

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
INFRA-ESTRUTURA E GERÊNCIA VIÁRIA

**ELABORAÇÃO DO MAPA PRELIMINAR DE UNIDADES GEOTÉCNICAS DO
MUNICÍPIO DE BRUSQUE ASSOCIADO A UM BANCO DE DADOS
GEOTÉCNICO EM AMBIENTE DE SIG**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina requisito parcial exigido pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para a obtenção do título de MESTRE em Engenharia Civil.

CELSO DA SILVA MAFRA JÚNIOR

Florianópolis, Abril de 2007.

MAFRA JR, Celso da Silva.

Elaboração do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas do Município de Brusque Associado a um Banco de Dados Geotécnico em Ambiente de SIG. Florianópolis, 2007, 123 pg.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de Concentração :
Infra Estrutura e Gerência Viária)
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. *PhD* Marciano Maccarini, PhD

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Glaci Inez Trevisan Santos

Defesa 04/2007

Palavras-chave: *SIG* – Mapeamento Geotécnico – SPT.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho: **“Elaboração do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas do Município de Brusque Associado a um Banco de Dados Geotécnico em Ambiente de SIG”**.

Autor: Celso da Silva Mafra Júnior

Dissertação defendida em 16/04/2007, pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, e aprovada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. PhD. Marciano Maccarini - Orientador - UFSC

Prof^ª. Dr^ª. Glaci Trevisan Santos - Co-Orientadora - PROSUL

Prof^ª. Dr^ª. Regina Davison Dias – UFSC/UNISUL

Prof. Dr. Cezar Augusto Burkert Bastos – FURG

Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi – UNISUL

À minha família

AGRADECIMENTOS

À meu pai Celso, um homem honrado e simples, pela importância que sempre deu aos estudos de seus filhos, e que propiciou com que eu terminasse mais esse trabalho.

À Lucimar, uma mãe exemplar, peça fundamental da nossa família, pelo seu exemplo de dedicação e afinho para a educação dos quatro filhos.

À minhas irmãs Lílian, Lissandra e ao meu irmão Juvenal, pela amizade, incentivo e estímulo nas horas mais difíceis.

À minha namorada Priscila, a quem devo grande parte das horas que deram fruto a este trabalho, e que vem acompanhando minha trajetória acadêmica desde os primeiros anos da Graduação com muita paciência, carinho, companheirismo e amor.

Aos meus amigos, cujos vários momentos de descontração proporcionaram um maior estímulo para transpassar os percalços surgidos no decorrer da dissertação. Em especial à turma do “*Thursday Night Poker Friends*”, onde se encontra a maioria dos meus grandes amigos.

Ao grande amigo e sócio-empresendedor Engenheiro Daniel Appel Coelho, pela amizade de longa data e confiança mútua nos afazeres do promissor trabalho que estamos desenvolvendo, pelas horas de sobrecarga nos dias em que me fiz ausente por função da dissertação.

Ao Doutor Rafael Augusto dos Reis Higashi, cuja amizade se iniciou nos tempos do extinto LAMGEO e perdura até hoje, pelos ensinamentos e parceria durante todos esses anos, pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho, e pelos momentos de divertimento nos nossos encontros.

Ao Prof. Marciano Maccarini, que aceitou a minha orientação nas circunstâncias que se deram, pela confiança e disposição.

À Co-Orientadora e amiga Prof.^a Glaci Trevisan Santos, pelos ensinamentos desde os anos de bolsista de iniciação científica até os dias de hoje, pelo incentivo e otimismo.

À Prof.^a Regina Davison Dias, pelos anos de convívio e aprendizado no laboratório, e pela disposição em fazer parte da banca avaliadora desse trabalho.

Ao Prof. Cezar Augusto Burkert Bastos, da Universidade Federal de Rio Grande, pela disposição e boa vontade em participar da banca avaliadora, na condição de avaliador externo, trazendo contribuições bastante importantes ao trabalho.

Secretaria da Pós-Graduação, em especial à Mari e ao Prof. Glicério, pela ajuda em todo o tramite do processo de defesa e conclusão dos trabalhos.

À Prefeitura Municipal de Brusque, que cedeu alguns documentos que auxiliaram a pesquisa.

À Empresa Solo Sondagem Ltda, de Balneário Camboriú, através do Engenheiro Carlos Roberto Machado, que gentilmente cedeu as sondagens SPT do seu arquivo.

A todos que aqui não foram citados, más que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho pudesse ter sido realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO GERAL	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	5
2.1.1. Aspectos Introdutórios	5
2.1.1.1. O conceito de SIG	5
2.1.1.2. Um breve histórico dos SIGs	7
2.1.2. Conceitos que Fundamentam a Utilização de um SIG	9
2.1.2.1. Dados Digitais – Obtenção	9
2.1.2.2. Dado Digital Vetorial	10
2.1.2.3. Dado Digital Textual	13
2.1.2.4. Dado Digital Numérico	13
2.1.2.5. Dado Digital Raster ou Matricial	14
2.1.2.6. Conceito de Topologia	17
2.1.2.7. Banco de Dados	17
2.1.3. O SIG ArcView GIS 3.1	18
2.2. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	19
2.2.1. Aspectos Introdutórios	19
2.2.1.1. Conceito de Mapeamento Geotécnico	19
2.2.1.2. Um Breve Histórico do Mapeamento Geotécnico	21
2.2.2. Algumas Metodologias de Mapeamento Existentes no Brasil	22
2.2.2.1. Metodologia do IPT	22
2.2.2.2. Metodologia da EESC-USP	23
2.2.2.3. Metodologia do Instituto de Geociências da UFRJ	23
2.2.3. Metodologia Empregada no Sul do Brasil	23
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
3.1. GENERALIDADES	30
3.2. RELEVO	33
3.3. CLIMA	35

3.4.	HIDROGRAFIA	38
3.5.	GEOLOGIA	39
3.5.1.	Aspectos Introdutórios	39
3.5.2.	Unidades Geológicas do Município	40
3.5.2.1.	Complexo Brusque - Unidade Psb	40
3.5.2.2.	Suíte Intrusiva Valsungana - Unidade Psv	42
3.5.2.3.	Complexo Canguçu - Unidade Psc	43
3.5.2.4.	Sedimentos Holocênicos – Unidade QHa	44
3.5.2.5.	Sedimentos Pleistocênicos – Unidade QPc	45
3.5.4.	Considerações da Geologia	45
3.6.	PEDOLOGIA	46
4.	METODOLOGIA	50
4.1.	AQUISIÇÃO DOS DADOS BÁSICOS	51
4.1.1.	Mapas	51
4.1.2.	Sondagens SPT	53
4.2.	EDIÇÃO DOS MAPAS	54
4.2.1.	Limite Político do Município	54
4.2.2.	Cartas Geológicas	56
4.2.3.	Cartas Pedológicas	58
4.2.4.	Cartas Hipsométricas	58
4.2.5.	Cartas Hidrográficas	59
4.2.6.	Mapa de Ruas	60
4.2.7.	Inconsistências Observadas	61
4.2.7.1.	Limite do Município	61
4.2.7.2.	Mapa de Ruas	61
4.3.	EDIÇÃO, E PREPARAÇÃO DAS SONDAGENS SPT	61
4.4.	LEVANTAMENTOS DE CAMPO	64
4.4.1.	Georreferenciamento do Mapa de Ruas	64
4.4.2.	Fotos de Perfis de Solo	65
4.5.	MANIPULAÇÃO DOS MAPAS NO ARCVIEW	65
4.5.1.	Inserção e Edição Final dos Mapas em SIG	65
4.5.1.1.	Limite do Município	66
4.5.1.2.	Mapa de Unidades Geológicas	66
4.5.1.3.	Mapa de Unidades Pedológicas	67
4.5.1.4.	Mapa Hipsométrico	67
4.5.1.5.	Mapa Hidrográfico	68
4.5.1.6.	Mapa de Ruas	68
4.5.2.	Concepção do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas	68
4.5.2.1.	Nomenclatura Adotada para Unidades Geotécnicas	69
4.5.3.	Construção do MDT e Mapa de Declividades	71
4.6.	ASSOCIAÇÃO DO BANCO DE DADOS AOS MAPAS NO ARCVIEW	71
4.6.1.	Boletins de Sondagens SPT	71
4.6.2.	Fotos dos Perfis	71
5.	RESULTADOS	73
5.1.	MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS E LITOLÓGICAS NO SIG	73
5.2.	MAPA DE UNIDADES PEDOLÓGICAS NO SIG	76

5.3.	MAPAS DE UNIDADES GEOTÉCNICAS	78
5.4.	CARTA HIPSOMÉTRICA EM AMBIENTE DE SIG	80
5.4.1.	Informações de Ordem Altimétrica Geradas no ArcView	80
5.5.	MAPA DE RUAS EM AMBIENTE DE SIG	82
5.6.	SONDAGENS ASSOCIADAS AOS MAPAS EM AMBIENTE DE SIG	83
5.7.	FOTOGRAFIAS LINCADAS EM AMBIENTE DE SIG	84
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	86
6.1.	GRUPO 01	88
6.1.1.	Unidades: PVa2 f,x - PVa9 f,x - PVa12 f,x - PVa14 f,x	89
6.1.2.	Unidades Ca6 f,x - Ca14 f,x - Ca51 f,x - Ca54 f,x	96
6.2.	GRUPO 02	97
6.2.1.	Unidades PVa g - PVa11g - PVa1 g - PVa14g - PVa16g - PVd1g	97
6.2.2.	Unidade Ca64g	100
6.3.	GRUPO 03 - UNIDADE Ca59 gl	101
6.4.	GRUPO 04	101
6.4.1.	Unidades Ca5 sq(g) - Ca6 sq(g) - Ca13 sq(f) - Ca14 sq(f) - Cd1 sq(f) - Cd6sq(f)	101
6.4.2.	Unidade Gd2 sq(f)	105
6.5	MAPA DE GRUPOS GEOTÉCNICOS	106
7.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	108
7.1.	CONCLUSÕES	108
7.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	109
8.	REFERÊNCIAS	111
9.	ANEXOS	115
9.1.	ANEXO 01 – MAPA GEOLÓGICO	116
9.2.	ANEXO 02 – MAPA LITOLÓGICO	118
9.3.	ANEXO 03 – MAPA PEDOLÓGICO	120
9.4.	ANEXO 04 – MAPA GEOTÉCNICO	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estruturação de Polígono Segundo Modelo Total, Retirado de SILVA (1999)	11
Figura 2	Estruturação de Polígono Segundo Modelo Topológico, Retirado de SILVA (1999)	12
Figura 3	Estruturação de Polígono Segundo Modelo Espaguete, Retirado de SILVA (1999)	13
Figura 4	Representação matricial de três determinados tipos de solos, retirado de SILVA (1999)	15
Figura 5	Representação Gráfica da Codificação de Dados Raster em Estrutura Quadtree, Retirado de Silva (1999)	16
Figura 6	Estruturação de Organização das Informações no Arcview, Retirado de DUARTE (1999)	18
Figura 7	Princípio Básico da Metodologia de Mapeamento Adotada	27
Figura 8	Simbologia de Unidades Geotécnicas Segundo Davison Dias et al. (1987), retirado de Higashi (2002).	28
Figura 9	Localização do Município	30
Figura 10	Rotas Rodoviárias em Relação à Capital do Estado	31
Figura 11	Vista Parcial da Cidade	33
Figura 12	Vista Parcial da Cidade	33
Figura 13	Temperaturas Médias Anuais no Brasil	34
Figura 14	Climas no Brasil Segundo Galvão (1966)	35
Figura 15	Precipitações Totais Anuais em mm	36
Figura 16	Hidrografia no Município	37
Figura 17	Fluxograma Esquemático da Metodologia de Trabalho	49
Figura 18	Boletim de Sondagem Escaneado	53
Figura 19	Edição para Obtenção do Limite do Município	54
Figura 20	Município de Brusque Frente às 5 Cartas Geológicas	55
Figura 21	Limite Municipal Sobre a Geologia	56
Figura 22	Início de Edição das Cartas Hipsométricas Unidas	58
Figura 23	Parte da Hidrografia do Município	59
Figura 24	Planilha 01 do Arquivo Chamado Alois Moritz.xls	62
Figura 25	Organização dos Arquivos das Sondagens	63
Figura 26	Ferramenta de Interseção de Temas	68
Figura 27	Mapa Geológico no SIG e Tabela Associada ao Tema	73
Figura 28	Legenda para mapa geológico	73
Figura 29	Mapa Geológico em A4	74
Figura 30	Legenda básica para mapa pedológico	75
Figura 31	Mapa Pedológico 1:150.000	76
Figura 32	Legenda para mapa geotécnico	77
Figura 33	Mapa Geotécnico em A4	78
Figura 34	Curvas de Nível no Arcview	79
Figura 35	Imagem Capturada do Modelo Digital do Terreno (MDT)	80
Figura 36	Amostra da Carta de Declividades	81
Figura 37	Visualização Parcial do Mapa de Ruas no SIG	82
Figura 38	Consulta a Um Ponto de Sondagem	83
Figura 39	Consulta a um Ponto de Fotografias	84

Figura 40	Curvas de nível em função dos solos	86
Figura 41	Divisão dos grupos para a análise dos resultados	87
Figura 42	Perfil de solo exposto na unidade PVa14 f,x	89
Figura 43	Perfil de solo exposto na unidade PVa14 f,x	90
Figura 44	Local de sondagem da Rua Alvin Battistoti, na mancha urbana	91
Figura 45	Dois furos de sondagem da rua Alvin Battistoti	92
Figura 46	Dois furos de sondagem da Rua Primeiro de Maio (3)	94
Figura 47	Perfil de solo de granito	97
Figura 48	Perfil de solo de granito	98
Figura 49	Dois furos de sondagem de diferentes localidades	102
Figura 50	Dois furos de sondagem de diferentes localidades	103
Figura 51	Legenda para Mapa de Grupos Geotécnicos.	106
Figura 52	Mapa de Grupos Geotécnicos escala 1:150 000	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Codificação em Estrutura Código de Cadeias a Partir da Figura 04, Retirado de SILVA (1999)	15
Tabela 2	Litologia em Função da Geologia	45
Tabela 3	Pedologia do Município	49
Tabela 4	Simplificação da Pedologia	67
Tabela 5	Nomenclatura das Unidades para Geotecnia Completa	70
Tabela 6	Nomenclatura das Unidades para Geotecnia Resumida	70

RESUMO

MAFRA JR, C. S. "Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do Município de Brusque associado a um banco de dados geotécnicos em ambiente de SIG". Florianópolis, 2007 – UFSC, CPGEC, Santa Catarina.

O mapeamento geotécnico vem se demonstrando, nas últimas décadas, uma excelente ferramenta para gestão de grandes áreas. Quando ele é assessorado por um banco de dados geotécnicos, seus resultados podem ser mais explorados, questionados e confrontados com informações reais, dando maior credibilidade ao trabalho.

No trabalho desenvolvido no Município de Brusque, os mapas pedológico e litológico (desenvolvido a partir do geológico) foram cruzados, gerando o mapa geotécnico preliminar, na escala 1:100.000, baseando-se na metodologia de mapeamento aplicada no sul do Brasil (Davison Dias, 1995). Esse mapa resultante foi anexado a um banco de dados de sondagens SPT, e a uma série de fotos de perfis de solo, buscando caracterizar as unidades geotécnicas geradas. Além disso, mapas como o de ruas, hidrográfico e hipsométrico também foram utilizados.

O processo inicial de edição de mapas se deu em ambiente de CAD e o restante dos trabalhos ocorreu em ambiente de SIG. O *software* utilizado foi o *ArcView 3.2*, que permitiu uma integração de todos os mapas, sondagens, fotos, além de permitir que novos dados fosse gerados.

Como resultados mais significativos tem-se uma série de mapas, dentre os quais o mais importante é o mapa geotécnico do município, todos inseridos no SIG. Além disso, é apresentada uma breve análise das unidades geradas, onde são realizadas algumas estimativas de comportamento e comparações com laudos de sondagens SPT e fotos.

Palavras-chave: *SIG* – mapeamento geotécnico – SPT

ABSTRACT

MAFRA JR, C. S. "Elaboration of the Geotechnical Units Preliminary Map of Brusque City Associated to a Geotechnical Data Base Using GIS". Florianópolis, 2007 – UFSC, CPGECC, Santa Catarina.

Geotechnical Mapping has shown itself, over the last decades, an excellent tool to the administration of large areas. When it is assessed by a geotechnical data base, its results are able to be more explored, questioned and confronted against real informations, resulting in a bigger credibility to the job.

