par

de valores infiltração x pressão possibilita o cálculo de um coeficiente, que exprime a permeabilidade do trecho ensaiado.

A permeabilidade do ensaio é dada pela expressão

$$K = \frac{Q}{L \cdot Ce} \cdot F$$

onde, de acordo com a Figura 8:

K = coeficiente de permeabilidade em cm/s,

Q = vazão em l/minuto,

L = comprimento do trecho ensaiado em metros,

Ce = carga efetiva em Kg/cm²,

F = fator de correção.

A carga efetiva Ce corresponde a

$$Ce = \frac{H}{10} + P_m - P_c$$

sendo

$$H = C + L/2$$

para os casos em que o trecho ensaiado está acima do nível hidrostático, e

$$H = a + N$$

para os casos em que o trecho ensaiado está abaixo do nível hidrostático.

Nestas últimas expressões têm-se, segundo a Figura 8:

H = carga da coluna de água em metros,

P_m = pressão manométrica em Kg/cm²,

P_c = perda de carga na canalização em Kg/cm²,

C = comprimento da tubulação a jusante do manômetro em metros,

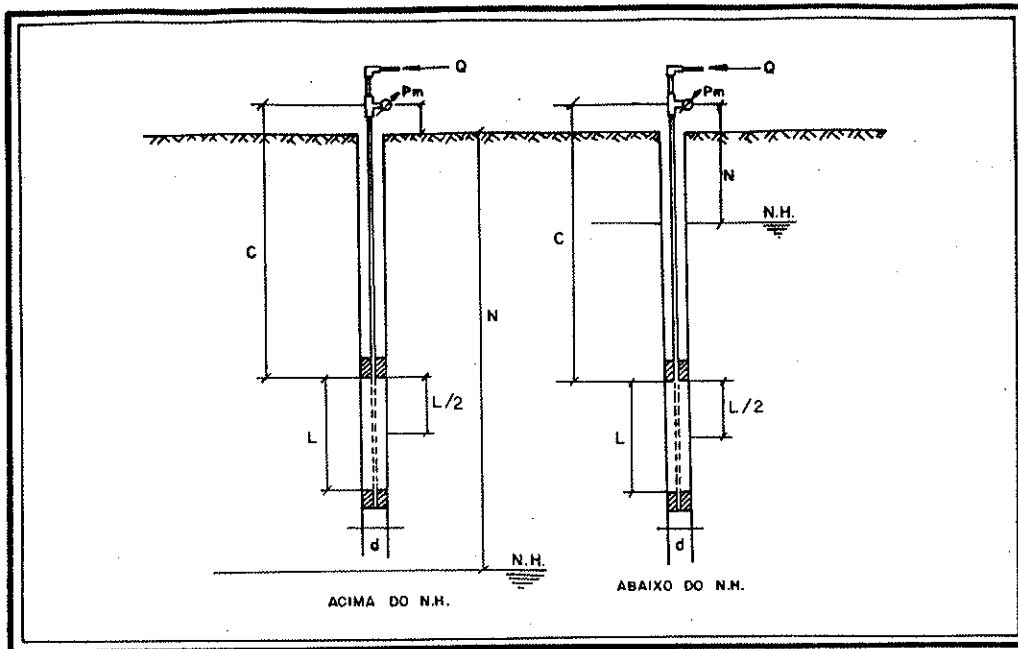


FIGURA 08: PARÂMETROS DO ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA

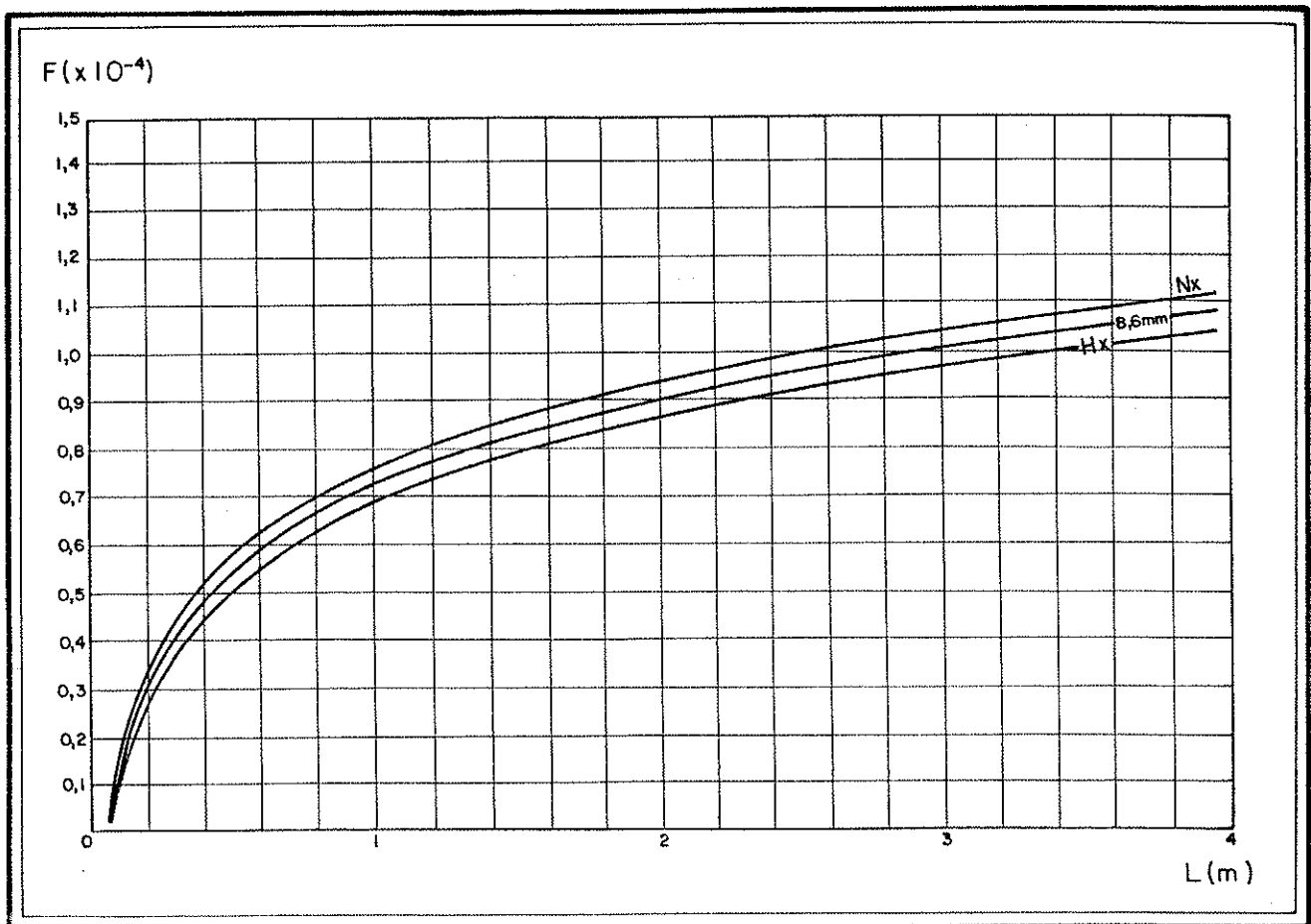


FIGURA 09: ÂBACOS PARA DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CORREÇÃO F DO CÁLCULO DA PERMEABILIDADE NO ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA

N = profundidade do nível hidrostático em metros,
 a = altura do manômetro em metros.

Tubulações com diâmetros superiores a 2 polegadas apresentam perda de carga desprezível. Para diâmetros menores, no entanto, a perda de carga P_c precisa ser considerada, e seus valores podem ser determinados por meio de âbacos ou por testes executados na própria canalização do ensaio. Tais testes são descritos por *Oliveira et al.* (1975).

O fator de correção F é determinado de acordo com o âbaco da Figura 9, construído para os diâmetros mais usados de furos, ou seja, N_x , 86 mm e H_x .

b) Ensaio de Laboratório

Em laboratório, a determinação do coeficiente de permeabilidade de rochas normalmente é realizado por meio do ensaio de carga variável, descrito atrás para solos.

No caso de rochas cristalinas, com permeabilidade muito baixa, resultados melhores têm sido obtidos usando-se o ar como fluido de percolação, com uma aparelhagem específica para este tipo de ensaio (permeômetro universal).

Quando um determinado tipo de rocha apresentar variações locais de textura e estrutura, devem ser realizadas várias medidas com corpos de provas diferentes que apresentam estas variações. Assim devem ser preparados corpos de prova com diferentes graus de cimentação, ou com diferentes direções de corte, quando a rocha for estratificada.

3.3.2 DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DA COBERTURA INCONSOLIDADA

O mapa de espessuras da cobertura inconsolidada (ou de solos, no conceito da engenharia), e o mapa de profundidades do lençol freático, seguramente se constituem em dois dos mais impor

tantes documentos de um projeto de Geologia de Planejamento Urbano. Causa estranheza o fato de outros autores que pesquisam o assunto não despertarem para a importância destas cartas. Elas servem de base para a confecção da maioria dos mapas interpretativos ou de adequabilidade dos terrenos, a serem discutidos adiante.

O mapa de espessuras da cobertura inconsolidada tem sua importância evidenciada pela diferença de comportamento geotécnico entre as rochas e os solos. Para a sua elaboração, os dados são buscados em poços profundos, sondagens SPT, sondagens a trado e em investigações geofísicas, por meio de métodos baseados em sísmica ou na eletrorresistividade das camadas de solo.

Para a escala 1 : 10.000, aconselha-se que sejam utilizados, em média, cinco pontos com dados de espessura, bem distribuídos dentro de cada quadrícula de 4 Km².

Lançados os pontos, procede-se ao traçado das isópacas. Sempre é importante observar a tendência de desenvolvimento dos solos residuais, que podem apresentar uma certa homogeneidade de espessuras, principalmente os pouco espessos. Para estes casos, o traçado das isolinhas fica bastante facilitado, já que a orientação geral destas pode ser dada pelos contatos geológicos ou pedológicos e pelas curvas de nível do mapa topográfico.

Na confecção do mapa de espessuras de solos normalmente defronta-se com um problema bastante complexo. Em países tropicais com o intemperismo químico mais atuante, torna-se difícil a identificação do contato solo-rocha, devido à gradação do nível de alteração. O fato ocorre principalmente em rochas de alta porosidade ou com alto índice de fraturamento. Para efeitos práticos, já que as aplicações do mapa em questão são geotécnicas, aconselha-se considerar como solo toda a extensão de material que não oferece resistência à escavação mecânica e, como rocha, o material que necessita de explosivos para seu desmonte. Esta é a distinção entre solo e rocha adotada nos meios de engenharia (Vargas - 1978). Com base nestes considerandos, ainda é bom lembrar que as sondagens geofísicas para tais fins devem ser sempre precedidas de uma boa averiguação dos níveis registrados, feita pela comparação com perfis de sondagens diretas próximas.

3.3.3 DETERMINAÇÃO DAS PROFUNDIDADES DO LENÇOL FREÁTICO

A profundidade do nível hidrostático é um fator dos mais importantes em estudos geológicos que visam ao planejamento urbano. Suas aplicações em hidrogeologia devem ser somadas a uma significativa parcela de contribuição para a solução de problemas ligados à geotecnia. Além das diferenças de comportamento geotécnico entre a zona saturada e a subsaturada, deve-se ressaltar também os inúmeros inconvenientes causados pela presença de água em obras civis subterrâneas.

As cotas do nível d'água são determinadas pelos mesmos processos usados na determinação das espessuras de solo, ou seja, pelos dados de sondagens e de poços, ou por geofísica. A distribuição ideal de pontos na área em estudo é a mesma sugerida para o mapa de espessuras de solos, isto é, de 5 pontos por quadrícula de 4 Km². Após lançados os pontos com as profundidades do nível da água subterrânea são traçadas as curvas de isovalores, para a obtenção do mapa de profundidades do lençol freático.

Um aspecto importante relacionado ao assunto em discussão diz respeito às oscilações sazonais do nível hidrostático. O mapa de profundidades do lençol freático deve mostrar as profundidades médias, sendo necessário ainda, o registro da amplitude destas oscilações. Para tal, deve-se observar o comportamento anual do lençol em poços situados nos diferentes tipos de solos ou rochas investigadas.

3.3.4 LEVANTAMENTO DAS JAZIDAS DE MINÉRIOS E DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Estes estudos devem tratar das diferentes ocorrências de recursos minerais e de materiais para a construção civil, registradas na área em planejamento, ou próximas a ela.

Quando da ocorrência de jazidas minerais na área pesquisada, devem ser realizados os estudos normais de prospecção que

tratam da cubagem e da determinação do teor do minério.

Para os materiais de construção devem ser estimadas as extensões em áreas e profundidades dos corpos, assim como devem ser estudadas as propriedades de rochas ou de solos relacionadas com as finalidades a que estes materiais são destinados na construção civil. O Quadro 7 mostra as propriedades mais importantes na caracterização de rochas e solos para suas diferentes aplicações como materiais de construção.

Deve ser aqui ressaltado um relevante aspecto dos estudos de materiais de construção em projetos de planejamento. Se tais recursos também ocorrerem nas regiões circunvizinhas próximas, desaconselha-se a exploração dos mesmos na área planejada, tendo em vista as inúmeras conseqüências deteriorantes do meio ambiente, causadas pelas explorações minerais. Neste caso, juntamente com os estudos de caracterização dos materiais de construção, devem ser mostradas as localizações de suas fontes nas áreas adjacentes.

3.3.5 ERODIBILIDADE DOS TERRENOS

Os estudos de erodibilidade para projetos que visam ao planejamento devem tratar de fenômenos ligados à erosão acelerada, ou seja, devem se referir à instalação e evolução de boçorocas.

De um modo geral, pode-se afirmar que a constituição geológica, a declividade dos terrenos e as formas de vertente são os três principais fatores que condicionam a origem e evolução das boçorocas.

A disposição estratigráfica adequada de sedimentos arenosos incoerentes sobre rochas ou sobre outros sedimentos de permeabilidade menor parece tratar-se do mais importante fator condicionante à implantação do fenômeno erosivo.

Segundo *Rodrigues (1982)*, a declividade é o fator topográfico mais relevante no condicionamento da gênese e evolução das boçorocas. De uma maneira geral, quanto maior a inclinação da encosta, mais acentuado e volumoso será o escoamento superficial,

QUADRO 07: PROPRIEDADE DAS ROCHAS E DOS SOLOS ÚTEIS NA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

R O C H A S							S O L O S				
PROPRIEDADES A SEREM INVESTIGADAS	A P L I C A Ç Õ E S						PROPRIEDADES A SEREM INVESTIGADAS	A P L I C A Ç Õ E S			
	CONCRETO	PAVI- MENTO	ENRRO- CAMENTO	LASTRO DE VIA DE FERREA	CANTARIA	FILTRO		CERÂMICA	AREIA P/ ARGAMAS- SA	CONCRETO	ATERRO
COMPOSIÇÃO QUÍMICA	X	X					GRANULOMETRIA	X	X	X	X
COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	X	X	X	X	X	X					
DENSIDADE	X	X			X	X	DENSIDADE DOS GRÃOS		X	X	X
POROSIDADE	X	X	X	X	X	X					
PERMEABILIDADE	X	X	X			X	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	X	X	X	X
DUREZA		X			X	X					
FORMA DOS FRAGMENTOS	X	X	X	X		X	FORMA DE GRÃOS		X	X	X
DILATAÇÃO TÉRMICA	X	X			X						
REATIVIDADE POTENCIAL	X						UMIDADE	X	X	X	X
ADSORÇÃO	X	X	X	X	X	X					
ADESIVIDADE		X					PERMEABILIDADE				X
COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES	X	X	X	X	X						
ELASTICIDADE	X						LIMITES DE CONSISTÊNCIA	X			X
DURABILIDADE (RES. À ALTERAÇÃO)	X		X	X	X	X					
RESISTÊNCIA A ABRASÃO	X	X	X	X	X	X	COMPACTAÇÃO				X
RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO	X	X	X	X							
RESISTÊNCIA AO IMPACTO	X	X	X	X	X		PROPRIEDADE DE ARGILO-MINERAIS	X			
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO			X								

acelerando o processo erosivo.

A interferência da forma de vertentes no desenvolvimento de fenômenos erosivos acelerados foi também observada por *Rodrigues (op.cit.)*. Segundo aquele autor, nas vertentes retilíneas e convexas, as possibilidades de se desenvolverem erosões são maiores que nas encostas côncavas, uma vez que nestas últimas o fluxo descendente diminui de velocidade paulatinamente.

No estudo da evolução das boçorocas é importante observar a progressão erosiva do fenômeno, por intermédio da análise comparativa de fotografias aéreas tiradas em épocas diferentes. São dados expressivos para a delimitação das áreas a serem atingidas pelo fenômeno erosivo, ou seja, áreas de riscos geológicos, relevante aspecto dos projetos de planejamento urbano.

3.3.6 INSTABILIDADE DE ENCOSTAS

Os movimentos de massas ou movimentos envolvendo corpos de solo e rochas que se processam para baixo e para fora de um talude ou encosta, ao longo de uma ou mais superfícies de ruptura, são denominados de "escorregamentos". A extraordinária variedade de fatores e processos que podem ocasionar os fenômenos de escorregamento, normalmente dificultam uma síntese regional, o que torna muito trabalhosos os estudos de estabilidade de encostas para projetos de planejamento.

Os estudos de movimentos de massas, de uma maneira geral, podem ser realizados com dois objetivos principais: o corretivo e o preventivo (*Guidicini e Nieble - 1976*). No corretivo, as investigações devem apresentar soluções para eliminar ou minimizar os efeitos de um processo de instabilidade em andamento ou já ocorrido. Por outro lado, o caráter preventivo dos estudos em discussão está relacionado com os casos de instabilidade potencial, ou seja, aqueles revelados antes que um fator qualquer inicie o fenômeno de instabilização. Sendo assim é fácil notar que as medidas preventivas dos estudos de estabilidade de taludes são próprias dos projetos que visam ao planejamento urbano.

Quando a área planejada apresentar terrenos com instabi

lidade potencial, os estudos geológicos que tratarão do problema devem ser orientados para duas finalidades principais. A primeira é mostrar onde e como a ação antrópica pode desencadear o processo de instabilização, e o que deve ser feito para que tal não ocorra. A segunda finalidade é verificar quais fenômenos naturais, e de que maneira os mesmos agem para provocar a instabilização, a fim de que sejam determinadas as medidas de contenção dos escorregamentos.

Nos casos em que o processo de instabilização for de difícil controle, as áreas a serem atingidas pelo fenômeno devem ser delimitadas e sua ocupação urbana, proibida.

A metodologia de estudo dos fenômenos de instabilização de encostas para planejamento urbano pode ser diferenciada em duas partes: uma que trata de aspectos fisiográficos, e outra relacionada com os aspectos geológicos.

Os aspectos fisiográficos relevantes no estudo de estabilidade de encostas são:

- a) Caracterização Climática da Área: Compreende o levantamento de dados que permitem definir os padrões anuais de oscilação térmica e precipitação. Estes fatores interferem tanto direta como indiretamente nos fenômenos de instabilização. Agem indiretamente atuando nos processos de intemperismo e definindo a quantidade de água de infiltração. Sua ação direta é verificada quando a alternância de períodos secos e chuvosos produz o fendilhamento do solo e a conseqüente infiltração de águas pluviais. Estes fenômenos provocam a expansão, o aumento de peso e a perda da coesão aparente do material, fatores responsáveis pelo processo de instabilização.
- b) Cobertura Vegetal: Consiste no estudo dos tipos de vegetações que cobrem as áreas afetadas pelos fenômenos de instabilização. As florestas originais e as vegetações arbóreas protegem melhor as encostas que as gramíneas, vegetações arbustivas ralas e culturas.
- c) Declividades: Dos aspectos ligados ao relevo, a declividade é um dos mais importantes. Superfícies muito inclinadas normalmente não sustentam massas de materiais inconsolidados, a não ser

em situações de estabilidade precária de curtos intervalos de tempo.

- d) Formas de Vertentes: Os tipos de encostas abordados no Item 3.2.3.1 constituem importantes condicionantes dos fenômenos de escorregamento. Estudando os morros de Santos e São Vicente para solucionar problemas de estabilidade de taludes naturais, o IPT. (1980) verificou que as formas de encostas condicionam de modo acentuado a ocorrência dos processos de instabilização.
- e) Alterações Antrópicas da Paisagem Natural das Encostas: As alterações dos sistemas de drenagens das vertentes provocadas pela ocupação urbana desordenada representam significativos fatores de desenvolvimento dos fenômenos de instabilização. Contribuem também para isso os cortes e aterros executados sem planejamento para retirada de material de empréstimo, ou para servirem de plataformas para construções civis e vias de acesso.

Quanto aos aspectos geológicos dos estudos de estabilidade de encostas para planejamento urbano, devem ser abordados os seguintes:

- f) Geologia Regional: Devem ser definidas as principais características da estrutura geológica regional, ou seja, a tectônica, a estratigrafia e a evolução geomorfológica. O quadro geológico regional é o esteio indispensável para as investigações posteriores.
- g) Unidades Litológicas e Estratigráficas da Encosta: Constituem as informações básicas de Geologia que devem nortear os demais estudos geológicos. São extraídas dos mapas do substrato geológico e das coberturas inconsolidadas (Ítems 3.2.4.1 e 3.2.4.2).
- h) Elementos Estruturais: Os sistemas de juntas, falhas, fraturas de alívio, planos de acamamento ou mesmo a foliação das rochas são, ao que tudo indica, os principais condicionantes geológicos dos processos de instabilização. Muitas vezes, por si sós, são capazes de controlar o comportamento de um talude.
- i) Resistência ao Cisalhamento dos Solos e das Rochas: A determinação dos parâmetros C - coesão e ϕ - ângulo de atrito, definidos no Ítem 3.3.1.6, e que traduzem a resistência ao cisalha-

mento dos solos e rochas nos locais de instabilidade potencial são investigações indispensáveis para os estudos em discussão. Como neste caso são significativos os valores pontuais deste parâmetro, a sua determinação pode ser feita pelos métodos de laboratório, ou seja, cisalhamento direto, compressão simples ou compressão triaxial.

- j) Percolação de Águas Subterrâneas: O comportamento das águas subterrâneas é um dos fatores mais importantes nos estudos de instabilidade de encostas. Segundo *Guidicini e Nieble (1976)*, a verificação da posição do lençol freático dos locais de resurgência de água e das zonas de infiltração são informações relevantes obtidas por observações de superfície. Em furos de sondagem deve ser investigada a existência de diferentes lençóis e as variações bruscas na posição do nível de água no furo. Piezômetros instalados em pontos estratégicos devem mostrar as flutuações do nível hidrostático e conseqüentemente a influência das águas de precipitação. São importantes ainda os ensaios de infiltração nos locais de maior interesse.
- l) Compartimentação dos Corpos de Solos e de Rochas: *Guidicini e Nieble (op.cit.)* definem "compartimentação" como sendo a estruturação de um maciço rochoso, em função de suas descontinuidades, que lhe garante um comportamento mecânico próprio. Aqui o significado do termo é mais amplo, englobando os corpos de materiais incoerentes individualizados por descontinuidades, com as mesmas características de movimentação dos maciços rochosos. É importante salientar que as descontinuidades acima referidas representam não só estruturas, como também as alterações "diferenciais" provocadas pela ação do intemperismo e da erosão. Um aspecto importante relacionado com a compartimentação dos corpos instáveis é a localização da possível ou já iniciada superfície de movimentação.
- m) Efeitos Vibratórios: Por meio de qualquer detector de ondas sísmicas é importante verificar se as áreas estudadas estão sujeitas a vibrações provocadas por diferentes agentes, tais como: terremotos, explosões, bater de ondas ou mesmo tráfego pesado. Os efeitos vibratórios podem desencadear os processos de instabilização nas encostas.

As características fisiográficas e geológicas relacionadas acima são estudadas com observações em fotos aéreas, por verificações detalhadas de campo e por levantamentos de superfície, realizados com geofísica, ou por meio da abertura de poços, trincheiras e furos de sondagem.

3.3.7 BALANÇO HÍDRICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Nos estudos hidrogeológicos para planejamento urbano, pode-se determinar a infiltração ou recarga dos aquíferos pelo estudo da periodicidade das variações da superfície das águas subterrâneas (superfície piezométrica), quando, para isso, se dispõe de estações para realização destas medidas. Do contrário, o balanço hídrico é uma alternativa para se estimar a recarga de aquíferos livres, ou de aquíferos confinados, cuja zona de recarga situa-se nas bacias hidrográficas envolvidas com a área em planejamento. Para aquíferos confinados de zonas de infiltração distantes, considera-se a recarga igual à vazão de escoamento natural; seu processo de determinação será abordado adiante.

Em linguagem contábil, o balanço tem a finalidade de mostrar a relação entre o ativo e o passivo. Em linguagem hidrológica, o balanço contabiliza as quantidades de água dos elementos que fazem parte do ciclo hidrológico.

Os principais elementos do balanço hídrico são a precipitação pluviométrica (P), a evapotranspiração real (ETR), o escoamento superficial (R) e a infiltração (i).

A precipitação pluviométrica anual representa a totalidade de água que circula no ciclo hidrológico. Para um período muito longo, tem-se a expressão geral do balanço hídrico de um ano médio:

$$P = ETR + R + i \quad (1)$$

Considerando que a vazão do curso principal ou deflúvio total (Q) da bacia hidrográfica em estudo representa o escoamento

superficial (R) mais a infiltração (i), tem-se:

$$Q = R + i \quad (2)$$

O balanço hídrico pode ser efetuado tanto a partir do deflúvio total, como por meio de dados hidrometeorológicos.

3.3.7.1 BALANÇO HÍDRICO PELOS COMPONENTES DO HIDROGRAMA

Uma vez conhecido o deflúvio total, o balanço da bacia hidrográfica pode ser obtido pela representação gráfica da distribuição desse deflúvio, em função do tempo. Tal representação, conhecida como hidrograma de vazões, mostra, em ordenadas, as cotas linimétricas ou vazões e, em abscissas, os tempos correspondentes. O deflúvio total é obtido por intermédio dos registros de estações fluviométricas existentes ao longo do curso principal das bacias hidrográficas.

A separação dos componentes do hidrograma é aproximada e leva em consideração que, no gráfico, o escoamento superficial se superpõe à infiltração.

Um método muito utilizado para a realização dessa separação é o de Barnes (in *Teixeira* - 1978). Consiste em traçar retas tangentes a partir das extremidades até a vertical da crista do hidrograma, dividindo assim o gráfico em duas áreas, onde a superior representa o escoamento superficial (R) e a inferior a infiltração (I).

3.3.7.2 BALANÇO HÍDRICO POR MÉTODOS METEOROLÓGICOS

O balanço hídrico é realizado com dados de meteorologia, quando não se dispõe de outras informações na região estudada. Estes métodos são também denominados "agronômicos", devido a sua utilização corrente em agronomia. Consistem em avaliar e representar graficamente a distribuição anual de precipitação pluviométrica

ca e o comportamento das águas desta precipitação na superfície do solo. Por meio destes métodos é possível a constatação das épocas em que o solo se apresenta com deficiência ou excesso de água.

A água excedente pode percolar pelo solo, indo alimentar os aquíferos, correspondendo ao que no hidrograma se convencionou de infiltração.

O método de *Thorntwaite e Mather (1955)* é o mais empregado e implica no conhecimento da evapotranspiração potencial, o que, por sua vez, pode ser avaliada por diferentes métodos, destacando-se entre eles o de *Thorntwaite*, o de *Penman*, o de *Blaney e Criddle*, modificado por *Camargo*, o de *Turc* e o de *Hargreaves* (in *Teixeira - 1978*).

A escolha de cada um desses métodos de avaliação da evapotranspiração potencial depende do número de parâmetros meteorológicos disponíveis.

Penman combina os efeitos do balanço energético e aerodinâmico. Segundo ele, as variáveis que entram na determinação da evapotranspiração potencial são a insolação, a temperatura, velocidade do vento a dois metros da superfície evaporante e a umidade relativa do ar.

O método de *Blaney e Criddle - Camargo* leva em conta a temperatura e a porcentagem de horas diurnas do mês em relação ao total de horas diurnas do ano.

Turc utiliza os valores da temperatura e da radiação global incidente no solo para a determinação da evapotranspiração potencial.

O método de *Hargreaves* foi concebido considerando a radiação extra-terrestre, a temperatura, a umidade relativa, a velocidade do vento e a altitude acima do nível do mar.

Thorntwaite, para determinar a evapotranspiração potencial, leva em conta a temperatura, o índice térmico, a insolação de acordo com a latitude, cuja duração máxima é corrigida por um coeficiente e o número de dias do mês. Este método, por ser o de mais fácil aplicação, é o mais utilizado.

3.3.8 POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS

A superfície potenciométrica é o lugar geométrico dos pontos que registram a altura dos níveis estáticos das águas de um determinado aquífero.

O conhecimento da superfície potenciométrica é elemento indispensável em qualquer estudo de movimentos de águas subterrâneas.

Para os aquíferos livres, a superfície potenciométrica contém os pontos situados no limite da zona de saturação, ou seja, corresponde à superfície freática. Nos aquíferos confinados à superfície potenciométrica é mais elevada que o topo da camada armazenadora, sendo que a cota de seus pontos depende da pressão hidrostática atuante no aquífero.

O mapa potenciométrico mostra o comportamento da superfície potenciométrica. O método que se utiliza para sua construção consiste em lançar as cotas dos níveis estáticos no mapa, e interpolar os valores entre um poço e outro, traçando-se assim, as curvas isopotenciométricas.

A forma da superfície potenciométrica permite orientar o fluxo das águas subterrâneas, cuja direção está nas perpendiculares às linhas isopotenciométricas, no sentido das cotas mais baixas.

O mapa potenciométrico tem ampla aplicação em projetos de planejamento, pois com ele se definem as áreas mais adequadas à implantação de poços de captação.

3.3.9 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E HIDRODINÂMICAS DOS AQUÍFEROS

Um dos principais objetivos no estudo das águas subterrâneas é o estabelecimento da exploração racional dos aquíferos. Para tal há a necessidade da determinação das dimensões da rocha reservatório, e das características hidrodinâmicas que definem esta rocha como aquífero.

3.3.9.1 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS

As características dimensionais das camadas rochosas armazenadoras de água são determinadas pelos métodos clássicos utilizados nos estudos de estruturas geológicas.

No caso de aquíferos livres, utilizando-se o mapa de contorno estrutural do substrato impermeável e o mapa piezométrico, pode-se confeccionar o mapa de isoespessura do aquífero e, por planimetria, na extensão da área em planejamento, calcular-se o volume da rocha armazenadora.

Para os aquíferos confinados, o volume é determinado pelo mapa de isópacas da rocha reservatório, que por sua vez, é obtido por meio dos mapas de contorno estrutural do topo e da base da camada armazenadora. Neste caso também, para o cálculo do volume, utiliza-se a extensão da área em planejamento.

3.3.9.2 COEFICIENTES DE TRANSMISSIVIDADE E DE ARMAZENAMENTO

A característica de transmitir ou conduzir água é indicada pelo coeficiente de transmissividade ou simplesmente transmissividade. Tal parâmetro é definido como sendo o produto da permeabilidade pela espessura do aquífero. Fisicamente, representa a permeabilidade média de um aquífero ideal, que se comporta hidrodinamicamente como o aquífero testado.

A transmissividade é obtida a partir de testes de aquífero. Para a realização destes, é necessária a existência de poços tecnicamente bem construídos e convenientemente espaçados.

A leitura dos níveis de água, no poço de bombeamento e no poço de observação, deve ser efetuada a partir do início do teste, primeiramente a curto intervalo de tempo e, posteriormente, quando o equilíbrio dinâmico estiver sendo atingido, a intervalos maiores. A vazão observada no teste deve ser cuidadosamente controlada e mantida constante, tanto quanto possível.

A característica de armazenar ou ceder água é indicada

pelo coeficiente de armazenamento (S), também obtido por testes de aquíferos. É uma grandeza adimensional que exprime a capacidade de armazenamento útil do aquífero.

Em aquíferos livres, o coeficiente de armazenamento é definido como o volume de água que pode ser liberado por bombeamento de uma unidade de volume do aquífero, correspondendo, pois, à porosidade efetiva. Para os aquíferos confinados são levados em conta os efeitos mecânicos de compressão do meio saturado e de compressão da própria água. No caso, para se visualizar o coeficiente de armazenamento, imagina-se um prisma de base unitária que represente o aquífero tanto em extensão vertical como lateral. O coeficiente de armazenamento corresponde ao volume de água que pode ser liberado pelo prisma por ocasião de um abaixamento unitário do nível piezométrico.

Dentre os vários métodos de determinação da transmissividade e do coeficiente de armazenamento destacam-se o de *Theis* (1935) e o de *Jacob* (1946), que levam em consideração parâmetros obtidos em testes de bombeamento.

O método de *Theis* baseia-se na resolução das equações:

$$T = \frac{Q}{4 \pi \Delta} \cdot W(u) \quad \text{e} \quad S = \frac{4 T}{r^2/t} \cdot u$$

sendo

Δ = rebaixamento do nível da água no poço de observação, durante o bombeamento,

r = distância do poço de bombeamento ao poço de observação,

t = tempo a partir do início do bombeamento,

Q = vazão no poço bombeado,

T = transmissividade,

S = coeficiente de armazenamento, e

$W(u)$ = função matemática

A aplicação do método consiste inicialmente em traçar a curva padrão ou curva de variação da função $u-W(u)$, com dados fornecidos por uma tabela especial. Em seguida é obtida a curva experimental lançando-se em papel bilogarítmico, na mesma escala da

curva padrão, em abscissas, a relação r^2/t e em ordenadas os rebaixamentos da água no poço de observação. A curva experimental é um segmento da curva padrão. Posteriormente faz-se a superposição da curva experimental sobre a curva padrão, tentando-se a coincidência de um trecho de uma curva sobre um trecho da outra. Em seguida escolhe-se arbitrariamente um ponto concordante, extraíndo-se dele os quatro valores das coordenadas u , $W(u)$, r^2/t e Δ . Com estes valores calcula-se a transmissividade (T) e o coeficiente de armazenamento (S), por meio das equações mostradas acima.

O método de Jacob baseia-se na resolução das equações:

$$T = \frac{2,303}{4 \pi (\Delta_2 - \Delta_1)} \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \quad \text{e} \quad S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

onde os parâmetros têm o mesmo significado das equações de Theis.

Inicialmente, lança-se em papel monologarítmico os rebaixamentos (Δ) em ordenadas de escala aritmética, e os tempos (t) em abscissas de escala logarítmica, para obter-se uma linha reta. Considerando, no gráfico, que para um ciclo logarítmico $\log t_2/t_1 = 1$, tem-se $\Delta_2 - \Delta_1 = \Delta_S$, pode-se escrever:

$$T = \frac{2,303 Q}{4 \pi \Delta_S} \quad \text{ou} \quad R = \frac{0,183 Q}{\Delta_S}$$

Com o prolongamento da reta, obtém-se, no ponto nulo do rebaixamento, o valor do tempo (t_0) utilizado no cálculo do coeficiente de armazenamento (S).

Uma outra maneira de se obter a transmissividade do aquífero é empregando a equação anterior, com os dados de recuperação dos níveis de água no poço bombeado ou no poço de recuperação.

Assim, tem-se

$$T = \frac{2,303 Q}{4 \pi \Delta_i} \cdot \log \frac{t}{t_i}$$

onde

Δ' = rebaixamento residual do nível de água no poço,
 t = tempo a partir do início do bombeamento, e
 t' = tempo a partir do término do bombeamento

Para a aplicação desta equação, constrói-se um gráfico, lançando-se os rebaixamentos residuais em ordenadas aritméticas, e os valores da relação t/t' em abscissas logarítmicas. Considerando a diferença de rebaixamento residual $\Delta'S$ correspondente a um ciclo logarítmico, onde $\log t/t' = 1$, tem-se

$$T = \frac{2,303 Q}{4 \pi \Delta' S} \quad \text{ou} \quad T = \frac{0,183 Q}{\Delta' S}$$

Chama-se a atenção para o fato de que só se pode determinar o coeficiente de armazenamento, se os dados de rebaixamento ou de rebaixamento residual forem obtidos mediante medições dos níveis de água no poço de observação. Em outras palavras, se o teste de aquífero for conduzido com a utilização de um único poço (poço bombeado), só se pode determinar a transmissividade.

3.3.9.3 VAZÃO DE ESCOAMENTO NATURAL

A vazão do escoamento natural é um parâmetro importante dos aquíferos, que deve ser calculada quando não é possível a determinação da infiltração ou recarga natural pelos métodos já abordados do balanço hídrico. É o que normalmente ocorre com os aquíferos confinados, cujas zonas de recarga são amplas e distantes da área em planejamento. Desta maneira admite-se que o aquífero esteja em equilíbrio dinâmico, ou seja, assume-se que o volume de água que se infiltra anualmente seja equivalente ao volume anual do escoamento subterrâneo.

Este parâmetro é de particular importância nos estudos de aquíferos confinados para planejamento, pois, por meio dele, pode-se estimar a quantidade máxima de poços permitida na área planejada.

Para o cálculo da vazão de escoamento natural, considera-se o aquífero homogêneo e com a superfície piezométrica plana, aplicando-se a fórmula deduzida da lei de Darcy:

$$Q = T I L$$

onde

Q = vazão do escoamento natural,

T = transmissividade do aquífero,

I = gradiente hidráulico, determinado pelo quociente da diferença de cota entre os níveis piezométricos de dois pontos de controle tomados na direção do escoamento, e a distância (d) entre estes pontos, e

L = largura da seção da área planejada, que representa a largura do aquífero, pois se supõe que ele está presente em toda a área.

3.3.10 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

Já que os estudos hidrológicos para fins de planejamento urbano visam a soluções alternativas para problemas relacionados com o abastecimento de água, tanto é importante a quantidade como a qualidade das águas.

A qualidade da água é definida por sua composição que resulta das diferentes substâncias lançadas nos cursos superficiais, ou, no caso das águas subterrâneas, é função da incorporação pelo contato com os terrenos por onde percola.

Cabe aqui ressaltar que nem sempre a água natural é de boa qualidade. São comuns os casos em contrário, sendo encontradas, até mesmo, águas naturais tóxicas.

Outro aspecto importante a se considerar, ligado à qualidade das águas superficiais e subterrâneas, é a sua poluição, consequência das atividades antrópicas.

3.3.10.1 POTABILIDADE DAS ÁGUAS

A água para o abastecimento urbano deve preencher os requisitos de qualidade para o uso doméstico e, assim, apresentar características que a qualificam como potável.

A água é considerada potável quando pode ser consumida pelo homem sem causar perigo para a sua saúde. De uma maneira geral, pode-se afirmar que os critérios que definem a potabilidade são o químico e o bacteriológico.

As Tabelas 2 e 3 mostram valores limites adotados pela Organização Mundial de Saúde (in *Custódio e Llamas - 1976*) para definir a potabilidade da água dentro dos critérios químicos.

Os critérios bacteriológicos mais usados para a determinação da potabilidade baseiam-se em detectar microorganismos patogênicos que afetam diretamente a saúde do homem e que, por sua presença, podem acusar a possível existência de outros. Os microorganismos mais freqüentemente identificados são as bactérias do grupo coliforme, especialmente a Escheríchia coli, sendo comuns ainda os Streptococcus faecalis e os Clostridium welchii (*Custódio e Llamas op.cit.*)

Deve-se ressaltar que, em termos de água subterrânea e principalmente no caso de aquíferos confinados, a degradação bacteriológica é muito menos freqüente que a química. De um modo geral, as bactérias são eliminadas rapidamente quando a água penetra no solo. Se não são retidas pelos processos de filtração e adsorção, a grande maioria delas encontra no subsolo um ambiente inóspito para sua vida e reprodução. Segundo *Mallmann e Mack (1961)* são muito raros os casos de bactérias que migram em percursos maiores que 30 metros de materiais de permeabilidade média.

Considerando a importância das características que definem a potabilidade das águas, amostras de locais estratégicos dos cursos de águas superficiais da área planejada e dos diferentes pontos de água subterrânea (poços e fontes) devem ser retiradas e analisadas em laboratórios especiais, antes que a exploração das mesmas possa ser incluída entre as alternativas do processo de

TABELA 02: CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE SUBSTÂNCIAS DENTRO DOS PADRÕES DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO (MODIFICADO DE CUSTÓDIO E LLAMAS - 1976)

SUBSTÂNCIA	CONCENTRAÇÃO (mg/l)
Alkil-Benzeno-Sulfonato-ABS(detergente)	0,5
Cálcio - Ca	75,0
Carbonato extratato com clorofórmio	0,2
Cloretos - Cl	200,0
Cobre - Cu	1,0
Fenóis	0,001
Ferro - Fe	0,3
Fluoretos - F	1,0
Magnésio - Mg	50,0
Manganês - Mn	0,1
Nitratos - NO ₃	45,0
Sílica - SiO ₂ (em turbidez)	5,0
Sulfatos - SO ₄	200,0
Zinco - Zn	5,0
Total sólido dissolvido	500,0
pH (em unidades de pH)	7,0 a 8,5

TABELA 03: VALORES LIMITES DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS PERMITIDOS PARA A ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO (MODIFICADO DE CUSTÓDIO E LLAMAS - 1976)

SUBSTÂNCIA	CONCENTRAÇÃO (mg/l)
Arsênico - AS	0,05
Bário - Ba	1,0
Cádmio - Cd	0,01
Chumbo - Pb	0,05
Cianetos - Cn	0,2
Cromo hexavalente - Cr ⁶⁺	0,05
Prata - Ag	0,05
Selênio - Se	0,01

planejamento urbano.

3.3.10.2 FONTES DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

Com o aumento da população nos centros urbanos, a poluição das águas tende a aumentar nas mesmas proporções. Isto porque as atividades antrópicas são as principais responsáveis pelos processos de degradação das condições ambientais. Quando o homem não contamina diretamente a água, usando-a e devolvendo-a à natureza com suas características totalmente alteradas, é o responsável pela produção de substâncias nocivas, que os fenômenos naturais cuidam de incorporar aos cursos dos rios e aos sistemas armazenados subterrâneos.

O conhecimento dos diferentes agentes que podem ocasionar a poluição dos recursos hídricos tem destacada importância no processo de planejamento urbano. Estes agentes precisam ser detectados para que suas atuações possam ser controladas.

É importante lembrar que o levantamento de possíveis fontes de poluição das águas não se restringe à área planejada. No caso de águas superficiais, os estudos devem se estender até os limites à montante das bacias hidrográficas envolvidas. Em se tratando de águas subterrâneas, as áreas investigadas são as zonas de recarga próximas.

A grande diversidade de fontes poluidoras de águas tornam bastante difícil uma síntese das mesmas. A classificação que segue, sem a pretensão de ser a mais abrangente, procura apenas mostrar as principais origens da poluição de águas superficiais e subterrâneas.

3.3.10.2.1 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Os cursos de águas superficiais podem ser poluídos pelos seguintes agentes:

a) Esgotos Domésticos: Provocam contaminação tanto bacteriológica,

por meio de dejectos humanos, como química, pela presença de produtos químicos de uso doméstico, entre eles os detergentes. A componente bacteriológica deste agente, que é a mais atuante, pode ser sanada com a instalação de lagoas de estabilização (item 3.4.5.2).

- b) Esgotos Industriais: Estão aqui incluídos todos os tipos de águas residuais de indústrias em geral, inclusive as das atividades mineiras e de usinas nucleares. São poluentes essencialmente químicos.
- c) Percolação em Depósitos de Resíduos Sólidos: Compreende as águas que antes de chegarem aos rios, percolam depósitos de resíduos sólidos domésticos ou industriais, como são os casos dos aterros sanitários. Enquanto nos resíduos domésticos predominam os poluentes bacteriológicos, nos resíduos industriais são mais comuns os químicos.
- d) Produtos Químicos Agrícolas: São os adubos, corretivos de solos, inseticidas e herbicidas, freqüentemente usados na lavoura e que as águas de escoamento podem carrear para os leitos dos rios, provocando a poluição química dos mesmos.
- e) Produtos de Atividades Pecuárias e Granjeiras: Este é um tipo de poluição essencialmente orgânica e biológica. Os poluentes, muito semelhantes ao das atividades domésticas são levados pelas águas superficiais aos rios. As purinas das criações de porcos constituem os contaminantes mais expressivos, enquanto que os produtos de granjas avícolas, de um modo geral, são menos poluentes.

O levantamento das fontes poluidoras de recursos hídricos superficiais, no planejamento urbano, deve fornecer orientações para que as soluções alternativas possam ser escolhidas entre a contenção das fontes poluidoras e a localização estratégica das estações de captação de água.

3.3.10.2.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

No que diz respeito à poluição das águas subterrâneas,

além do levantamento das possíveis fontes poluidoras deve também ser analisada a suscetibilidade dos aquíferos à poluição, ou seja, as condições dos terrenos para a introdução, propagação e persistência dos poluentes. Estes três elementos são definidos por Duarte (1980). A introdução é o fenômeno da penetração vertical dos poluentes despejados na superfície, através do solo e das rochas porosas não saturadas. A propagação compreende o escoamento da água poluída, em função da movimentação natural das águas no aquífero, dependendo então das características da rocha armazenadora e do gradiente hidráulico. A persistência é o fator que, após a interrupção da causa inicial, está relacionado diretamente com a renovação natural das águas do aquífero.

Quanto às fontes de poluição as cinco modalidades citadas para as águas superficiais podem também poluir aquíferos, desde que haja a infiltração daqueles poluentes nas zonas de recarga. Para as águas subterrâneas, no entanto, mais três tipos de agentes poluidores merecem citação, os quais são descritos em seqüência:

- f) Poluição por Águas Superficiais: Se processa quando os aquíferos são recarregados por águas superficiais contaminadas.
- g) Poluição por Poços Mal Construídos ou Abandonados: É o caso de poços que colocam em comunicação diferentes aquíferos, sendo que alguns estão contaminados. Enquadram-se aqui as perfurações em regiões costeiras, onde águas salgadas podem poluir aquíferos de água doce. Por outro lado, poços abandonados que permitem a fácil penetração de águas superficiais são também considerados fontes de poluição.
- h) Poluição por Poços de Injeção de Resíduos: A introdução de resíduos líquidos, por meio de injeção em poços, é uma forma prática de se desfazer destes resíduos. No entanto, quando tais poços são mal localizados, mal construídos ou mal utilizados, tornam-se expressivos agentes poluidores de águas subterrâneas.

3.4 DEDUÇÕES SOBRE ADEQUABILIDADE DOS TERRENOS

3.4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As deduções sobre adequabilidade dos terrenos correspondem aos estudos de terceira categoria aqui propostos. São investigações que conduzem à elaboração de mapas que mostram a adequabilidade dos terrenos para usos específicos do solo urbano ou indicam áreas com potenciais de riscos geológicos.

Ao contrário dos mapas produzidos nos estudos de primeira e segunda categorias, que se destinam a técnicos especializados (geólogos, engenheiros e outros), os mapas de adequabilidade podem ser usados por leigos, pois trazem informações sem detalhes técnicos.

Os mapas em discussão podem ser confeccionados pelo método da superposição dos mapas de primeira e segunda categorias, ou pelo processo da cartografia automática. Este último utiliza o computador para delimitar as áreas de aptidão, com os dados obtidos nas fases anteriores do projeto.

Apesar de Sanejouand (1972) recomendar o uso da cartografia automática, por ser um método mais preciso, menos oneroso e menos trabalhoso, acredita-se que o método da superposição não se diferencia tanto do outro, nas características citadas. Sendo assim, a utilização de um método ou de outro deve ser decidida em função da disponibilidade de serviços de computação para o desenvolvimento do projeto.

A adequabilidade dos terrenos pode ser representada em três ou quatro intervalos, dependendo da quantidade de dados e da finalidade a que se destinarão os mapas. Assim se o objetivo for o fornecimento destas cartas ao público, para serem usadas individualmente, aconselha-se o emprego de quatro intervalos que podem ser: adequado, semi-adequado, pouco adequado e inadequado. Por outro lado se a finalidade for essencialmente a elaboração do mapa final de recomendação da Geologia para o planejamento urbano, três intervalos são suficientes, podendo então ser excluída a denominação "pouco adequado".

Algumas vezes os terrenos apresentam diferenciação em profundidade que precisam ser consideradas. Isto acontece no caso de camadas pouco espessas e próximas à superfície, com diferentes características geotécnicas. Como consequência, as adequabilida-

des para determinados usos do solo urbano também vão variar em profundidade, sendo necessário que a representação cartográfica mostre esta variação. Uma maneira prática de se fazer esta representação é superpondo-se legendas como mostra a Figura 10. O esquema apresenta a variação de três níveis de adequabilidade em três intervalos de profundidade, para três tipos de materiais. Os símbolos de adequabilidade (círculos) estão superpostos aos respectivos traços indicativos das profundidades. É importante lembrar que o exemplo representa o caso de uma variação vertical onde a base da camada superior acompanha aproximadamente a topografia da superfície, o que comumente ocorre com diferentes níveis de alterações de solos residuais. Se, por outro lado, refere-se à camadas de diferentes deposições, caso dos depósitos lenticulares cenozóicos, pode-se usar o mesmo sistema de representação, desde que as profundidades sejam substituídas por cotas das superfícies que limitam as camadas. Neste caso, logicamente, admite-se que estas superfícies são aproximadamente horizontais.

3.4.2 ADEQUABILIDADE A FUNDAÇÕES

No reconhecimento dos terrenos para se estabelecer os tipos mais apropriados de fundações, é necessário que se considerem as cargas admissíveis destes terrenos, assim como as características de adensamento dos solos atingidos pelas tensões provocadas por estas fundações. Com as cargas admissíveis, dadas pelos ensaios de SPT (Ítem 3.3.1.7) pode-se estimar se as camadas do terreno em questão não atingirão o cisalhamento por efeito da carga aplicada. Os recalques que sofrem os solos sob as estruturas podem ser auferidos pelas características de adensamento vistas no Ítem 3.3.1.8.

O Mapa de Adequabilidade a Fundações, levando em consideração as qualidades dos materiais discutidos acima, procura mostrar as áreas com maior ou menor aptidão à implantação de pequenas ou de grandes construções.

Maiores detalhes da aplicação de dados do SPT e de compressibilidade de solos, para a obtenção dos índices de adequabi-

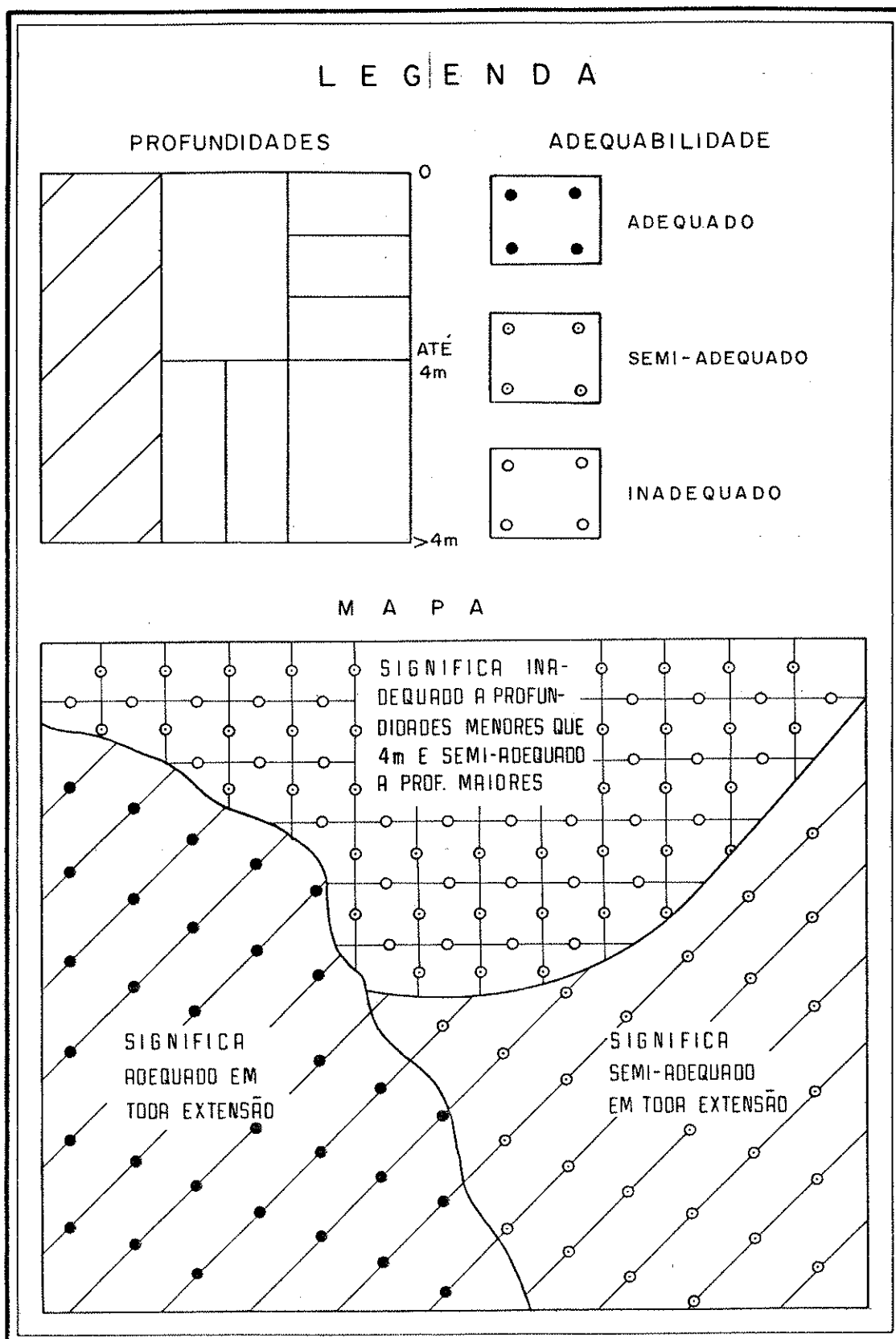


FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DE GRAUS DE ADEQUABILIDADE COM VARIAÇÃO EM PROFUNDIDADE

lidade dos terrenos a fundações, podem ser vistos adiante no Ítem 4.2.3.1.

3.4.3 ADEQUABILIDADE A OBRAS VIÁRIAS

A adequabilidade dos terrenos a obras viárias é definida em função da capacidade dos mesmos em apresentar condições para a implantação de pistas de rolamento. De uma maneira geral estas condições se fundamentam em duas principais propriedades. A primeira diz respeito ao tipo de material de que são constituídos os terrenos, ou seja, se estes materiais compactados no próprio local, podem servir de sub-leito ou base das pistas de rolamento. Esta propriedade recebeu de *Seignemartin* (1979) a denominação de "traficabilidade". A segunda característica importante na definição de áreas adequadas a obras viárias é a declividade dos terrenos.

Uma obra de pavimentação ou pavimento é constituída, em geral, por três camadas superpostas ao sub-leito que é o seu terreno de fundação. Estas camadas dispostas a partir do topo são o revestimento, normalmente de concreto asfáltico, a base e a sub-base, que são construídas com a compactação de material do próprio local, de material de empréstimo, ou mesmo de pedra britada.

O aproveitamento do solo como sub-leito ou base de pavimentação é indicado pelos resultados da Classificação HRB e dos Ensaio Califórnia. O Quadro 6 abordado no Ítem 3.3.1.5 mostra a classificação dos solos para serem usados como sub-leito de pavimentos, de acordo com a Classificação HRB. Segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (*in Vargas - 1978*), os materiais utilizados em obras de pavimentação devem apresentar as seguintes características, relativas ao Ensaio Califórnia:

Sub-leito - CBR > 20 - Expansão < 3%

Sub-base - CBR > 20 - Expansão < 1%

Base - CBR 40 a 60 - Expansão < 0,5%

O Ítem 4.2.4.2, adiante, mostra a utilização da Classificação HRB, do Índice CBR e de valores de declividade na definição da adequabilidade dos terrenos para a implantação de obras viárias.

3.4.4 ADEQUABILIDADE A INSTALAÇÕES SUBTERRÂNEAS

Compreende-se por instalações subterrâneas, toda a infraestrutura subterrânea de um sítio urbano, ou seja, de redes abastecimento de água, galerias e condutores de esgoto, canalizações de água de chuva, etc.

Os fatores a serem considerados na classificação dos terrenos, para a finalidade em questão, devem ser a constituição e a espessura dos solos e a profundidade do lençol freático, como propriedades controladoras da dificuldade de escavação. A declividade é um quarto fator, do qual depende o escoamento nas canalizações.

O solo excessivamente arenoso apresenta problemas de desmoronamento na abertura de valas, sendo melhores então os solos escaváveis mais coesivos.

As espessuras de solos e profundidades do lençol freático devem ser estimadas em função de instalações subterrâneas cuja construção atinge os níveis mais profundos, ou seja, as galerias de esgoto. Assim, o valor mínimo de 4 metros parece ser bastante satisfatório, tanto para as espessuras de solos, como para as profundidades do lençol. É importante, no entanto, aferir as oscilações do nível hidrostático, em cada tipo de solo e acrescentar o valor destas aos 4 metros estabelecidos.

Quanto à declividade são problemáticas as inclinações próximas a 0° , em virtude das dificuldades no escoamento. Normas a respeito do assunto recomendam os mínimos de 0,4% e 0,6% de declividade para condutores com diâmetros de 8 e de 6 polegadas respectivamente (Projeto de Norma Brasileira - PNB - 1975).

3.4.5 ADEQUABILIDADE À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

Tendo em vista as inúmeras dificuldades enfrentadas hoje em dia pelas administrações municipais com os problemas de poluição, a determinação de locais mais apropriados para a disposição de rejeitos sólidos e líquidos, tanto urbanos como industriais, reveste-se de especial importância nos processos de planejamento urbano.

Para melhor se estabelecer os objetivos dos estudos geológicos no que se refere à disposição e tratamento dos resíduos sépticos de um centro urbano, serão tratados a seguir, os aspectos voltados aos rejeitos sólidos separadamente dos referentes aos rejeitos líquidos.

3.4.5.1 REJEITOS SÓLIDOS

Os rejeitos sólidos de um centro urbano também denominados "resíduos sólidos" ou mais comumente de "lixo", podem ser classificados em "resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos industriais". Estes tipos podem ainda ser subclassificados em "resíduos perigosos" e "resíduos não perigosos".