The work developed in Brusque City, the pedological and litological maps (the last one developed from the geologic one) were overlapped, resulting on the Preliminary Geotechnical Map, on the 1:100.000 scale, based on the mapping methodology applied in the south of Brazil (Davison Days, 1995). This resulting map was attached to a data base of explorations SPT, and to some soil profiles photographs, which try to feature the geotechnical units generated. Besides that, streets map, hydrographic and hipsometric maps were also used.

The initial process of map edition was given using CAD and the remaining process occurred inside the GIS software. The software used was the ArcView 3.2, that allowed an integration of all the maps, soil explorations, photographs, allowing new data to be generated.

As more significant results there are a variety of maps, from which the most important is the geotechnical map of the city, all of them inserted in the GIS. Besides that, it is presented a short analysis of the generated units, where some estimations of soil behavior are made and balances with results of explorations SPT and photographs.

Key-words: *GIS* – geotechnical mapping – SPT

1. INTRODUÇÃO

As cidades vêm sofrendo, nas últimas décadas, um processo acelerado de expansão da área urbana, frente ao evidente aumento da população. Esse fato implica na ocupação de novas áreas, muitas vezes não muito apropriadas.

O homem, como principal ser administrador das cidades, precisa planejar a ocupação e expansão de suas cidades, de forma racional, e que leve em consideração diversos campos do conhecimento. Este conhecimento, quanto não é tido, deve então ser gerado de forma a dar origem a um trabalho bem fundamentado e confiável .

Produtos de ordem cartográfica se apresentam como uma excelente ferramenta para a administração de cidades, já que dão uma idéia relativa a grandes áreas, apresentando assim, o comportamento de uma determinada característica de maneira regional, de forma "macro" e não pontual.

O produto gerado pelo mapeamento geotécnico tem aplicação direta em diversos ramos da administração municipal.

O estudo dos solos e o mapeamento do mesmo têm sido realizados há décadas, e vem se mostrando bastante eficiente, frente às diferentes problemáticas constantes na sua natureza, como por exemplo estabilidade de taludes, compressibilidade de terrenos, erodibilidade dos solos, dentre outros.

Ignorando muitas vezes todas as problemáticas constantes nos solos, obras de pequeno e grande porte são executadas, culminando, em alguns casos, em gastos extras, degradação do meio físico, acidentes de ordem geotécnica, entre outros problemas.

A metodologia de mapeamento geotécnico empregada no sul do Brasil (Davison Dias, 1995) vem se mostrando de excelente aplicabilidade em diversos ramos da engenharia, especialmente geotécnica, assim como nos estudos de ocupação e expansão urbana. Essa realidade é tão verdade que muitos pesquisadores vêm sendo atraídos por essa linha de pesquisa, com o intuito do conhecimento da geotecnia de uma determinada região ou localidade, através da metodologia de estudo por grandes áreas.

O presente trabalho corresponde a uma pesquisa realizada para a área correspondente ao município de Brusque, pertencente ao Estado de Santa Catarina. Tal município apresenta um relevo bastante acidentado, formando um vale por onde encaixa-se o Rio Itajaí-Mirim, que é o principal rio do município.

Assim como o relevo, a geologia regional também é bastante conturbada. Por estar situado numa região que foi palco de um processo de metamorfização, a geologia apresenta rochas metamórficas, principalmente xistos e filitos, juntamente com intrusões ígneas que resultam nas áreas de predomínio do granito. Nas partes mais baixas é comum a ocorrência de solos de sedimentos quaternários com consistência moles e zonas de deposição de areia e cascalho, que se intercalam muitas vezes num mesmo perfil de sondagem.

Os perfis de solo, por sua vez, são em grande parte profundos, raramente sendo evidenciados a exposições da rocha em taludes de corte. Nas áreas de predomínio granítico, no entanto, a rocha pode ser encontrada na superfície em alguns pontos isolados.

Diferentes campos da ciência e tecnologia são solicitados no trabalho preliminar de mapeamento que se apresenta, culminando num produto final, composto por informações de ordem política, geológica, pedológica, geomorfológica, hidrológica, geotécnica, associadas a informações contidas num banco de dados que pode apresentar resultados de ensaios em solo, fotos, gráficos, entre outros atributos. Cabe lembrar que o produto final deste trabalho ainda merece sofrer inúmeras melhorias e implementações visando aumentar suas potencialidades.

Buscando uma melhor confiabilidade no produto final, a parte computacional entra como principal ferramenta de manipulação de informações, mapas e dados processados, além da disponibilização por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possibilita ao usuário uma interface entre tais informações.

A ferramenta de SIG em utilização é o *ArcView 3.1*, que se apresenta totalmente apto para trabalhos dessa natureza, onde dados e informações, tanto gráficos quanto numéricos, podem ser estudados de forma simultânea, sendo ainda possível fazer o cruzamento entre mapas ou cartas, bem como, a criação e edição de novos mapas, elaboração do modelo tridimensional do terreno, entre outras possibilidades.

O banco de dados geotécnico gerado para o trabalho baseia-se em sondagens do tipo SPT (*Standard Penetration Test*), que também foram associadas ao mapa em ambiente de *ArcView*.

Esse estudo sistemático culmina no mapa preliminar de unidades geotécnicas com aplicabilidade multidisciplinar, onde estimativas de comportamentos das variedades geotécnicas geradas são apresentadas.

1.1. OBJETIVO GERAL

De maneira geral, o trabalho foca-se na obtenção do mapa preliminar de unidades geotécnicas para a área que corresponde ao município de Brusque, associando-se a este um banco de dados geotécnicos que permita alguma estimativa de comportamento geotécnico das unidades obtidas, sendo este o trabalho pioneiro no município.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar e adquirir os mapas geológico, pedológico, hipsométrico, hidrológico e político da área de estudo;
- Editar em *Microstation* e *AutoCAD*, importar e reeditar os mapas em ambiente do SIG *Arcview*;
- Converter o mapa geológico em litológico;
- Generalizar o mapa pedológico em um número menor de unidades;
- Cruzar mapas litológico e pedológico para gerar o mapa geotécnico;
- Cruzar os mapas litológico e pedológico simplificado para gerar o mapa geotécnico generalizado;
- Produzir em ambiente de SIG do modelo tridimensional do terreno;
- Levantar e adquirir boletins de sondagem SPT;
- Converter e padronizar dados de sondagens, através da utilização de planilhas eletrônicas e gráficos;
- Converter gráficos em figuras, para posterior associação com o mapa geotécnico;
- Realizar de saídas de campo buscando visualizar feições geológicas e pedológicas, saídas estas associadas à retirada de fotos em locais com perfis expostos;

- Localizar e vincular os furos de sondagem e fotos ao mapa geotécnico, utilizando-se o mapa de ruas georreferenciado ou coordenadas UTM obtidas por meio de *GPS*.
- Avaliar e descrever a geotecnia gerada no mapa preliminar, estimando o comportamento dos solos e correlacionando com dados de boletins de sondagens associados.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho divide-se em nove capítulos, iniciados pela introdução onde se faz alguns comentários ainda de forma bastante abrangente, tratando genericamente do tema do trabalho, da sua importância, e dos objetivos da pesquisa.

O segundo capítulo é intitulado de revisão bibliográfica, e como o próprio nome sugere, apresenta uma abordagem teórica dos principais temas que embasaram a pesquisa.

O capítulo 3 trata da caracterização da área de estudo, trazendo comentários de ordem política, e de assuntos específicos da pesquisa como geologia, pedologia, clima, relevo, etc.

A metodologia, tema do capítulo número 4, aborda os procedimentos utilizados nas diferentes etapas do processo de mapeamento e da pesquisa como um todo, exibindo com detalhes os mecanismos utilizados para se alcançar cada um dos objetivos especificados no item 1.2 deste capítulo.

O quinto capítulo aborda a apresentação dos resultados, de forma sistemática, porém sem serem feitas análises, que por sua vez aparecem no capítulo seguinte, de número 6.

As conclusões e sugestões estão no capítulo 7, precedendo as referências (capítulo 8).

Por último seguem os anexos, fechando o trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são apresentados os fundamentos teóricos que alavancaram a pesquisa. Foram selecionados dois assuntos básicos para serem abordados, tendo em vista a alta significância dos mesmos para o trabalho. São eles: SIG e mapeamento geotécnico.

2.1. SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Devido a sua grande aplicação e importância na pesquisa, decorrem aqui algumas explicações sobre o tema SIG, conceituações, definições, seu funcionamento e utilidades. Da mesma forma são apresentadas as peculiaridades do *software* usado especificamente nesse trabalho.

2.1.1. Aspectos Introdutórios

Cabe aqui ser realizada a abordagem conceitual a cerca do que exatamente são os SIGs, além de ser apresentado um breve histórico da sua existência.

2.1.1.1. O conceito de SIG

Advindo da tradução do termo GIS (*Geographic Information System*), o conceito de Sistema de Informações Geográficas – SIG – vem sendo amplamente difundido e aplicado no meio científico e também em setores do mercado que o utilizam para os diversos fins.

Buscando facilitar o contato entre feições gráficas e dados, possibilitando uma comunicação ágil e inteligente entre os mesmos, os programas computacionais do tipo SIG se inserem num contexto extremamente importante para vários ramos da ciência e tecnologia.

Segundo Silva (1999), a definição de SIG é um enorme desafio devido a uma série de razões básicas. Primeiramente vem o fato de ser uma tecnologia recente e ao crescimento teórico e tecnológico da teoria da comunicação nos últimos 30 anos; em seguida reside o fato de que a orientação comercial da utilização do SIG gerou figuras de linguagem que engrandecem ou diminuem a realidade dos fatos; outro fator é o crescimento vertiginoso de sistemas computacionais que suportam os SIGs, que gerou figuras de retórica e neologismos. O aumento do número de consultores em SIG provocou o aparecimento de informações conflitantes. A diversidade do uso dos SIGs possibilitou que grupos muito heterogêneos formulassem conceitos. Dessa forma a definição de SIG também tem sido dificultada pelo debate acadêmico.

Sendo assim, pode-se encontrar uma vasta gama de definições. Algumas são apresentadas a seguir.

Goodchild (1985): “define um SIG como um sistema de informação que utiliza uma base de dados espaciais para responder questões de natureza geográfica”.

Cowen (1988): “uma abordagem de suporte à decisão, no qual são utilizados dados georreferenciados integrados em um sistema de referência comum”.

Hanigan (1988): “um sistema que contém dados espacialmente referenciados que podem ser analisados e convertidos em informações para uso em conjunto específico de finalidades. A característica principal de um SIG é analisar dados para gerar novas informações”.

Burrough (1989): “uma visão de *tool-box*, como um conjunto de ferramentas para a coleta, armazenamento, recuperação, transformação, exibição e representação de dados geográficos do mundo real para um conjunto particular de propósitos”

Aronoff (1989): “qualquer conjunto de procedimentos manual ou computacional usado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados”.

Carter (1989): “uma entidade, refletindo uma estrutura organizacional que integra a tecnologia com um banco de dados, especialista e em contínuo suporte financeiro”.

Star e Estes (1990): “um sistema que surgiu como um meio de reunir e analisar diversos dados espaciais”.

Esri (1992): “um conjunto organizado de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal, destinados a eficientemente obter, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informação geograficamente referenciadas”.

Barros Silva (1999): “os SIGs necessitam usar o meio digital, portanto o uso intensivo da informática é imprescindível; deve existir uma base de dados integrada; estes dados precisam estar georreferenciados e com controle de erro; devem conter funções de análises destes dados que variem de álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão, etc.) até álgebra não cumulativa (operações lógicas)”.

De maneira geral, pode-se notar que as definições giram em torno da correlação, ou vinculação de dados espaciais com outros dados, que são associados aos anteriores de modo sistemático, organizado, e que a partir daí os programas de SIG têm a capacidade de analisar e gerar novas informações, de acordo com o objetivo do usuário. Nota-se, portanto, a propriedade dos SIGs em permitir estudos que envolvam uma grande gama de informações, sejam elas espaciais, numéricas ou temporais, de forma ágil e rápida.

Dentre as aplicações de um programa computacional desse gênero, várias podem ser citadas, porém, no presente trabalho, o objetivo sempre esteve em utilizar seu potencial no que tange à relação cartografia, armazenamento e análise de dados.

2.1.1.2. Um breve histórico dos SIGs

Muito embora os processos e procedimentos de ordem cartográfica e até mesmo aquisição e composição de bancos de dados possuem registros milenares. A aparição de um SIG, conforme reza sua própria definição, só foi realmente registrada no século passado, com o advento da tecnologia computacional.

A pedra fundamental dos SIGs foi consolidada por Tomlinson, em 1962, tendo sido aceito somente em 1965 como o primeiro SIG da era contemporânea. Segundo Tomlinson (1988), este primeiro Sistema de Informações Geográficas denominado Sistema de Informações Geográficas Canadenses (*Canadian Geographic Information System - CGIS*) foi projetado para atender a mais de uma aplicação específica. Embora sua principal aplicação tenha sido o armazenamento de mapas em formato digital que apresentavam os atributos representativos do uso da terra para todo o Canadá, o CGIS possuía a capacidade de armazenar e recuperar dados, reclassificar os atributos, mudar a escala de apresentação, oferecer operações de superposição de polígonos, apresentar relatórios estatísticos, dentre outras funções que o classificaram realmente como um SIG.

A partir daí, também na década de 60, começaram a surgir inúmeros outros SIGs, como o de MCharg (1969), em seu trabalho *Design with Nature*, formalizou o conceito do uso em estudo de aptidão do uso das terras e a capacidade analítica do SIG. O sistema por ele concebido permitia combinar e comparar tipos de dados, os mais variados, de maneira a produzir saídas gráficas, como mapas, que serviam de suporte para planejamento global.

A década de 80 serviu para a definitiva incorporação dos SIGs nos diversos setores da sociedade. Isso foi resultado de vários fatores, podendo ser citados a inclusão dos produtos derivados do processamento digital de imagens de satélite (iniciados na década de 70), e principalmente a evolução tecnológica da informática. O surgimento dos *plotters* e do *scanner*, além de mais potentes computadores caíram como uma luva para esse ramo da pesquisa.

Assim sendo, no final da década de 80 e início dos anos 90, a arquitetura dos sistemas, os periféricos e aplicativos ligados em rede proporcionaram, com o passar dos anos, um aumento crescente da integração do usuário com os SIGs, facilitando o uso dos aplicativos.

Nos últimos anos, o que se tem feito é que esses programas se tornem mais amigáveis e consigam abranger cada vez mais funções. Atualmente muitos já possuem uma infinidade de ferramentas cartográficas, ferramentas de interpolações e estimativas, edições e compatibilidade com as mais diversas extensões de arquivos. Além disso, possuem programação para trabalhos em três dimensões (3D) e geram arquivos de plotagem de alta definição.

Hoje em dia, esses programas se apresentam de tal forma que podem ser utilizados pelos mais diversos campos da ciência. Bastos (1996) ao tratar do universo de aplicações de um SIG, engloba cinco áreas principais, conforme segue :

a. Ocupação Humana:

- Planejamento e gerenciamento urbano: redes de infra-estrutura, como de água, de luz, de esgoto, telecomunicações e cadastramento territorial;
- Saúde e educação: rede hospitalar e de ensino, saneamento básico e controle epidemiológico;
- Transporte: supervisão das malhas viárias, controle de tráfego, sistemas de informações turísticas;
- Segurança: controle do espaço aéreo, marítimo e terrestre, controle de tráfego, cartografia náutica;

b. Uso da Terra: Planejamento agropecuário; classificação de solos e vegetação; gerenciamento de bacias hidrográficas; planejamento de barragens; levantamento topográfico e planimétrico; mapeamento do uso do terreno;

- c. Uso dos Recursos Naturais: controle do uso do extrativismo vegetal, mineral, gerenciamento dos recursos hídricos, gerenciamento costeiro;
- d. Meio Ambiente: controle de queimadas; gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento;
- e. Atividades Econômicas: planejamento de pesquisas sócio-econômicas; distribuição de produtos e serviços; transporte de matéria-prima e insumos.

2.1.2. *Conceitos que Fundamentam a Utilização de um SIG*

O processo básico da montagem de um projeto ou trabalho num SIG compreende em várias etapas a serem avançadas a fim de que o processo gere um produto sólido e confiável. Por tratar-se de um meio exclusivamente informatizado, os dados devem ser capturados de forma tal que sejam compatíveis com o ambiente, ou seja, devem ser digitais. O dado digital pode ser de 4 (quatro) tipos : textuais, numéricos, vetoriais e matriciais (ou *raster*). Esse dado muitas vezes deve ser gerado a partir de dados analógicos, e isso pode ser feito de algumas maneiras diferentes.

Nos próximos itens apresentam-se os variados tipos de dados digitais, precedidos de um breve relato de como eles podem ser obtidos. Por fim tem-se a apresentação do conceito de topologia, que é de suma importância na organização e processamento dos dados.