Segundo a Normalização Técnica P4-241 da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, as definições das modalidades de resíduos citadas acima são:

- a) Resíduos Sólidos Urbanos Não Perigosos - São todos os resíduos sólidos produzidos em edificações residenciais, em estabelecimentos públicos e no comércio em geral, assim como aqueles resultantes das diversas atividades da limpeza urbana.
- b) Resíduos Sólidos Urbanos Perigosos - São os resíduos sólidos produzidos em estabelecimentos hospitalares, portos e aeroportos, que por suas características peculiares e pela legislação vigente, exigem cuidados especiais quanto ao acondicionamento, coleta e disposição final.
- c) Resíduos Sólidos Industriais Não Perigosos - Resíduos produzidos em indústrias que não apresentam perigo à saúde humana e

a organismos vivos, ou seja, são biodegradáveis, ou quimicamente inertes.

- d) Resíduos Sólidos Industriais Perigosos - São os resíduos resultantes do processamento industrial que requerem cuidados especiais quanto à coleta, transporte e destinação final, pois apresentam substancial periculosidade real ou potencial à saúde humana ou aos organismos vivos, e se caracterizam pela letalidade e ou persistência no meio ambiente e ou pelos efeitos cumulativos adversos.

Dos tipos de resíduos sólidos vistos acima, os Urbanos Perigosos devem ser incinerados de preferência no próprio local onde é produzido. Os Industriais Perigosos devem ser tratados quimicamente para a destoxificação, ou incinerados, se os produtos da combustão não forem poluentes.

Os resíduos não perigosos, tanto os industriais como os urbanos podem ser depositados no solo e cobertos com material de empréstimo do próprio local. Esta forma de disposição final de resíduos sólidos no solo, que evita a poluição ambiental e não causa danos ou riscos à saúde pública, recebe a denominação de "aterro sanitário" (definição da Normalização Técnica - CETESB-P4 241).

Estudos geológicos versando sobre a geotecnia e hidrogeologia são indispensáveis ou mesmo obrigatórios na escolha e na caracterização dos locais destinados aos aterros sanitários.

A escolha de áreas mais apropriadas para a instalação de aterros sanitários envolve as investigações geológicas que procuram determinar as condições de drenagem superficial dos terrenos, características de drenabilidade dos solos e as propriedades para qualificação destes solos como materiais de cobertura, ou seja, a escavabilidade e a compactação. Assim os melhores locais para aterros sanitários devem apresentar:

- a) Baixa declividade para minimizar os escoamentos para a área do aterro. Em caso contrário deve ser implantado um sistema de drenagem para desvios das águas de escoamento superficial.
- b) Distâncias superiores a 200 metros das cabeceiras de drenagens para evitar contaminação dos cursos de água (Norma CETESB.).

- c) Solos areno-argilosos com grãos maiores que 0,1 mm para evitar obstrução dos vazios com crescimento de bactérias [O'Connor & Weber, *in* Hofmann - 1976) e conteúdos em argila superiores a 25%, para garantir condições adequadas de permeabilidade. É importante ressaltar que areias ou solos grosseiros, com baixo conteúdo argiloso são inaptos devido à rápida percolação do "chorume" (líquido produzido pela decomposição da matéria orgânica dos aterros sanitários que tem como características a cor negra, o mau cheiro e a elevada "Demanda Bioquímica de Oxigênio" - DBO). Com base nestas considerações sugere-se que os solos da base de aterros sanitários tenham permeabilidade (K) variando no intervalo 10^{-4} a 10^{-7} cm/s, sendo mais adequados os valores menores para locais onde o lençol freático encontra-se menos profundo.
- d) Solos de fácil escavabilidade, e com boas características de material de aterro, ou seja, baixos valores de LL e IP (LL de 20 a 30 e IP de 5 a 10) e granulometria de areia fina, silte e argila em porcentagens próximas (solos homogêneos), o que qualifica estes solos como bons materiais de cobertura das células de lixo.

3.4.5.2 REJEITOS LÍQUIDOS

São considerados rejeitos líquidos em um centro urbano todos os líquidos servidos, lançados nas redes de esgotos domiciliares e industriais.

Projetos modernos, levando em consideração a preservação do meio ambiente, orientam para que os resíduos líquidos orgânicos ou materiais de esgotos domiciliares, antes de serem atirados diretamente nos rios, sejam tratados em sistemas apropriados, que recebem a denominação de "lagos de estabilização".

Segundo Osvald (*in* Silva - 1977) "lagoa de estabilização" é todo corpo de água artificial, criado ou empregado para reter esgotos ou resíduos líquidos orgânicos, até que as águas se tornem estáveis através da decomposição biológica e sejam adequadas para uma disposição final não objetável. Esta disposição pode

ser efetuada por meio de lançamento em outro corpo receptor por infiltração, ou ainda pela evaporação do líquido.

A contribuição geológica para a escolha de áreas apropriadas instalação de lagoas de estabilização está na definição da permeabilidade dos solos e nas qualidades topográficas dos terrenos. Estes devem ser de baixa declividade e estar situados em locais de cotas topográficas inferiores às da rede de esgoto, para que o material chegue às lagoas pelo escoamento gravitacional, sem necessitar de bombeamento.

Para ser usada a permeabilidade dos solos na escolha de áreas adequadas à instalação de lagoas de estabilização, deve-se decidir inicialmente qual o melhor destino do líquido, após o tratamento na lagoa. Para esta decisão torna-se importante o tipo de aproveitamento de recursos hídricos, assim como as características dos sistemas de abastecimento de água na área planejada. Por exemplo, nos centros urbanos onde se faz o aproveitamento de águas superficiais, deve-se optar por lagoas com infiltração. Se o abastecimento for por águas subterrâneas pode-se decidir pela infiltração, ou pelo lançamento do líquido tratado em rios, conforme as características dos aquíferos (livres ou confinados).

Após a escolha do local mais apropriado para a instalação da lagoa de estabilização, e decidido qual o destino final do líquido tratado, em função da permeabilidade do solo, da produção diária da rede de esgoto e da precipitação pluviométrica, determina-se a dimensão da lagoa ou de uma série delas interligada.

3.4.6 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE EXTRAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS

Será tratado aqui da confecção de uma carta que mostrará as áreas a serem reservadas para a extração de recursos minerais. Considerado que os materiais de construção devem ser explorados de preferência fora da área em planejamento, como foi abordado no ítem 3.3.4, os recursos a constar do mapa compreenderão apenas as jazidas de minérios, e os eventuais materiais de construção, cuja ocorrência regional esteja restrita à área planejada.

Na demarcação das áreas de mineração, é importante lembrar que estas deverão abranger toda a extensão em torno da jazida a ser ocupada com os serviços da exploração.

Poderão ainda constar deste mapa as áreas preferenciais para a instalação de poços de captação de água subterrânea, segundo as conclusões tiradas dos estudos hidrogeológicos.

3.4.7 DETERMINAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE RISCOS GEOLÓGICOS

Não se registrando no Brasil fenômenos do tipo avalanche ou terremotos de grande proporções, os principais processos geológicos que podem causar riscos aos habitantes de nossas cidades são a erosão acelerada, a movimentação de materiais em encostas e os fenômenos de enchentes.

Quando não for possível o controle destas ocorrências, demarcam-se as áreas atingidas, para as quais a ocupação urbana deve ser proibida.

Dos três tipos de fenômenos citados acima o controle mais difícil é o das inundações. Os casos de enchentes em bacias hidrográficas de pequeno porte muitas vezes são resolvidos com sistemas especiais de canalizações. Se, por outro lado, o centro urbano situa-se em margens de grandes cursos d'água com histórias de inundação, a ocupação urbana deve ser desaconselhada nas áreas mais baixas adjacentes ao rio.

Em função da periculosidade, que por sua vez depende da probabilidade de ocorrência dos fenômenos de riscos, as áreas demarcadas podem ser distinguidas por diferentes graus de restrição à ocupação.

3.5 INDICAÇÕES DA GEOLOGIA PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO - O MAPA DE PLANEJAMENTO

O Mapa de Planejamento é uma síntese dos estudos geoló-

gico-geotécnicos apresentados até aqui. Ele procura orientar a ocupação urbana com base nos aspectos geológicos apresentados pela área em planejamento.

De acordo com as atividades desenvolvidas pelos ocupantes, num centro urbano podem ser diferenciados os seguintes setores: residencial, industrial, comercial, institucional e de circulação (Ferrari - 1977). O objetivo do mapa de planejamento é mostrar a adequabilidade dos terrenos para a implantação de cada um dos setores acima referidos, em função das propriedades geológico-geotécnicas apresentadas por estes terrenos.

A seguir serão relacionados os principais requisitos abordados neste trabalho, para a caracterização de cada um dos diferentes setores da ocupação urbana:

a) Áreas Residenciais:

- Terrenos adequados a fundações de residências.
- Terrenos adequados a obras viárias.
- Terrenos adequados a instalações subterrâneas.
- Distantes de locais apropriados à disposição de rejeitos.
- Próximas a áreas verdes.

b) Áreas Industriais:

- Terrenos adequados a fundações de grande porte.
- Terrenos adequados a instalações subterrâneas.
- Terrenos adequados a obras viárias.
- Abundância de água (superficiais e subterrâneas).
- Próximas a locais apropriados à disposição de rejeitos.
- Distantes de áreas de recarga de aquíferos.
- Orientação adequada de ventos.

c) Áreas Comerciais e Institucionais

- Terrenos adequados a fundações de prédios residenciais e de grande porte.
- Terrenos adequados a obras viárias (vias e estacionamentos para veículos pesados).
- Terrenos adequados a instalações subterrâneas.
- Distantes de locais apropriados à disposição de rejeitos.

d) Áreas de Circulação

- Terrenos adequados a obras viárias.

e) Áreas Proibidas à Ocupação

- Terrenos com riscos geológicos.

O Mapa de Planejamento apresenta alternativas de instalação dos diferentes setores urbanos, classificadas de acordo com as características acima enumeradas.

Para a elaboração do mapa, as características são convertidas em índices de adequabilidade, cujas somatórias representam potenciais de uso dos diferentes setores. Maiores detalhes podem ser vistos nas conclusões deste trabalho, que tratam das indicações da Geologia para o planejamento do sítio urbano de Rio Claro.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO NA ÁREA DO SÍTIO URBANO DE RIO CLARO - S P

4.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

4.1.1 LOCALIZAÇÃO

Como já foi abordado atrás, normalmente o prazo máximo dos processos de planejamento urbano oscila em torno de quinze anos. Por conseguinte a área estudada em projetos deste gênero (área planejada) deve ser dimensionada com base na expansão máxima que pode atingir o perímetro urbano neste período de tempo. Foi assim escolhida para este projeto a área delimitada pelos paralelos $22^{\circ}20'00''$ e $22^{\circ}27'30''$ de latitude sul e os meridianos $47^{\circ}30'00''$ e $47^{\circ}37'30''$ a oeste de Greenwich, perfazendo um total de $184,8 \text{ Km}^2$ na porção centro-leste do Estado de São Paulo (Figura 11).

Um outro aspecto importante a ser observado na escolha da área é que a mesma deve conter o atual perímetro urbano em sua parte mais central, pois a tendência mais lógica de expansão é a radial. No entanto, quando o perímetro urbano se encontra no limite do município, este deve situar-se numa borda da área escolhida. Foi o que aconteceu neste trabalho. A parte sul do perímetro urbano de Rio Claro faz divisa com o município de Santa Gertrudes, o que justifica ser aí o limite sul da área em planejamento.

4.1.2 ASPECTOS HISTÓRICOS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO MUNICÍPIO E DA CIDADE DE RIO CLARO

Os primeiros povoadores que se fixaram no local, onde hoje se encontra a cidade de Rio Claro eram bandeirantes e aventureiros que desistiam de seguir viagem rumo a Mato Grosso, em busca de ouro. Paravam na região, antes de transpor o Morro Azul (de

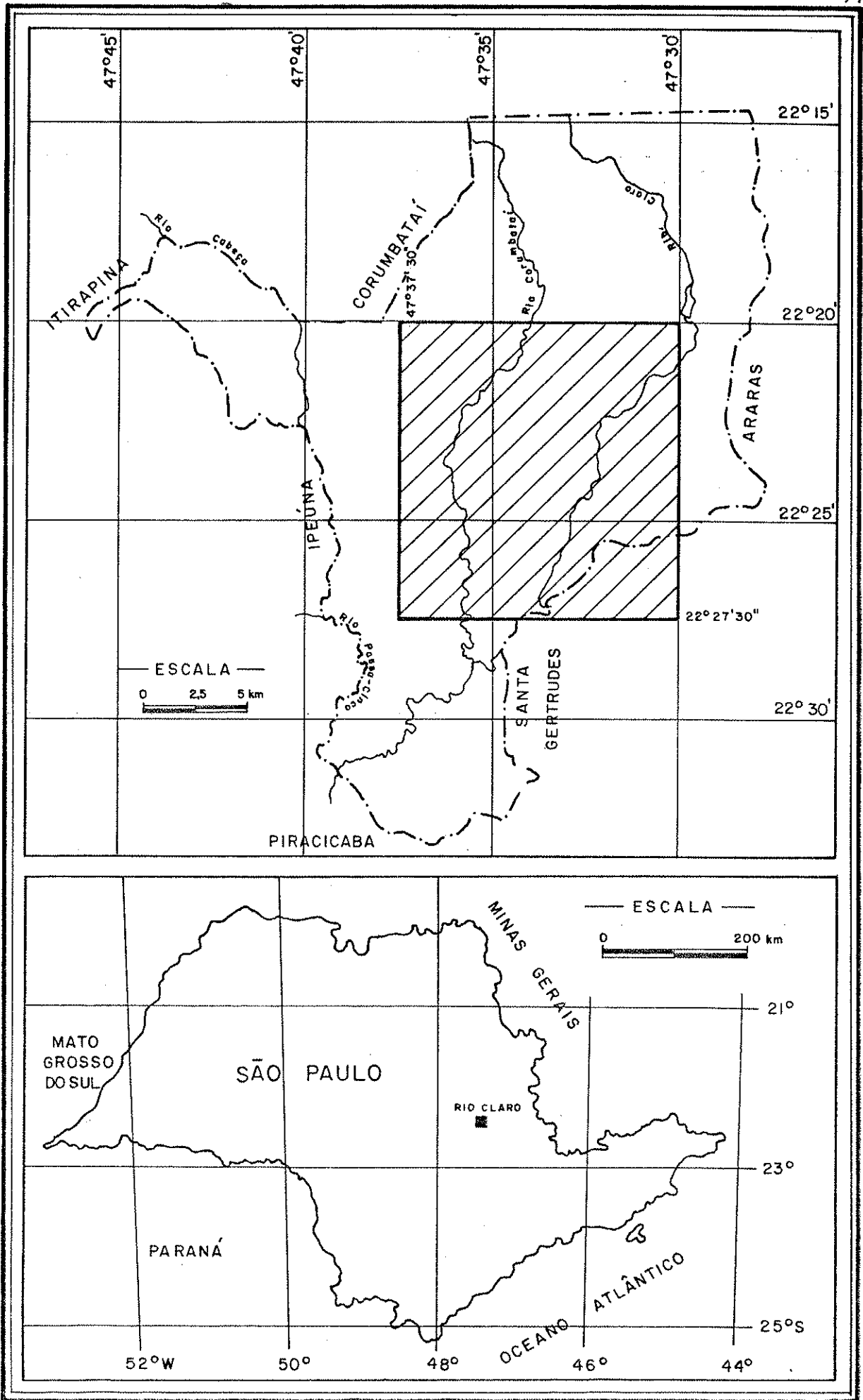


FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO E NO ESTADO DE SÃO PAULO

nominação da época dada às escarpas basálticas), para alcançar os sertões de Araraquara e daí, o Mato Grosso. A data de fundação do núcleo está relacionada com a elevação do povoado, constituído às margens do Ribeirão Claro, à categoria de "capela curada" de São João Baptista do Ribeirão Claro em 10 de junho de 1827. Passou a constituir freguesia a 9 de dezembro de 1830, vila a 7 de março de 1845 e tornou-se cidade em 30 de abril de 1857. Na data de 06 de maio de 1859 foi criada a Comarca de São João do Rio Claro, que teve sua nomenclatura mudada para Comarca de Rio Claro em 20 de dezembro de 1905 (*Penteado - 1978*).

O município, desde o desbravamento de suas terras, teve nas lavouras de café e de cana-de-açúcar, ao lado da atividade pecuária, a base de seu desenvolvimento. Mesmo durante o surto do café, nas últimas décadas do século passado, a lavoura de cana coexistiu com a cafeicultura, embora em posição de menor importância.

Os imigrantes europeus, principalmente italianos e alemães que começaram a se fixar na região a partir de 1880, foram os responsáveis por mudanças sensíveis nos costumes e ocupações dos agricultores. Com eles apareceram a horticultura e a indústria doméstica, quando os produtos destas atividades, tais como: legumes, mel de abelha, leite, queijo, manteiga e outros eram vendidos semanalmente no pequeno aglomerado urbano que se desenvolvia. Estas atividades foram marcantes na economia rioclareense do final do século passado.

As atividades agro-pastoris em posição de vanguarda, acompanhadas de algumas atividades de indústrias leves ligadas principalmente a bens de consumo e o comércio urbano sustentaram o desenvolvimento de Rio Claro nas sete primeiras décadas do século atual.

Apesar da influência dos imigrantes europeus sempre voltados a iniciativas de pequena indústria, o município não apresentou grandes tendências para a industrialização, que só se desenvolveu a partir do início da década de 1970.

Dados do último recenseamento (1980) acusaram para o município de Rio Claro com seus 540 Km², uma população de 110.300 habitantes, com apenas 6,6% deles residindo na zona rural.

Atualmente, a atividade industrial é a tônica da ocupação do rioclarense, apesar da cidade se destacar ainda como centro regional comercial, educacional e cultural.

4.1.3 ASPECTOS FISIOGRAFICOS REGIONAIS

4.1.3.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS

O clima da região de Rio Claro, na classificação de Köppen é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco com estação chuvosa no verão. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C , e a do mês mais quente ultrapassa os 22°C . Segundo *Troppmair (1978)* o regime de chuvas, quanto à distribuição anual, é tropical, com duas estações definidas. De abril a setembro ocorre o período seco, caindo em 15 a 20 dias um total de 180 a 200 mm de chuva. Estas chuvas estão associadas à invasões de massas polares que também provocam amplitudes térmicas médias de 12 a 14°C , ou, em casos extremos, até 18°C em 24 horas. O período úmido ocorre de outubro a março, onde cerca de 1.200 mm de precipitação caem em 55 a 60 dias de chuva. Nesta época normalmente verificam-se amplitudes térmicas menores que 12°C . Segundo *Brino (1973)* a região se caracteriza pela ocorrência de fenômenos climáticos do tipo nevoeiro, geada e granizo. Os dois primeiros estão relacionados à circulação atmosférica, à radiação própria da área e à topografia, enquanto que o granizo é consequência das perturbações da circulação atmosférica. *Brino (op. cit.)* afirma ainda que o dinamismo atmosférico da região está intimamente associado à oscilação da Frente Polar Atlântica, que tem presença marcante em todas as estações do ano.

4.1.3.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

O IPT. (1981) divide o Estado de São Paulo em cinco grandes províncias geomorfológicas: o Planalto Atlântico, a Província Costeira, a Depressão Periférica, as Cuestas Basálticas e

o Planalto Ocidental. A Depressão Periférica Paulista, expressão geomorfológica qualificada por Moraes Rego em 1932 (*in Penteado - 1976*), corresponde à área deprimida além das cuestas que delimitam a borda oriental dos derrames basálticos no Estado de São Paulo. O município de Rio Claro, situado na Depressão Periférica, tem seus limites ao norte no sopé das cuestas. Estas se estendem daí para SW constituindo uma série de escarpas de superfície de cimeira nivelada entre 950 e 1.000 metros de altitude, com as denominações: Morro Grande, Serra do Cuscuzeiro e Serra de Itaqueri. Entre as duas últimas aparece a Serra de Santana que, juntamente com alguns morros testemunhos a sua frente, se colocam em uma posição altimétrica inferior, entre 800 e 850 metros. Para sul, em direção ao centro da Depressão Periférica, a maior parte do município encontra-se em terrenos de topografia mais suave, com interflúvios subtabulares, normalmente capeados por sedimentos arenosos e de vertentes convexas no alto e côncavas no sopé. Tais interflúvios, com altitudes que oscilam entre 550 e 650 m, são separados por vales cujas secções transversais podem ultrapassar 4 quilômetros, e que, de um modo geral, apresentam seus fundos entulhados por sedimentos aluviais. A superfície geral destes interflúvios possui inclinação suave de 3 metros por quilômetro ao longo da direção norte-sul (*Penteado - 1976*). Destacam-se ainda na região relevos de aspecto crustiforme ocasionados por erosão diferencial em rochas mais resistentes do Grupo Passa Dois, tais como os níveis silicificados da Formação Irati.

O principal sistema de drenagem da região é representado pelo Rio Corumbataí e seus afluentes: Ribeirão Claro, Cabeça e Passa Cinco (Figura 12). Estes rios nascem nas encostas da cuesta e se deslocam para sul, indo alimentar o Rio Piracicaba, que, correndo no sentido oeste, leva suas águas para o Rio Tietê.

O Rio Corumbataí é considerado por Ab' Saber (*in Penteado - 1976*) como "recente-subseqüente" com seu traçado preferencialmente obedecendo a tectônica de falhamento pós-cretácica que teria afetado 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.

Quanto aos padrões de drenagem, predominam os paralelos,

principalmente nos trechos mais longos dos afluentes do Rio Corumbataí pela sua margem direita. Os padrões retangulares aparecem nas confluências de pequenos subafluentes com os afluentes do Corumbataí e Passa Cinco, onde direções de leitos NE - SW, provavelmente conseqüentes do diaclasamento do Arenito Botucatu, cruzam perpendicularmente com as direções NW - SE dos rios de padrões paralelos. A drenagem dendrítica fica restrita às cabeceiras dos afluentes que nascem nos sedimentos argilosos dos Grupos Tubarão e Passa Dois, no médio e baixo curso do Rio Corumbataí (Penteado-1976).

4.1.3.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS E DA VEGETAÇÃO

O "Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo" elaborado recentemente pelos pedólogos do Instituto Agrônomo de Campinas (Oliveira et al. - 1979 e Oliveira et al. - 1981) identifica cinco tipos principais de solos no município de Rio Claro (Figura 13).

A parte SE do município está ocupada pelo latossolo roxo em duas variedades, o eutrófico e o distrófico, morfologicamente idênticas, mas diferentes nas características químicas e mineralógicas. São solos argilosos, friáveis e porosos com horizonte B latossólico e apédico, de cor vermelho-escura. Pelas características químicas, o latossolo roxo eutrófico apresenta um potencial agrícola maior que o latossolo distrófico, o que o qualifica não só como o melhor da área em estudo, mas como um dos melhores para a agricultura em todo o Estado de São Paulo. A vegetação original é representada pela mata latifoliada tropical. Atualmente estes solos estão ocupados na sua maior parte com plantação de eucaliptos, nos terrenos do Horto Florestal "Navarro de Andrade", de propriedade da FEPASA. Fora desta área a utilização é com o plantio de cana-de-açúcar.

Latossolo vermelho amarelo é a classificação do solo sobrejacente à Formação Rio Claro, cobrindo uma faixa que se estende do centro-norte até o sudoeste do município de Rio Claro. São latossolos de coloração vermelho-amarelada, espessos e apédicos. Do ponto de vista químico são solos muito ácidos, com soma e

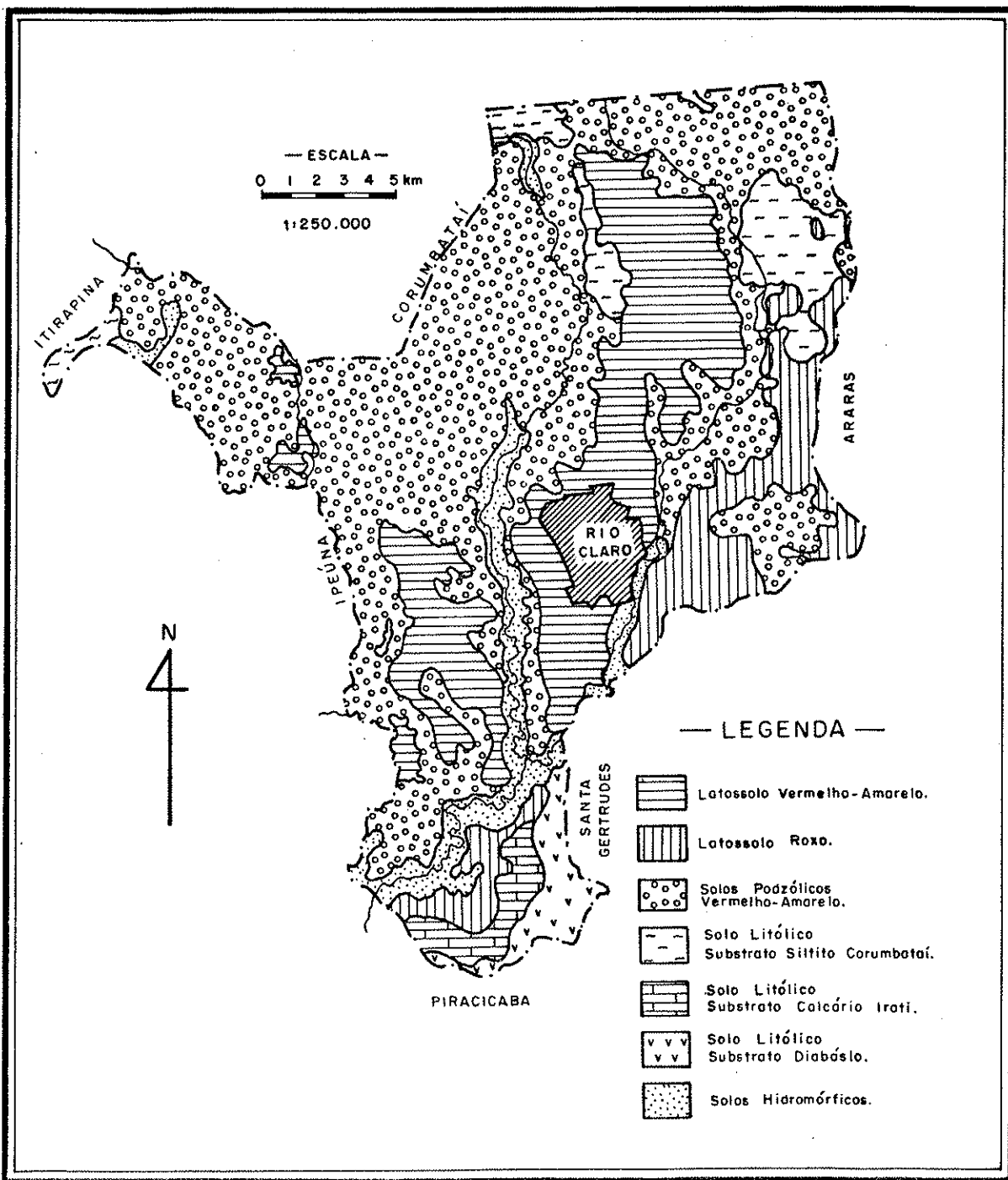


FIGURA 13: TIPOS DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO

saturação em bases muito baixas, e com alumínio trocável ao longo do perfil. O material original é produto do retrabalhamento dos sedimentos arenosos da Formação Rio Claro. A vegetação de origem era predominantemente cerrados e cerradões. Atualmente ocupa-se estes solos com pastagens, plantio de cana-de-açúcar e reflorestamento com eucalipto.

Uma terceira espécie de solos, com ampla distribuição não só no município de Rio Claro, como em toda a Depressão Periférica, são os "solos podzólicos vermelho-amarelos". A *Comissão de Solos (1960)* classifica estes solos como a "variação Piracicaba" dos solos podzólicos vermelho-amarelos". São solos com profundidade variável entre 1,5 e 2,5 metros, com nível B textural, moderadamente drenados, ácidos e com saturação de bases baixa. Foram formados a partir dos sedimentos finos dos Grupos Passa Dois e Tubarão, sendo que no município de Rio Claro as rochas originais são principalmente os siltitos da Formação Corumbataí. A vegetação original foi a floresta latifoliada tropical. Hoje estes solos são usados principalmente para plantio de cana-de-açúcar e secundariamente para pastagens, reflorestamento com eucalipto e culturas anuais.

Um tipo de solo encontrado na região, sem grande expressão em área, são os solos litólicos, cuja principal característica é sua pequena espessura, em geral inferior a 30 cm. Ocorrem em áreas restritas do NE e do Sul do município. Sua textura bastante variada está estreitamente relacionada com a natureza do substrato, que nas áreas NE está representado pela Formação Corumbataí e, no sul, pela Formação Irati e por intrusões de diabásios. Do ponto de vista químico apresentam teores de soma de bases relativamente altos e em decorrência caráter eutrófico. Foram ocupados originalmente pela floresta latifoliada tropical e atualmente a cultura de cana-de-açúcar é a ocupação principal destes solos.

Restritos aos vales do Rio Corumbataí e Ribeirão Claro, aparecem solos hidromórficos, relacionados aos sedimentos aluvionares destes vales. Pelo fato de estarem normalmente encharcados, estes solos apresentam acúmulo de matéria orgânica e coloração cinza característica, esta em função dos fenômenos químicos de redução. Áreas restritas de culturas de arroz e hortaliças represen

tam o pouco uso agrícola destes solos na região.

4.1.4 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

A região da cidade de Rio Claro situa-se geologicamente na borda nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. Em consequência do caráter marginal da localização, afloram na região várias unidades estratigráficas da Bacia. Assim se fazem presentes o Subgrupo Itararé e as Formações Aquidauana e Tatuí do Grupo Tubarão, as Formações Irati e Corumbataí do Grupo Passa-Dois, as Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, do Grupo São Bento, além de rochas intrusivas associadas aos derrames da Formação Serra Geral e diferentes tipos de coberturas cenozóicas.

4.1.4.1 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DA BACIA DO PARANÁ

4.1.4.1.1 O SUBGRUPO ITARARÉ

O mais recente trabalho sobre o Subgrupo Itararé e a Formação Aquidauana na região, é de autoria de *Cottas et al.* (1981). Segundo estes autores, o Subgrupo Itararé (Permo-Carbonífero) na parte mais voltada para o norte da borda leste da bacia, apresenta três associações litológicas distintas, representando fácies de ambientes flúvio-glacial, fluvial e marinho raso, denominados respectivamente Itararé I, Itararé II e Itararé III. A Associação Itararé I é um conjunto litológico constituído predominantemente por diamictitos de matriz argilosa ou arenosa de origem glacial, e retrabalhados em planície aluvial periglacial com intercalações de arenitos fluviais de granulações, formas e espessuras variadas. A Associação Itararé II caracteriza-se por arenitos fluviais intercalados com depósitos lacustres de lamitos, siltitos e argilitos. A Associação Itararé III é representada por um conjunto litológico de lamitos, siltitos, argilitos, arenitos finos quase sempre laminados, e com finas intercalações de arenitos médios a grosseiros, depositados em plataformas deltáicas. O Itararé III

ocorre interdigitado com o Itararé I, enquanto o Itararé II está assentado sobre o Itararé III em contato gradacional. A espessura do Subgrupo Itararé na região varia de 600 a 1.200 metros (DAEE - 1981)

4.1.4.1.2 A FORMAÇÃO AQUIDAUANA

Segundo *Cottas et al. (op.cit.)* a Formação Aquidauana (Permo-carbonífero), cujos sedimentos são caracterizados pela cor vermelho-escura, é representada na borda NE da Bacia do Paraná por dois membros distintos, os quais os autores denominam Rio Capetinga e Rio Tambaú. O Membro Rio Capetinga é caracterizado por arenitos com intercalações de lamitos, cuja origem estaria ligada à progradação de leques aluviais em lagos periglaciais. O Membro Rio Tambaú, representado preferencialmente por lamitos com raros corpos arenosos, estaria ligado à deposições lacustres. Em termos de relações de contato, o Membro Rio Capetinga está assentado sobre o Membro Rio Tambaú em contato aparentemente gradacional, enquanto, para sul, o Membro Rio Capetinga interdigita-se com as litologias da Associação Litológica Itararé I, recebendo desta importante contribuição detrítica, especialmente das frações arenosas e conglomeráticas. Segundo o DAEE (*op.cit.*) os sedimentos da Formação Aquidauana na região têm espessura máxima de 90 metros.

4.1.4.1.3 A FORMAÇÃO TATUÍ

A Formação Tatuí (Permiano), sobreposta discordantemente aos sedimentos do Subgrupo Itararé na parte sul da borda leste da Bacia e sobre os sedimentos da Formação Aquidauana nas regiões mais voltadas para norte, tem espessura variando em torno de 70 metros (DAEE - *op.cit.*). Segundo *Soares (1972)* a Formação Tatuí consiste em um pacote de siltitos arenosos, arenitos finos e camadas de sílex, com cores marron-arroxeadas no membro inferior, predominantemente siltoso, e com cores amarelo-esverdeadas no membro superior, onde são mais comuns os sedimentos arenosos. Segundo ainda *Soares (op.cit.)* a deposição destes sedimentos está associa

da a planícies costeiras no início do ciclo pós-glacial, com idade do Permiano Médio ao Superior.

4.1.4.1.4 A FORMAÇÃO IRATI

A Formação Irati (Permiano Superior), que aflora no Estado de São Paulo, foi subdividida por *Barbosa e Gomes (1958)* em dois membros: o Taquaral, inferior e o Assistência, superior, divisão esta adotada pela quase totalidade dos trabalhos que versam sobre a Formação na região. O Membro Taquaral consiste predominantemente de uma seqüência de siltitos e folhelhos de cor cinza, ocorrendo, localmente na base, níveis conglomeráticos com seixos de quartzo e sílex. O Membro Assistência é constituído por uma seqüência alternada e rítmica de folhelhos pretos pirobetuminosos e calcários cinza-claros, dolomíticos, que muitas vezes apresentam-se silicificados, sendo comum a ocorrência de nódulos de sílex (bonecas). Esta alternância sobrepõe-se a um banco de calcário dolomítico de 2 a 3 m de espessura, que constitui a base do Membro Assistência. Apesar de muitas controvérsias sobre o ambiente deposicional da Formação Irati, seus sedimentos mostram maiores evidências de deposição em mares rasos. O contato do Membro Taquaral com a Formação Tatuí apresenta relações discordantes, enquanto o contato superior com o Membro Assistência, assim como o deste com a Formação Corumbataí, mostram-se concordantes. Segundo *Andrade e Soares (1971)* a Formação Irati apresenta na região espessura constante, em torno de 40 metros, sendo 30 metros do Membro Assistência e 10 m do Taquaral.

4.1.4.1.5 A FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

Formação Corumbataí é a denominação adotada para a seqüência de sedimentos finos, situada entre o topo da Formação Irati e a base da Formação Pirambóia, no Estado de São Paulo, segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1 : 250.000 (*Convênio DAEE-UNESP - 1982*). Trata-se de uma unidade constituída por arenitos muito finos, siltitos, lamitos e folhelhos, nas cores cinza, cre-

me, verde claro ou lilás, com níveis de calcários oolíticos e ocasionais leitos de calcários silicificados. Os sedimentos da Formação Corumbataí mostram maiores evidências de ambiente marinho, sendo o Permiano Superior o limite mais antigo do intervalo de idades prováveis desta Formação. Sua espessura na região oscila em torno de 180 m (Andrade e Soares - *op.cit.*).

As unidades estratigráficas da Bacia sobrepostas à Formação Corumbataí, em função da escavação da Depressão Periférica, têm, na região, suas ocorrências condicionadas à disposição das escarpas. Por conseguinte, as maiores expressões em área destas unidades situam-se a N, NW e W do município de Rio Claro.

4.1.4.1.6 A FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

A Formação Pirambóia (Soares - 1973) é caracterizada por arenitos fluviais finos a médios, com matriz siltico-argilosa, nas cores vermelha, rosa, amarelo-clara ou branca, com abundantes estratificações cruzadas de médio e grande porte dos tipos tangencial planar e mais raramente acanalado. São comuns as intercalações de siltitos e argilitos. O contato inferior com a Formação Corumbataí é marcado por discordância erosiva enquanto o contato superior com a Formação Botucatu é tido como concordante pela maioria dos autores. Como os fósseis da Formação Pirambóia apresentam ampla distribuição no tempo, carecem de valor crono-estratigráfico, o que dificulta a datação da Formação, sendo que, pelas relações estratigráficas, a idade mais provável se estenderia ao Triássico Superior. A espessura máxima da Formação Pirambóia, em torno de 260 metros, ocorre próximo à cidade de São Pedro e tende a diminuir para norte (Andrade e Soares - *op.cit.*).

4.1.4.1.7 A FORMAÇÃO BOTUCATU

A Formação Botucatu é constituída de arenitos eólicos, com predomínio das frações granulométricas fina e média, de boa seleção, nas cores creme, amarela, rosa e vermelha. São comuns

ainda corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados na base. As estruturas sedimentares mais abundantes são as estratificações cruzadas de grande porte do tipo planar. Outro aspecto litológico importante destes sedimentos é o fenômeno da silicificação, que embora ocorra também nos sedimentos da Formação Pirambóia, é mais comum nos arenitos Botucatu. Pela ausência de fósseis, a idade destes arenitos é determinada apenas por relações estratigráficas, critério este que confere à Formação uma idade juro-cretácea. A espessura média da Formação Botucatu na região varia em torno de 100 metros.

4.1.4.1.8 A FORMAÇÃO SERRA GERAL E CORPOS INTRUSIVOS ASSOCIADOS

Em discordância erosiva repousam sobre a Formação Botucatu as rochas da Formação Serra Geral. Trata-se de basaltos toleíticos de textura afanítica e cores cinza-escuro e preto. As datações radiométricas destas rochas mostraram uma idade oscilando de 110 a 130 milhões de anos, portanto juro-cretácea. Corpos de arenitos eólicos interderrames são muito raros nos basaltos que afloram no alto das escarpas da região.

Intrusões de lavas básicas nas mais variadas formas, sendo mais comuns os diques e sills e mais raros os lacólitos, têm ampla distribuição na região. Quando em formas concordantes estes corpos localizam-se mais comumente no contato basal da Formação Corumbataí, aparecendo, no entanto, também na base das Formações Tatuí, Irati e Pirambóia.

4.1.4.1.9 DEPÓSITOS CENOZÓICOS

As coberturas de idade cenozóica, numa análise regional, podem ser classificadas em dois grupos, segundo suas idades evidenciadas pelas posições estratigráficas que ocupam na região. Do primeiro grupo fazem parte os depósitos terciários parcialmente consolidados e localmente silicificados que capeiam os basaltos

sobre as Serras de Itaqueri e São Pedro, de deposição anterior à instalação da Depressão Periférica (Cottas e Barcelos - 1981). O segundo grupo é formado pelos depósitos de baixas altitudes, posteriores à Depressão Periférica, assentados sobre as rochas dos Grupos Passa-Dois e Tubarão. Entre estes, além dos depósitos aluvionares quaternários relacionados com a drenagem atual, e das deposições coluvionares de retrabalhamento local, despontam, com maior importância pela expressão em área, os sedimentos de topos de interflúvios, que aparecem na região em altitudes que oscilam entre 550 e 800 metros. Tais depósitos, estudados por Bjornberg e Landim (1966) nas imediações de Rio Claro, foram por estes autores denominados "Formação Rio Claro".

4.1.4.2 TRAÇOS TECTÔNICOS REGIONAIS

A estrutura regional da área estudada é do tipo homoclinial, com mergulho em torno de 1° para oeste. Localmente esta estrutura encontra-se modificada por intrusões, falhamentos e domos. Nas áreas onde ocorrem intrusões básicas, os mergulhos variam muito, atingindo valores de até 20° para oeste e frequentemente com inversões de mergulho, tendo-se registrado valores de até 10° para leste. Esses valores anômalos de mergulho situam-se em blocos basculados, limitados por falhamentos normais de rejeitos variáveis. A região apresenta grande número de falhas, as quais dispõem-se, de uma maneira geral nas direções preferenciais N-30-50E e N20-40W (Cottas et al. 1981). Os rejeitos destes falhamentos são da ordem de 50 metros; no entanto, a falha de Monte Branco ao norte de Piracicaba chega a atingir 150 metros.

Ao norte de Piracicaba, o Domo de Pitanga constitui uma estrutura dômica alongada, com eixo maior encurvado de sudoeste para noroeste. O Domo de Assistência, no município de Rio Claro, tem eixo maior na direção N60^oW. O Domo de Artemis a oeste de Piracicaba é evidenciado por uma acentuada penetração da faixa de afloramento da Formação Corumbataí para oeste (DAEE - 1981).

Os "horsts" de Pau D'Alho e de Monte Branco, a sudoeste de Piracicaba, delimitados por falhamentos de direções NW-SE, oca

sionam o surgimento dos siltidos Corumbataí dentro dos arenitos da Formação Pirambóia.

4.2 A GEOLOGIA E O PLANEJAMENTO DE RIO CLARO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados da aplicação do conjunto metodológico proposto no Capítulo 3.

Deve-se salientar que nem todas as fases do método puderam ser aplicadas. Algumas delas não foram necessárias devido ao próprio condicionamento geológico, como foram os casos das investigações sobre instabilidade de encostas e sobre jazidas de minérios. Outras, como os estudos de vegetação, da qualidade das águas e das propriedades geotécnicas de materiais de construção não puderam ser realizados por problemas referentes à disponibilidade de materiais adequados, de dados, ou de verba, o que, no entanto, não interferiu nas conclusões principais do trabalho.

A cartografia foi realizada na escala 1 : 20.000 por não se dispor de fotografias aéreas 1 : 10.000, e também para evitar as inúmeras dificuldades que seriam encontradas com a confecção e reprodução de um número muito grande de cartas.

4.2.1 OS ESTUDOS GEOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS EM RIO CLARO

4.2.1.1 O MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

No mapa de Documentação Nº 1, anexo, estão marcados os locais de coleta de dados da área planejada, que compreendem 61 afloramentos estudados, pontos de sondagens a trado para verificação de nível d'água e espessura de solos, 69 sondagens a trado para coleta de amostras deformadas, 13 sondagens SPT, 85 sondagens elétricas, 26 poços de inspeção para coleta de amostras indeformadas e deformadas de solos, 24 poços profundos de água subterrânea e 1 posto fluviométrico no Rio Corumbataí.

A ocupação urbana média atual, representada em porcenta

gem nas quadriculas de 4 Km², foi determinada em um mosaico fotogramétrico de escala 1 : 10.000, obtido de levantamento realizado em 1981. Pode-se verificar por meio da distribuição dos valores e da posição do perímetro urbano, que a tendência atual de crescimento é para os sentidos norte e sudoeste. Esta tendência é importante para ser comparada com a orientação correta de crescimento, fornecida pelo mapa final de planejamento.

O Mapa de Documentação de Rio Claro mostra ainda as orientações preferenciais do vento na região, dado relevante para a confecção do mapa de planejamento.

4.2.1.2 O MAPA TOPOGRÁFICO

O Mapa Topográfico Nº 2, extraído de recente levantamento, realizado pela Terra-Foto S.A. - Atividades de Aerolevamentos, mostra o relevo da área planejada do sítio urbano de Rio Claro.

Pode-se verificar que as maiores altitudes, atingindo valores acima de 720 metros, se encontram na parte SE da área. A região ocupada pelo atual perímetro urbano, em sua maior parte consiste de um platô com altitudes oscilando entre 600 e 625 metros.

A área apresenta dois sistemas hidrográficos, cujas águas se movimentam de norte para sul, situando-se o do Rio Corumbataí a oeste e o do Ribeirão Claro a leste. A confluência destes dois rios ocorre além do limite sul da área.

4.2.1.3 O MAPA DE DECLIVIDADES

Em função da variação de inclinação dos terrenos e da finalidade de uso do mapa, foram escolhidos na área urbana de Rio Claro cinco intervalos de declividade: menor que 2,5%, de 2,5 a 5%, de 5 a 10%, de 10 a 20% e maior que 20%. O Mapa de Declividades Nº 3, mostra que os intervalos menor que 2,5 e 5 a 10% são os que ocupam as maiores áreas. Por outro lado o intervalo >20% é muito pouco freqüente, o que, de um modo geral, qualifica como

boa a área para a ocupação urbana.

4.2.1.4 O MAPA DE FORMAS DE RELEVO

O Mapa de Formas de Relevo Nº 4 da área estudada apresenta os tipos de encostas segundo *Oka Fiori (1980)*, assim como a distribuição dos divisores de água principais e secundários.

A superposição do Mapa de Formas de Relevo com o Mapa Geológico Nº 5 mostra que os tipos de encostas estão condicionados aos tipos litológicos. Assim, tanto os sedimentos arenosos da Formação Rio Claro, como os diabásios e colúvios de vertente apresentam preferencialmente encostas convexas e secundariamente encostas retilíneas. Por outro lado, nas zonas de afloramento da Formação Corumbataí, apesar das formas convexas continuarem sendo as mais freqüentes, é grande a ocorrência de encostas do tipo côncavo.

4.2.1.5 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO

4.2.1.5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES LITOLÓGICAS

O estudo das unidades litológicas, tanto do substrato rochoso como da cobertura inconsolidada superficial da área, foi realizado com observações de afloramentos.

O substrato geológico é constituído pelos sedimentos da Formação Corumbataí do Grupo Passa-Dois da Bacia do Paraná e por diques e sills de diabásio relacionados com o magmatismo básico que afetou a Bacia no Cretáceo Inferior.

A cobertura superficial é constituída pelos depósitos arenosos da Formação Rio Claro, por sedimentos aluvionares quaternários e por depósitos coluviais de vertentes, também quaternários.

a) Formação Corumbataí

Está representada na área do sítio urbano de Rio Claro por siltitos e arenitos muito finos nas cores lilás, cinza e verde, com estratificação plano-paralela e apresentando localmente níveis de calcários oolíticos e mais raramente níveis silicificados. O solo residual da Formação é siltico-arenoso, de cor marron acinzentada, com espessuras nunca superiores a 2 metros (Figura 14).

b) Corpos Intrusivos de Diabásio

São encontrados na área sills e diques de diabásio. Os sills aparecem tanto sobrepostos como subjacentes à Formação Corumbataí. Estas rochas básicas apresentam solo residual argiloso de cor vermelha-escura (Figura 15).

c) Formação Rio Claro

Dois tipos de materiais com diferente comportamento geotécnico foram observados nos sedimentos neo-cenozóicos da Formação Rio Claro da área em estudo.

A parte inferior do pacote é constituída por arenitos inconsolidados de coloração amarela que apresentam intercalações de leitos de argilitos isolados com espessuras variáveis. Ocorrem localmente níveis conglomeráticos cujos seixos são de diâmetro sempre menor que 1 cm. Apesar de predominar a estrutura maciça são bastante freqüentes as estratificações plano-paralelas e cruzadas. Este tipo de material foi observado nas partes inferiores das encostas de quatro boçorocas que ocorrem na área (Figura 16).

A parte superior, interpretada por *Fúlvaro e Suguio (1968)* como sendo o solo propriamente dito da Formação, é constituída de material que sofreu evolução pedogenética. Nota-se, no entanto, que em determinados locais também houve a ocorrência de retrabalhamento coluvionar. É um material areno-argiloso, sem estruturas, de cores marron-clara ou marron-avermelhada, com acentuado grau de laterização (Figura 17). Em alguns locais foram verificados níveis limoníticos no contato desta parte com o pacote inferior.

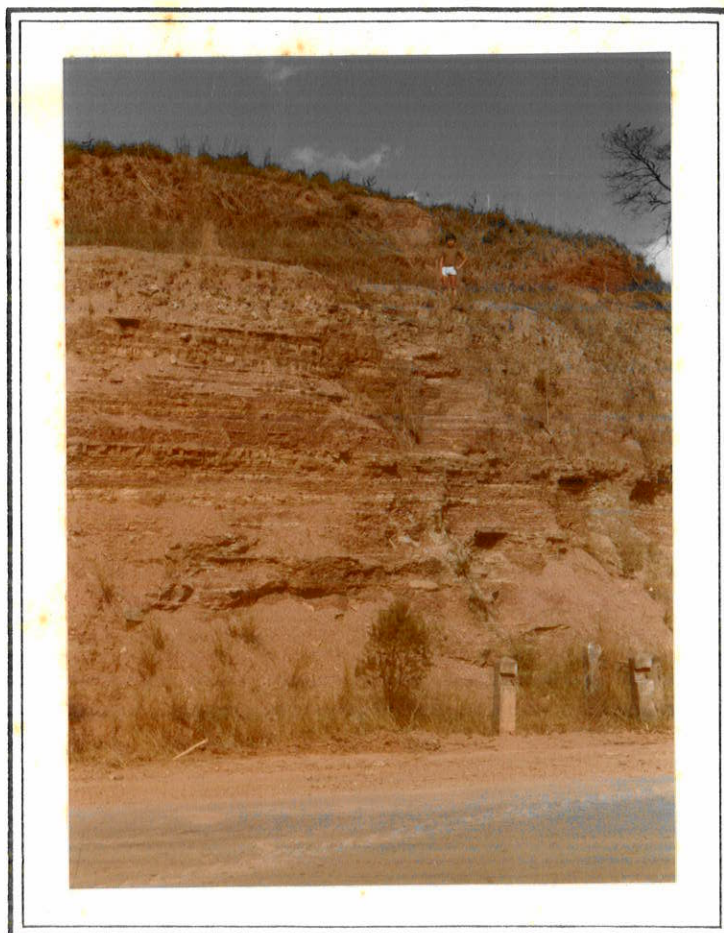


FIGURA 14: AFLORAMENTO DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

A foto mostra um afloramento na Rodovia SP-191, onde estão expostos siltitos lilás com estratificação plano-paralela e níveis calcíferos mais resistentes. No topo do afloramento nota-se o solo residual da Formação.

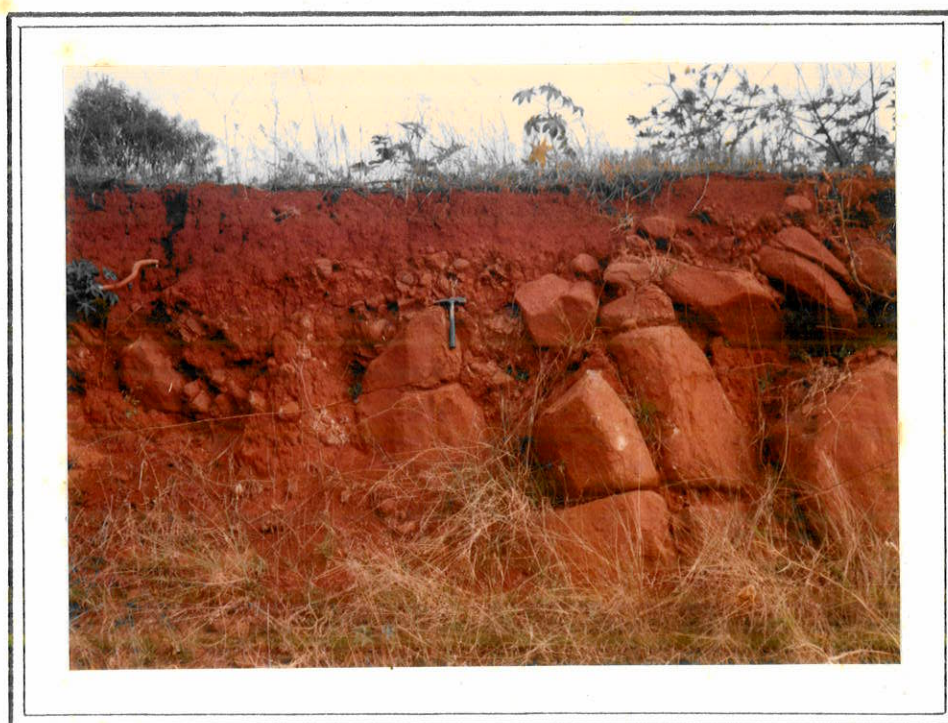


FIGURA 15: AFLORAMENTO DE ROCHAS INTRUSIVAS BÁSICAS

Exposição de blocos de diabásio fraturados e parcialmente intemperizados. O capeamento de superfície é de solo residual.

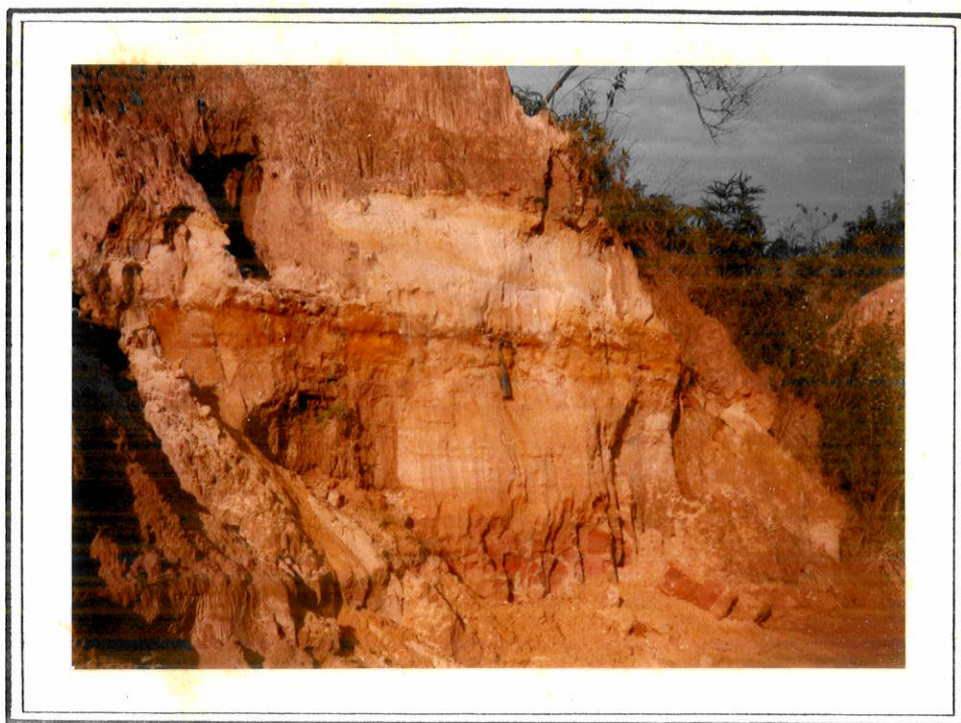


FIGURA 16: EXPOSIÇÃO DA FORMAÇÃO RIO CLARO ESTRUTURADA

Este é o Afloramento nº 31, na Boçoroca PI.09. São corpos de areia branca ou apresentando oxidação secundária amarela. Observa-se na base da foto intercalações de níveis argilosos.



FIGURA 17: EXPOSIÇÃO DA FORMAÇÃO RIO CLARO LATERIZADA

A foto mostra aspectos da parte laterizada da Formação Rio Claro, num talude da Rodovia Washington Luiz - Afloramento nº 49. Nota-se, no canto inferior direito da foto, a preservação de estruturas da parte inferior da Formação.

O contato da base da Formação Rio Claro, em quase todos os afloramentos estudados, apresenta cascalheira de espessura variável, com seixos de sílex, quartzito, siltito ou limonita, que normalmente apresentam diâmetros inferiores a 10 cm, mas que, em determinados locais, podem chegar a 20 cm.

d) Depósitos Coluviais de Vertente

Estes depósitos são quaternários e resultantes do retrabalhamento de areias da Formação Rio Claro com solos de rochas básicas nas encostas adjacentes aos corpos de diabásio. Trata-se de material laterizado areno-argiloso, de cor vermelha-escura, com seixos dispersos na massa sedimentar ou, às vezes, constituindo níveis de pequena extensão, como está ilustrado na Figura 18.

e) Depósitos de Aluvião

São sedimentos de deposição quaternária relacionada com as drenagens atuais do Rio Corumbataí, Ribeirão Claro e seus afluentes. Apresentam duas constituições preferenciais, sendo uma de areias finas e brancas, bem selecionadas, com pouco material fino, e outra de material arenoso com alto teor de argila, às vezes conglomerático, nas cores cinza e amarela-clara (Figura 19). São freqüentes nestes depósitos intercalações de uma turfa negra com espessura que varia de alguns decímetros a 1 metro. Via de regra, registra-se cascalheira na base, com seixos mais freqüentemente de composição quartzosa ou originados de fragmentos de siltito.

4.2.1.5.2 O MAPA GEOLÓGICO

Devido à homogeneidade litológica da área pesquisada, onde o substrato rochoso é constituído apenas pela Formação Corumbataí, com intercalação de alguns corpos de diabásio, foi possível, em um único mapeamento documentar tanto o substrato rochoso como as coberturas inconsolidadas superficiais da área.

Utilizando-se os critérios convencionais de fotointer



FIGURA 18: ASPECTOS DOS SEDIMENTOS COLUVIAIS DE VERTENTE

A ilustração mostra detalhes texturais dos Colúvios de Vertente, com sua cor vermelho escuro característica. Notar os seixos dispersos na massa sedimentar.

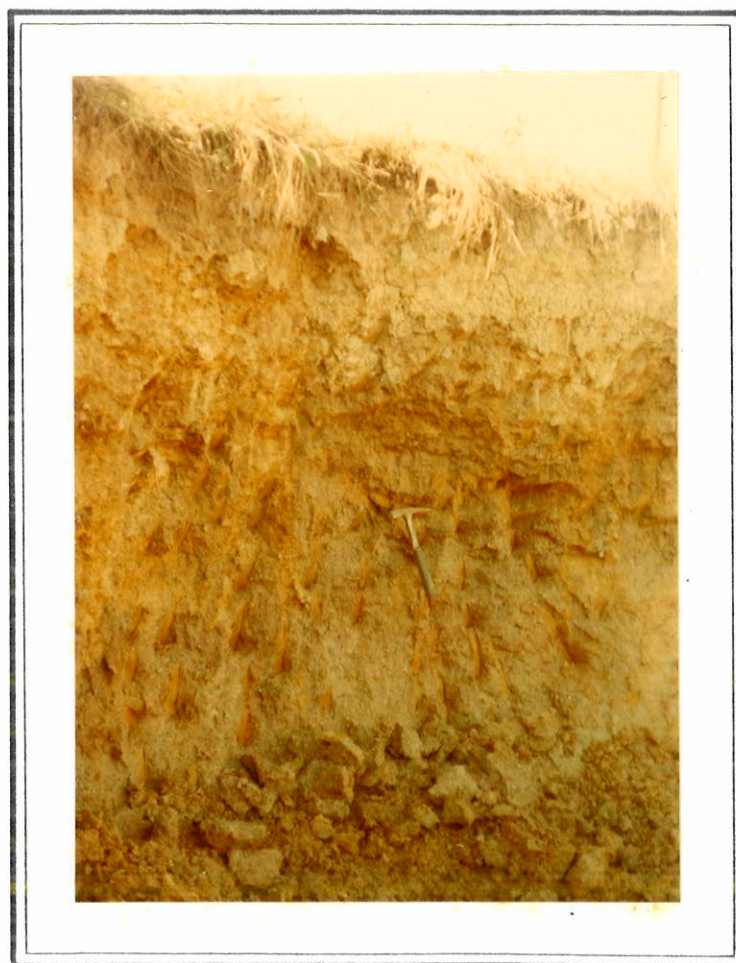


FIGURA 19: AFLORAMENTO DE SEDIMENTOS ALUVIONARES

Trata-se da modalidade argilosa dos sedimentos de aluvião da área planejada. As cores cinza e amarelo são as mais comuns.

pretação geológica em fotos de escala 1 : 25.000 do IBC-GERCA, foram traçados os contatos dos cinco tipos litológicos encontrados na área, juntamente com alguns traços estruturais que lá aparecem. As estruturas observadas não são muitas, devido ao extenso recobrimento cenozóico. Uma delas compreende um falhamento que condicionou a implantação do Córrego Santo Antônio (leste da área). A falha, que num pequeno trecho se encontra encoberta por um depósito de aluvião, coloca em contato um sill de diabásio com sedimentos da Formação Corumbataí. Outras estruturas observadas foram pequenos traços de fraturas, restritos às áreas de afloramento da Formação Corumbataí.