Boa parte do conteúdo que segue está conforme apresentado por Silva (1999), em seu livro “Sistemas de Informações Geo-referenciadas”, que embasou impetuosamente a pesquisa.

2.1.2.1. Dados Digitais – Obtenção

O SIG exige, para seu funcionamento, dados exclusivamente digitais. Muitas vezes o que dispomos são dados analógicos (que resumidamente podemos dizer que são os que se armazenam em papel). Entra aí o processo de captura de dados a fim de torná-los digitais. Esse processo é realizado de diversas maneiras e vem evoluindo bastante com o avanço tecnológico.

A digitalização de dados poder ser realizada utilizando-se duas ferramentas básicas componentes de um computador, o teclado e o *mouse*. No primeiro caso temos a digitação, e no segundo a digitalização. Ambos os processos possuem um alto potencial de geração de erros. Esse potencial deve ser controlado ao máximo afim de não comprometer o produto gerado. No caso da

digitação, os erros estão mais voltados ao operador, que pode estar desatento ou cansado, cometendo, portanto, erros na transferência dos dados do papel para o computador. No caso da digitalização, além do operador, outros causadores devem ser mencionados, dependendo ainda, se a digitalização é realizada diretamente a partir do papel (através de uma mesa digitalizadora) ou a partir da imagem do mapa escaneado.

Independente da maneira com que é realizada a digitalização, também conhecida como vetorização, os erros inerentes aos processos devem ser reduzidos o máximo possível. Como esses processos sempre partem de um mapa em papel, é imprescindível que este esteja em boas condições de uso, sem dobras relevantes, rasgos ou qualquer deformação. Para isso, tais documentos devem ser armazenados de forma adequada e serem constituídos de materiais pouco deformáveis. A partir daí, o manuseio deste na mesa digitalizadora ou no *Scanner*, conforme o caso, se fazem fundamentais para o sucesso da operação.

Com o papel posicionado na mesa digitalizadora ou com a imagem do mapa escaneado na tela do computador, o que se faz é “desenhar” ou copiar as feições existentes no mapa, através de um programa de desenho, de maneira vetorial. É muito importante a captura de pontos de controle para o georreferenciamento do desenho.

2.1.2.2. Dado Digital Vetorial

De uma maneira geral, pode-se dizer que o dado vetorial é a representação gráfica do mundo real através de coordenadas. Dessa forma, a unidade fundamental do dado vetorial é o par de coordenadas X e Y.

Os dados vetoriais se fazem presentes sobre três formas básicas: as entidades pontuais, lineares e poligonais. Os primeiros são armazenados de forma a comporem um único par de coordenadas, X e Y. As entidades lineares, por essência, são compostas por retas, podendo, portanto, ser representadas (ou armazenadas) por dois pares de coordenadas. No caso das poligonais (ou polígonos), pode-se dizer que são entidades formadas por um conjunto de entidades lineares, cujos pares de coordenadas inicial e final são os mesmos.

Para o último caso, as poligonais podem ser estruturadas de diferentes formatos. Três deles serão comentados a seguir. São eles: modelo total, modelo topológico e modelo espaguete. Diferentes programas podem adotar de maneira intrínseca um desses modelos, mas o importante é que o *software* represente o que o usuário deseja, de maneira clara e eficiente conforme o objetivo.

O modelo total é a forma mais simples de estruturação. Cada polígono é codificado em coordenadas X e Y, não mantendo as relações matemáticas entre os objetos. Não há mecanismos explícitos para referenciar polígonos que estejam adjacentes. Os arquivos gerados em programas do tipo CADD pertencem a esta categoria. A ilustração que segue (figura 01) busca representar a situação.

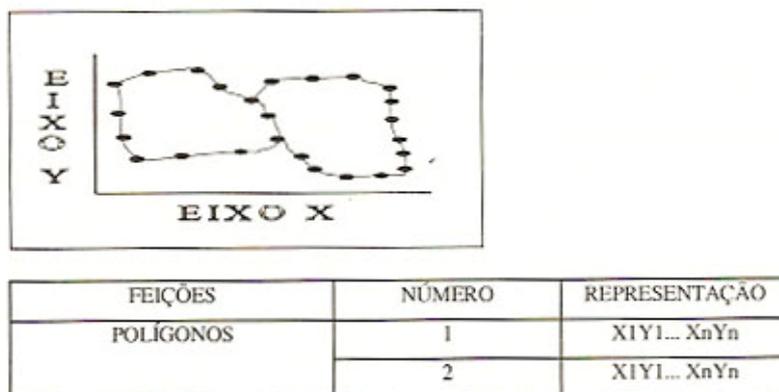
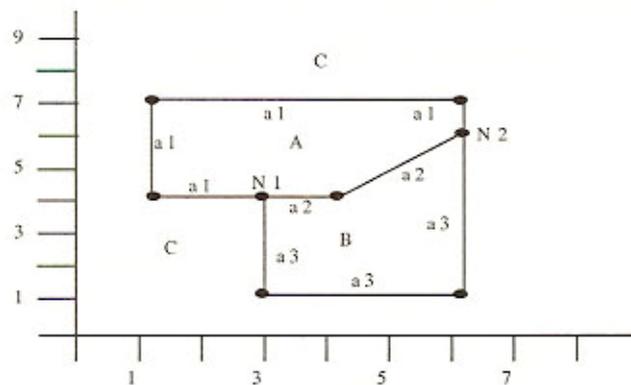


FIGURA 01 – Estruturação de polígono segundo Modelo Total, retirado de SILVA (1999).

O modelo topológico apresenta uma estrutura compacta. Seus elementos são divididos em arcos/linhas. O início, o término ou o encontro de arcos são denominados nós e as relações matemáticas entre os objetos são mantidas. Constitui-se um dos modelos mais comuns de representação de dados vetoriais. As relações matemáticas entre os objetos são registradas em tabelas (ver figura 02), uma para áreas, outra para arcos e outra para nós. Em uma quarta tabela encontram-se registradas as coordenadas. Os arcos que definem os limites de cada polígono são codificados, por convenção, no sentido horário.



POLÍGONO	ARCOS
A	A1, a2
B	A2, a3

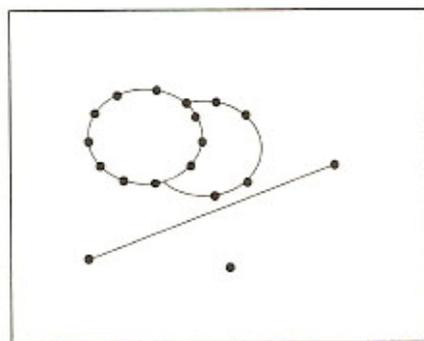
NÓ	ARCO
N1	a1, a2
N2	a1, a3

ARCO	NÓ INICIAL	NÓ FINAL	POL. ESQ.	POL. DIR.
a1	N1	N2	C	C
a2	N2	N1	A	B
a3	N2	N1	C	C

COORDENADAS DOS ARCOS			
ARCO	INÍCIO x, y	PONTO INTERMEDIÁRIO	FINAL x, y
a1	3,4	2,3; 2,5; 5,5; 5,4	6,7
a2	3,4	4,3; 5,4	5,4
a3	3,4	5,1; 3,1; 3,3	5,4

FIGURA 02 – Estruturação de polígono segundo Modelo Topológico, retirado de SILVA (1999).

Por último tem-se o modelo espaguete, que embora seja de fácil entendimento e de boa adequação para a representação de mapas, apresenta dados redundantes, uma vez que as linhas comuns a dois polígonos são armazenadas duas vezes e as relações espaciais entre elas não são arquivadas. Essencialmente, os dados espaciais coletados correspondem a uma coleção de coordenadas sem estruturas inerentes. Embora as feições espaciais sejam registradas, as relações espaciais entre elas não são codificadas. A figura 03 busca retratar a modelagem.



Tipo de dado: ponto (x, y)

linha $(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots x_n, y_n)$

polígonos $(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots x_n, y_n)$

$(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots x_n, y_n; w_1, z_1; w_2, z_2; \dots w_n, z_n)$

FIGURA 03 – Estruturação de polígono segundo Modelo Espaguete, retirado de SILVA (1999).

De maneira geral pode-se afirmar que existem vantagens e desvantagens em se utilizar este ou aquele modelo. As três modelagens apresentadas, e outras existentes (como a DIME – *Dual Independent Map Encoding* - e a DLG - *Digital Line Graphs*) podem ou não satisfazerem as exigências e expectativas, cabe ao usuário a escolha.

2.1.2.3. Dado Digital Textual

O dado textual tem caráter descritivo e em forma de texto, conforme o próprio nome sugere, correspondendo a fatos descritos sem qualquer interpretação. A partir do momento que esses dados textuais sofrem uma interpretação são geradas informações, e, portanto, não se tratam mais de dados.

Os dados textuais, além de serem capturados através da digitação, conforme já comentado, podem ser adquiridos via *scanner* (muito menos comum), produzindo-se para este caso primeiramente um arquivo raster, que é varrido por um *software* tipo OCR – *optical character recognition*. Este converte rapidamente o arquivo *raster* em formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), comprimindo bastante os dados. No entanto, o uso do OCR na captura de dados pode ser bastante errático e confuso, dependendo da qualidade do material scannerizado, do software utilizado, dentre outros fatores.

2.1.2.4. Dado Digital Numérico

O dado numérico corresponde a um atributo, categoria ou variável não espacial de determinado fato concernente ao meio físico. Esses dados podem ser subdivididos em: nominal, ordinal, intercalado e dividido.

A variável nominal corresponde ao atributo que, representando um item específico, não necessariamente obedece a uma determinada seqüência, como por exemplo, tipos de solos ou de árvores de uma dada região. Os dados ordinais apresentam-se como listas de classes diretas, com certa ordem inerente. Como exemplo tem-se as classes de rios (primeira, segunda e terceira ordem refletem os diferentes afluentes que contribuem para a formação do rio principal).

O dado ou variável intercalada representa um determinado intervalo natural que tem um significado particular, ou seja, a diferença entre 10°C e 20°C é a mesma que entre 90°C e 100°C, porém sua representatividade física é diferente. Os dados divididos têm as mesmas características que os dados intercalados, acrescentando-se que, por definição, eles têm uma origem inicial, que é o ponto zero, renda *per capita*, a fração de peso do material retido em uma peneira com determinada malha, a precipitação anual de chuvas. A grande maioria dos dados que faz parte de um SIG é do tipo nominal ou ordinal.

2.1.2.5. Dado Digital Raster ou Matricial

O dado *raster* ou matricial refere-se à representação gráfica do mundo real através de pixels (*picture element*) ou células, com forma poligonal regular, geralmente quadradas, que são definidos pelas suas posições em relação às colunas e linhas de uma malha. Resumidamente pode-se dizer que se tratam de imagens ou figuras, digitais, que possuem uma estruturação matricial intrínseca que tem como representação a sua imagem. Da mesma forma que os pares de coordenadas (x,y) exibem seus vetores, as matrizes exibem suas imagens.

Exemplos típicos de dados *raster* são matriz de elevação, classes de uso dos solos, dados geológicos, geofísicos, geoquímicos e toda a espécie de dados produzida por *scanners* multiespectrais.

Essa variedade de dados é estruturada em modelos bem mais simples e de forma mais compacta que os dados vetoriais. As estruturas mais comuns são: código de cadeias, *run-length encoding* (RLE), *value point encoding* (VPE) e os modelos hierárquicos (destaques para *quadtree* e blocos máximos). Buscando compreender a diferença entre estas estruturas, será feita aqui a apresentação da figura 04, que representa uma matriz de 8 linhas e 8 colunas, na qual estão codificadas três feições do mundo real, representadas pelas categorias 1, 2 e 3, que podem ser armazenadas em um arquivo contendo 64 unidades de bytes.

1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	3	3	2
2	2	2	2	2	3	3	2
2	2	2	2	2	2	2	2

FIGURA 04 – Representação matricial de três determinados tipos de solos, retirado de SILVA (1999).

O código de cadeias usa a notação particular, os algarismos 0, 1, 2 e 3 servem como bases representando direções leste, sul, oeste e norte, respectivamente. A partir da linha 1 e coluna 1, no sentido anti-horário, os dados são organizados segundo determinada categoria. Assim, parte da categoria 1 está codificada como: $1^5, 0^3, 3^5, 2^3$. A estruturação em código de cadeias reduziu o tamanho do arquivo em 8 unidades de bytes. A tabela 01 apresenta a estruturação aplicando-se o código de cadeias, neste caso, o total de informações registradas corresponde a 56 unidades de bytes.

TABELA 01 – Codificação em estrutura código de cadeias a partir da figura 04, retirado de SILVA (1999).

LINHA	COLUNA	ATRIBUTO	CODIFICAÇÃO
1	1	1	$1^5, 0^3, 3^5, 2^3$
1	4	1	$1^1, 0^1, 3^1, 2^1$
1	6	2	$1^5, 0^3, 3^5, 2^3$
3	4	2	$1^6, 0^2, 3^6, 2^2$
6	1	2	$1^3, 0^3, 3^3, 2^3$
6	6	3	$1^1, 0^1, 3^1, 2^1$
8	6	2	$1^0, 0^2, 3^0, 2^0$
8	8	2	$1^3, 0^0, 3^0, 2^0$

O RLE por sua vez, baseia-se no princípio em que *pixels* adjacentes tendo o mesmo atributo são combinados juntos, como uma tira, representada por uma par de novos números. Cada nova linha

inicia uma nova tira. O número de bits usados para RLE é dependente do número de colunas. Assim, uma imagem com 1024 colunas precisa de 10 bits para as tiras, que podem chegar até o comprimento de 2^{10} bytes. Novamente tomando-se a imagem da Figura 04 como referência, a codificação RLE seria: linha 1: (5, 1); linha 2: (5, 1), (3, 2); linha 3: (3, 2), (5, 2); linha 4: (3, 1), (5, 2); linha 5: (3, 1), (5, 2); linha 6: (5, 2), (2, 3), (1, 2); linha 7: (5, 2), (2, 3), (1, 2); linha 8: (8, 2). A codificação RLE diminui sensivelmente o tamanho dos arquivos.

O VPE codifica os dados a partir da linha 1 e coluna 1, continuamente, associando o atributo ao número de *pixels*. A cada mudança de atributo tem-se um determinado número de *pixels*. Voltando à Figura 04, a codificação VPE fica conforme segue: coluna 1, linha 1 5(1); 2(8); 1(13); 2(16); 1(19); 2(24); 1(27); 2(32); 1(35); 2(45); 3(47); 2(53); 3(55); 2(64).

O princípio fundamental do *quadtree* é a divisão do dado *raster* a partir de múltiplos polígonos regulares (quadrados). Assim, o primeiro quadrado, que compreende toda a matriz, contém 3 categorias (conforme ilustra a figura 05). Este é dividido em sucessivos quadrados, até a unidade fundamental, que é o *pixel*. O conceito que determina o número de quadrados é que em cada quadrado deve ser encontrada sempre a mesma categoria. Ainda na figura 5, de maneira esquemática, é apresentada uma representação em *quadtree*, na qual pode-se perceber a divisão em vários polígonos regulares (quadrados) de diferentes tamanhos. Assim, o maior quadrado envolve 4 *pixels* possuindo as categorias 1 e 2. A categoria 3 está presente e um *quadtree*, possuindo somente um *pixel*.

1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	3	3	2
2	2	2	2	2	3	3	2
2	2	2	2	2	2	2	2

FIGURA 05 – Representação gráfica da codificação de dados raster em estrutura *Quadtree*, retirado de Silva (1999).

Por fim, o modelo de Blocos Máximos é uma variante do *quadtree*, cujo objetivo é eliminar possíveis redundâncias. A matriz é subdividida em polígonos regulares, não necessariamente quadrados, e cada polígono contém um único atributo.

2.1.2.6. Conceito de Topologia

Os detalhes das conexões entre os objetos espaciais, como por exemplo, as informações sobre quais são as áreas limitadas por segmentos e suas posições relativas, são agrupados como relações topológicas (SILVA, 1999).

Topologia nada mais é do que a relação espacial entre feições (arcos, nós, polígonos e pontos) unidas ou adjacentes. Por exemplo, a topologia de um arco considera os seus nós de início e final e seus lados direito e esquerdo. Relações topológicas são as construções de elementos complexos a partir de elementos simples, por exemplo: pontos (elementos simples), arcos (conjuntos de pontos conectados), áreas (conjuntos de arcos conectados), estrada ou rota (conjunto de partes que são arcos ou partes de arcos). Dados repetidos são eliminados, devido a um arco poder representar uma feição linear, parte de um limite de uma área, ou ambos.