Para a confecção do Mapa Geológico Nº 5, os dados de geologia foram lançados com "sketchmaster" no mapa base de escala 1 : 20.000.

4.2.2 OS ESTUDOS GEOTÉCNICOS E HIDROGEOLOGICOS EM RIO CLARO

4.2.2.1 INVESTIGAÇÕES DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DOS SOLOS

A seguir serão discutidos os resultados obtidos nos ensaios geotécnicos processados em amostras de solos coletadas na área do sítio urbano de Rio Claro.

4.2.2.1.1 AMOSTRAGEM

A amostragem foi feita em poços do tipo "cisterna" ou "cacimba", abertos na área pesquisada em número de 26 (pontos PI do Mapa de Documentação). Nas laterais destes poços foram coletadas as amostras deformadas e, no fundo, as indeformadas. Além dos dados obtidos no processamento destas amostras, foram também utilizados outros, fornecidos pelo Departamento de Estradas de Rodagem, resultantes de ensaios de granulometria, limites de consistência e CBR, realizados em amostras de trado, coletadas ao longo das rodovias Washington Luiz e Araras-São Pedro.

As amostras foram numeradas segundo o tipo, o local e a profundidade da amostragem. Assim, as duas letras maiúsculas iniciais da numeração significam o tipo de amostragem: PI = amostras de poços de inspeção e ST = amostras de sondagem a trado. O número em seguida representa o local de coleta, e o número final, a profundidade da amostra em metros, a partir da superfície.

4.2.2.1.2 ÍNDICES FÍSICOS

Na Tabela 4 encontram-se os valores dos três índices físicos de laboratório, obtidos nos ensaios de amostras de poços de inspeção da área pesquisada. Os valores destes índices, mais representativos das sete variedades de materiais inconsolidados são mostrados no Quadro 8. Como já foi visto atrás, os índices físicos são usados para a caracterização das unidades de solos mapeadas. A análise das médias apresentadas no Quadro 8, em função dos seus curtos desvios-padrão, observados na Tabela 4, demonstra uma boa identificação dos materiais inconsolidados mapeados.

4.2.2.1.3 GRANULOMETRIA

Os resultados das análises granulométricas realizadas em amostras da área urbana de Rio Claro são mostrados nas Tabelas 5 e 6. Na Tabela 5 estão os resultados obtidos na análise de amostras coletadas nos poços de inspeção, onde foram realizados tanto os ensaios de peneiramento para as frações grosseiras, como os ensaios de sedimentação para as frações finas. Por outro lado, a Tabela 6 mostra os dados fornecidos pelo D.E.R., contendo apenas resultados de ensaios de peneiramento.

Os valores mais representativos das frações granulométricas são apresentados no Quadro 9. Como no caso dos índices físicos, estes valores representam médias com pequenos desvios-padrão, para os diferentes tipos de solos mapeados. Desta maneira, podem ser também considerados como parâmetros que bem identificam os solos da área urbana de Rio Claro. Cabe ressaltar aqui que os

TABELA 04: DADOS GEOTÉCNICOS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO OBTIDOS DE AMOSTRAS INDEFORMADAS

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA			ÍNDICES FÍSICOS			PERMEABILIDADE	COMPRESSIBILIDADE			
Número	Profundidade Representada (m)	Tipo de Material	Umidade w (%)	M. Esp. Nat. ρ_s (g/cm ³)	M. Esp. Sol. ρ (g/cm ³)	-K- (cm/s)	Índice de Compressão(cc)	Pressão de Pré Adensamento-Pa (Kg/cm ²)	Razão de Pré Adensamento (OCR)	Colapsividade
PI.01- 1	0,0-1,5	COR	33,6	1,68	2,74	6,3x10 ⁻⁷	0,26	1,65	> 1	-
PI.02- 1	0,0-1,5	COR	29,0	1,56	2,78	5,9x10 ⁻⁷	0,25	1,72	> 1	-
PI.03- 1	0,0-1,5	COR	34,5	1,52	2,75	7,4x10 ⁻⁷	0,27	1,49	> 1	-
PI.04- 2	0,0-4,5	DIAB	22,0	1,26	3,11	5,6x10 ⁻⁵	0,31	2,40	> 1	-
PI.05- 3	0,0-5,0	DIAB	25,7	1,50	3,09	4,6x10 ⁻⁵	0,23	1,80	> 1	-
PI.06- 4	0,0-4,0	RCL	10,3	1,70	2,70	1,1x10 ⁻⁴	0,34	1,10	> 1	+
PI.06- 9	4,0-9,0	RCE	1,6	1,71	2,72	1,8x10 ⁻⁴	0,05	0,83	> 1	-
PI.07- 3	0,0-6,0	RCL	23,1	1,55	2,74	8,6x10 ⁻³	0,17	0,95	= 1	-
PI.08- 3	0,0-5,5	RCL	13,1	1,42	2,73	7,8x10 ⁻³	0,40	1,30	> 1	+
PI.08- 7	5,5-9,0	RCL	14,7	1,81	2,68	2,6x10 ⁻⁴	0,22	0,74	< 1	-
PI.09- 7	0,0-8,0	RCL	10,4	1,66	2,70	1,3x10 ⁻⁴	0,20	0,95	< 1	+
PI.09-10	8,0-12,0	RCE	1,7	1,73	2,73	2,1x10 ⁻³	0,04	0,88	> 1	-
PI.09-13	12,0-14,0	RCE	2,1	1,73	2,71	1,0x10 ⁻³	0,06	0,90	> 1	-
PI.10- 3	0,0-8,0	RCL	13,4	1,67	2,69	2,8x10 ⁻⁴	0,27	0,48	< 1	+
PI.11- 3	0,0-4,0	RCL	13,2	1,67	2,68	1,8x10 ⁻⁴	0,30	0,52	= 1	+
PI.11- 8	4,0-10,0	RCL	12,1	1,75	2,67	3,2x10 ⁻⁴	0,24	0,93	< 1	+
PI.12- 3	0,0-6,5	RCL	18,3	1,53	2,73	1,1x10 ⁻⁴	0,24	0,85	= 1	+

COR= solo residual Corumbataí, DIAB= solo residual de Diabásio, RCL= Fm Rio Claro laterizada, RCE=Fm Rio Claro estruturada, VERT= colúvios de vertente, ALR= aluvião arenoso, ALG= aluvião argiloso.

TABELA 04: CONTINUAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA			ÍNDICES FÍSICOS			PERMEA- BILIDADE	COMPRESSIBILIDADE			
Número	Profundidade Representada (m)	Tipo de Material	Umidade -h- (%)	M.Esp.Nat. (g/cm ³)	M.Esp.Sol. (g/cm ³)	-K- (cm/s)	Índice de Compressão(cc)	Pressão de Pré Adensamento-Pa (Kg/cm ²)	Razão de Pré Adensamento (OCR)	Colapsividade
PI.12- 7	6,5-8,0	RCL	23,8	1,87	2,67	3,8x10 ⁻⁴	0,28	1,30	= 1	-
PI.13- 3	0,0-6,0	RCL	8,1	1,53	2,67	1,2x10 ⁻⁴	0,11	1,35	> 1	+
PI.13- 8	6,0-9,0	RCL	13,1	1,81	2,65	2,6x10 ⁻⁴	0,11	1,80	> 1	-
PI.14- 3	0,0-7,0	RCL	6,1	1,53	2,72	1,8x10 ⁻⁴	0,20	2,00	> 1	+
PI.15- 3	0,0-9,0	RCL	9,2	1,65	2,77	1,5x10 ⁻⁴	0,22	0,67	= 1	+
PI.16- 4	0,0-15,0	RCL	8,1	1,50	2,70	2,4x10 ⁻⁴	0,23	0,95	= 1	+
PI.16-23	15,0-23,0	RCE	1,4	1,77	2,74	1,1x10 ⁻³	0,03	0,94	> 1	-
PI.16-24	23,0-25,0	RCE	45,6	1,75	2,73	1,9x10 ⁻⁷	0,07	0,87	> 1	-
PI.17- 7	0,0-10,0	RCL	12,2	1,58	2,70	1,7x10 ⁻⁴	0,21	0,97	< 1	+
PI.17-12	10,0-16,0	RCE	2,2	1,73	2,73	1,0x10 ⁻³	0,05	0,80	> 1	-
PI.18- 3	0,0-8,0	RCL	12,1	1,57	2,68	2,2x10 ⁻⁴	0,36	0,65	= 1	+
PI.19- 3	0,0-5,0	VERT	16,0	1,49	2,98	5,2x10 ⁻⁴	0,16	2,20	> 1	+
PI.20- 4	0,0-5,0	VERT	23,3	1,50	3,03	4,0x10 ⁻⁴	0,10	1,90	> 1	+
PI.21- 3	0,0-4,0	VERT	20,5	1,46	3,01	4,0x10 ⁻⁴	0,13	1,60	> 1	+
PI.22- 1	0,0-2,0	ALR	19,7	1,86	2,72	4,5x10 ⁻⁴	0,07	1,00	> 1	-
PI.23- 1	0,0-1,5	ALG	12,0	1,99	2,64	7,3x10 ⁻⁶	0,12	1,60	> 1	-
PI.24- 1	0,0-1,0	ALR	45,7	1,60	2,71	3,8x10 ⁻⁴	0,09	1,40	> 1	-
PI.24- 2	1,0-2,0	ALG	13,6	2,13	2,66	8,6x10 ⁻⁶	0,09	1,40	> 1	-
PI.25- 4	0,0-4,5	ALG	23,7	1,96	2,65	1,1x10 ⁻⁵	0,15	1,74	> 1	-

TABELA 05: DADOS GEOTÉCNICOS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO OBTIDOS DE AMOSTRAS DEFORMADAS DE POÇOS DE INSPEÇÃO

Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA Profundidade Representada (m)	Tipo de Material	GRANULOMETRIA (% PASSADA)						LIMITES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÃO	
			PENEIRAMENTO			SEDIMENTAÇÃO			L.L.(%)	I.P.(%)	H.R.B.	Unificado
			2,000mm (10)	0,420mm (40)	0,074mm (200)	0,02mm	0,006mm	0,002mm				
PI.01- 1	0,0-1,5	COR	97,1	93,0	83,0	78,3	58,6	45,9	51	11	A-7-5	MH
PI.02- 1	0,0-1,5	COR	98,5	97,2	84,2	64,8	53,1	46,6	50	12	A-7-5	MH
PI.03- 1	0,0-1,5	COR	99,2	96,5	81,5	77,3	65,8	60,7	67	20	A-7-5	MH
PI.04- 2	0,0-4,5	DIAB	100,0	94,7	50,8	40,6	29,2	24,5	41	12	A-7-6	ML
PI.05- 1	0,0-2,5	DIAB	99,7	97,0	55,0	38,5	28,4	18,3	46	14	A-7-5	ML
PI.05- 3	2,5-5,0	DIAB	99,8	98,0	54,0	41,0	25,5	19,6	47	15	A-7-5	ML
PI.06- 4	0,0-4,0	RCL	100,0	92,0	28,0	21,0	16,0	12,8	23	08	A-2-4	SC
PI.06- 5	4,0-5,0	RCL	99,7	92,5	26,8	25,4	23,6	21,2	25	09	A-2-4	SC
PI.06- 7	5,0-7,0	RCE	100,0	79,9	3,6	3,0	2,6	2,0	—	NP	A-3	SP
PI.06- 9	7,0-9,0	RCE	100,0	78,7	4,0	3,6	2,8	1,8	—	NP	A-3	SP
PI.07- 2	0,0-2,0	RCL	99,8	90,0	31,0	27,8	21,6	18,7	29	10	A-2-4	SC
PI.07- 3	2,0-4,0	RCL	100,0	88,0	34,8	31,0	27,6	22,1	54	29	A-2-7	SC
PI.07- 5	4,0-6,0	RCE	99,9	92,8	50,0	27,2	18,7	14,3	45	16	A-7-6	SM
PI.08- 3	0,0-5,5	RCL	99,9	87,0	33,0	29,0	24,2	21,1	27	09	A-2-4	SC
PI.08- 7	5,5-9,0	RCL	99,6	91,8	31,1	19,1	12,5	10,1	26	10	A-2-4	SC
PI.09- 3	0,0-6,0	RCL	100,0	86,0	23,4	19,2	16,5	14,0	25	09	A-2-4	SC
PI.09- 7	6,0-8,0	RCL	99,0	85,0	25,0	21,4	17,3	15,4	22	04	A-2-4	SM-SC

COR= solo residual Corumbataí, DIAB= solo residual de diabásio, RCL= Fm Rio Claro laterizada, RCE= Fm Rio Claro estruturada, VERT= colúvios de vertente, ALR= aluvião arenoso, ALG= aluvião argiloso.

TABELA 05: CONTINUAÇÃO

Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA Profundidade Representada (m)	Tipo de Material	GRANULOMETRIA (% PASSADA)						LIMITES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÃO	
			PENEIRAMENTO			SEDIMENTAÇÃO			L. L.(%)	I. P.(%)	H. R. B.	Unificada
			2,000mm (10)	0,420mm (40)	0,074mm (200)	0,02mm	0,006mm	0,002mm				
PI.09-10	8,0-12,0	RCE	100,0	81,0	4,0	3,2	2,1	1,7	—	NP	A-3	SP
PI.09-13	12,0-14,0	RCE	99,9	86,0	3,0	2,8	1,7	1,2	—	NP	A-3	SP
PI.10-3	0,0-8,0	RCL	100,0	85,0	21,0	18,4	15,9	14,7	20	8	A-2-4	SC
PI.11-3	0,0-4,0	RCL	100,0	91,8	27,5	17,0	13,6	11,8	26	11	A-2-6	SC
PI.11-8	4,0-10,0	RCL	100,0	82,0	26,9	19,1	14,3	11,2	19	03	A-2-4	SM
PI.12-3	0,0-3,5	RCL	100,0	92,0	28,5	19,0	14,7	12,1	30	08	A-2-4	SC
PI.12-4	3,5-6,5	RCL	99,0	87,5	27,6	18,9	11,0	7,3	27	07	A-2-4	SC
PI.12-7	6,5-8,0	RCL	100,0	92,0	36,0	23,9	17,1	13,2	23	05	A-4	SM-SC
PI.13-1	0,0-2,0	RCL	100,0	94,1	28,0	22,8	22,0	21,1	23	08	A-2-4	SC
PI.13-3	2,0-6,0	RCL	100,0	96,0	30,4	26,0	25,6	21,5	24	03	A-2-4	SM
PI.13-7	6,0-7,0	RCL	100,0	95,8	38,0	28,2	24,8	21,9	31	02	A-4	SM
PI.13-8	7,0-9,0	RCL	100,0	95,0	32,5	29,1	24,2	19,2	35	04	A-2-4	SM
PI.14-3	0,0-7,0	RCL	99,9	94,2	20,0	17,7	15,7	14,4	19	07	A-2-4	SC
PI.15-3	0,0-9,0	RCL	99,5	92,0	22,0	20,7	19,6	19,4	21	08	A-2-4	SC
PI.16-4	0,0-13,0	RCL	100,0	94,6	26,3	21,5	20,4	18,3	19	07	A-2-4	SC
PI.16-14	13,0-15,0	RCL	98,7	91,7	20,0	19,3	18,2	17,0	18	06	A-2-4	SM-SC
PI.16-19	15,0-20,0	RCE	100,0	82,0	4,5	2,4	2,0	1,2	—	NP	A-3	SP
PI.16-23	20,0-23,0	RCE	100,0	77,1	4,8	4,0	3,2	2,4	—	NP	A-3	SP
PI.16-24	23,0-25,0	RCE	100,0	92,4	58,0	55,3	51,2	47,1	45	20	A-7-5	CL

TABELA 05: CONTINUAÇÃO

Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA		GRANULOMETRIA (% PASSADA)						LIMITES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÃO	
	Profundidade Representada (m)	Tipo de Material	PENEIRAMENTO			SEDIMENTAÇÃO			L. L.(%)	I. P.(%)	H. R. B.	Unificado
			2,000mm (10)	0,420mm (40)	0,074mm (200)	0,02mm	0,006mm	0,002mm				
PI.17- 2	0,0-6,0	RCL	100,0	92,3	22,4	18,0	15,2	13,0	22	08	A-2-4	SC
PI.17- 7	6,0-10,0	RCL	100,0	94,1	29,0	25,0	23,5	22,6	24	09	A-2-4	SC
PI.17-12	10,0-13,0	RCE	100,0	88,0	4,5	4,2	3,7	2,9	—	NP	A-3	SP
PI.17-15	13,0-16,0	RCE	100,0	87,5	4,6	3,8	2,8	1,7	—	NP	A-3	SP
PI.18- 3	0,0-8,0	RCL	100,0	93,0	22,0	12,5	7,5	5,8	24	09	A-2-4	SC
PI.19- 2	0,0-2,0	VERT	100,0	94,0	41,5	22,3	14,0	10,3	37	06	A-4	SM-SC
PI.19- 3	2,0-5,0	VERT	100,0	93,5	40,0	23,4	17,3	12,7	35	05	A-4	SM-SC
PI.20- 2	0,0-3,0	VERT	100,0	93,8	43,9	24,6	18,0	14,1	37	06	A-4	SM-SC
PI.20- 4	3,0-5,0	VERT	99,0	91,7	39,0	19,4	15,3	12,2	34	07	A-4	SM-SC
PI.21- 1	0,0-2,0	VERT	100,0	96,0	36,0	18,9	14,1	11,4	35	06	A-4	SM-SC
PI.21- 3	2,0-4,0	VERT	99,9	89,2	37,0	15,6	11,6	8,2	39	02	A-4	SM-SC
PI.22- 1	0,0-2,0	ALR	100,0	97,5	18,5	9,9	8,4	7,7	21	06	A-2-4	SM-SC
PI.23- 1	0,0-1,5	ALG	96,4	96,0	52,0	42,1	34,2	31,6	31	07	A-4	CL
PI.24- 1	0,0-1,0	ALR	100,0	83,0	19,0	15,7	12,6	10,0	22	08	A-2-4	SC
PI.24- 2	1,0-2,0	ALG	99,4	95,5	51,5	41,4	32,8	29,3	30	08	A-4	CL
PI.25- 1	0,0-1,5	ALR	100,0	100,0	34,0	32,5	29,7	26,4	24	05	A-2-4	SM-SC
PI.25- 2	1,5-3,5	ALR	100,0	100,0	33,0	30,6	28,8	25,9	18	05	A-2-4	SM-SC
PI.25- 4	3,5-4,5	ALG	98,9	96,0	52,5	36,4	30,2	26,7	32	09	A-4	CL
PI.26- 1	0,0-1,5	ALG	100,0	100,0	54,1	45,8	38,2	34,3	26	05	A-4	ML-CL

TABELA 06: DADOS GEOTÉCNICOS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO OBTIDOS DE AMOSTRAS DEFORMADAS DE SONDAgens A TRADO (FORNECIDOS PELO DER.)

Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA		GRANULOMETRIA (% PASSADA)			LÍMITES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÕES		C B R %
	Profundidade Representada(m)	Tipo de material	2,000mm (10)	0,420mm (40)	0,074mm (200)	L.L. (%)	I.P. (%)	H.R.B.	Unificada	
ST.01- 3	0,0-3,5	VERT	99,8	94,5	41,2	39	8	A-4	SC	22
ST.02- 3	0,0-5,0	VERT	99,9	93,0	39,1	37	4	A-4	SM-SC	20
ST.02- 6	5,0-6,7	VERT	99,9	92,6	38,7	36	3	A-4	SM	18
ST.03- 4	0,0-8,3	VERT	99,7	93,6	39,0	40	5	A-4	SM-SC	19
ST.04- 3	0,0-5,3	VERT	99,7	94,3	39,5	37	5	A-4	SM-SC	21
ST.05- 2	0,0-3,7	COR	99,2	97,0	82,0	56	20	A-7-5	MH	13
ST.06- 1	0,0-1,0	DIAB	99,7	96,8	76,3	44	11	A-7-5	ML	07
ST.07- 1	0,0-1,0	DIAB	99,8	94,2	75,6	43	15	A-7-6	ML	07
ST.08- 1	0,0-3,0	DIAB	99,8	98,0	77,7	47	12	A-7-5	ML	13
ST.09- 1	0,0-3,0	DIAB	99,6	97,8	77,4	48	13	A-7-5	ML	09
ST.10- 1	0,0-3,0	DIAB	99,8	97,6	74,3	49	18	A-7-5	ML	10
ST.11- 1	0,0-2,5	DIAB	99,5	97,0	75,7	46	13	A-7-5	ML	11
ST.12- 2	0,0-4,0	DIAB	99,8	97,2	77,2	43	14	A-7-6	ML	09
ST.13- 1	0,0-2,0	DIAB	99,6	97,3	75,9	49	16	A-7-5	ML	07
ST.14- 1	0,0-3,0	DIAB	99,8	97,6	74,3	49	18	A-7-5	ML	14
ST.15- 1	0,0-1,0	DIAB	99,9	98,5	76,6	48	17	A-7-5	ML	13
ST.16- 1	0,0-1,3	DIAB	100,0	99,9	76,8	49	16	A-7-5	ML	10

COR= solo residual Corumbataí, DIAB= solo residual de diabásio, RCL= Fm Rio Claro laterizado, RCE= Fm Rio Claro estruturada, VERT= colúvios de vertente, ALR= aluvião arenoso, ALG= aluvião argiloso.

TABELA 06: CONTINUAÇÃO

Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA		GRANULOMETRIA (% PASSADA)			LIMÍTES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÕES		C B R %
	Profundidade Representada(m)	Tipo de material	2,000mm (10)	0,420mm (40)	0,074mm (200)	L.L. (%)	I.P. (%)	H.R.B.	Unificada	
ST.16- 2	1,3-2,2	DIAB	99,6	97,5	75,4	49	17	A-7-5	ML	11
ST.17- 1	0,0-1,0	COR	99,4	96,5	82,0	53	19	A-7-5	MH	12
ST.18- 1	0,0-2,0	COR	99,6	95,5	79,5	52	18	A-7-5	MH	12
ST.19- 1	0,0-3,0	COR	99,8	97,0	80,0	51	17	A-7-5	MH	15
ST.20- 4	2,5-5,0	RCL	99,9	86,5	21,6	22	07	A-2-4	SC	28
ST.21- 1	0,0-2,5	RCL	99,9	87,0	22,4	24	08	A-2-4	SC	24
ST.22- 3	2,0-4,0	RCL	99,9	87,1	26,1	23	06	A-2-4	SM-SC	23
ST.23- 1	0,0-2,3	RCL	99,3	90,8	28,0	24	09	A-2-4	SC	15
ST.24- 3	0,0-6,0	RCL	99,8	90,2	25,5	20	07	A-2-4	SC	24
ST.25- 2	0,0-4,4	RCL	99,7	91,5	25,7	22	07	A-2-4	SC	20
ST.26- 1	0,0-3,1	RCL	99,3	92,4	28,3	19	05	A-2-4	SM-SC	22
ST.27- 1	0,0-2,3	RCL	99,9	91,6	37,2	26	08	A-4	SC	18
ST.28- 2	0,0-3,5	RCL	99,8	92,0	39,0	28	09	A-4	SC	27
ST.29- 1	0,0-1,8	RCL	99,8	89,4	31,8	26	10	A-2-4	SC	26
ST.29- 2	1,8-3,8	RCL	99,8	87,0	29,5	24	07	A-2-4	SC	29
ST.30- 2	0,0-2,2	RCL	99,8	90,6	43,5	29	09	A-4	SC	23
ST.30- 3	2,2-4,2	RCL	99,8	91,5	38,9	25	09	A-4	SC	22
ST.31- 2	0,0-3,8	RCL	100,0	89,1	49,2	30	08	A-4	SC	21
ST.32- 2	0,0-4,6	RCL	99,9	93,8	34,5	25	09	A-2-4	SC	24
ST.33- 2	0,0-4,6	RCL	99,9	95,8	32,5	21	07	A-2-4	SC	22

TABELA 06: CONTINUAÇÃO

Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA		GRANULOMETRIA (% PASSADA)			LIMÍTES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÕES		C B R %
	Profundidade Representada(m)	Tipo de material	2,000mm (10)	0,420mm (40)	0,074mm (200)	L.L. (%)	I.P. (%)	H.R.B.	Unificada	
ST.33- 5	4,6-6,8	RCL	99,9	94,0	32,2	22	07	A-2-4	SC	23
ST.34- 2	0,0-4,9	RCL	99,3	93,7	23,8	21	07	A-2-4	SC	25
ST.35- 1	0,0-2,8	RCL	99,2	94,7	37,1	23	07	A-4	SC	19
ST.36- 2	0,0-4,5	RCL	99,8	90,1	34,0	29	10	A-2-4	SC	20
ST.37- 1	0,0-3,1	RCL	99,8	94,4	48,6	36	14	A-6	SC	17
ST.38- 1	0,0-3,0	RCL	99,9	89,1	28,5	24	08	A-2-4	SC	20
ST.39- 1	0,0-3,0	RCL	100,0	89,8	30,1	27	09	A-2-4	SC	19
ST.40- 1	0,0-3,0	RCL	99,8	90,4	20,5	20	05	A-2-4	SM-SC	21
ST.41- 1	0,0-3,0	RCL	99,9	91,6	24,2	22	07	A-2-4	SC	23
ST.42- 3	0,0-6,0	RCL	99,8	91,2	22,3	30	07	A-2-4	SC	26
ST.43- 5	0,0-9,0	RCL	99,8	90,8	23,8	20	07	A-2-4	SC	25
ST.44- 4	0,0-8,5	RCL	98,5	88,8	20,0	20	06	A-2-4	SM-SC	27
ST.45- 4	0,0-8,0	RCL	99,9	93,9	26,2	23	07	A-2-4	SC	25
ST.46- 3	0,0-6,0	RCL	98,8	92,0	22,8	20	07	A-2-4	SC	23
ST.46- 7	6,0-8,0	RCL	99,0	93,0	23,4	22	08	A-2-4	SC	26
ST.47- 1	0,0-2,0	RCL	97,0	88,0	17,5	17	04	A-2-4	SM-SC	21
ST.48- 2	1,0-3,0	COR	99,5	97,5	80,5	54	17	A-7-5	MH	12
ST.49- 1	0,0-1,8	COR	99,7	96,5	81,0	55	19	A-7-5	MH	15
ST.50- 1	0,0-1,0	ALR	100,0	95,6	13,3	—	NP	A-2-4	—	16
ST.51- 1	0,0-0,7	ALG	100,0	98,6	69,0	29	8	A-4	CL	14

TABELA 06: CONTINUAÇÃO

Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA		GRANULOMETRIA (% PASSADA)			LIMÍTES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÕES		C B R %
	Profundidade Representada (m)	Tipo de material	2,000mm (10)	0,420mm (40)	0,074mm (200)	L.L. (%)	I.P. (%)	H.R.B.	Unificada	
ST.51- 2	0,0-1,9	ALR	100,0	96,2	17,1	—	NP	A-2-4	—	18
ST.52- 1	0,0-3,0	ALR	100,0	98,5	22,5	22	5	A-2-4	SM-SC	20
ST.53- 2	0,0-2,6	ALR	95,5	61,9	12,8	—	NP	A-2-4	—	19
ST.54- 1	0,0-1,0	COR	98,1	94,5	72,5	50	20	A-7-5	MH	12
ST.54- 2	1,0-2,0	COR	99,9	99,6	98,7	54	18	A-7-5	MH	11
ST.55- 2	0,0-3,5	COR	95,9	92,6	88,1	53	21	A-7-5	MH	14
ST.56- 1	0,0-1,5	COR	97,2	93,5	80,9	50	13	A-7-5	MH	15
ST.57- 1	0,0-2,5	RCL	100,0	88,0	23,0	21	07	A-2-4	SC	28
ST.58- 2	0,0-4,0	RCL	100,0	87,0	23,0	23	07	A-2-4	SC	24
ST.59- 1	0,0-2,0	RCL	100,0	86,0	31,0	24	09	A-2-4	SC	21
ST.60- 1	0,0-2,0	RCL	100,0	92,0	28,0	23	09	A-2-4	SC	23
ST.61- 2	0,0-4,0	RCL	100,0	84,0	17,0	18	04	A-2-4	SM-SC	27
ST.62- 1	0,0-3,0	RCL	100,0	90,0	23,0	20	05	A-2-4	SM-SC	24
ST.63- 2	0,0-3,5	COR	100,0	96,0	55,0	44	18	A-7-6	ML	13
ST.64- 2	0,0-3,5	RCL	100,0	92,0	30,0	28	09	A-2-4	SC	22
ST.65- 1	0,0-2,5	RCL	100,0	90,0	23,0	20	05	A-2-4	SM-SC	19
ST.66- 1	0,0-2,0	RCL	100,0	96,0	24,0	20	06	A-2-4	SC	23
ST.67- 1	0,0-1,6	RCL	100,0	91,0	32,0	24	07	A-2-4	SC	19
ST.68- 1	0,0-2,0	COR	100,0	97,0	79,0	50	12	A-7-5	MH	15
ST.69- 1	0,0-2,5	COR	100,0	98,0	66,0	50	17	A-7-5	MH	13

TABELA 07: VALORES MÉDIOS DO SPT PARA AS DIFERENTES CAMADAS DE SOLOS NOS PONTOS DE SONDAÇÃO DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO

NÚMERO DA SONDAÇÃO	TIPO DE MATERIAL	VALOR MÉDIO DO Nº DE GOLPES
01	RCL	03
01	RCE	32
02	RCL	03
02	COR	48
03	RCL	04
03	RCE	31
04	RCL	05
04	RCE	38
05	RCL	04
05	RCE	25
06	ALG	11
06	ALR	09
07	COR	46
08	ALR	07
08	COR	50
09	COR	47
10	COR	46
11	RCL	03
11	RCE	30
12	RCL	04
12	RCE	31
13	ALG	13

OBS.: 1. COR= solo residual Corumbataí, RCL= Formação Rio Claro laterizada, RCE= Formação Rio Claro estruturada, ALR=aluvião arenoso, ALG= aluvião argiloso.