A topologia é importante em Sistemas de Informações Geográficas porque muitas operações em análises espaciais não necessitam de coordenadas, apenas de informações topológicas. Por exemplo, para encontrar o melhor caminho entre dois pontos, é necessária uma lista de arcos que conectam um ponto ao outro e o custo para transpor cada arco em cada direção. As coordenadas são necessárias apenas para o desenho do caminho após ele ser calculado (ARCVIEW GIS, 1996).

2.1.2.7. Banco de Dados

O objetivo fundamental dos bancos de dados (BD) é prover uma visão abstrata dos dados escondendo do usuário os detalhes de como os dados são armazenados e mantidos, que por ventura não lhe são interessantes (SILVA, 1999).

Um sistema de banco de dados consiste em uma coleção de dados inter-relacionados e uma coleção de programas para prover o acesso a estes dados. Devido ao grande volume de dados envolvidos em uma determinada operação, os sistemas de banco de dados foram concebidos com o objetivo de gerenciar tais quantidades de informação.

Sistema Gerenciador de Banco de dados (SGDB) é o *software* responsável pelo gerenciamento dos dados no banco de dados. O objetivo principal de um SGDB é prover um ambiente que seja adequado e eficiente para uso na recuperação e armazenamento de informações.

2.1.3. O SIG ArcView GIS 3.1

O *ArcView* é um produto da ESRI (*Earth System Research Institute*), que baseia-se no princípio de conectar ou associar dados das mais variadas origens, com feições gráficas importadas de outros *softwares* ou criadas neste ambiente. Desta forma, o *ArcView* trabalha com uma lógica que a princípio pode parecer complexa, mas que na prática pode ser considerada simples. Segundo Duarte (1999), a integração das informações espaciais é referente à utilização do programa de SIG, tendo em vista sua capacidade de armazenar os dados geotécnicos da localidade, processar os dados geográficos, gerar novas informações e possibilitar a visualização dos resultados. O autor detalha a estruturação do programa através de um simples fluxograma que segue (figura 06).

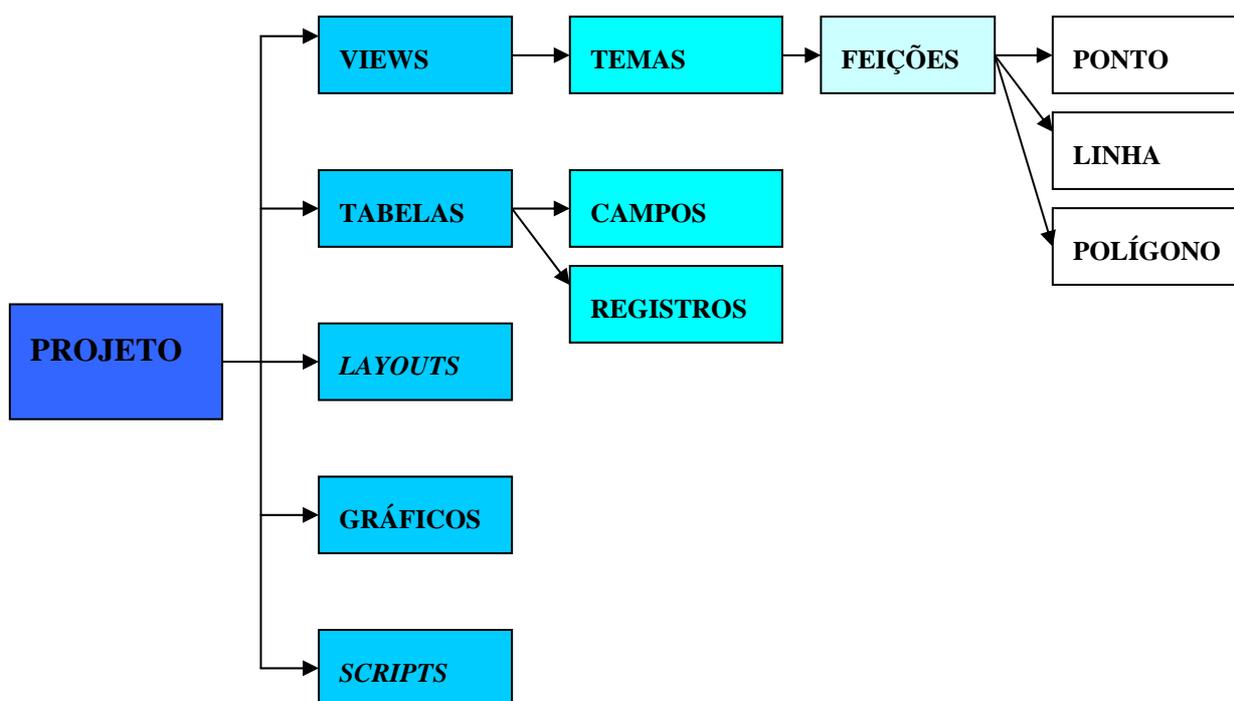


FIGURA 06 – Estruturação de organização das informações no *Arcview*, retirado de Duarte (1999).

No tratamento de dados altimétricos do Município de Brusque, o *software* também foi utilizado na sua versão 3D e *Spatial Analyst*, já que tinha-se dados em três dimensões.

Buscando retratar algumas partes da estruturação exibida anteriormente, segue um exemplo de aplicação do programa, que foi realizado no presente trabalho. O mapa geológico foi trazido ao SIG a partir de um ambiente CAD, e adicionado numa *view* sob a forma de um tema (uma *view* pode conter vários temas) contendo feições do tipo polígono. Esse mapa, ao ser adicionado,

gerou uma tabela, contendo campos (colunas) e registros (linhas). Nesse caso um campo correspondia à área, por exemplo, e os registros apresentavam as áreas de cada um deles. Após um longo processo, descrito no Capítulo 4, esse mapa apresentava-se pronto para impressão, necessitando a confecção de um *layout*. Esse Sistema de Informações Geográficas tem a propriedade de criar saídas gráficas de maneira bastante simples e rápida, juntamente com um processo dinâmico de fabricação e com atualização automática do *layout*, evitando boa parte dos trabalhos de edição para plotagens.

Além disso, há a possibilidade de geração de gráficos, baseados em informações inseridas ou geradas pelo programa, como as áreas no exemplo anterior. Já os *scripts* servem para que um arquivo de outro programa possa ser visualizado dentro do *ArcView*, como por exemplo uma planilha do *Excel* ou um desenho do *AutoCad*.

2.2. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

O mapeamento geotécnico tem se mostrado uma ferramenta multidisciplinar bastante útil no gerenciamento de grandes áreas. A seguir são apresentados, além de uma breve introdução ao mapeamento geotécnico, exemplos de mapeamentos realizados, segundo outras linhas de pesquisa. Por último, é realizada uma explanação sobre a metodologia de mapeamento empregada na presente pesquisa.

2.2.1. Aspectos Introdutórios

Este item busca apresentar, de maneira sucinta, além de suas definições e conceituações, um breve relato da história dos mapeamentos para fins geotécnicos.

2.2.1.1. Conceito de Mapeamento Geotécnico

Muitos autores já se propuseram resumir em poucas palavras o significado do termo mapeamento geotécnico. Muitas dessas definições possuem a influência da metodologia ou da proposta do trabalho do autor ou órgão de pesquisa, podendo um mapa geotécnico se apenas um mapa que separa solos moles dos restantes, até um complexo mapa digital formado a partir de informações multidisciplinares, e associado a um sólido banco de dados geotécnico.

O mapeamento geotécnico, ou a cartografia geotécnica, é definido, segundo a UNESCO (1976), como um tipo de mapa geológico que representa todos os componentes de significância para o

planejamento do uso do solo e para projetos, construções e manutenção quando aplicados à Engenharia Civil e à Engenharia de Minas.

Prandini *et al.* (1992) define a cartografia geotécnica como sendo uma ferramenta de aplicação do conhecimento, que congrega métodos e técnicas numa investigação que procura estabelecer unidades territoriais homogêneas, quanto a problemas manifestos ou potenciais, além de formular orientações técnicas para a ocupação de cada uma destas unidades. Trata-se de um trabalho multi e interdisciplinar, que envolve geologia de engenharia, pedologia, engenharia civil, arquitetura e urbanismo, climatologia e outros.

Outro conceito clássico de mapa geotécnico é o da IAEG (1976), que considera que o mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente.

Santos (1997) propõe que o mapa geotécnico é um instrumento de gestão territorial, à medida que estabelece o zoneamento do solo com características das unidades diferenciadas segundo critérios do meio físico, que deverão ser observadas com tratamento específico para seu uso, visando evitar problemas da ocupação inadequada.

Mapeamento geotécnico refere-se ao conjunto de procedimentos necessários para elaboração da carta ou mapa geotécnico, definidos por Zuquette (1987) como o processo que tem por finalidade básica levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os atributos que compõe o ambiente físico. O autor ainda comenta que as informações devem ser tratadas através de processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser relacionadas, correlacionadas, interpretadas e ao final, representadas em mapas, cartas e anexos descritivos.

De forma geral, o que se percebe é que os autores concordam que o produto gerado pelo mapeamento geotécnico deve ter aplicação direta à ocupação do meio físico, buscando levantar potenciais e problemáticas inerentes à exploração de cada variedade geotécnica, de forma a não agredir o meio ambiente. Para isso, trabalhos multidisciplinares são sugeridos, e são adaptados às suas finalidades.

2.2.1.2. Um Breve Histórico do Mapeamento Geotécnico

Segundo Zuquette e Nakazawa (1998), o mapeamento geotécnico teve início por volta de 1913 com a publicação dos primeiros documentos gráficos de Langen na Alemanha.

Caballero (1973) menciona que as primeiras cartas geotécnicas de que se tem registro são as cartas de caracterização geotécnica da cidade de New York, nos Estados Unidos da América (EUA), em 1902, elaboradas com base em dados de 1.400 sondagens.

Segundo Bastos (2005), embora tenha se iniciado na América, foi na Europa que a cartografia geotécnica teve um grande avanço, especialmente após a segunda guerra. Antes desse conflito alguns trabalhos se destacaram como a exposição técnica da construção de Leipzig na Alemanha em 1913, onde foram apresentados os planos de construção de cidades alemãs; um pouco depois, nas décadas de 20 e 30. Na Rússia, as investigações geotécnicas de caráter regional resultaram no primeiro mapa geotécnico do país. Após a segunda guerra, complementa o autor, visando a reconstrução das cidades assoladas, surgiram muitos estudos geotécnicos, sendo citados alguns a seguir:

- Caracterização geotécnica das cidades de Stuttgart, Ulm e Göttingen, década de 50;
- Desenvolvimento dos estudos geotécnicos no leste europeu, com a planificação territorial da Rússia, 1950;
- Planejamento urbano e territorial da Tchecoslováquia, 1947;
- Desenvolvimento de obras e a ocupação regional na Polônia, 1961;
- A planificação territorial da Hungria, 1961, entre outros.

A partir daí, inúmeros trabalhos e sistemáticas foram surgindo, com propostas metodológicas cada vez mais apuradas e completas.

No Brasil, segundo Higashi (2002), a história do mapeamento geotécnico, apesar de tratar-se apenas de um mapa geológico, inicia-se em 1907 com o primeiro documento de geologia aplicada as obras de engenharia, que se referia ao prolongamento da estrada de ferro Nordeste do Brasil. A partir destas pesquisas, pioneiras no mapeamento geotécnico, outros pesquisadores

desenvolveram metodologias diversas para tentar mapear, compreender e mensurar o comportamento geomecânico dos solos.

Na década de 1960 e 70, surgem trabalhos mais consistentes, baseados em metodologias estrangeiras. A década de 80 foi marcada pelo surgimento de metodologias brasileiras, como a do IPT, a da Escola de Engenharia de São Carlos, e a desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a partir do trabalho de Davison Dias (1987).

Na década de 90 e até os dias atuais, o momento é de discussão, aprimoramento, consolidação e divulgação de trabalhos. Surgem simpósio e congressos específicos da área. O desafio ainda é de se conscientizar as instituições governamentais da importância desses produtos e adota-los como ferramenta para o gerenciamento de cidades.

2.2.2. Algumas Metodologias de Mapeamento Existentes no Brasil

No Brasil existem muitos trabalhos a respeito de mapeamento geotécnico, realizados desde a década de 60. Esses trabalhos aplicaram diferentes metodologias e sistemáticas para a elaboração de cartas geotécnicas. Dentre as metodologias existentes, três delas serão abordadas de maneira bastante sucinta. No item 2.2.3, é realizada uma apresentação mais detalhada a cerca da metodologia aplicada neste trabalho.

2.2.2.1. Metodologia do IPT

O método do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) foi desenvolvido na década de 1980, baseado em trabalhos realizados nas encostas dos morros de Santos e São Vicente, no litoral paulista, a partir de situações específicas de problemas do meio físico.

As cartas geotécnicas, segundo essa metodologia, objetivam: prever o desempenho da interação entre o meio físico e uso e ocupação e estabelecer técnicas de prevenção e correção dos problemas, possivelmente encontrados nas áreas de estudo (PRANDINI *et al*, 1980). Essa metodologia classifica as cartas nos seguintes grupos: cartas geotécnicas propriamente ditas, quando mostram as limitações e potencialidades dos terrenos e definem diretrizes para ocupação; cartas de risco, quando verificam a potencialidade do risco geotécnico (erosão, inundação, escorregamento).

2.2.2.2. Metodologia da EESC-USP

Método desenvolvido com base nos trabalhos realizados na elaboração do mapeamento geotécnico, especialmente no estado de São Paulo, pelo grupo de pesquisadores do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), também nos idos da década de 80.

O princípio básico desta metodologia compreende numa análise do meio físico (rocha, solo, água e relevo), como fundamento para implementar as diversas formas de ocupação. Por ser uma metodologia bastante abrangente, ela tem como princípio o procedimento global do processo, desde a obtenção dos atributos até a elaboração das cartas específicas aos usuários, assim como a relação de todas as regras cartográficas e de conteúdo (ZUQUETE, 1987 e ZUQUETE e NAKAZAWA, 1998).

2.2.2.3. Metodologia do Instituto de Geociências da UFRJ

A metodologia de mapeamento geotécnico do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), conforme Barroso (1989), trata aspectos variáveis de acordo com a escala do mapeamento, que é função dos objetivos a alcançar. De maneira geral, as unidades são agrupadas em dois setores geológico-geomorfológicos: as áreas de baixada e as encostas. Para as áreas de baixada são utilizadas principalmente informações de levantamentos pedológicos e para as áreas elevadas os perfis de solos são a base para a definição das unidades geotécnicas.

2.2.3. Metodologia Empregada no Sul do Brasil (Davison Dias, 1995)

O principal fator que leva os pesquisadores a desenvolverem novos métodos de trabalho está na possibilidade da obtenção de um produto final de maior qualidade e acima de tudo, que represente o mais fielmente a realidade na qual ele está inserido. Isso tanto é fato que cada vez mais e mais surgem metodologias desenvolvidas exclusivamente para determinadas regiões, ou para determinadas situações, que se não se fizerem presentes acarretam em resultados sem grande valor.

Não obstante a isso, a partir da necessidade de melhor caracterizar geotecnicamente grandes áreas, e sem a possibilidade da realização de uma infinidade de ensaios geotécnicos pontuais de forma a caracterizar tais áreas, Davison Dias (1987) implementou uma metodologia adaptada a

realidade dos solos brasileiros, com a finalidade inicial de aplicação para a fundação de linhas de transmissão. Essa metodologia foi definitivamente publicada em Davison Dias (1995).

O Brasil situa-se quase totalmente inserido na porção tropical da Terra. Isso acarreta num clima bastante quente e úmido. Dentre os agentes pedogenéticos conhecidos (clima, relevo, umidade, microorganismos e material de origem), podemos dizer que a realidade brasileira favorece, e bastante, na decomposição das rochas e subsequente formação de solos. Dentro dessa realidade, podemos notar a existência de perfis de solo bastante profundos como resultado da ação desses agentes.

A Pedologia se insere nesse contexto como sendo a ciência que estuda o solo e sua gênese. Casagrande (1948) sugeriu que a pedologia fosse utilizada pelos engenheiros civis para a sistematização do conhecimento dos solos. Os conhecimentos pedológicos de uso agrícola são utilizados, nos Estados Unidos, desde a década de 40 para estudos de grandes áreas. No Brasil, um dos trabalhos mais importantes que divulga a aplicação da classificação pedológica em estudos geotécnicos foi o de Nogami e Villibor (1995) para solos compactados, que aplicam a geologia e a pedologia na engenharia rodoviária. Davison Dias, desde 1985 até hoje, vem estudando o comportamento dos solos tropicais e subtropicais, correlacionando-os com conhecimentos pedológicos. Sabe-se também que o substrato é de fundamental importância como material de origem do solo. Assim sendo, a aplicação dos fundamentos da pedologia e da geologia no estudo da mecânica dos solos, que se desenvolvem em climas tropicais (e também subtropicais), constitui-se num campo fértil de pesquisa, pois o comportamento desses solos guarda relação com sua história de alteração e evolução.