OBS.: 2. O substrato rochoso em todos os pontos de sondagens é constituído pelos siltitos da Formação Corumbataí, impermeável à percussão.

QUADRO 08: VALORES MAIS REPRESENTATIVOS DOS DADOS GEOTÉCNICOS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO OBTIDOS DE AMOSTRAS INDEFORMADAS E ENSAIOS DE CAMPO

TIPO DE MATERIAL DE SUPERFÍCIE	ÍNDICES FÍSICOS			PERMEABILIDADE (cm/s)	COMPRESSIBILIDADE			SPT (Nº DE GOLPES)
	UMIDADE (%)	M.E.NAT. (g/cm ³)	M.E.SOL. (g/cm ³)		ÍNDICE DE COMPRES.	RAZÃO DE PRÉ-ADENS.	COLAPSI-VIDADE	
SOLO RESIDUAL DA FM CORUMBATAÍ - COR	32,4	1,59	2,76	$6,5 \times 10^{-7}$	0,26	> 1 pré-adens.	NÃO	47
SOLO RESIDUAL DE DIABÁSIO -DIAB	23,9	1,38	3,10	$5,1 \times 10^{-5}$	0,28	> 1 pré-adens.	NÃO	11
COLÚVIOS DE VERTENTES - VERT	19,9	1,48	3,00	$4,4 \times 10^{-4}$	0,13	> 1 pré-adens.	SIM	05
ALUVIÃO	ARENOSO	32,7	1,73	$4,2 \times 10^{-4}$	0,08	> 1 pré-adens.	NÃO	08
	ARGILOSO	16,4	2,03	$9,0 \times 10^{-6}$	0,12	> 1 pré-adens.	NÃO	12
FORMAÇÃO RIO CLARO	LATERIZADA	13,0	1,64	$2,3 \times 10^{-4}$	0,22	= 1 norm-adens.	SIM	04
	ESTRUTURADA	1,80	1,73	$1,3 \times 10^{-3}$	0,05	> 1 pré-adens.	NÃO	31

QUADRO 09: VALORES MAIS REPRESENTATIVOS DOS DADOS GEOTÉCNICOS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO OBTIDOS DE AMOSTRAS DEFORMADAS

TIPO DE MATERIAL DE SUPERFÍCIE		GRANULOMETRIA (% PASSADA)						LIMITES DE CONSISTÊNCIA		CLASSIFICAÇÕES		CBR %
		2,000mm	0,420mm	0,074mm	0,02 mm	0,006mm	0,002mm	LL(%)	IP(%)	HRB	UNIFICADA	
SOLO RESIDUAL DA FM CORUMBATAÍ - COR		99,0	96,0	81,0	73,5	59,2	51,1	52	18	A-7-5	MH	13
SOLO RESIDUAL DE DIABÁSIO -DIAB		99,7	97,5	76,1	40,0	27,7	20,8	47	15	A-7-5	ML	10
COLÚVIOS DE VERTENTES - VERT		99,8	93,6	39,5	20,7	15,0	11,5	38	05	A-4	SM-SC	20
ALUVIÃO	ARENOSO	100,0	95,7	26,1	22,2	19,9	17,5	21	06	A-2-4	SM-SC	18
	ARGILOSO	98,8	95,8	50,5	41,3	33,8	30,5	29	07	A-4	CL	14
FORMAÇÃO RIO CLARO	LATERIZADA	99,8	90,4	28,1	22,0	18,5	16,0	24	07	A-2-4	SC	23
	ESTRUTURADA	100,0	82,6	4,3	3,5	2,8	2,1	-	NP	A-3	SP	-

valores anômalos das amostras PI.07-5 e PI.16-24, de sedimentos da base da Formação Rio Claro (RCE), são justificados, por se tratar ambas de amostras de material argiloso, e não arenoso como as demais.

4.2.2.1.4 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Foram determinados pelos métodos apresentados no Item 3.3.1.4, tanto o limite de liquidez como o limite de plasticidade nas amostras da área estudada. Pela expressão $IP = LL - LP$ foi determinado o índice de plasticidade. Os valores de LL e de IP obtidos estão nas Tabelas 5 e 6, que, como as análises granulométricas, são respectivamente das amostras de poços de inspeção e das sondagens a trado, estes últimos cedidos pelo D.E.R.

O Quadro 9 contém os valores mais representativos dos limites de consistência, para cada tipo de solo identificado. Estes resultados, como os demais do Quadro, foram obtidos pela média, entre os valores de cada tipo de material inconsolidado. É importante observar que os baixos teores da fração argilosa das amostras RCE não permitiram a determinação dos limites de consistência.

Como os resultados dos índices físicos e da granulometria, os valores dos limites de Atterberg não apresentaram grande variação em torno da média, para cada tipo de solo identificado na área.

4.2.2.1.5 CLASSIFICAÇÕES DOS SOLOS

Com os dados da granulometria e dos limites de consistência, foram feitas as classificações Unificada e HRB dos solos pesquisados. Os resultados são apresentados nas últimas colunas das Tabelas 5 e 6. Os valores mais representativos, mostrados também nas últimas colunas do Quadro 9, revelam, quando comparados aos valores das tabelas, uma homogeneidade bem acentuada para cada tipo de solo. Este fato, aliado à importância destas classifi-

cações na identificação de tipos geotécnicos de solos, mostra que os resultados obtidos são bastante expressivos para a individualização das variedades de materiais de cobertura da área estudada.

Os resultados da classificação HRB, além de caracterizar os tipos geotécnicos de solos, foram também úteis na avaliação da adequabilidade dos terrenos para a implantação de obras viárias.

4.2.2.1.6 ENSAIO CALIFÓRNIA

Os resultados do índice CBR, apresentados na Tabela 6 foram fornecidos pelo D.E.R. Os valores deste índice mais representativos dos solos estudados, determinados da mesma maneira usada para o cálculo dos outros parâmetros geotécnicos, estão no Quadro 9. A análise destes valores, segundo a classificação para uso em obras de pavimentação (Ítem 3.4.3) mostra que a Formação Rio Claro e os Colúvios de Vertente apresentam os índices CBR mais adequados.

4.2.2.1.7 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO - SPT

No levantamento de dados feito nas firmas de engenharia em Rio Claro, foi possível encontrar resultados de 13 sondagens com valores de SPT, distribuídas na área conforme mostra o Mapa de Documentação Nº 1.

Os valores médios do número de golpes (N), para a penetração em 30 cm nas diferentes camadas de solos da área pesquisada, são mostrados na Tabela 7.

Na última coluna do Quadro 8 estão os valores mais representativos do SPT para os sete tipos de materiais inconsolidados aqui pesquisados. Para os Solos Residuais de Diabásio e Colúvios de Vertente, estes valores foram extraídos de sondagens SPT situadas no município vizinho de Santa Gertrudes, já que, na área estudada, não havia sondagens atravessando tais tipos de solos.

Com os valores médios de SPT do Quadro 8, pode-se afe-
rir, pela Tabela 1, os índices de consistência, os graus de compa-
cidade e as tensões admissíveis de cada tipo de material investi-
gado. Inicialmente deve-se considerar que das variedades de solos
estudadas, três destes estão classificados entre os arenosos, ou
seja, possuem teor de areia superior a 70%. São eles os Aluviões
Arenosos e os dois tipos de materiais da Formação Rio Claro (RCL
e RCE). Os demais são solos argilosos. Os valores obtidos das ten-
sões admissíveis serão utilizados na classificação de adequabili-
dade dos terrenos para fins de fundações.

4.2.2.1.8 COMPRESSIBILIDADE

Pelos ensaios de adensamento realizados nas amostras in-
deformadas da área, foram obtidos os valores do índice de compres-
são (C_c) e da pressão de pré-adensamento (P_a), além da observân-
cia do fenômeno da colapsividade em ensaios com inundação dos cor-
pos de prova.

Os ensaios foram efetuados em anel de 6,35 de diâmetro
e altura de 2,54 cm, sendo sendo utilizadas pressões 0,06; 0,12 ;
0,25; 0,50; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 e 16,0 kgf/cm^2 .

A pressão de pré-adensamento comparada à pressão que
age atualmente nos solos investigados, sendo esta obtida pela mas-
sa específica natural dos solos sobrejacentes e pela profundidade
das amostras, propiciou estimar a razão de pré-adensamento.

Os valores do índice de compressão apresentados no Qua-
dro 8, segundo a classificação da compressibilidade (Ítem 3.3.1.8),
mostram que os solos residuais da Formação Corumbataí e dos diabá-
sios são de média compressibilidade, e todos os demais, de baixa
compressibilidade. Discorda-se aqui dos resultados do trabalho de
Campos (1979). Tal autor obteve valores do índice de compressão
oscilando entre 0,33 e 0,45 para sedimentos da Formação Rio Claro
(correspondentes aos aqui identificados como a parte laterizada
da Formação - RCL). Pode-se perceber que são resultados bastante
discrepantes do valor médio 0,22, mostrado no Quadro 8. Como os
resultados do referido autor foram obtidos em ensaios de alguns

corpos de prova de apenas duas amostras indeformadas, sendo estas de um único poço, certamente é esta a causa da discrepância.

As pressões de pré-adensamento das amostras da área estudada, assim como as razões de pré-adensamento comparadas ao valor unitário, estão na Tabela 4. Para se estimar a razão de pré-adensamento, foi calculada a pressão atuante no local de retirada da amostra, por meio da espessura e da massa específica natural (γ) das camadas de solos sobrepostas. Para as amostras representativas de níveis saturados pela água subterrânea, foi determinada a pressão efetiva, descontando-se a pressão da coluna de água dos valores obtidos da multiplicação: massa específica x altura da camada. Esta particularidade ocorreu somente com amostras do grupo RCE, sedimentos profundos da base da Formação Rio Claro.

A partir dos dados da Tabela 4, foram determinadas as classificações quanto ao pré-adensamento, mais representativas dos solos investigados, as quais são apresentadas no Quadro 8. Pode-se observar que, com exceção dos solos laterizados da Formação Rio Claro (RCL), qualificados como normalmente adensados, todos os demais são pré-adensados.

Para se observar o fenômeno da colapsividade nos solos estudados, alguns corpos de prova foram inundados por ocasião da aplicação da carga de $0,5 \text{ Kg/cm}^2$. A Figura 20 mostra o comportamento da curva de adensamento de uma das amostras de solo colapsível, onde a ocorrência do fenômeno é indicada pelo trecho vertical da curva.

Na Tabela 4, os sinais positivos indicam a ocorrência do fenômeno da colapsividade nas amostras analisadas. Percebe-se claramente a incidência em dois dos tipos de solos estudados, os colúvios de vertente e os solos laterizados da Formação Rio Claro, o que também é mostrado no Quadro 8. Por sinal, estes dois tipos de solos são os que apresentam características de laterização. É oportuno lembrar que Campos (1979) também observou o fenômeno da colapsividade nos solos RCL.

4.2.2.1.9 PERMEABILIDADE

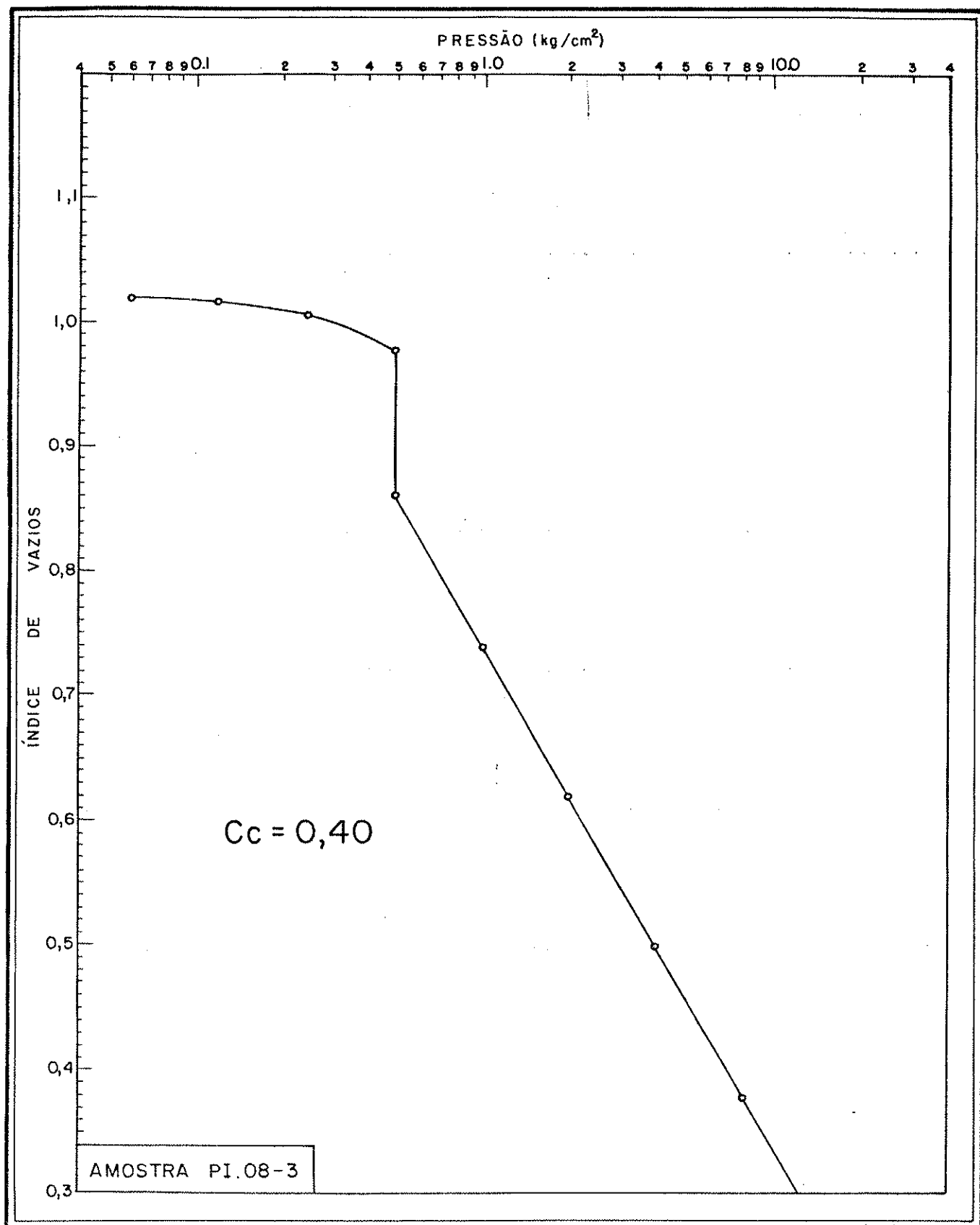


FIGURA 20: CURVA DE ADENSAMENTO DA AMOSTRA PI.08-3 COM INUNDAÇÃO DO CORPO DE PROVA

Os ensaios de permeabilidade das amostras de Rio Claro foram realizados com permeâmetro de carga constante. Os valores médios do coeficiente de permeabilidade, na temperatura de 20° C para cada amostra ensaiada, estão na Tabela 4. No quadro 8 encontram-se os valores mais representativos do coeficiente de permeabilidade para cada tipo de solo estudado. Estes foram obtidos com a média do conjunto de valores com baixo desvio-padrão em cada variedade de solo.

Com base na classificação de Casagrande e Fadum, apresentada no Ítem 3.3.1.9.1 e nos resultados apresentados no Quadro 8, pode-se concluir que os Solos Residuais da Formação Corumbataí são praticamente impermeáveis. Os Solos Residuais de Diabásio e os Aluviões Argilosos são de drenabilidade difícil, enquanto os demais são classificados como de boa drenabilidade.

O substrato rochoso da área, excetuando-se pequenas ocorrências de diabásios na parte SE, é constituído pelos siltitos da Formação Corumbataí, que apresentam na região baixa permeabilidade. Segundo Duarte (1980) os valores de K para estas rochas estão em torno de 10^{-8} m/s, valor este que representa o início do intervalo "praticamente impermeável" na classificação de Casagrande e Fadum.

4.2.2.2 O MAPA DE ESPESSURAS DA COBERTURA INCONSOLIDADA

Na área do sítio urbano de Rio Claro, os dados de espessura dos materiais inconsolidados foram extraídos dos poços profundos, de sondagens SPT, sondagens a trado e sondagens geofísicas, sendo as duas últimas realizadas para este fim, em locais previamente escolhidos.

Na campanha de geofísica foi aplicado o método da eletrorresistividade, com a realização de 36 sondagens elétricas verticais.

Uma sondagem elétrica documenta as espessuras de camadas do subsolo com diferentes condutividades elétricas. Para isto, obtém-se uma série de medidas de resistividade aparente, determi-

nadas em função dos diferentes espaçamentos de eletrodos de emissão de corrente (A e B) e dos eletrodos de potencial (M e N), instalados na superfície do terreno. O arranjo dos espaçamentos entre os eletrodos foi o de Schlumberger, onde as distâncias AB e MN devem ser aumentadas conforme maior deva ser a profundidade investigada, desde que $MN < \frac{AB}{5}$. Em todas as sondagens foram medidas as resistividades até o espaçamento de 300 metros entre os eletrodos A e B. As demais distâncias em metros entre estes eletrodos foram: 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 160 e 200. Para as meias distâncias entre os eletrodos de potencial (MN/2), os espaçamentos utilizados foram: 0,5 metros para AB/2 de 1,5 a 6 metros; 2 metros para AB/2 de 6 a 30 metros; 5 metros para AB/2 de 30 a 150 metros, e 10 metros para AB/2 de 100 a 150 metros. O aparelho utilizado foi o resistivímetro Stratameter - Soil test de fabricação norte-americana.

De posse dos dados de campo, ou seja, as diferenças de potencial entre os eletrodos MN em milivolts (ΔV) e as correntes entre os eletrodos AB em miliamperes (i) foram calculadas as resistividades em ohms.metro (ρ) para cada arranjo. Posteriormente, os valores de ρ e seus respectivos AB/2 definiram em gráfico bilogográfico especial as curvas de resistividade aparente, as quais, confrontadas com curvas padrões, forneceram as espessuras e resistividade de cada estrato geoeletrico. Comparando-se os resultados de algumas sondagens elétricas com o perfil de sondagens diretas próximas, pode-se constatar o significado das interfaces geoeletricas, para a determinação da profundidade das rochas e do nível hidrostático nos locais investigados.

O fato do Solo Residual da Formação Corumbataí apresentar espessuras pequenas (sempre inferiores a 2,0 metros), facilitou o traçado das isópacas cuja orientação geral pode ser obtida pelos contatos do Mapa Geológico e pelas curvas de nível do Mapa Topográfico.

As isópacas foram traçadas com equidistância de 4 metros, como mostra o Mapa de Espessuras da Cobertura Inconsolidada Nº 6.

4.2.2.3 O MAPA DE PROFUNDIDADES DO LENÇOL FREÁTICO

Juntamente com os dados de espessuras de solo, foram levantadas as profundidades do nível das águas subterrâneas que tomam os interstícios da Formação Rio Claro e dos demais materiais de cobertura da área. Estes materiais constituem um aquífero livre delimitado na base pelos siltitos impermeáveis da Formação Corumbataí.

Com os valores lançados no mapa base, foi possível traçar as isolinhas de profundidades, sendo escolhida a equidistância de 3 metros, em função da escala adotada (Mapa de Profundidades do Lençol Freático Nº 7).

Medidas realizadas em épocas úmidas e de seca, nos locais de topografia mais alta das áreas de maiores profundidades do aquífero superficial (Formação Rio Claro e Colúvios de Vertente), mostraram oscilações do nível hidrostático que variam de 1 a 3 metros.

4.2.2.4 AVALIAÇÃO DOS RECURSOS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Como na área pesquisada não ocorrem jazidas de minérios, tratar-se-á aqui apenas da avaliação dos recursos de materiais de construção.

As considerações a seguir foram fundamentadas em observações feitas nos locais de exploração das ocorrências dos materiais de construção, já que não foram obtidos dados para a definição das propriedades geotécnicas destes materiais.

Pode-se averiguar que os sedimentos do tipo AlG, ou seja, os Aluviões Argilosos são de boa qualidade para a fabricação de tijolos.

Os materiais da zona de alteração da Formação Corumbataí, quando estão ausentes os níveis calcários e os silicificados, constituem excelente matéria-prima para cerâmicas.

Os sedimentos da base da Formação Rio Claro (RCE), juntamente com os aluviões no canal do Rio Corumbataí, representam as melhores fontes de areia fina para argamassa.

Deve-se ressaltar ainda que a parte laterizada dos sedimentos da Formação Rio Claro (RCL) apresenta baixos valores do limite de liquidez e do índice de plasticidade, além de granulometria bem distribuída nos intervalos areia, silte e argila. Tais propriedades geotécnicas conferem a estes sedimentos uma boa qualidade para uso como material de empréstimo.

Tendo em vista que o jazimento dos materiais citados, e mais os corpos de diabásio que podem ser explorados para brita, são abundantes também em toda a região circunvizinha próxima, de saconselha-se pelos motivos apresentados no Item 3.3.4, a exploração de materiais de construção na área planejada.

4.2.2.5 ERODIBILIDADE DOS TERRENOS

Na área em estudo ocorrem quatro grandes boçorocas, assinaladas no Mapa de Formas de Relevo Nº 4, e que no Mapa de Documentação Nº 1, seus locais de ocorrência estão marcados pelos pontos PI.06, PI.09, PI.16 e PI.17.

Todas as boçorocas citadas estão localizadas na borda da Formação Rio Claro, onde os sedimentos arenosos da base desta Formação (RCE), extremamente inconsistentes, estão próximos à superfície e em contato basal com os siltitos impermeáveis da Formação Corumbataí. Esta situação geológica peculiar constitui, ao que tudo indica, o principal fator condicionante do processo erosivo na área.

Analisando-se os terrenos onde estão implantadas as boçorocas, pode-se verificar que a distribuição do fenômeno está condicionada a valores de declividade entre 10 e 20%. Por outro lado, observa-se ainda que todas as boçorocas da área estão situadas em vertentes dos tipos retilíneas e convexas.

O estudo da progressão do processo erosivo foi realizado com fotos aéreas de levantamentos aerofotogramétricos do ano de 1962 e do ano de 1978, com um período de evolução, portanto, de 16 anos. Para detalhamento maior do estudo, os locais de ocorrência do fenômeno nos pares estereoscópicos foram ampliados para a

escala 1 : 5.000.

As Figuras 21, 22 e 23 são representações gráficas dos sulcos erosivos de três boçorocas da área, nas duas datas citadas. Pode-se notar pelos esquemas, que no período dos 16 anos, praticamente não houve evolução do processo erosivo. O fato pode ser explicado, levando-se em conta que no sentido a montante de evolução do fenômeno, se dá também o espessamento da camada laterizada mais resistente do topo da Formação Rio Claro, o que dificulta a progressão do processo erosivo.

4.2.2.6 ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO

Antes de se ater aos estudos de águas subterrâneas, deve-se salientar que o sistema de abastecimento atual da cidade de Rio Claro é de águas superficiais, estando a principal estação de captação situada no Rio Corumbataí. Dados de deflúvios do posto fluviométrico 4D-018 do DAEE, possibilitaram a determinação de uma vazão de $2,239 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$, para a bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, que apresenta uma área de 489 Km^2 . Esta vazão foi determinada em uma média de medidas mensais, realizadas em um período de 8 anos, entre 1971 e 1978.

Quanto às águas subterrâneas, encontram-se, na área estudada, dois sistemas armazenadores preferenciais, além dos eventuais corpos profundos de diabásio que podem conter água em suas fraturas. Um destes sistemas é o aquífero livre e pouco profundo, constituído pelos materiais inconsolidados de cobertura, e limitado na base pelos sedimentos impermeáveis da Formação Corumbataí. O outro consiste num aquífero confinado, atingido em perfurações com profundidades que variam em torno de 200 metros. Trata-se de arenitos do Grupo Tubarão, mais especificamente da Formação Tatuí e das camadas do topo do Subgrupo Itararé.