Em poucas palavras, pode-se dizer que a metodologia Davison Dias (1995) avalia o perfil do solo sob duas ópticas, a primeira a partir da superfície, avaliando os horizontes A, B e C (e outros intermediários), interpretando a descrição pedológica com vistas à geotecnia. A segunda, a partir da rocha de origem e subindo até a superfície, avaliando os horizontes rocha, rocha alterada e solo residual, até a camada superficial.

Cabe aqui a ressalva de que o horizonte superficial, que correspondente ao horizonte pedológico A, normalmente é descartado já que não são utilizados nem solicitados na grande maioria das obras de engenharia.

Utilizando-se desta metodologia, vários trabalhos de mapeamento já foram realizados. Higashi (2002), na sua dissertação de mestrado, realizou um estudo para a região norte do Rio Grande do Sul e listou alguns trabalhos que, além do dele mesmo, utilizaram da metodologia em evidência. Segue a listagem.

- Bastos (1991) realizou o mapeamento do município de Porto Alegre e a caracterização geomecânica das unidades geotécnicas dos solos oriundos dos granitos, gnaisses e migmatitos;
- Santos (1997) analisou o uso e ocupação do solo da cidade de Florianópolis com base na Metodologia do Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas (Davison Dias, 1995);
- Abitante (1997), ao focar um trecho do meio oeste catarinense, utilizou a metodologia com a finalidade de avaliar o emprego de solos tropicais em obras rodoviárias;
- Visando a ocupação urbana da bacia da Lagoa da Conceição em Florianópolis - SC, Duarte (1999) empregou a metodologia com o auxílio de um *software* tipo SIG;
- Valente (1999) utilizou, com base em geoprocessamento, a mesma metodologia no mapeamento geotécnico de Porto Alegre - RS;
- Silva (2000) utilizou a metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas para o mapeamento da Bacia do Itacorubi em Florianópolis - SC, adicionando ao seu mapa digital resultados de sondagens SPT para melhor caracterização do solo.

Além destes, alguns outros valem ser lembrados:

- Silva (2002) elaborou um banco de dados geotécnico da área urbana de Novo Hamburgo/RS, em seu trabalho de mestrado, onde utilizou além de um SIG como estruturador do trabalho, a geoestatística como ferramenta de análise dos resultados.
- Higashi (2002) utilizou um SIG para o desenvolvimento de um banco de dados geotécnico do norte do estado do rio grande do sul, que já havia sido mapeado utilizando a metodologia utilizada no sul do Brasil, porém de forma analógica.
- Higashi (2006), onde foi implementada uma metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG, com base no comportamento geotécnico e

ambiental. Neste trabalho, Higashi busca ressaltar peculiaridades e inovações desta metodologia, com o enfoque a áreas litorâneas.

O procedimento adotado em tais trabalhos, além de se basear em Pedologia e a Geologia, leva em consideração ainda outros fatores. Dentre eles pode-se citar a geomorfologia, a hidrografia, o zoneamento de uso dos solos, dentre outros que podem se fazer úteis. Estes dados, juntamente com saídas a campo e a realização ou obtenção de dados de ensaios geotécnicos (de campo e/ou laboratório) compõem a base para a realização de um trabalho de mapeamento geotécnico. O trabalho de campo surge como ferramenta para a verificação das unidades e confirmação dos limites nos mapas, retirada de amostras para estudo, em laboratório, das propriedades geotécnicas e coleta de resultados de ensaios de campo realizados na área.

A metodologia sugere o cruzamento dos mapas geológico e pedológico para a definição preliminar das unidades geotécnicas, juntamente com uma avaliação conjunta de outros fatores do meio físico, conforme citados anteriormente. A figura 07 busca retratar a metodologia.

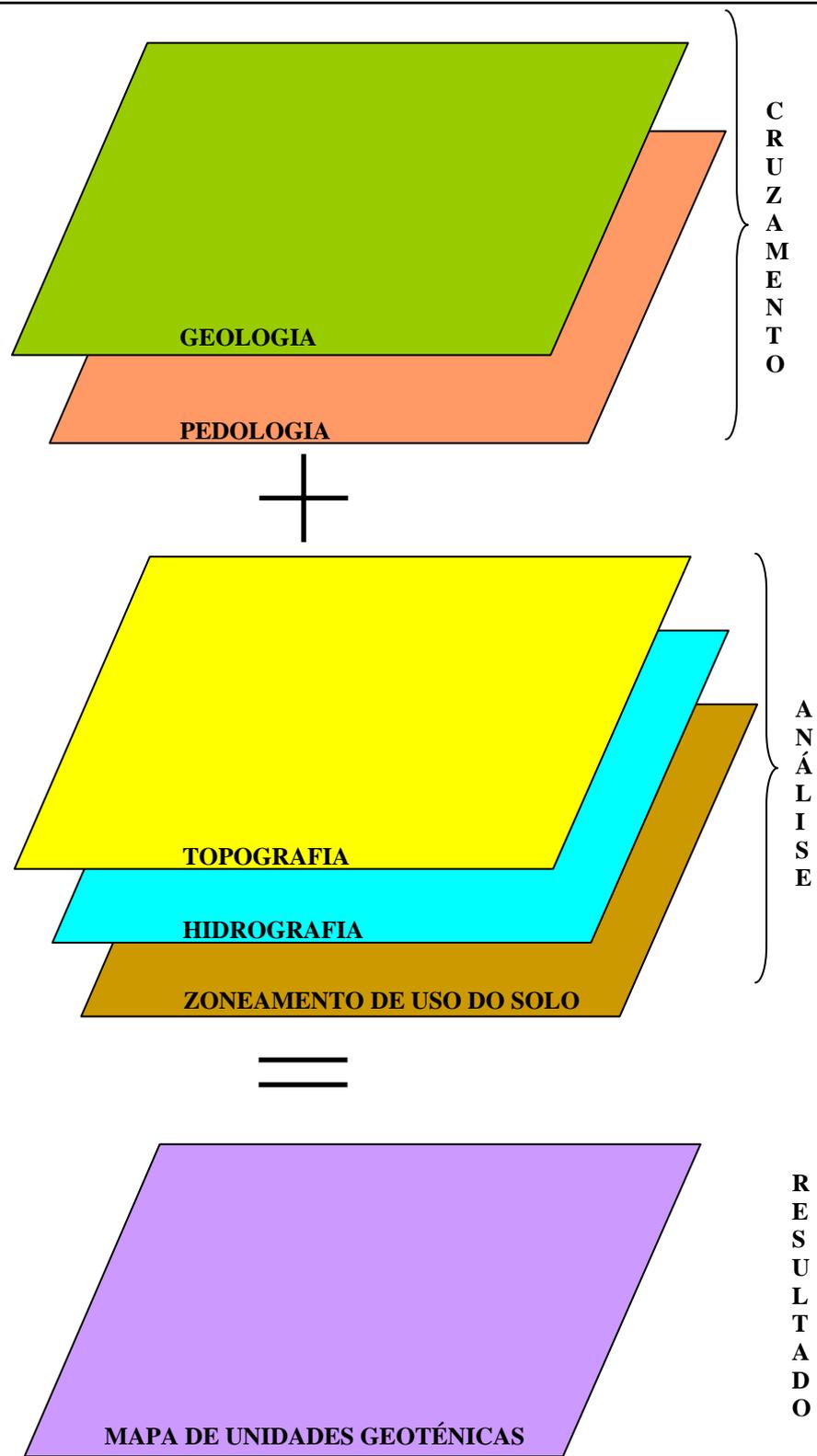


FIGURA 07 – Princípio básico da metodologia de mapeamento adotada

Obviamente, que esse resultado obtido deve ser avaliado frente a realização de saídas à campo e dados de ensaios geotécnicos, conforme já comentado.

A nomenclatura da unidade geotécnica gerada é função também das unidades pedológicas e geológicas de origem. A figura 08 retrata a origem do nome da unidade geotécnica segundo a metodologia em questão.

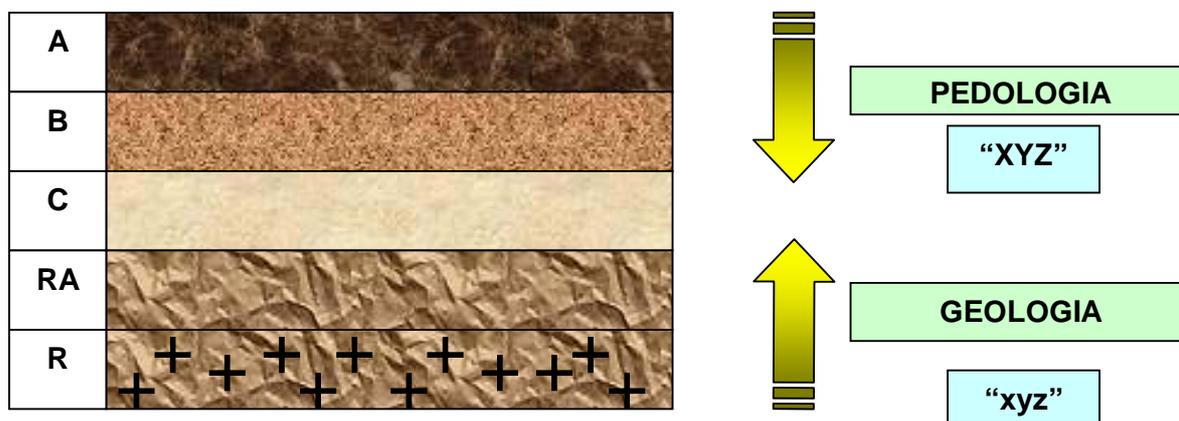


FIGURA 08 – Simbologia de unidades geotécnicas segundo Davison Dias (1995), retirado de Higashi (2002).

Em resumo, a metodologia descrita por DAVISON DIAS (1995), indica o cruzamento dos mapas geológico e pedológico, fazendo-se adaptações destas classificações para o uso na Geotecnia, para a elaboração do mapa de estimativas de unidades geotécnicas. Para as unidades assim determinadas é utilizada a simbologia “XYZ,xyz”. As letras maiúsculas referem-se à classificação pedológica do perfil de solos identificados de acordo com o sistema de classificação de solos. Nas letras minúsculas, o substrato rochoso é identificado de forma simplificada. Na classificação geológica é considerada a rocha dominante na formação. Não havendo uma litologia dominante, todas as mesmas indicadas, separadas por vírgula.

Higashi (2002) comenta que a diferenciação vertical entre os horizontes do solo, que definem o perfil é utilizada como critério principal de classificação e mapeamento do solo. Tal diferenciação é também verificada lateralmente, sendo fundamental considerá-la nos estudos das relações genéticas entre o solo e os demais elementos constituintes do meio natural: o substrato geológico, o relevo, a vegetação, o comportamento hídrico e, assim possibilitar a interpretação de vários processos da dinâmica superficial como erosões, escorregamentos, colapsos, e demais fenômenos do meio físico relacionados com as diferentes formas de interferências da ação humana. Desta forma, os solos, de uma maneira geral, ocorrem compondo unidades ou seções delimitáveis por meio de características morfológicas dos horizontes pedológicos, e características físicas e químicas determinadas através de ensaios em campo ou laboratoriais. A

espessura dos horizontes e a diferenciação vertical e lateral entre estes, são atributos igualmente importantes, utilizados na caracterização, classificação e mapeamento dos solos.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. GENERALIDADES

Ocupando uma área aproximada de 283 km², o Município de Brusque apresenta-se situado na porção Oriental do Estado de Santa Catarina, no Vale do Itajaí. Faz fronteira com os municípios de Gaspar, Guabiruba, Botuverá, Nova Trento, Canelinha, Camboriú e Itajaí.. A figura 09 traz a localização do município, detalhando sua posição e fronteiras.

Situada no chamado Vale Europeu, Brusque é a Capital Catarinense do Turismo de Compras e um dos locais de visitação religiosa mais procurados do Estado. Tem como principais atividades econômicas a indústria, que é a base da economia local, especialmente o setor têxtil e metal-mecânico, juntamente com o comércio de vestuário, cama, mesa e banho O turismo religioso e de compras se destacam na geração de renda da cidade.

O município foi fundado em 04 de agosto de 1860, quando 55 alemães, liderados pelo barão austríaco Maximilian Von Schnéeburg, chegam à região e fundam Itajahy. Em 1881 a colônia torna-se o município de São Luiz Gonzaga e, em 1890, recebe o nome de Brusque. Anos depois chegam os poloneses, trazendo seus teares manuais e inaugurando o ramo das indústrias têxteis, até hoje presentes na cidade e uma das bases da economia local.

O acesso à cidade, para quem vem originário da capital estadual, pode ser dado segundo dois trajetos principais. A rota mais comum sugere seguir-se aproximadamente 90 km no sentido sul-norte, via BR-101 até o trevo de Itajaí, e mais 20 km via SC-486 até Brusque. Outra rota, também bastante praticada, é a que segue de Florianópolis - Tijucas via BR-101, Tijucas - Canelinha - São João Batista via SC-411, São João Batista - Nova Trento (SC-408) e Nova Trento - Brusque pela SC-411. A figura 10 mostrada mais adiante exhibe tais rotas, a partir do Mapa do Estado de Santa Catarina (1997), disponibilizado pela Secretaria do Estado de Desenvolvimento e Integração ao Mercosul, Diretoria de Geografia, Cartografia e Estatística. A primeira rota, via Itajaí, vem grifada em azul, e a segunda, via São João Batista, em verde.

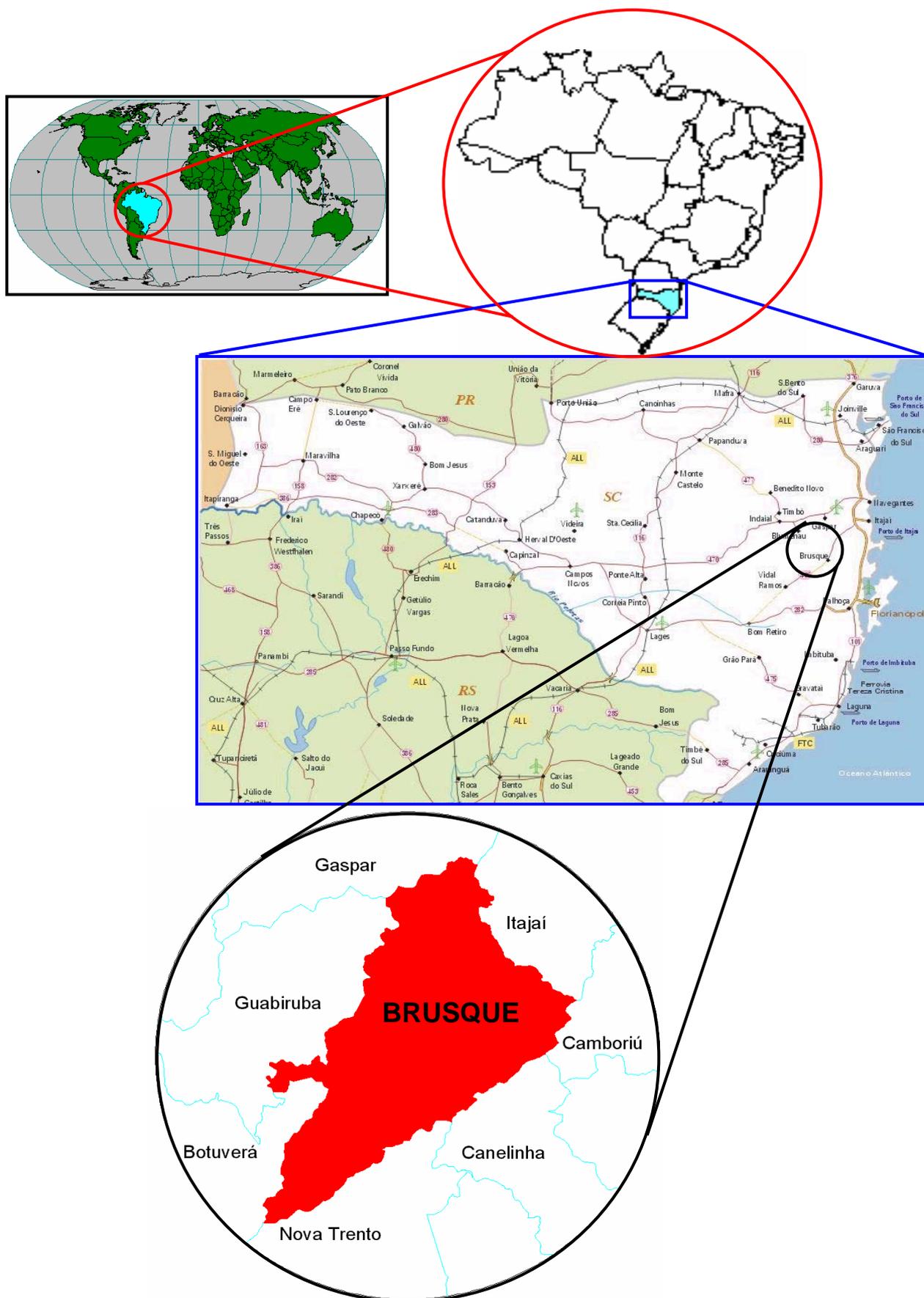


FIGURA 09 – Localização do município.

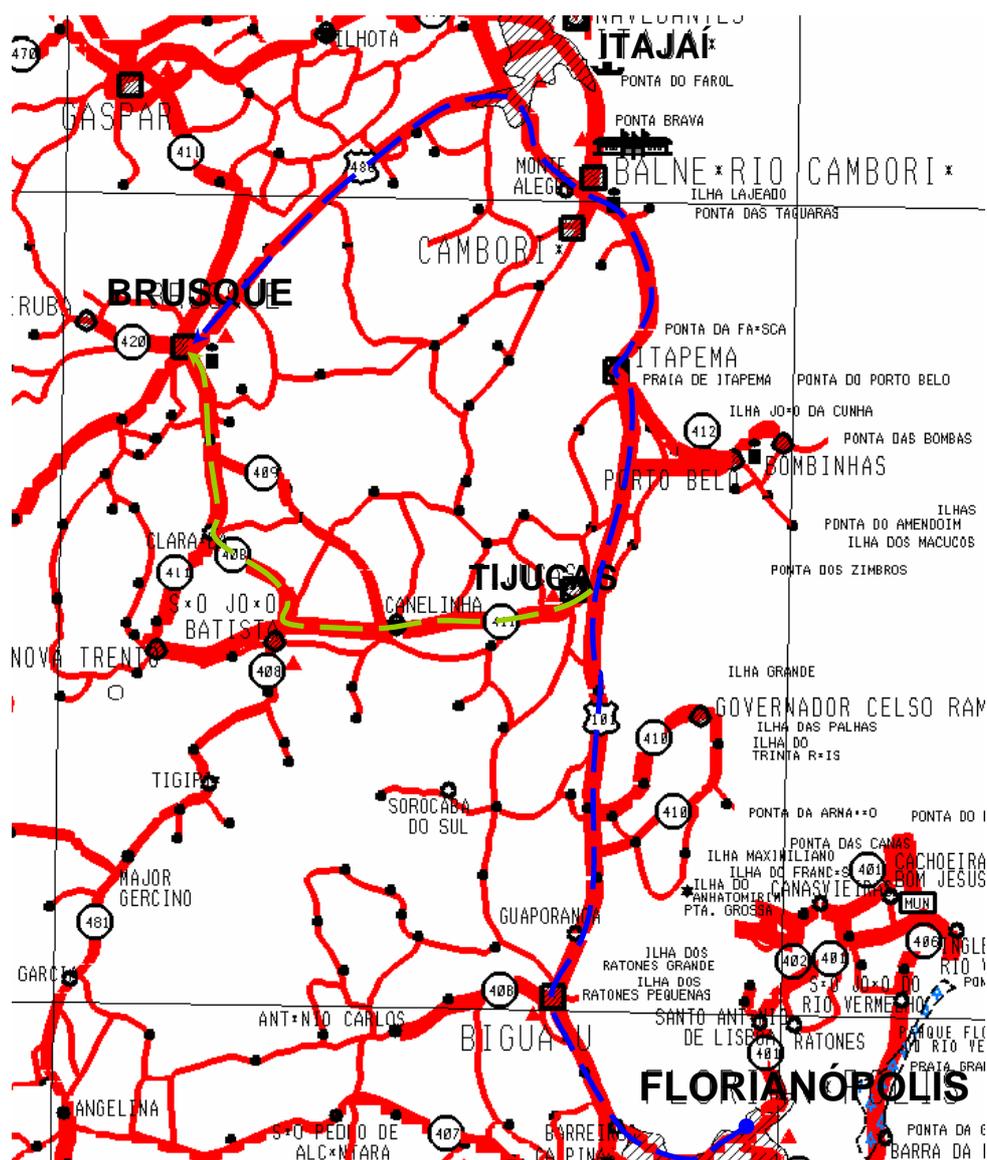


FIGURA 10 - Rotas rodoviárias em relação à capital do estado.

A cidade de Brusque é um importante destino turístico pelas belezas naturais e arquitetônicas, peculiaridades históricas e por seu grande potencial em compras de vestuário e tecidos a pronta entrega, com grande variedade e qualidade a preços diretos de fábrica.

Além do comércio, a cidade apresenta peculiaridades herdadas dos imigrantes alemães, italianos e poloneses. Esta peculiaridade faz com que Brusque apresente características únicas na gastronomia, e arquitetura.

Em relação a sua população, alguns dados disponíveis na página da *Internet* do município são relevantes. Em 1980, Brusque possuía 41.224 habitantes, em 1991 passou para 57.971 com um

crescimento de 40,62%, enquanto Santa Catarina crescia 25,20%; em 1996, o número de habitantes saltou para 66.558 com um índice de crescimento de 14,81% (o 3º maior do Estado), enquanto SC crescia no mesmo período 7,34%. Brusque crescia mais 3% ao ano, o dobro da média nacional. Em 2001, a população aumentou para 75.971, que resulta numa média de 2,8% ao ano, ainda bastante superior à média nacional. Na *home page* do Estado de Santa Catarina, a população citada é de 78.850 pessoas, sem, no entanto, relatar-se o ano do censo. Fontes locais sugerem algo como 85 mil pessoas como um dado mais realista, porém sem origem confiável. Estimativas otimistas prevêem que em 2010, deve-se atingir a marca de 100 mil habitantes.

3.2. RELEVO

De maneira geral, o relevo do município forma um sistema de drenagem baseado em um grande vale, cujas águas vertem para o rio Itajaí Mirim. Próximo ao rio existem áreas de relevo plano, onde encontra-se o centro urbano do município. Nas últimas décadas, a preferência da ocupação para fins residenciais tem sido dada a bairros mais elevados, já que a baixada costuma ser vítima de inundações durante períodos mais chuvosos. Assim sendo, muitos morros vêm sendo ocupados, alterando a paisagem e influenciando na rede de drenagem local. A figura 11 exibe uma foto aérea onde consta parte da cidade, incluindo um trecho do rio principal e do centro urbano. A figura 12 exibe uma imagem de satélite (GOOGLEEARTH, 2006), também utilizado durante a pesquisa. Nesta figura a área circulada corresponde à localização aproximada da foto apresentada na figura 11.



FIGURA 11 - Vista parcial da cidade.

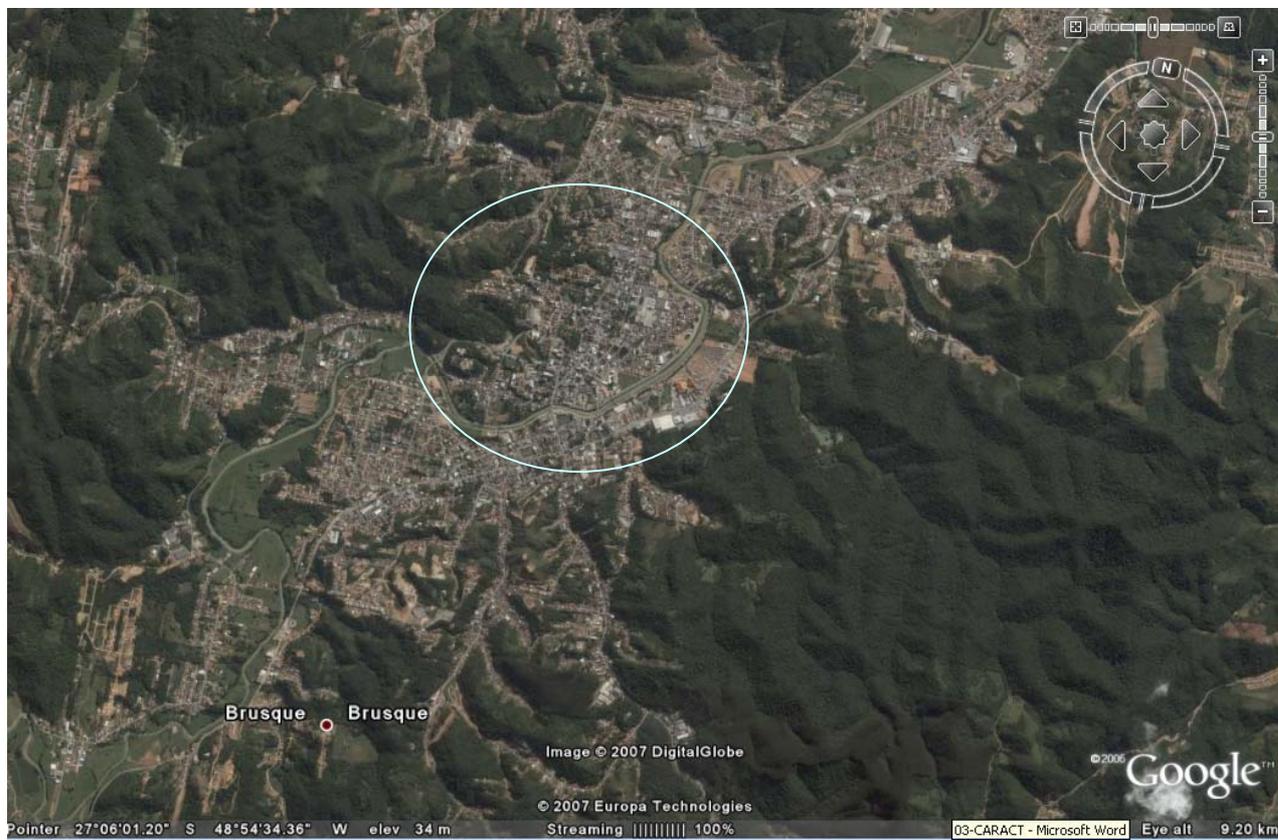


FIGURA 12 - Vista parcial da cidade.

A altitude do município varia desde 20 m acima do nível do mar em algumas baixadas, podendo atingir valores como 940 m de altitude na maior elevação, variando conforme seu relevo. A carta hipsométrica obtida para a região, na escala 1:50.000, apresenta curvas de nível de 20 em 20 metros de altitude.

3.3. CLIMA

O clima mesotérmico predominante em Santa Catarina proporciona temperaturas agradáveis, variando normalmente entre 13 e 25° C. A figura 13 traz o mapa do Brasil, com temperaturas médias anuais, segundo Vianello e Alves (1991), donde se pode estimar o valor para a zona mais a leste do estado, onde se encontra a área de estudo, como pertencendo ao intervalo de 18 a 20°C, que se enquadra bem ao primeiro intervalo sugerido, constante na página da *internet* do Estado de Santa Catarina.

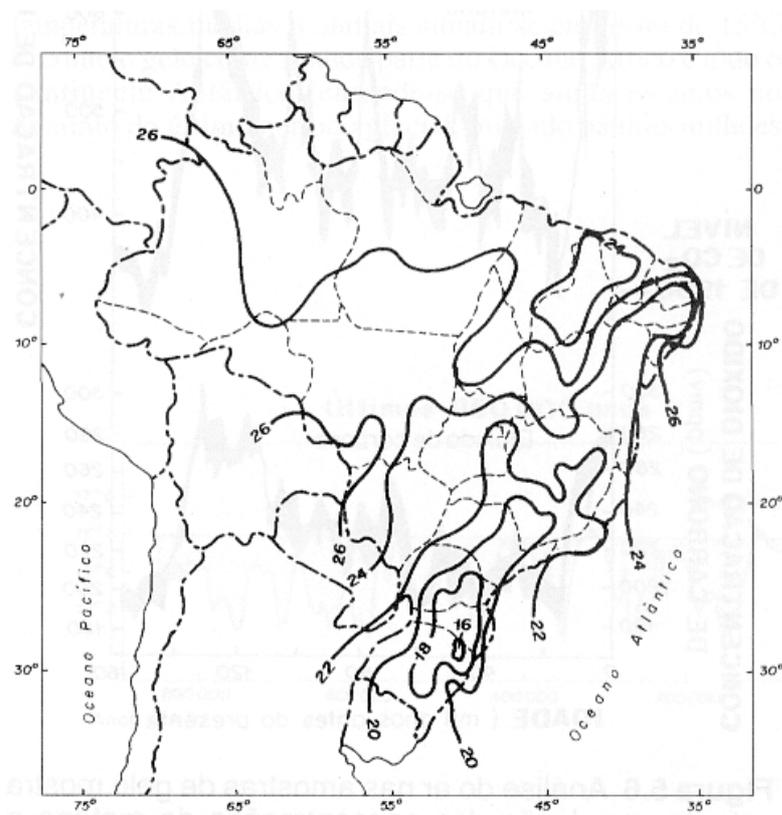


FIGURA 13 - Temperaturas médias anuais no Brasil.

Köppen (1923, 1931), sugeriu uma classificação para determinar regiões climaticamente homogêneas, e Galvão (1966), utilizou-se dessa classificação para definir tais regiões no Brasil. A figura 14 traz o mapa com a classificação adotada.

A classificação para a região sul é do tipo **Cf** (a e b), sugerindo a seguinte descrição :

C: climas temperados quentes, com temperatura média do mês mais frio entre 18 e -3°C ;

f: ausência de estação seca; chuva em todos os meses; a precipitação média do mês mais seco é superior a 60 mm

a: temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C ;

b: temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C e, durante pelo menos quatro meses, é superior a 10°C .

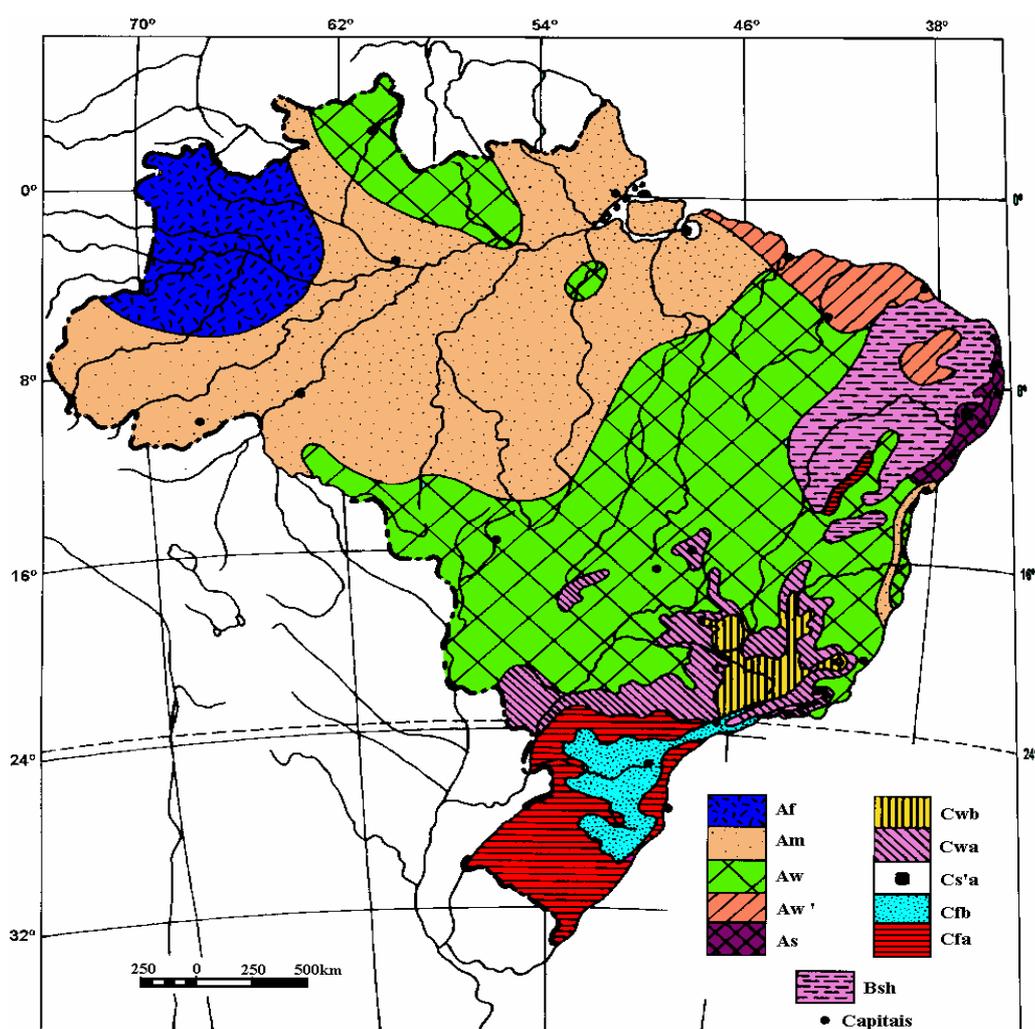


FIGURA 14 - Climas no Brasil segundo Galvão (1966).