Considerando que as águas dos interstícios dos materiais superficiais não servem para o abastecimento urbano, por serem poucas e com possibilidade de poluição bastante acentuada, o Aquífero Tubarão é o único sistema armazenador da área que merece estudos para fins de planejamento. Sendo assim só foram utilizados da

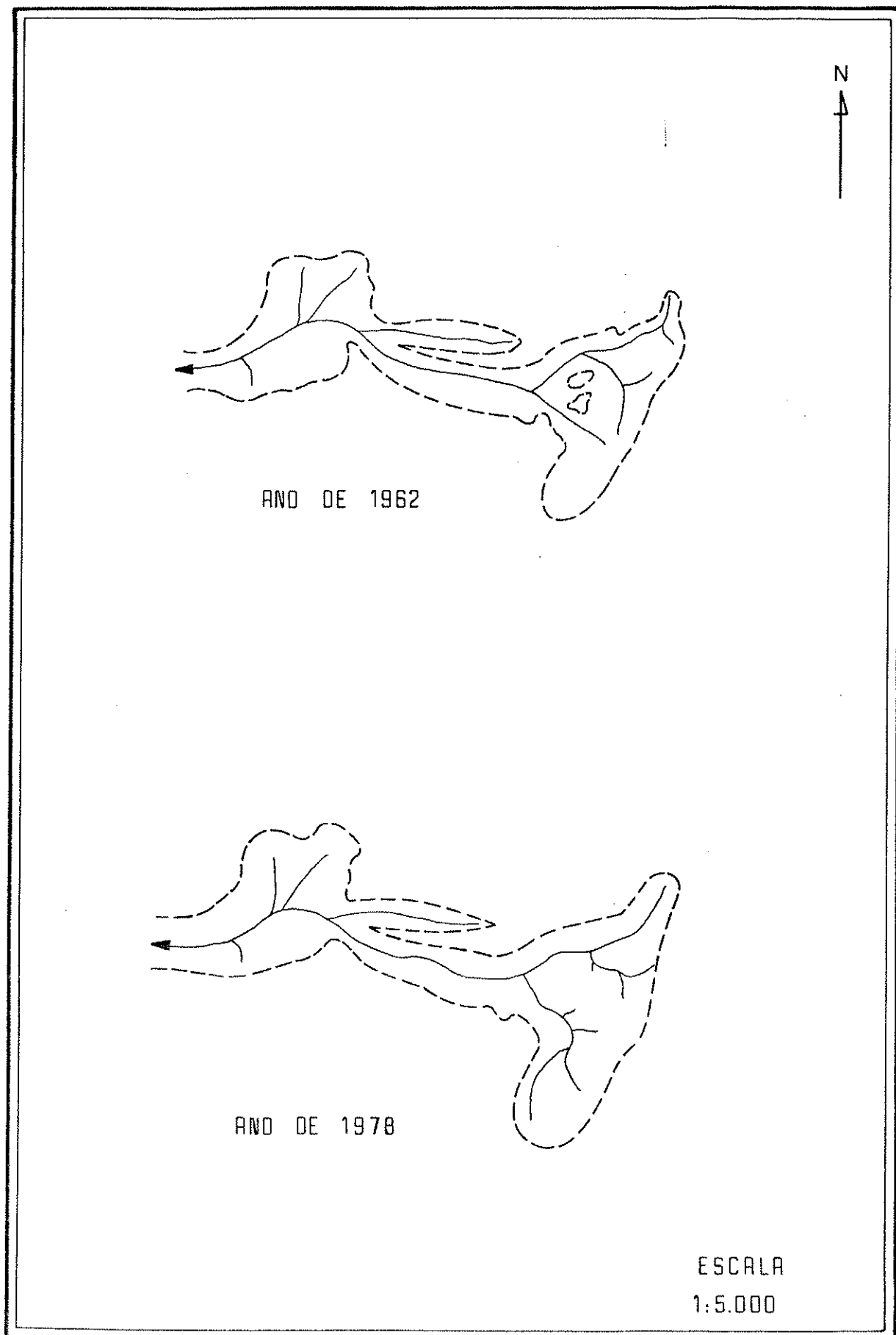


FIGURA 21: REPRESENTAÇÕES DOS SULCOS EROSIVOS DA BOÇOROCA PI.06
NOS ANOS DE 1962 E 1978

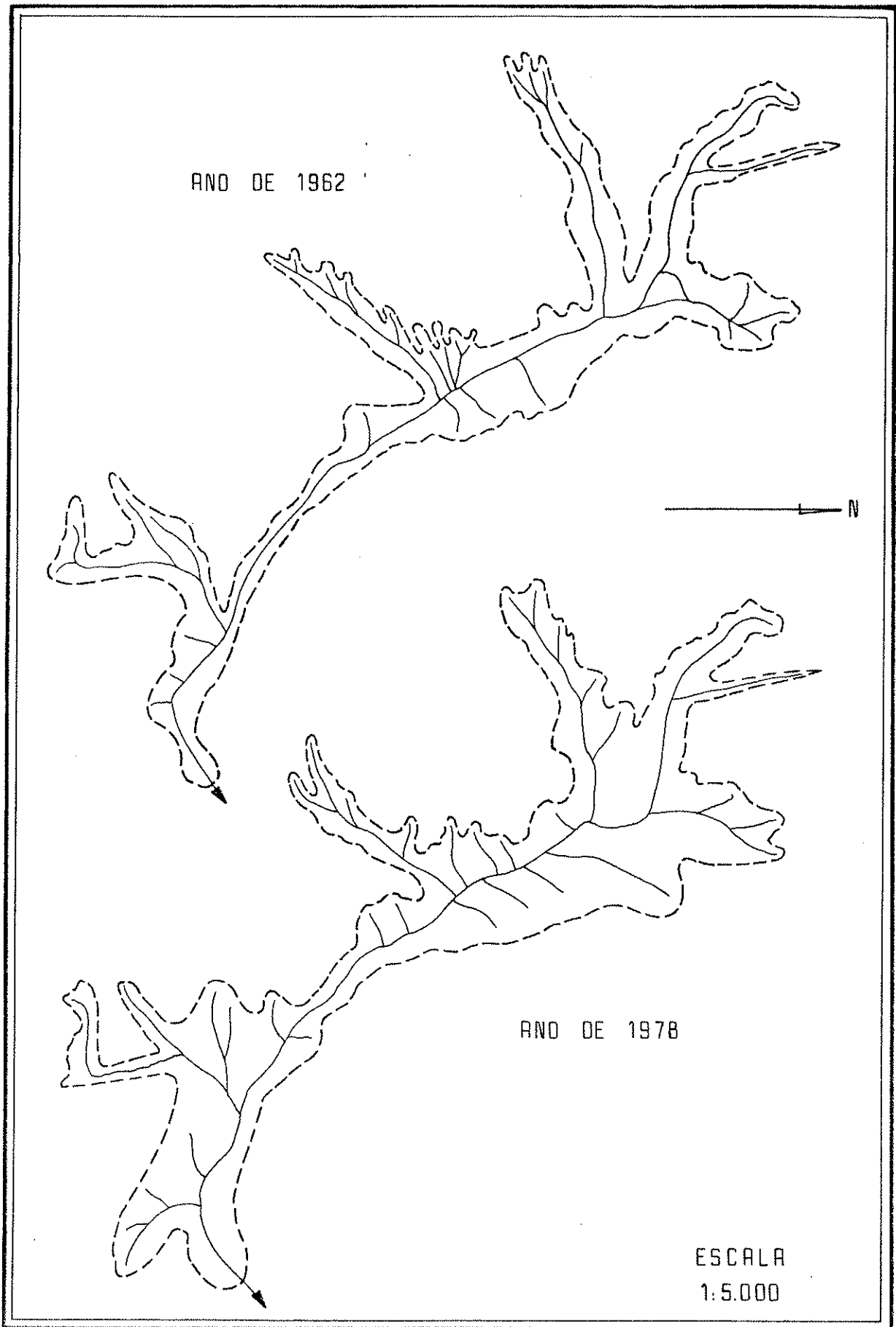


FIGURA 22: REPRESENTAÇÕES DOS SULCOS EROSIVOS DA BOÇOROCA PI.09 NOS ANOS DE 1962 E 1978

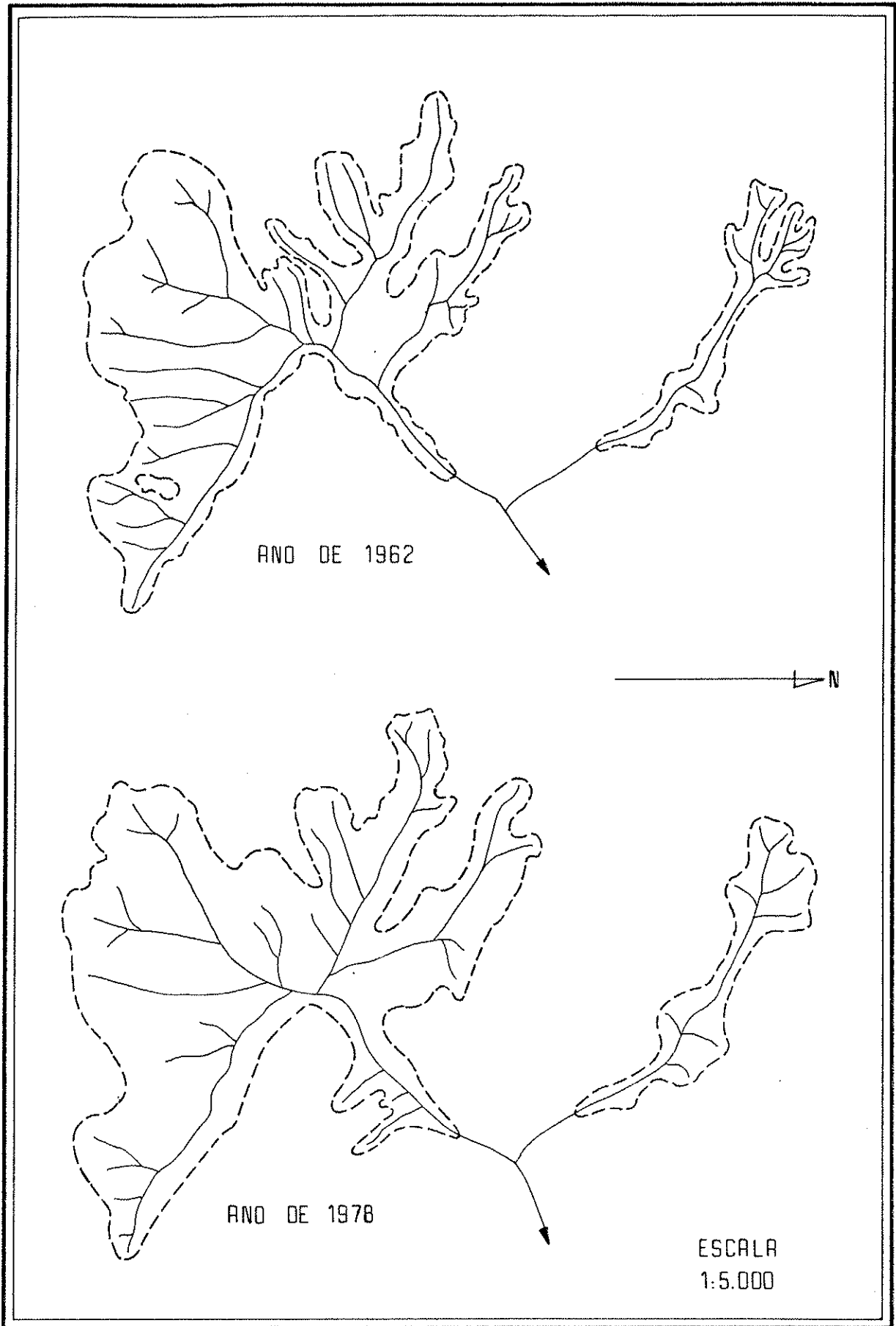


FIGURA 23: REPRESENTAÇÕES DOS SULCOS EROSIVOS DA BOÇOROCA PI.16 NOS ANOS DE 1962 E 1978

dos dos poços que atingiram o referido aquífero. Outras perfurações menos profundas, que captam água de corpos de diabásio, não foram consideradas.

Entre os estudos hidrogeológicos recomendados para este tipo de projeto, o balanço hídrico abordado no Item 3.3.7 não foi necessário em Rio Claro, pelo fato do Aquífero Tubarão ser confinado e ter sua zona de recarga distante, sem estar relacionada com as bacias hidrográficas da área. Por outro lado, a inexistência de dados impossibilitou tanto a determinação do coeficiente de armazenamento do Aquífero Tubarão, como os estudos da qualidade das águas.

4.2.2.6.1 O MAPA POTENCIOMÉTRICO

Em virtude da pequena quantidade e da distribuição inadequada dos poços profundos existentes na área pesquisada, recorreu-se a um computador com programa de "Análise de Superfície de Tendência", para o traçado das linhas isopotenciométricas. A superfície de melhor ajuste, conseguida com os dados disponíveis, foi a de 2º grau.

Na Tabela 8 estão os dados utilizados para o traçado das isolinhas da superfície potenciométrica, que se encontra representada no Mapa Potenciométrico Nº 8. As setas no mapa indicam o fluxo das águas subterrâneas, podendo-se verificar que a tendência geral de escoamento é de NE para SW.

4.2.2.6.2 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DO AQUIFERO TUBARÃO NA ÁREA

As dimensões do Aquífero Tubarão na área urbana de Rio Claro estão condicionadas aos 184,8 Km², que correspondem à área total cartografada. Desta maneira, sendo o aquífero confinado, tem-se um modelo de reservatório representado por um paralelepípedo retângulo de base quadrada, com $L = 13,6 \times 10^3$ m e altura igual a 40 metros. Esta altura corresponde à espessura do aquífero confor

TABELA 08: DADOS DA ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA DE 2º GRAU DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA

Nº DO POÇO (SEG. DAEE)	COTA DA BOCA DO POÇO	PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DO NÍVEL ESTÁTICO OBSERVADA · Z _{ob} (m)	COORDENADAS DO TREND		COTA DO NÍVEL ESTÁTICO AJUSTADA Z _{aj} (m)
				LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS (ZERO NO CANTO NW)		
				X(cm)	Y(cm)	
01	552	5	547	22,6	65,3	547
03	600	70	530	27,2	68,1	552
04	600	65	535	25,9	68,0	550
05	550	12	538	14,4	39,4	549
10	560	8	552	20,9	80,0	538
11	560	9	551	20,1	80,2	537
13	570	34	536	28,9	71,8	554
14	605	80	525	31,0	55,0	562
16	608	13	595	37,3	44,7	576
17	585	15	570	39,8	50,0	582
19	621	78	543	30,8	31,4	564
20	617	12	605	26,6	38,7	558
22	605	13	592	27,2	45,1	558
32	613	4	609	45,8	71,5	598
35	625	61	564	5,4	45,6	549
37	600	54	546	28,8	62,0	557

me mostra a Figura 24.

4.2.2.6.3 DETERMINAÇÃO DA TRANSMISSIVIDADE DO Aqüífero TUBARÃO

Somente um dos poços cadastrados na área apresentou dados suficientes para o cálculo da transmissividade.

O método utilizado para o cálculo deste parâmetro foi o de Jacob (1946), abordado no Ítem 3.3.9.2, onde se faz a aplicação da expressão $T = 0,183 Q / \Delta's$ (método de recuperação).

O teste de aqüífero realizado no Poço 1 forneceu a vazão $Q = 26,9 \text{ m}^3/\text{h}$. O gráfico do rebaixamento residual Δ' , em função da relação t/t' , apresentado na Figura 25 mostra um $\Delta's = 0,4 \text{ m}$. Assim, tem-se

$$T = \frac{0,183 Q}{0,4} = \frac{0,183 \times 26,8}{0,4} = 12,26 \text{ m}^2/\text{h}$$

4.2.2.6.4 A VAZÃO DE ESCOAMENTO NATURAL DO Aqüífero TUBARÃO

O cálculo da vazão de escoamento natural do Aqüífero Tubarão na área estudada foi realizado com a aplicação da fórmula deduzida da lei de Darcy, $Q = TIL$, apresentada no Ítem 3.3.9.3. Vale salientar que tal cálculo é aproximado devido à inexatidão da superfície potenciométrica, e também pelo fato de se usar uma transmissividade determinado com dados de apenas um poço.

Inicialmente foi determinado o gradiente hidráulico médio (I) do aqüífero na área. Este parâmetro é definido pela relação entre a diferença de cotas de dois pontos da superfície piezométrica, e a distância entre eles, ou seja,

$$I = \frac{h_1 - h_2}{d}$$

sendo:

I = gradiente hidráulico do aqüífero,

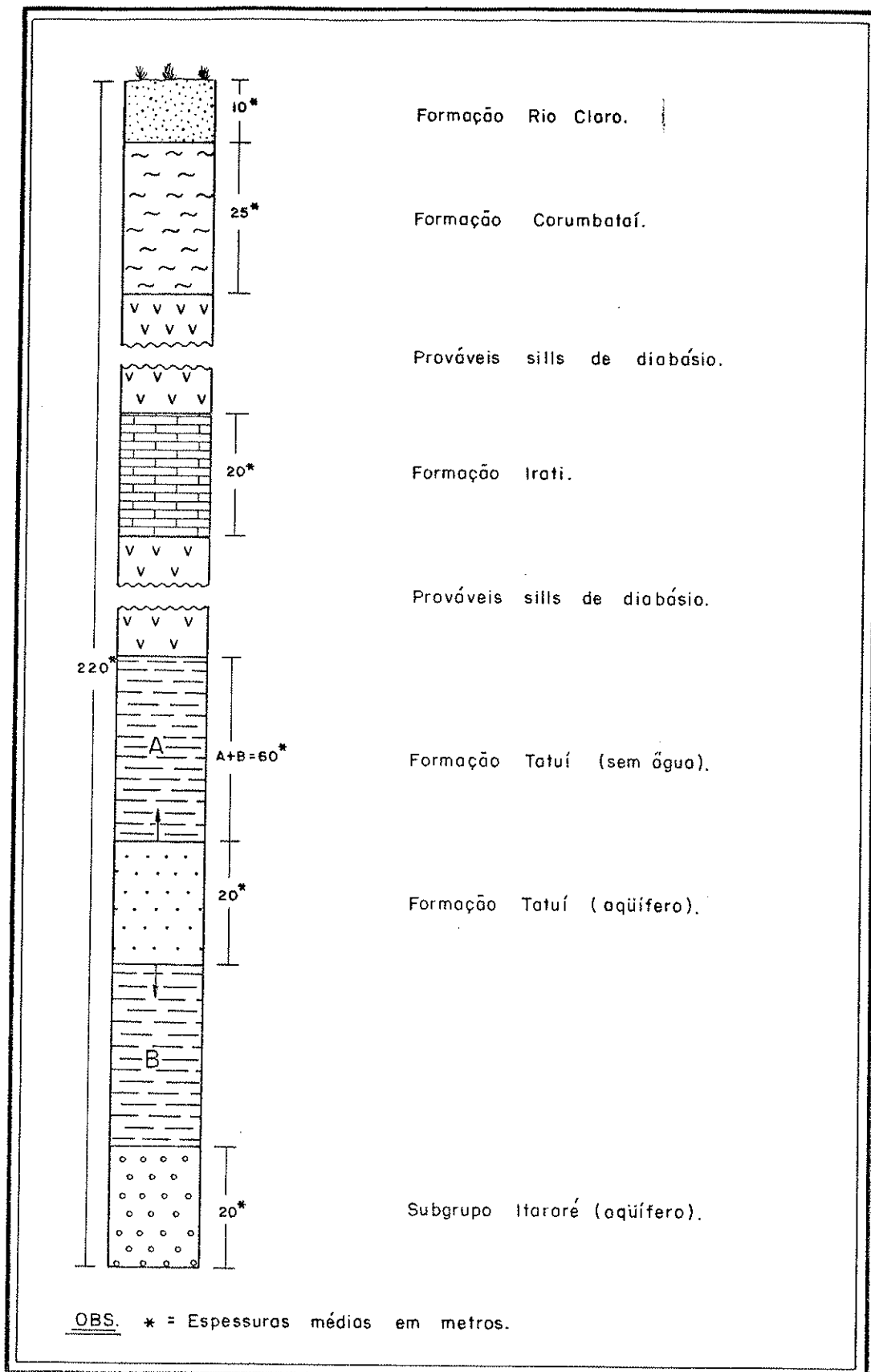


FIGURA 24: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ESTRATIGRAFIA
NA ÁREA PESQUISADA PARA FINS HIDROGEOLÓGICOS

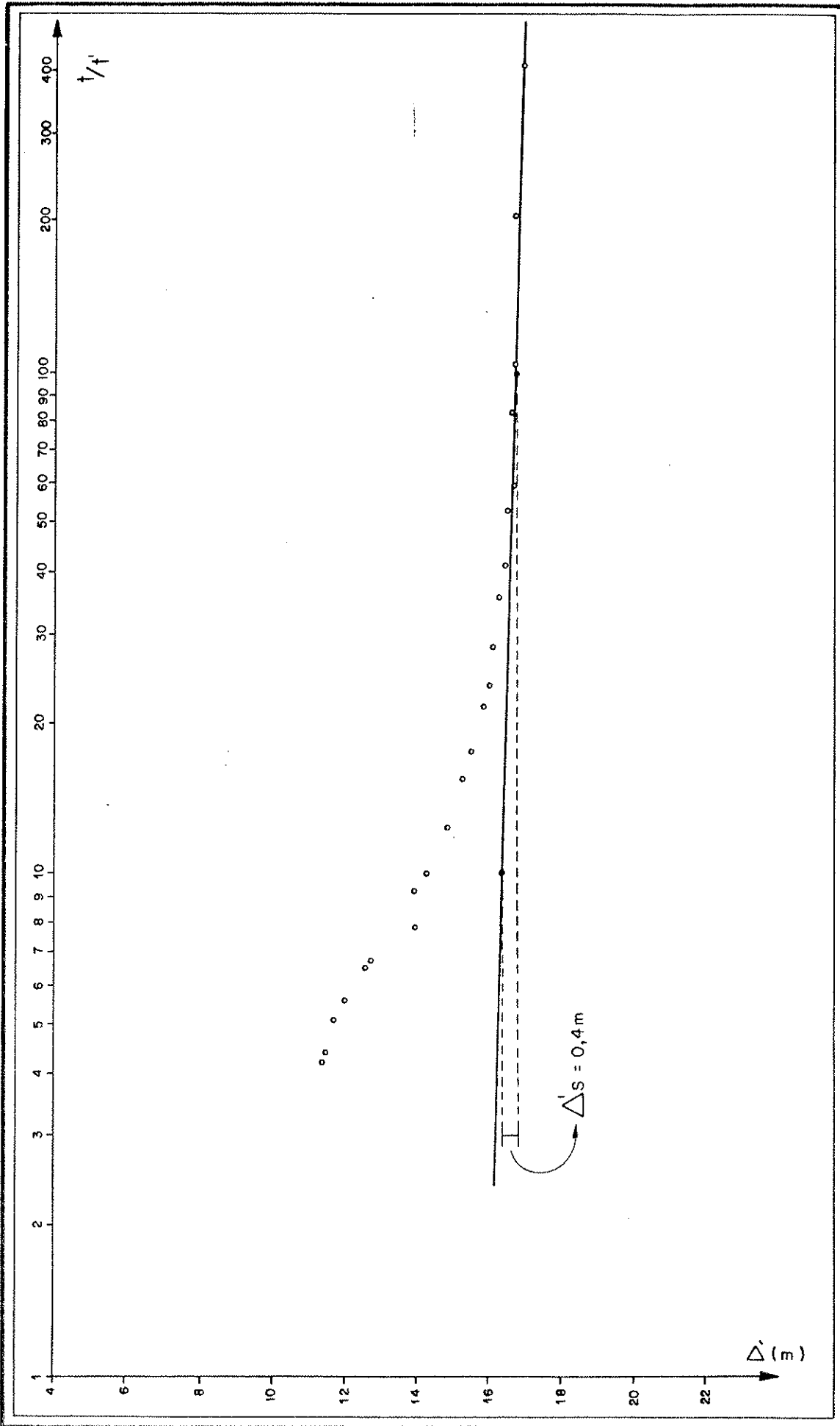


FIGURA 25: REBAIXAMENTO RESIDUAL (Δ') EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO DE TEMPO (t/t') PARA O POÇO 1 (BOMBEADO)

h_1 = cota do ponto mais alto da superfície piezométrica,
 h_2 = cota do ponto mais baixo da superfície piezométrica,
 d = distância entre os pontos h_1 e h_2 na superfície piezométrica,
 que, em função da baixa inclinação desta, pode ser substituída pela distância d , projeção de d na superfície horizontal do mapa.

Assim, pela Figura 26, que mostra uma superfície piezométrica plana da área, obtida também pelo método de Análise de Superfície de Tendência (1º grau), tem-se

$$h_1 - h_2 = 630 - 540 = 90 \text{ metros}$$

e $d = 12,5$ cm, que, pela escala, correspondem a 12.500 metros. Então,

$$I = \frac{h_1 - h_2}{d'} = \frac{90}{12.500} = 7,2 \times 10^{-3}$$

Voltando-se à expressão

$$Q = T I L$$

tem-se

$T = 12,26 \text{ m}^2/\text{h}$ (transmissividade determinada no Ítem 4.2.2.6.3),
 $I = 7,2 \times 10^{-3}$,
 $L = 13,6 \times 10^3 \text{ m}$ (largura da frente de escoamento do modelo sugerido),

o que resulta

$$Q = 12,26 \times 7,2 \times 10^{-3} \times 13,6 \times 10^3$$

portanto,

$$Q = 1.200 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Esta vazão permite que sejam instalados, na área planejada, 40 poços com vazões médias de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, o que corresponde a

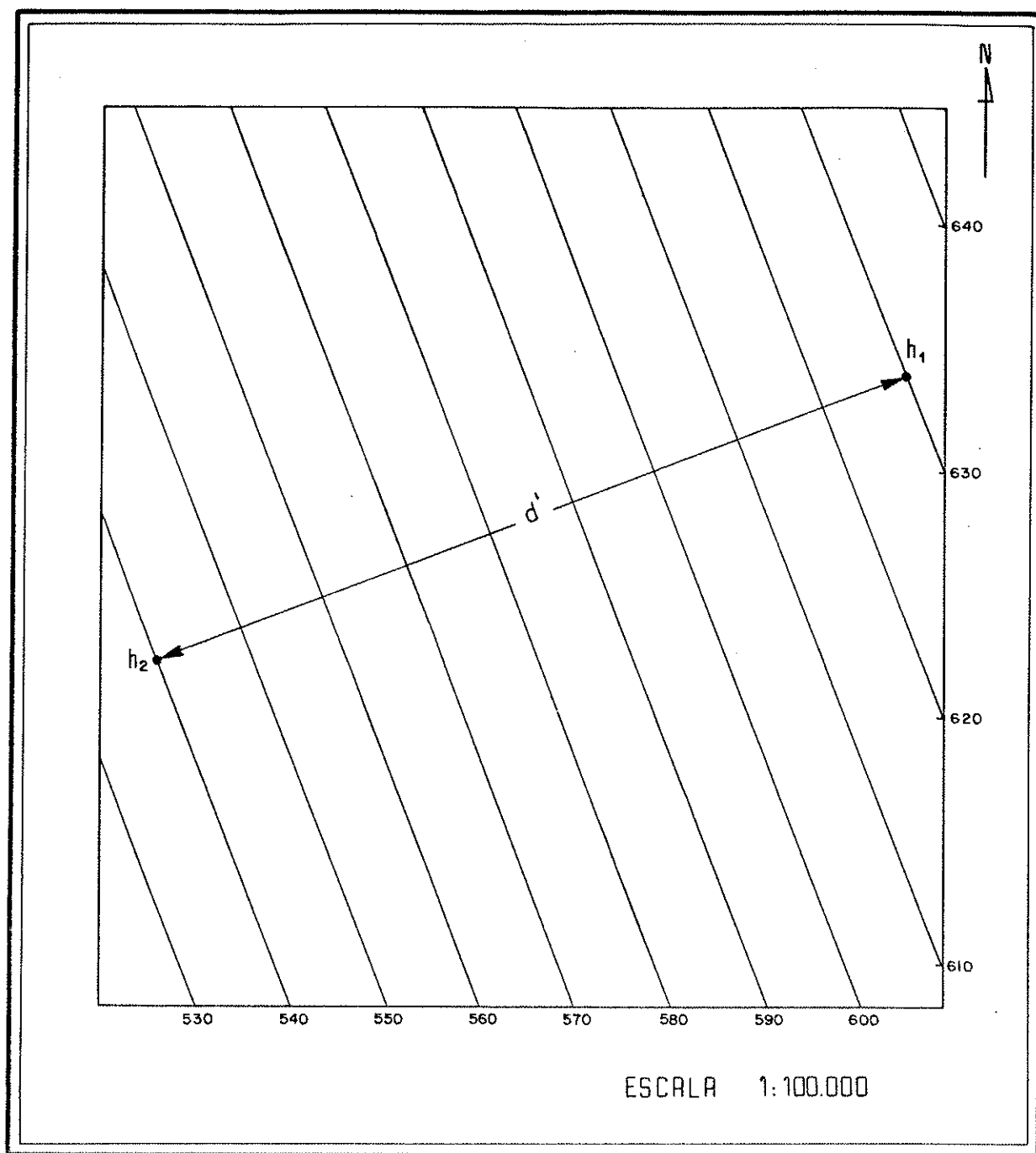


FIGURA 26: SUPERFÍCIE DE 10 GRAU OBTIDA PELA ANÁLISE DE TENDÊN
CIA DE DADOS PIEZOMÉTRICOS DA ÁREA URBANA DE RIO CLA
RO

1 poço para cada 4,6 Km².

4.2.3 DEDUÇÕES SOBRE ADEQUABILIDADE DOS TERRENOS DE RIO CLARO

4.2.3.1 O MAPA DE ADEQUABILIDADE A FUNDAÇÕES

Os valores do SPT do Quadro 8, correlacionados com as tensões admissíveis da Tabela 1, podem conduzir às seguintes interpretações:

- Os Solos Residuais Corumbataí, assim como os Solos Residuais de Diabásio, apesar de apresentarem valores do índice de compressão no início do intervalo "média compressibilidade", podem ser considerados como bons materiais para base de fundações, tanto para construções residenciais como para construções de edifícios. Isto, em função dos demais parâmetros, e pelo fato de apresentarem pequenas espessuras.

- Os Aluviões apresentam parâmetros de compressibilidade e de capacidade de carga que os podem classificar como excelentes suportes de fundações, mas apresentam uma particularidade que inverte totalmente estas qualidades. Encontram-se distribuídas, por todos os depósitos da área, lentes de uma turfa negra extremamente compressível.

- O fenômeno da colapsividade nos Colúvios de Vertente e nos Solos Laterizados da Formação Rio Claro é suficiente para classificar estes materiais como inadequados para fundações.

Os Sedimentos Estruturados da Formação Rio Claro, como situam-se em zonas profundas, na base desta Formação, interferem pouco na qualificação dos terrenos para fundações, mas mostram-se bons para estas finalidades.

O Mapa de Adequabilidade à Fundações Nº 9 classifica os terrenos da área estudada, tanto para fundações de prédios residenciais, como para fundações de prédios de grande porte. Para fundações de residências, a diferenciação foi feita em apenas dois

intervalos: adequado e semi-adequado. A escolha de semi-adequado ao invés de inadequado foi para se guardar a mesma proporção de adequabilidade dos intervalos fixados para as construções de grande porte. Em outras palavras, fundações profundas de baixo custo, como brocas, já solucionam o problema de prédios residenciais nas áreas inadequadas.

Com base nas considerações acima, as zonas dos Solos Residuais Corumbataí e Solos Residuais de Diabásio foram consideradas adequadas, tanto para construções residenciais, como para prédios de grande porte. As áreas dos demais solos foram interpretadas como semi-adequadas para as fundações residenciais. Para as fundações de prédios de grande porte, a distinção entre semi-adequado e inadequado foi feita com base nas espessuras de materiais inconsolidados, já que, em função da baixa qualidade dos solos, assume importância a profundidade da rocha, para que fundações dos tipos estacas e tubulões, muito profundas, não tornem onerosas as construções. Assim, foram consideradas semi-adequadas, as áreas ocupadas pelos Aluviões e pelos Colúvios de Vertente, menos profundos, e inadequadas, as áreas da Formação Rio Claro de profundidade maior.

4.2.3.2 O MAPA DE ADEQUABILIDADE A OBRAS VIÁRIAS

Na elaboração deste mapa utilizou-se a classificação HRB e o índice CBR, como determinantes principais, e a declividade dos terrenos, como determinante secundário. Sendo assim, a diferenciação pela declividade foi feita em apenas dois intervalos: o das maiores e o das menores que 20%.

Segundo a classificação HRB e o índice CBR, os solos da área foram assim conceituados:

Solo Residual Corumbataí - Mau - HRB = A-7-5 - CBR = 13%

Solo Residual de Diabásio- Mau - HRB = A-7-5 - CBR = 10%

Colúvios de Vertente - Regular - HRB = A - 4 - CBR = 20%

Formação Rio Claro - Bom - HRB = A-2-4 - CBR = 23%

Os Aluviões receberam a classificação mau por apresentarem camadas de turfa com compressibilidade alta.