Assim, ao contrário da maior parte do território brasileiro, as quatro estações são bem definidas, não apresentando época muito chuvosa nem muito seca. A precipitação total anual pode ser obtida de maneira aproximada do mapa de precipitações anuais, apresentado por Vianello e Alves (1991), que segue como figura 15. Segundo a figura apresentada, um valor razoável fica na faixa dos 1500 mm/ano.

Especificamente no município de Brusque, os verões são quentes e ensolarados, com eventuais pancadas de chuva no final das tardes. Por ser inserida em vale, a cidade sofre com a falta de ventos, dando uma condição de calor intenso e abafado nos dias quentes de verão. Durante o inverno, normalmente a temperatura é agradável, sofrendo quedas rápidas em função do avanço das frentes frias vindas do sul, que alteram rapidamente o clima regional. Nesses dias, as temperaturas podem chegar abaixo dos 10°C, mas raramente atingindo valores negativos. Alguns dias de geada são observados, porém com frequência bastante baixa.

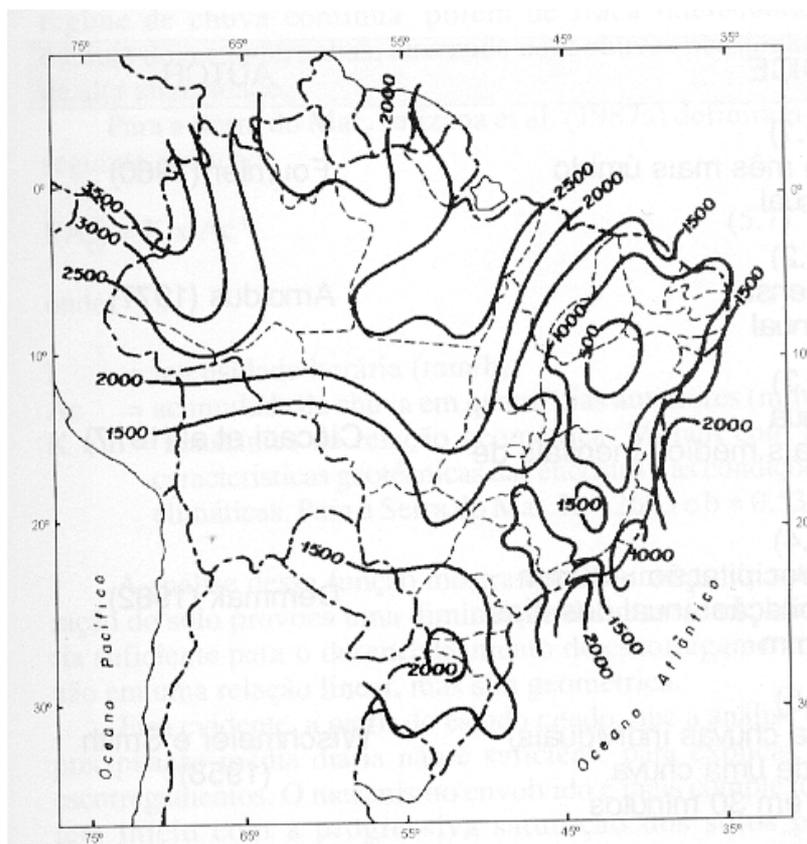


FIGURA 15 - Precipitações totais anuais em mm.

3.4. HIDROGRAFIA

A hidrografia do Estado de Santa Catarina é constituída por dois sistemas independentes, que têm como divisores de águas a Serra Geral e a Serra do Mar. O sistema da vertente do Atlântico é formado por um conjunto de bacias isoladas entre si, onde se destacam os rios Itajaí-Açú, Tubarão, Araranguá, Tijucas e Itapocu. No município de estudo o destaque é dado ao Itajaí-Mirim, que ao se encontrar com o Itajaí-Açú forma o rio Itajaí, que por sua vez deságua no Oceano Atlântico.

O relevo em forma de vale, peculiar do Município de Brusque, acarreta em uma bacia de drenagem única para o município, com todos os afluentes desaguando no principal rio da cidade, o Itajaí-Mirim, que tem seu curso no sentido SW-NE. Uma quantidade enorme de rios e ribeirões se distribuem pela área de estudo, compondo uma rede de drenagem tipicamente dentrítica.

As cartas hidrográficas necessárias para compor a área de estudo são disponibilizadas pelo IBGE. A figura 16 exhibe parte do município e sua hidrografia, onde se pode observar que as fronteiras municipais, por longos trechos, são formados por um divisor de águas.



FIGURA 16 - Hidrografia no município

Muito embora não se tenha uma estação tipicamente chuvosa, a região do Vale do Itajaí é constantemente ameaçada por repentinas enchentes. Isso se deve ao fato do rio Itajaí-Mirim receber, além da contribuição local, a contribuição de outras regiões como Vidal Ramos e Botuverá, que estão a montante. Por esse fato, em períodos de chuvas, existe uma constante preocupação em relação à precipitação incidente na região a montante, pois mesmo cessadas as chuvas em Brusque, o nível no Rio Itajaí-Mirim pode continuar subindo, como consequência de chuvas ocorridas em tal região.

3.5. GEOLOGIA

A geologia é um instrumento de suma importância quando se busca o conhecimento da geotecnica regional de uma determinada área. Este item aborda os estudos realizados com base em materiais disponíveis, frente as premissas apresentadas para a área limitada pelo Município de Brusque - SC.

3.5.1. Aspectos Introdutórios

A carta geológica adotada no presente trabalho tem escala 1:100.000 pertencente ao Sistema de Gerenciamento Costeiro, foi elaborada pela Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico e Integração ao Mercosul (SDE/SC), na sua Diretoria de Geografia, Cartografia e Estatística (DEGE), vinculada à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura (SDA). Como tutor federal tem-se o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através da Diretoria de Geociências (DGC) na Divisão de Geociências do Sul (DIGEO/SUL).

O município apresenta, de acordo com a configuração geológica definida pelo IBGE, um total de cinco variedades de unidades geológicas a serem estudadas.

É válido citar que outras cartas geológicas, precedentes a esta, já haviam sido produzidas e publicadas. Como exemplo tem-se a Carta Brusque do CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), de 1995, na escala 1:50.000, que trata de dividir o mapa em unidades litofaciológicas.

A escolha pelo material proposto pelo IBGE se deu por três motivos relevantes. O primeiro se refere à atualização, já que se trata de um produto bastante recente e ainda não divulgado ao público, tendo sido cedido frente ao compromisso de restringir seu uso para fins acadêmicos. Em segundo lugar, tem-se a praticidade de adquirir as cartas em meio digital e não analógico,

eliminando processos de scannerização, georreferenciamento e digitalização, que consomem muito tempo e podem trazer muitos erros ao produto final. Por último vem a questão da compatibilidade, já que, tanto as cartas geológicas, pedológicas, hipsométricas e política foram obtidas do mesmo órgão público, o que sugere uma uniformidade cartográfica dos produtos.

3.5.2. Unidades Geológicas do Município

Neste item, cada unidade geológica é abordada de forma sistemática, com o intuito de promover uma idéia geral de suas características. São apresentadas, além das descrições pertencentes na própria carta adotada na pesquisa, comparativos com outras da mesma região. O objetivo maior deste item é descrever a litologia predominante em cada variedade geológica presente na carta geológica adotada.

3.5.2.1. Complexo Brusque - Unidade PSb

A unidade PSb, referente ao Complexo Brusque, vem seguida da seguinte descrição na legenda da carta geológica :

Psb: Rochas para-ortometamórficas, de grau metamórfico das fácies xistos verdes inferior e superior.

A carta 1:50.000 da CPRM apresenta uma unidade com cobertura bastante semelhante à unidade PSb em estudo. A seguir, é apresentada a descrição da unidade para fins de comparação :

- PIMbmpa1/mpa2 - SILICLÁSTICA PELÍTICA-ARENOSA : ritmitos pelítico-arenosos, arenosos e pelíticos, carbonosos ou não, bandados, com microgradação, metamorfizados nas fácies xistos verdes inferior (mpa1 - filitos, filitos grafitosos) e xisto-verde superior a anfibólito inferior (mpa2 - micaxistos e quartzo micaxistos granatíferos).

Essa descrição assemelha-se muito a apresentada na carta anterior, sendo esta última mais detalhada. De maneira geral, observa-se a predominância dos filitos e dos xistos, originários da metamorfização das fácies xistos verdes superior e inferior da seqüência básica, sendo incluída a presença das fácies anfibólito inferior que geram xistos com maiores proporções de mica. De maneira geral, observa-se boa concordância entre as descrições. A diferença bastante evidente é a aparição de minerais carbonatados. Estes podem dar origem a materiais como o calcário, que

realmente existem em determinados pontos da macro-região, em especial no município de Botuverá.

O filito é uma rocha metamórfica com coloração em tons de cinza prateado, constituída principalmente por micas e clorita . As micas são principalmente a sericita (que não apresenta ferro na constituição), a fengita (mica muscovita muito fina, portanto branca) e a mica biotita, também conhecida por mica preta, apresentando tons que variam do preto ao verde escuro, devido a presença de ferro e magnésio na sua constituição.

Os minerais micáceos do filito são de pequeno tamanho, portanto não visíveis a olho nu e são responsáveis pelo brilho sedoso da rocha.

A presença ou não de quartzo influencia principalmente na dureza e alterabilidade da rocha, tendo em vista na sua alta resistência ao intemperismo.

A xistosidade é nítida, com textura lepidoblástica, típica dos xistos e filitos, que pela recristalização apresentam os minerais lamelares orientados quase que paralelamente, na direção da xistosidade.

Os xistos são rochas constituídas por grãos visíveis de mica, clorita, talco, anfibólio (tremolita), quartzo e feldspato (em até 20%). A mica pode ser muscovita e biotita, podendo, de acordo com a variedade, ser feita a classificação como muscovita-xisto e biotita-xisto, quando estes forem os minerais mais representativos na constituição. O feldspato, que normalmente se apresenta em pequenas quantidades, possui cores variando do róseo, branco, amarelado e cinza, podendo ser normalmente o feldspato potássico ou o plagioclásio sódico. Ele tende a alterar-se a minerais argilosos, de forma razoavelmente rápida.

Os xistos também apresentam textura lepidoblástica, média a grossa, com xistosidade nítida. Sua distinção para com os filitos se dá pelo tamanho dos grãos, que nos xistos são visíveis. Em relação ao gnaiss, a distinção é feita pela xistosidade, visto que ao ser golpeado com martelo, o xisto parte em lâminas de 1-10mm, enquanto o gnaiss forma placas maiores.

Sendo resultantes do metamorfismo de fraco grau sobre rochas ígneas do tipo basalto-andesito, os xistos verdes se caracterizam pela presença do anfibólio, clorita e plagioclásio sódico (de coloração branca), apresentando pouco ou nenhum quartzo.

O anfibólio apresenta cores variando do preto ao verde muito escuro, o que influencia bastante na coloração da rocha, proporcionando ainda uma alta alterabilidade, formando minerais argilosos e liberando óxidos de ferro (cor avermelhada).

Diferem dos xistos formados pela seqüência argilosa principalmente por apresentarem menos quartzo, mais clorita e anfibólio na sua constituição. Possuem xistosidade nítida, podendo apresentar um bandeamento devido à concentração de clorita-anfibólio em certas bandas e outras ricas em plagioclásio sódico.

3.5.2.2. Suíte Intrusiva Valsungana - Unidade PSv

A legenda da carta do IBGE, no tocante a Suite Intrusiva Valsungana, traz a seguinte descrição:

Psv: Sienogranitos, monzogranitos e granodioritos porfíricos, de granulação comumente grosseira.

O CPRM classifica as rochas graníticas da região como sendo da Suíte Valsungana-Guabiruba, que, por sua vez, é dividida em três unidades de fácies, denominadas por Fácies Guabiruba, Fácies Indaiá e Fácies Valsungana. Na carta geológica, estas diferentes fácies apresentam-se como uma única unidade, apenas com suas siglas diferenciando regionalmente a predominância. Seguem as definições das unidades de fácies que compõem a Suíte Valsungana-Guabiruba do CPRM.

- Fácies Guabiruba: monzogranitos, sienogranitos e granodioritos, equigranulares a inequigranulares, finos a médios, em corpos plutônicos e filoniano γ g.
- Fácies Indaiá: monzogranitos, sienogranitos e granodioritos inequigranulares, porfíricos, médios a grosseiros, em corpos plutônicos periféricos.
- Fácies Valsungana: monzogranitos, sienogranitos e granodioritos, de granulação grosseira, porfíricos, em corpos plutônicos até batolíticos.

Pode-se claramente evidenciar o predomínio dos granitos em todas as descrições apresentadas, não restando dúvidas de que esta seja a litologia predominante da unidade, muito embora se possa ter uma grande variação de textura, forma e outras propriedades.

As variações entre monzogranitos, sienogranitos se devem à proporção relativa entre os feldspatos alcalinos e plagioclásio. No caso dos monzogranitos, essa proporção é praticamente igual. Já os sienogranitos são constituídos essencialmente por feldspatos alcalinos, tendo como acessórios minerais ferromagnesianos.

Os granodioritos são rochas ácidas, assim como os granitos, sendo constituído basicamente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico, comumente apresentando biotita, hornblenda e mais raramente o piroxênio.

Diferentemente da anterior, a unidade Psv traz rochas ígneas, ácidas, que pelo processo de intrusão infiltraram-se por meio dos filitos e xistos vindo a formar essa nova unidade geológica. Os granitos apresentam-se com cores claras variando em tons de róseas, cinza claro e branco, com abundância de fenocristais.

São rochas, conforme citado, intrusivas (ou plutônicas) do tipo abissal, que originam batólitos de dimensões bastante expressivas.

De um modo geral, essas variedades são compostas basicamente por 4 tipos minerais, sendo eles o quartzo, o feldspato alcalino, o plagioclásio e as micas. O arranjo, variedade e pequenas variações de concentração dos minerais componentes acabam por criar as variedades litológicas existentes frente ao processo de recristalização do magma.

Essas rochas têm por características básicas as baixas densidades, baixa alterabilidade frente ao processo de intemperismo e a coloração predominantemente clara, nos tons róseos e brancos, podendo chegar ao cinza.

3.5.2.3. Complexo Canguçu - Unidade PSc

A descrição para esta unidade é dada por:

PSc: Rochas metamórficas de fácies anfíbolito, granulitos e migmatitos com estruturas agmatíticas, estromatíticas e dobradas, e granitóides cogenéticos.

Nesse caso não se obteve a relação desta unidade com a correspondente na carta do CPRM, pelo fato da mesma pertencer a carta Botuverá, que não se apresentou disponível para esse estudo. Assim sendo, para este caso em especial, a litologia decorreu apenas da análise da descrição do

IBGE. Segundo esta análise, muito embora outros materiais tenham sido citados, considera-se o predomínio dos granulitos.

Pelo fato desta unidade geológica compor uma remota área do município, a qual não se teve acesso, os estudos sobre ela foram menos aprofundados, tendo em vista sua pequena relevância frente a problemas geotécnicos quando comparada às unidades em exploração e ocupação.

Os granulitos são as rochas metamórficas da seqüência básica que apresentam o maior grau de metamorfismo, tendo sido gerado em grandes profundidades e em ausência de água, o que acarreta na ausência de materiais micáceos (como a biotita) e anfibólio na sua constituição. Apresentam-se nas cores claras e escuras, com textura granoblástica fina à grosseira, podendo ser ainda porfiroblástica ou nematoblástica. Sua composição mineralógica apresenta 20% ou mais de feldspato, uma fração de piroxênio (hiperstênio), e possibilidade de quartzo e granada. Sua estrutura pode ser maciça ou bandeada, com bandeamento variando de acamado, lenticular ou nebulítico. A orientação dos piroxênios pode exibir uma xistosidade, que nesse tipo de rocha não é sempre evidente. O piroxênio é um mineral de cor variando de preta a cinza muito escuro, sendo a coloração condicionada pela presença de Na, Fe e Mg. Possui brilho vítreo e formas irregulares. Sua alteração produz minerais argilosos, com liberação de óxido de ferro, assim como os anfibólios.

O migmatito é uma rocha mista, de origem gnáissica, composta de uma material hospedeiro metamórfico, com faixas e veios introduzidos de material ígneo quartzo feldspático, como o granito. O anfibolito, por sua vez, é uma rocha metamórfica formada basicamente por anfibólios e plagioclásio.