Deve-se ressaltar ainda que os sedimentos da Formação Corumbataí apresentam o fenômeno da "expansibilidade", que foi verificado por vários autores, entre eles *Silva Filho (1976)*. Como este fenômeno tem acentuado efeito destrutivo sobre pistas de rolamento, é mais um fator para qualificar os terrenos da Formação Corumbataí como inaptos para a finalidade em discussão.

Em função das classificações acima, os intervalos de adequabilidade, do Mapa de Adequabilidade a Obras Viárias Nº 10, ficaram com as seguintes composições:

- a) Inadequadas: Solos Residuais Corumbataí, Solos Residuais de Diabásio e Aluviões, e Colúvios de Vertente com declividades maiores que 20%.
- b) Semi-adequados: Colúvios de Vertente com declividades menores que 20%, e Formação Rio Claro com declividades maiores que 20%.
- c) Adequados: Formação Rio Claro com declividades menores que 20%.

4.2.3.3 O MAPA DE ADEQUABILIDADE A INSTALAÇÕES SUBTERRÂNEAS

Na área do sítio urbano de Rio Claro, as adequabilidades dos terrenos para fins de instalações subterrâneas foram estabelecidas com base nos seguintes critérios:

- a) Áreas Inadequadas:
Aluviões - por apresentarem nível hidrostático próximo à superfície.
- b) Áreas Semi-Adequadas:
Solos Residuais Corumbataí - por apresentarem espessuras pequenas (em torno de 2 metros), mas com a rocha subjacente apresentando zona de alteração escarificável ou até mesmo escavável em determinados locais.
- c) Áreas Adequadas:
Demais tipos de materiais delimitados pela espessura mínima de 4 metros de solo ou pela profundidade mínima de 6 metros do lençol freático. Aqui foram somados 2 metros na menor profundidade, em função de possíveis oscilações do nível hidrostático.

O fator declividade não foi determinante na definição

destas adequabilidades, já que não foram constatados valores próximos de 0% nas zonas de baixa declividade (Mapa de Adequabilidade a Instalações Subterrâneas Nº 11).

4.2.3.4 O MAPA DE ADEQUABILIDADE À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

4.2.3.4.1 REJEITOS SÓLIDOS

Os critérios adotados para a definição, na área estudada, da adequabilidade dos terrenos à instalação de aterros sanitários foram os seguintes: Os Solos Residuais Corumbataí foram considerados inaptos devido as suas pequenas espessuras. Os Solos Residuais de Diabásio ficaram na mesma classificação por apresentarem espessuras em torno do limite mínimo de 5 metros e, como substrato, diabásios altamente fraturados, condições estas que propiciaram a fácil poluição das águas subterrâneas pela percolação rápida do chorume. Os Aluviões, por se apresentarem junto às drenagens e com o lençol freático sempre próximo à superfície, também foram considerados inadequados para os fins em discussão. Desta maneira, somente nos Colúvios de Vertente e na Formação Rio Claro foram demarcadas áreas com os três intervalos de adequabilidade. Para tal, foram levadas em conta a declividade, a proximidade de cabeceiras de drenagens, a espessura de solos e a profundidade do lençol freático.

A declividade pode ser considerada, entre os fatores enumerados acima, o menos determinante, já que as conseqüências da não observância desta propriedade podem ser contornadas com a implantação de sistemas de drenagem em torno do aterro sanitário, o que interferiria apenas nos custos das obras. Em razão do exposto, a distinção entre as áreas semi-adequadas e adequadas para a implantação de aterros sanitários foi feita em função da declividade.

Foi escolhido o valor de 5 metros para a espessura mínima de material inconsolidado, tendo-se em vista a profundidade das escavações. Por outro lado, foi estabelecida a profundidade mínima de 14 metros para o lençol freático, levando-se em conta

os 5 metros de escavação e mais 9 metros entre a base do aterro e o nível hidrostático, distância que pode ser considerada satisfatória para a filtração do chorume, considerando a permeabilidade da Formação Rio Claro e dos Colúvios de Vertente.

Com base nos considerandos acima, a classificação de adequabilidade dos terrenos da área estudada, para a disposição de rejeitos sólidos, ficou assim estabelecida:

- a) Áreas Inadequadas: Constituídas pelos Solos Residuais da Formação Corumbataí, pelos Solos Residuais de Diabásio, pelos Aluviões e mais as áreas dos Colúvios de Vertente e da Formação Rio Claro com espessuras menores que 5 metros, ou onde a profundidade do lençol freático for menor que 14 metros, ou ainda quando a proximidade de cabeceiras de rios não atingir 200 metros.
- b) Áreas Semi-Adequadas: Locais da Formação Rio Claro e dos Colúvios de Vertente, onde a espessura de inconsolidados for maior que 5 metros, onde a profundidade do lençol freático for maior que 14 metros, onde as cabeceiras de rios estão a mais de 200 metros dos aterros sanitários e onde a declividade for maior que 2,5%.
- c) Áreas Adequadas: Locais com as mesmas características das áreas semi-adequadas, excetuando-se a declividade, que neste caso é menor que 2,5%.

O Mapa de Adequabilidade à Disposição de Rejeitos Nº 12 mostra as diferentes aptidões dos terrenos para a instalação de depósitos de resíduos sólidos, segundo os critérios adotados.

4.2.3.4.2 REJEITOS LÍQUIDOS

Na área urbana de Rio Claro, levando em consideração que o abastecimento de água é feito por mananciais superficiais, com estações de captação a montante da área, e que os grandes aquíferos não são susceptíveis à poluição, por serem profundos e confinados, pode-se concluir que as zonas mais adequadas à instalação de lagoas de estabilização estão nas áreas cobertas pela Formação Rio Claro e pelos Colúvios de Vertente. Estes solos apresentam

permeabilidade adequada para a filtração do líquido já tratado nas lagoas contra a poluição orgânica.

Foram escolhidas as declividades menores que 5% e a profundidade mínima de 9 metros para o lençol freático, como características do intervalo adequado. Por outro lado, a mesma profundidade do lençol e declividades maiores que 5% caracterizam o intervalo semi-adequado. Estas condições só não são ideais em virtude de os solos acima referidos se encontrarem em altitudes superiores a 570 metros, sendo esta a cota mínima dos esgotos já instalados. Desta maneira, qualquer que seja o local escolhido para a instalação de lagoas de estabilização, torna-se necessário o processo de bombeamento.

O Mapa de Adequabilidade à Disposição de Rejeitos Nº 12 mostra, além das adequabilidades para a disposição de resíduos sólidos, a diferenciação das áreas para a instalação de lagoas de estabilização.

4.2.3.5 O MAPA DE ÁREAS COM POTENCIAL DE RISCOS GEOLÓGICOS

Na área urbana de Rio Claro, entre os fenômenos de riscos, só foi registrada a ocorrência de processos de erosão acelerada.

Com base nos fatores expostos no Item 4.2.2.5 foram delimitadas as áreas com potencial de riscos geológicos, ocasionados pela erosão acelerada. São os locais das boçorocas já implantadas e também as áreas propícias ao desenvolvimento do fenômeno erosivo. Estas últimas foram evidenciadas em função dos fatores: declividade, forma de encostas e constituição geológica. Nestes locais, qualquer fenômeno que possa dar origem a um ravinamento, certamente desencadeará o processo erosivo.

As áreas de desenvolvimento de boçorocas em Rio Claro encontram-se no Mapa de Potencial de Riscos à Erosão Acelerada Nº 13.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1 INDICAÇÕES DA GEOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO URBANO DE RIO CLARO

Com base em resultados obtidos nas diferentes fases desta pesquisa, foi elaborado o Mapa de Planejamento de Rio Claro Nº 14. Trata-se de uma carta-síntese, que mostra as indicações para a melhor ocupação urbana, de acordo com aspectos geológico-geotécnicos da área estudada. Para a confecção deste mapa foram inicialmente estabelecidas províncias geológicas, diferenciadas segundo dois critérios. Um deles é a própria diversificação dos materiais apresentados no Mapa Geológico. O outro consiste em uma setorização geográfica, que é justificada pela variabilidade em área de alguns dos caracteres condicionantes do meio físico.

Cada província geológica foi caracterizada por um potencial de uso equivalente à somatória de índices de adequabilidade. Estes, por sua vez, são representativos de sete fatores geológico-geotécnicos, utilizados para a caracterização dos diferentes setores de atividades urbanas. Os valores +1, 0 e -1 dos índices ou exprimem respectivamente os intervalos adequado, semi-adequado e inadequado de cada fator, ou representam a expressão em área do fator em cada província geológica (Quadro 10).

Os setores de atividades urbanas foram caracterizados, cada um, por uma série de fatores afins. Assim, o setor residencial teve como características as adequabilidades a fundações residenciais, a obras viárias e a instalações subterrâneas, além do distanciamento aos depósitos de rejeitos. Para o setor industrial foram considerados os fatores: adequabilidade a fundações de grande porte, a obras viárias e a instalações subterrâneas, proximidade de depósitos de rejeitos sólidos e direções favoráveis de ventos (Mapa de Documentação). Deve-se ressaltar aqui que se o gradiente da superfície piezométrica fosse mais acentuado, propiciando um maior escoamento das águas subterrâneas, estas poderiam ser

QUADRO 10: ÍNDICES DE ADEQUABILIDADE, POTENCIAIS DE USO E INDICAÇÕES PARA A OCUPAÇÃO DAS PROVÍNCIAS GEOLÓGICAS DA ÁREA URBANA DE RIO CLARO

PROVÍNCIAS GEOLÓGICAS	ÍNDICES DE ADEQUABILIDADE							POTENCIAIS DE USO (SOMATÓRIA DOS ÍNDICES) DOS SETORES URBANOS.				INDICAÇÕES ALTERNATIVAS PARA A OCUPAÇÃO URBANA EM ORDEM DE PRIORIDADE COM POTENCIAIS DE USO.		
	1	2	3	4	5	6	7	RESIDENCIAL	INDUSTRIAL	COMERCIAL E INSTI- TUCIONAL	CIRCULAÇÃO	1º	2º	3º
	FUNDAÇÕES RESIDÊNCIAIS	FUNDAÇÕES GDE. PORTE	OBRAS VIÁRIAS	INSTALAÇÕES SUB-TERRÂNEAS	PROXIMIDADE REJEITOS SÓLIDOS	DISTÂNCIA REJEITOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS	DIREÇÃO FAVORÁVEL DE VENTOS							
								1-3-4-6	2-3-4-5-7	1-2-3-4-6	3			
SOLO DA FM CORUMBATAI NE	+1	+1	-1	0	-1	+1	-1	+1	-2	+2	-1	CO ₂	RE ₁	—
SOLO DA FM CORUMBATAI SE	+1	+1	-1	0	-1	+1	-1	+1	-2	+2	-1	CO ₂	RE ₁	—
SOLO DA FM CORUMBATAI NW	+1	+1	-1	0	-1	+1	+1	+1	0	+2	-1	CO ₂	RE ₁	—
SOLO DA FM CORUMBATAI SW	+1	+1	-1	0	-1	+1	+1	+1	0	+2	-1	CO ₂	RE ₁	—
FM RIO CLARO CENTRO-NORTE	0	-1	+1	+1	+1	-1	0	+1	+2	0	+1	IN ₂	CI ₁	RE ₁
FM RIO CLARO CENTRO-SUL	0	-1	+1	+1	0	0	-1	+2	0	+1	+1	RE ₂	CI ₁	—
FM RIO CLARO NE	0	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	0	+1	CI ₁	RE ₁	—
FM RIO CLARO NW	0	-1	+1	+1	0	0	+1	+2	+2	+1	+1	RE ₂	IN ₂	CI ₁
FM RIO CLARO SW	0	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+3	0	+1	IN ₃	CI ₁	RE ₁
ALUVIÃO NE	0	0	-1	-1	-1	+1	-1	-1	-4	-1	-1	—	—	—
ALUVIÃO NW	0	0	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-2	-1	-1	—	—	—
ALUVIÃO SW	0	0	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-2	-1	-1	—	—	—
SOLO DO DIABÁSIO	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+2	-1	+3	-1	CO ₃	RE ₂	—
COLÚVIOS DE VERTENTE	0	0	0	+1	-1	+1	-1	+2	-1	+2	0	RE ₂	CO ₂	—
ÁREAS DE RISCOS	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	OCUPAÇÃO PROIBIDA		

consideradas como mais um fator na definição do setor industrial. O setor comercial e institucional teve como características as adequabilidades a fundações de grande porte, a obras viárias, e a instalações subterrâneas, mais o distanciamento aos depósitos de rejeitos. Para o setor de circulação, o único fator geológico-geotécnico pertinente foi a adequabilidade a obras viárias.

Com base nos potenciais de uso, foram montados conjuntos de indicações alternativas para a ocupação urbana, sendo estas agrupadas em ordem de prioridade e representadas pelos símbolos: RE = residencial, IN = industrial, CO = comercial e institucional, e CI = circulação. Os números juntos aos símbolos indicam o potencial de uso (Quadro 10).

As áreas de riscos geológicos foram proibidas à ocupação, enquanto que as zonas cobertas pelos Aluviões ficaram sem indicação de uso por apresentarem potencial negativo. Sugere-se que estas áreas sejam destinadas a parques, jardins botânicos ou zoológicos, e outros congêneres que, além de servirem ao uso institucional-recreacional, distribui melhor a vegetação dentro da área urbana, contribuindo assim para o restabelecimento do equilíbrio ambiental.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões deste trabalho conduzem a recomendações para a ocupação urbana, com base apenas na definição do meio físico. São propostas que devem ser analisadas juntamente com as indicações de outros setores do processo de planejamento. Torna-se necessário ressaltar, no entanto, que quanto mais adversas forem as condições do meio físico, tanto mais importantes serão as recomendações fornecidas por trabalhos como este. Este aspecto deve ser sempre lembrado nas reuniões de equipes multidisciplinares de planejamento.

Tendo em vista que nem todas as etapas de metodologia aqui sugerida puderam ser testadas na área estudada, torna-se importante esta complementação em trabalhos posteriores. Por outro lado, o desenvolvimento de pesquisas em áreas de Geologia bem di

ferenciada da região de Rio Claro, talvez ressalte aspectos geológico-geotécnicos relevantes, aqui omitidos, o que viria contribuir para um aprimoramento do método proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIŞENSTEIN, B.; SCHULMAN, N e ISRAELI, A. (1974) - "The geotechnical map of Jerusalem", in Proceedings of the Second International Congress of International Association of Engineering Geology. São Paulo, 1 : III.9.1 - III.9.13.
- ALMEIDA, F.F.M. (1964) - "Fundamentos geológicos do relevo paulista", in Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico da Secretaria da Agricultura, Boletim 41 : 167 - 263.
- ANDRADE, S.M. e SOARES, P.C. (1971) - Geologia de semi detalhe do centro-leste de São Paulo. Ponta Grossa, Petrobrás DEP/DES, 52 pp.
- ARNOULD, M.; BROQUET, J.F.; DEVEUGHELE, M. e POLATERA, J.M.U. (1979) - "Cartographie geotechnique de la Ville de Paris-premieres réalisations (13 ème, 19 ème et 20 ème arrondissements)", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (19) : 109 - 115.
- BARBOSA, O. e GOMES, F.A. (1958) - "Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo", in Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia - D.N.P.M. Rio de Janeiro, 171 : 1 - 40.
- BJORNBERG, A.J.S. e LANDIM, P.M.B. (1966) - "Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neo-cenozóico)", in Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. São Paulo, 15 (4) : 43-67.
- BRINO, W.C. (1973) - Contribuição à definição climática da Bacia do Corumbataí e adjacências (SP), dando ênfase à caracterização dos tipos de tempo (Tese de Doutorado). Rio Claro, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, 119 pp. (inédita).
- BUENO, B.S. e VILLAR, O.M. (1980) - Mecânica dos Solos, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 131 pp.
- CAMPOS, J.O (1979) - "Formação Rio Claro - aspectos geotécnicos", in Atas do 2º Simpósio Regional de Geologia. Rio Claro,

2 : 35 - 49.

- CAPUTO, H.P. (1977) - Mecânica dos solos e suas aplicações. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, volume 1, 242pp.
- COELHO, A.G. (1979) - "Engineering geological evaluation of slope stability for urban planning and construction", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (19) : 75 - 78.
- COMISSÃO DE SOLOS (1960) - "Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo", in Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Rio de Janeiro, (12) : 634 pp.
- CONSTANZO JUNIOR, J.; VIRGILLI, J.C. e MACIEL FILHO, C.L. (1978) - "Contribuição à cartografia geotécnica da região de Santa Maria-RS", in Anais do 2º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo, 1 : 267 - 280.
- CONVÊNIO DAEE-UNESP (1982) - Mapa geológico do Estado de São Paulo - Escala 1 : 250.000. São Paulo, Editora Terra-Foto, 19 folhas.
- COTTAS, L.R. e BARCELOS, J.H. (1981) - "Novas considerações sobre a Geologia da região de Itaqueri da Serra-SP." in Atas do 3º Simpósio Regional de Geologia. Curitiba, 2 : 70 - 76.
- COTTAS, L.R.; FIORI, A.P. e LANDIM, P.M.B. (1981) - "Divisão Faciológica do Subgrupo Itararé e da Formação Aquidauana no NE do Estado de São Paulo", in Atas do 3º Simpósio Regional de Geologia. Curitiba, 2 : 103 - 115.
- COULON, F.K. (1974) - Mapa geotécnico das Folhas de Morretes e Montenegros. Porto Alegre, FAPERGS - Tecnosolo S.A. - 58 pp.
- COULON, F.K. (1976) - "A Geologia e o Planejamento Urbano: questões para debates e/ou reflexão", in Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Rio de Janeiro, 3 : 370 - 373.
- CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M.R. (1976) - Hidrogeologia subterrânea. Barcelona, Ediciones Omega, S.A., 1.157 pp.
- DEARMAN, W.R. e MATULA, M. (1976) - "Environmental aspects of en

- gineering geological mapping", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (14): 141 - 146.
- DE BIASI, M. (1970) - "Cartas de declividade: confecção e utilização", in Geomorfologia. São Paulo, (10) : 8 - 13.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1981) - Estudo de águas subterrâneas - Região Administrativa 5 - Campinas. São Paulo, Secretaria de Estado de Obras e do Meio Ambiente de São Paulo, 2 volumes.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL e SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS METROPOLITANOS DE SÃO PAULO (1980) - Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 63 pp.
- DUARTE, U. (1980) - Geologia ambiental da área de São Pedro - SP. vetor águas subterrâneas (Tese de Doutorado). São Paulo, Instituto de Geociências da USP, 73 pp.
- FERNÁNDEZ, J.A.; DEL MORAL, J. e PINTO, J.L.P. (1979) - "Spanish experience of geotechnical cartography in an urban área", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (19) : 79 - 84.
- FERNÁNDEZ, J.A.; CARCEDO, F.J.A. e LLERA, J.M.P. (1980) - "Large scale, 1 : 1.000 - 1 : 5.000, geotechnical mapping by the Instituto Geológico y Minero de España - IGME, for industrial and urban planning", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (21): 83 - 91.
- FERRARI, C. (1977) - Curso de planejamento municipal integrado-urbanismo. São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 631 pp.
- FLAWN, P.T. (1970) - Environmental Geology. New York, Harper & Row Pub., 313 pp.
- FÚLFARO, V.J. e SUGUIO, K. (1968) - "A Formação Rio Claro (Neóceozóico) e seu ambiente de deposição", in Boletim do Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo, 20 : 45 - 60.
- GOUNON, A. (1979) - "Intégration des risques naturels dans les documents d'urbanisme: application a la Ville de Nice", in

- Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (19) : 126 - 128.
- GOUNON, A. (1980) - "La planification urbaine basee sur la Geologie, l'Hydrogeologie, la Geotechnique - un exemple: la Ville de Nice", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (22) : 161 - 166.
- GREHS, S.A. (1970) - "O papel do geólogo no planejamento, in Boletim do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, (446) : 1 - 15.
- GREHS, S.A. (1970) - "O uso de mapas geológicos, mapas de vegetação e mapas de drenagem de irrigação", in Anais da 2a. Semana Paulista de Geologia Aplicada. São Paulo, 1 : 1 - 7.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. (1976) - Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 170 pp.
- GUIDICINI, G. e PRANDINI, F.L. (1974) - "O caso do escorregamento de Vila Albertina: seu significado em termos de planejamento urbano", in Anais do 5º Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos. São Paulo, 1 : 405 - 411.
- HOFMANN, G.W. (1976) - "Mapping for urban land-use planning in Southeast Queensland - a first approach", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (14) : 113 - 117.
- INFANTI JUNIOR, N. (1976) - "Geologia de Planejamento: escopo e metodologia", in Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Rio de Janeiro, 3 : 373 - 382.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. (1980) - Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente - condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo, Série Monografias, (3) : 31 pp.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. (1981) - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, Série Monografias, (5), 2 volumes.
- JACOB, C.E. (1946) - "Drawdown test to determine effective radius

- of artesian well", in Proceedings of the American Society of Civil Engineers. New York, 72 (5).
- KALTERHERBERG, J. (1974) - "An engineering geological map of a township on the Lower Rhine, in Proceedings of the Second International Congress of International Association of Engineering Geology. São Paulo, 1 : III.10.1 - III.10.8.
- LEGGET, R.F. (1973) - Cities and Geology. New York, McGraw Hill Book Co., 624 pp.
- LEGGET, R.F. (1974) - "Engineering geological maps for urban development", in The Geological Society of America - Engineering Geology Case Histories. Boulder, (10) : 19 - 21.
- LIBAUD, A. (1975) - Geocartografia. São Paulo, Companhia Editora Nacional - Editora da USP, 388 pp.
- LIMA, M.J.C.P.A. (1979) - Prospecção geotécnica do subsolo. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 104 pp.
- MACIEL Fº, C.L. (1978) - "Mapeamento geotécnico e planejamento da ocupação urbana de Santa Maria-RS, in Anais do 2º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo, 3 : 257 - 265.
- MALLMANN, W.L. e MACK, W.N. (1961) - "Biological contamination of ground water", in Proceedings of 1961 Symposium Ground Water Contamination. Cincinnati, U.S. Department of Health, Education and Welfare - Public Health Service, 1 : 35 43.
- MATHEWSON, C.C. e FONT, R.G. (1974) - "Geologic environment: forgotten aspect in the land use planning process", in The Geological Society of America - Engineering Geology Case Histories. Boulder, (10) : 23 - 28.
- MATULA, M. (1969) - "Engineering geologic mapping and evaluation in urban planning", in Proceedings of the Symposium on Engineering Geology in the Urban Environment. San Francisco, IAEG., 1 : 144 - 153.
- MATULA, M. (1974) - "Engineering Geology in Country and Urban Planning", in Proceedings of the Second International Con

- gress of International Association of Engineering Geology. São Paulo, 1 : III.GR.1 - III.GR.20.
- MATULA, M. e LETKO, V. (1980) - "Engineering Geology in planning the Metropolitan Region of Bratislava", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (22) : 139 - 145.
- MONTGOMERY, H.B. (1974) - "Environmental analysis in local development planning", in The Geological Society of America-Engineering Geology Case Histories. Boulder, (10) : 29 - 40.
- OKA FIORI, C. (1980) - Contribuição ao estudo das formações superficiais das quadrículas de Piracicaba e São Pedro, (Dissertação de Mestrado). Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP - Campus de Rio Claro. (inédita).
- OLIVEIRA, A.M.S.; SILVA, R.F. da; FERREIRA JUNIOR, J. (1975) - Ensaio de perda d'água sob pressão - diretrizes. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Boletim 2, 16 pp.
- OLIVEIRA, A.M.S. e CORREA FILHO, D. (1981) - Ensaio de permeabilidade em solos - orientações para sua execução no campo - 1ª tentativa. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Boletim 4, 36 pp.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F. e ROTTA, C.L. (1979) - Levantamento Pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo - Quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro, SUPREN-IBGE, 172 pp.
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. e ALMEIDA, C.L.F. (1981) - Levantamento semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo, Quadrícula de São Carlos (Escala 1 : 100.000). Campinas, Instituto Agrônômico.
- PACHECO SILVA, F. (1970) - "Uma nova construção gráfica para a determinação da pressão de pré-adensamento de uma amostra de solos", in Anais do COBRAMSEF. Rio de Janeiro, 2 (1) : 219 - 224.
- PENTEADO, M.M. (1976) - Geomorfologia do setor centro-ocidental

da Depressão Periférica Paulista. São Paulo, Instituto de Geografia da USP., Série Teses e Monografias, (22) : 86 pp.

- PENTEADO, O.A. (1978) - "Como nasceu e cresceu Rio Claro", in Rio Claro Sesquicentenária. Rio Claro, Museu Histórico e Pedagógico "Amador Bueno da Veiga" - SCCT, 17 - 72.
- PRANDINI, F.L. - Coord. (1974) - "Condicionantes geológicas e geotécnicas da degradação ambiental - alguns casos - brasileiros", in Boletim da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, (1) : 1 - 11.
- PRANDINI, F.L. (1976) - "O Brasil e a Geologia de Planejamento Territorial e Urbano", in Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Rio de Janeiro, 3 : 354 - 370.
- PRANDINI, F.L.; GUIDICINI, G. e GREHS, S.A. (1974) - "Geologia Ambiental ou de Planejamento", in Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre, 7 : 273 - 290.
- PRANDINI, F.L.; ÁVILA, I.G.; CONSTANZO JR., J.; CARLSTRON FILHO, C.; BOTTURA, J.A. e TEIXEIRA, A.L. (1978) - "Uma carta geotécnica dos terrenos adjacentes ao canal do Rio Tietê, de Osasco a Guarulhos", in Anais do 2º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo, 3 : 281 - 296.
- REEKIE, C.J.; COFFEY, J.R. e MARSDEN, A.E. (1979) - "Computer aided techniques in urban engineering geological mapping", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld (19) : 322 - 330.
- RENGERS, N. e SOETERS, R. (1980) - "Regional engineering geological mapping from aerial photographs", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (21) : 103 - 111.
- RODRIGUES, J.E. - (1982) - Estudo de fenômenos erosivos acelerados - boçorocas (Tese de Doutorado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP., 162 pp.
- RÔNAI, A. (1979) - "Fundamentals of engineering geological maps", in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, (19) : 62 - 68.

- SANEJOUAND, R. (1972) - La cartographie géotechnique en France. Paris, Ministère de L'Equipement e du Logement - D.A.F.U. A.R.M.I.N.E.S. - L.C.P.C., 95 pp.
- SEIGNEMARTIN, C.L. (1979) - Geologia de áreas urbanas: o exemplo de Ribeirão Preto - SP (Tese de Doutorado). São Paulo, Instituto de Geociências - USP, 2 volumes (inédita).
- SILVA, M.O.S.A. (1977) - Análises físico-químicas para controle das estações de tratamento de esgotos. São Paulo, CETESB, 226 pp.
- SILVA FILHO, B.C. (1976) - "Comportamento expansivo de algumas formações sedimentares no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina", in Estudos Tecnológicos - Ata Geológica Leopoldênsia. São Leopoldo, U.V.R.S., (1) : 51 - 117.
- SOARES, P.C. (1972) - "O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo" in Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, 44 (Supl.) : 333 - 342.
- SOARES, P.C. (1973) - O Mesozóico Gonduânico no Estado de São Paulo (Tese de Doutorado). Rio Claro, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, 152 pp. (inédita).
- SOARES, P.C. e FIORI, A.P. (1976) - "Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia", in Notícias Geomorfológicas, 16 (32) : 71 - 104.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA (1983) - Documento final do II Simpósio Nacional sobre o Ensino de Geologia no Brasil - currículo mínimo, Publicação do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, 73 pp.
- TEIXEIRA, J.A. (1978) - Estimativa da infiltração como parâmetro básico para o estudo do aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos do Município de Olinda-PE (Dissertação de Mestrado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP., 194 pp. (inédita).
- TERZAGHI, K. e PECK, R.B. (1962) - Mecânica dos solos na prática da engenharia, Tradução de A.J. Costa Nunes e M.L. Campos Campello. Rio de Janeiro, Editora do Livro Técnico -S.A., 659 pp.

- THEIS, C.V. (1935) - "The relation between the lowering of the piezométric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage", in 16th Ann. Meeting - Transactions American Geophysical Union, Washington, 16 : 519 - 524.
- THORNTON, C.W. e MATHER, J.R. (1955) - The water balance. Centerton, Publications in Climatology, Drexel Institute of Technology, 8 (1) : 104 pp.
- TROPPIAIR, H. (1978) - "Aspectos geográficos" - in Rio Claro Sesquicentenária. Rio Claro, Museu Histórico e Pedagógico "Amador Bueno da Veiga" - SCCT, 75 - 87.
- TROEH, F.R. (1965) - "Landform equations fitted to contour maps", in American Journal of Sciences. New York, 263 : 616 - 627.
- TSCHEBOTARIOFF, G.P. (1978) - Fundações, estruturas de arrimo e obras de terra, Tradução de E.F. Quadros. São Paulo, Editora McGraw Hill do Brasil Ltda., 513 pp.
- VAN DRIEL, J.N. (1978) - "Practical use of geologic information by planners", in Geology. Boulder, 6 : 592 - 596.
- VARGAS, M. (1978) - Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, Editora McGraw Hill do Brasil Ltda. - Editora da USP., 509 pp.
- ZUQUETTE, L.V. (1981) - Mapeamento geotécnico preliminar na Região de São Carlos (Dissertação de Mestrado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP., 2 volumes (inédita).