3.5.2.4. Sedimentos Holocênicos – Unidade QHa

A unidade QHa representa no mapa, segundo a carta geológica do IBGE, a seguinte ocorrência:

QHa: Sedimentos aluvionares, cascalheiras, areias e sedimentos síltico-argilosos.

O CPRM classifica uma unidade abrangendo uma área semelhante a essa como Qal, sendo esta descrita como aluviões e eluviões, areias e cascalhos inconsolidados (depósitos cenozóicos do quaternário).

De uma maneira geral, o que se pode perceber é que ambas as descrições tratam de materiais sedimentares, sendo que a primeira delas traz referência a materiais finos, que potencialmente originam solos moles.

Assim sendo, como litologia para a unidade, definiu-se em classificá-la como sedimentos, variando de cascalho a argila.

3.5.2.5. Sedimentos Pleistocênicos – Unidade QPc

Para esta unidade, tem-se o seguinte:

QPc: Terraços arenosos continentais e aluviões subatuais, sedimentos mal selecionados com horizonte de seixos e calhaus.

Em comparação à segunda carta geológica utilizada, a unidade correspondente é classificada como Qtr, e é descrita como: terraços aluviais, sobretudo areias e cascalhos, pouco litificados.

Percebe-se que se tratam também de sedimentos recentes, porém com a presença mais marcante de materiais mais grosseiros.

3.5.3. Litologia Adotada para Cada Unidade e Resumo da Mineralogia

A tabela a seguir relaciona as geologias com as litologias adotadas para cada uma das unidades.

TABELA 02 - Litologia em função da geologia

Geologia	Litologia Associada	Sigla Adotada
PSb	Filitos e Xistos	f,x
PSgc	Granulitos	gl
PSgv	Granitos	g
QHa	Sedimentos (Cascalho a Argilas)	sq (f)
QPc	Sedimentos (Seixos e Calhaus)	sq (g)

3.5.4. Considerações sobre a Geologia

De maneira geral, a análise da geologia local pode se separada em dois grupos litológicos principais. O primeiro constituído pelas rochas formadoras dos perfis de solos residuais, no caso as unidades PSb (filitos e xistos), PSgc (granulitos) e PSgv (granitos); e a segunda pelos sedimentos do quaternário, formadores de perfis de solos transportados (Qha e QPc).

A geologia classificada como sedimentos quaternários merece uma atenção especial quando analisada sob a ótica da geotecnia, isso porque na verdade não se tratam de perfis rochosos, classificados em grupos em função de origem de rochas, mineralogia, textura, e assim por diante. Essa classificação mostra-se peculiar frente à ocupação humana por ser possível a ocorrência de solos moles, zonas para extração de agregados, nível d'água a pequena profundidade, entre outros.

Já no caso de perfis rochosos, uma série de análises pode ser realizada, conhecendo-se apenas a litologia predominante na unidade geológica. Algumas colocações nesse sentido foram feitas quando da descrição das unidades, nos itens acima, e outras serão apresentadas na análise dos resultados (capítulo 6).

3.6. PEDOLOGIA

Os solos da área de estudo, analisados através da carta pedológica também cedida pelo IBGE, em escala 1:100 000, apresenta três classes pedológicas básicas para a região. O Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), o Cambissolo (C) e o Gleí (G). Com exceção do Gleí, em que o Gd2 é a única unidade existente na pedologia local, as outras classes estão subdivididas em várias unidades de mapeamento. Uma divisão inicial, divide o Podzólico Vermelho-Amarelo em álico (PVa) e distrófico (PVd), o mesmo acontecendo com o Cambissolo, gerando o Ca e o Cd. A partir daí, 18 unidades diferentes se originam dessas quatro últimas, diferenciadas segundo textura, relevo e outras peculiaridades, como por exemplo inclusões típicas de sub-unidades existentes, que não foram mapeadas por terem dimensões menos relevantes, ou apresentarem difícil delimitação. Dessa maneira, segue a listagem das unidades inseridas no município, juntamente com as descrições correspondentes, exatamente como consta no mapa de solos.

1. PVa2: Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, horizonte A moderado, textura média/argilosa e relevo ondulado (inclusão de Cambissolo Álico, Tb, horizonte A moderado textura argilosa);
2. PVa9: Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura média/argilosa e média/muito argilosa + Cambissolo Álico, Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa e relevo montanhoso a forte ondulado;

3. PVa11: Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, horizonte A moderado, textura média/argilosa e média/muito argilosa + Cambissolo Álico, Tb, horizonte A moderado, textura argilosa e muito argilosa relevo ondulado;
4. PVa12: Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, horizonte A moderado, textura média/argilosa e média/muito argilosa + Cambissolo Álico, Tb, horizonte A moderado, textura argilosa e muito argilosa, relevo forte ondulado e ondulado;
5. PVa14: Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, horizonte A moderado, textura média/argilosa + Cambissolo Álico, Tb, horizonte A moderado, textura argilosa e média, relevo forte ondulado e ondulado;
6. PVa16: Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, pouco cascalhento, horizonte A moderado e proeminente, textura média/argilosa + Cambissolo Álico, Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa, pouco cascalhento, relevo montanhoso e forte ondulado;
7. PVD1: Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico e Álico, Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura média argilosa + Cambissolo Distrófico e Álico, Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa, relevo montanhoso e forte ondulado;
8. Ca5: Cambissolo Álico Tb e Ta, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa, fase pedregosa e relevo ondulado;
9. Ca6: Cambissolo Álico Tb e Ta, horizonte A moderado, textura argilosa, fase pedregosa, relevo forte ondulado e ondulado;
10. Ca13: Cambissolo Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa e média, relevo plano e suave ondulado;
11. Ca14: Cambissolo Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa e média, relevo suave ondulado e plano;
12. Ca51: Cambissolo Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura média/argilosa e média/muito argilosa, relevo forte ondulado e ondulado;

13. Ca54: Cambissolo Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura média/argilosa e média/muito argilosa, relevo montanhoso e forte ondulado. (Inclusão de Cambissolo Latossólico Álico, horizonte A moderado e textura argilosa);
14. Ca59: Cambissolo Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa, pouco cascalhenta + Cambissolo Latossólico Álico Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa, relevo montanhoso e forte ondulado;
15. Ca64: Cambissolo Álico Tb, horizonte A moderado, textura argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb, horizonte A moderado, textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa, relevo montanhoso e escarpado;
16. Cd1: Cambissolo Distrófico Tb, horizonte A moderado, textura argilosa e siltosa, relevo suave ondulado;
17. Cd6: Cambissolo Distrófico e Eutrófico Tb, horizonte A moderado, textura argilosa e média + Solos Aluviais Eutróficos, horizonte A moderado, textura indiscriminada, relevo plano e suave ondulado;
18. Gd2: Glei Distrófico e Álico, Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa + Cambissolo Distrófico e Álico, Tb, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa e relevo plano.

Em seguida é apresentada a tabela 03 que resume as descrições e características pedológicas, de forma mais voltada à aplicação ao mapeamento geotécnico.

TABELA 03 – Pedologia do município

NOME	SIGLA	ATIVIDADE DA ARGILA	TEXTURA	ASSOCIAÇÃO	RELEVO
PVa2	PV	Tb	média/argilosa	Cambissolo	ondulado
PVa9	PV	Tb	média argilosa e média/mto argilosa	Cambissolo	montanhoso e forte ond.
PVa11	PV	Tb	média argilosa e média/mto argilosa	Cambissolo	ondulado
PVa12	PV	Tb	média argilosa e média/mto argilosa	Cambissolo	forte ond. e ondulado
PVa14	PV	Tb	média/argilosa	Cambissolo	forte ond. e ondulado
PVa16	PV	Tb	média/argilosa	Cambissolo	montanhoso e forte ond.
PVd1	PV	Tb	média/argilosa	Cambissolo	montanhoso e forte ond.
Ca5	C	Tb e Ta	argilosa (fase pedregosa)	-	ondulado
Ca6	C	Ta e Tb	argilosa (fase pedregosa)	-	forte ond. e ondulado
Ca13	C	Tb	argilosa/média	-	plano e suave ondulado
Ca14	C	Tb	argilosa/média	-	suave ond. e plano
Ca51	C	Tb	argilosa	Podzólico (PVa)	forte ond. e ondulado
Ca54	C	Tb	argilosa	Podzólico + Cambissolo	montanhoso e forte ond.
Ca59	C	Tb	argilosa pouco cascalhenta	Cambissolo	montanhoso e forte ond.
Ca64	C	Tb	argilosa/mto argilosa	Podzólico	montanhoso e escarpado
Cd1	C	Tb	argilosa/siltosa	-	suave ond.
Cd6	C	Tb	argilosa/média	Solos Aluviais	plano e suave ondulado
Gd2	G	Tb	argilosa/média	Cambissolo	plano

4. METODOLOGIA

Este capítulo busca ilustrar os procedimentos e métodos utilizados nas várias etapas do trabalho. O Fluxograma abaixo (figura 17) exhibe a ordem e seqüência das etapas.

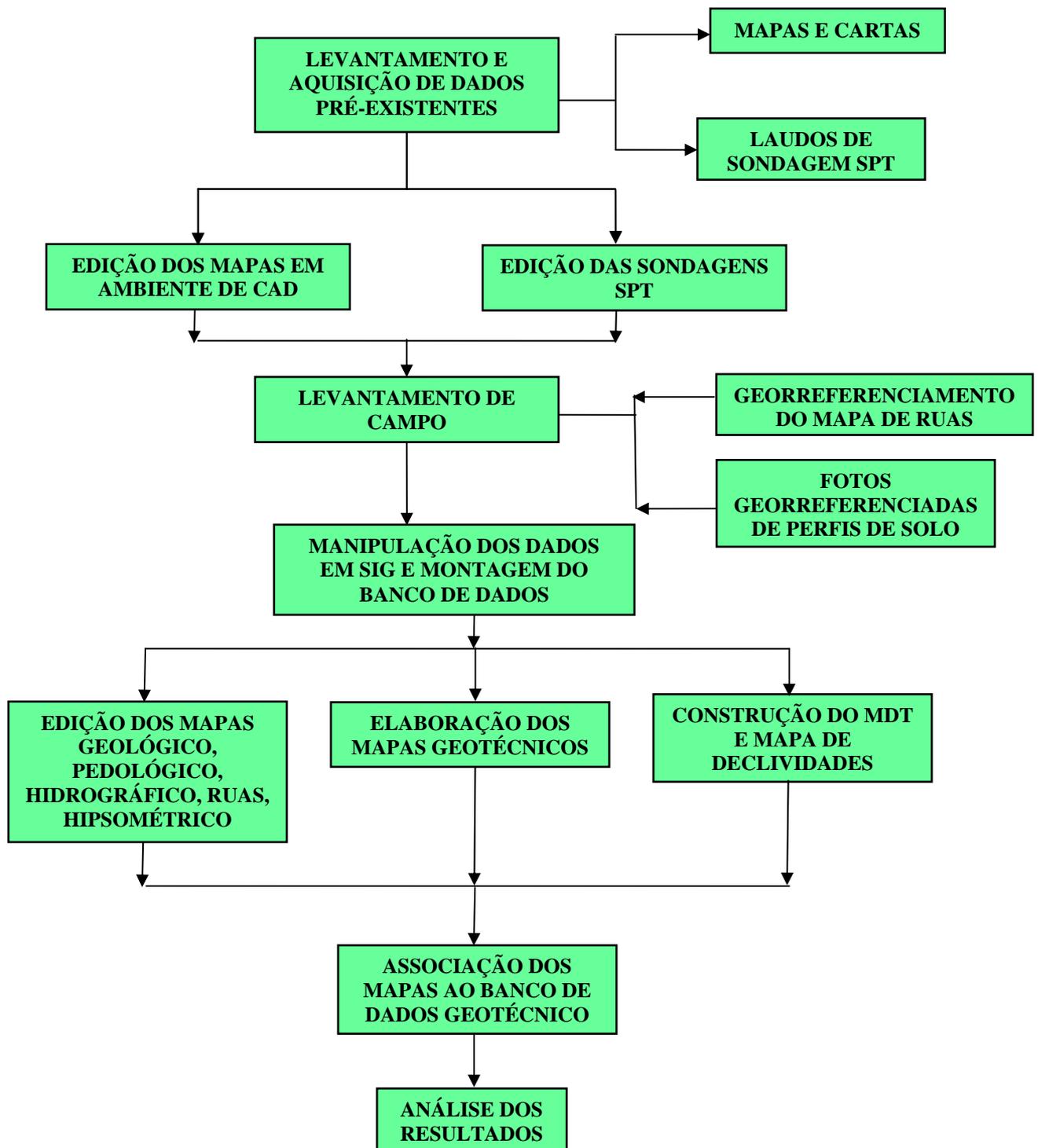


FIGURA 17 - Fluxograma do método de trabalho.

4.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS BÁSICOS

O trabalho baseia-se em dois tipos de dados básicos, a partir dos quais se fundamenta toda a pesquisa. Estes dados são: mapas e sondagens tipo SPT.

4.1.1. Mapas

Uma série de mapas foi levantada, com o propósito de serem utilizados na pesquisa. Após uma análise preliminar selecionaram-se os julgados mais aptos a serem efetivamente utilizados, os outros sendo então aplicados em estudos complementares, como material de referência, consulta e comparação. Essa análise levou em conta alguns critérios, dentre eles podem ser citados o meio disponível (se digital ou analógico), a escala, a facilidade e o custo de aquisição, dentre outros. Esse processo culminou na seleção das seguintes cartas, que vêm citadas juntamente com a sua fonte, modo de obtenção, meio disponível e se foi imposta alguma restrição quanto ao seu uso.

a) Mapa de limites políticos dos municípios do Estado de Santa Catarina:

- Escala 1:500.000;
- Fonte: Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico e Integração ao Mercosul (SDE/SC), Diretoria de Geografia, Cartografia e Estatística (DEGE, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Modo de obtenção: através da Sede do IBGE de Florianópolis;
- Meio disponível: meio digital, arquivo de desenho do *Autocad* (*.dxf);
- Restrição de uso: uso restritamente acadêmico.

b) Cartas Geológicas:

- Escala 1:100.000;
- Fonte: Sistema de Gerenciamento Costeiro, desenvolvida pela Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico e Integração ao Mercosul (SDE/SC), Diretoria de Geografia, Cartografia e Estatística (DEGE), vinculada à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura (SDA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na Diretoria de Geociências (DGC) na Divisão de Geociências do Sul (DIGEO/SUL);

- Modo de obtenção: através da Sede do IBGE de Florianópolis;
 - Meio disponível: meio digital, arquivos de desenho do *Microstation* (*.dgn);
 - Restrição de uso: uso restritamente acadêmico.
- c) Cartas Pedológicas:
- Escala 1:100.000;
 - Fonte: Sistema de Gerenciamento Costeiro, desenvolvida pela Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico e Integração ao Mercosul (SDE/SC), Diretoria de Geografia, Cartografia e Estatística (DEGE), vinculada à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura (SDA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na Diretoria de Geociências (DGC) na Divisão de Geociências do Sul (DIGEO/SUL);
 - Modo de obtenção : através da Sede do IBGE de Florianópolis ;
 - Meio disponível: meio digital, arquivos de desenho do *Microstation* (*.dgn);
 - Restrição de uso: Uso restritamente acadêmico.
- d) Cartas Hipsométricas:
- Escala 1:50.000 (curvas de 20 em 20m de altitude);
 - Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
 - Modo de obtenção: através da *site* na *Internet* do IBGE;
 - Meio disponível: meio digital, arquivos de desenho do *Microstation* (*.dgn);
 - Restrição de uso: nenhuma.
- e) Cartas Hidrográficas
- Escala 1:50.000;
 - Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
 - Modo de obtenção: através da *site* na *Internet* do IBGE;

- Meio disponível: meio digital, arquivos de desenho do *Microstation* (*.dgn);
- Restrição de uso: nenhuma.

f) Mapa de Ruas

- Escala: sem escala;
- Fonte: Prefeitura Municipal de Brusque, Secretaria de Planejamento;
- Modo de obtenção: através da Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Brusque;
- Meio disponível: meio digital, arquivo de desenho do *Autocad* (*.dwg);
- Restrição de uso: nenhuma.

4.1.2. Sondagens SPT

Objetivando caracterizar geotecnicamente a área de estudo, buscou-se adquirir resultados de ensaios que estivessem disponíveis em empresas do ramo. Pelo fato de ser amplamente difundido e realizado, o ensaio de sondagem SPT é o que se obtém dados mais facilmente e em maior número, sendo este, portanto, o que foi pesquisado num primeiro momento. Com essa finalidade, reuniu-se um conjunto de mais de 100 boletins de sondagens, com uma média de quatro furos cada uma, as quais estavam disponíveis somente em papel e para consulta.

A figura 18 exibe a cópia de um boletim de sondagem que foi escaneizado, ilustrando o tipo de dado adquirido.

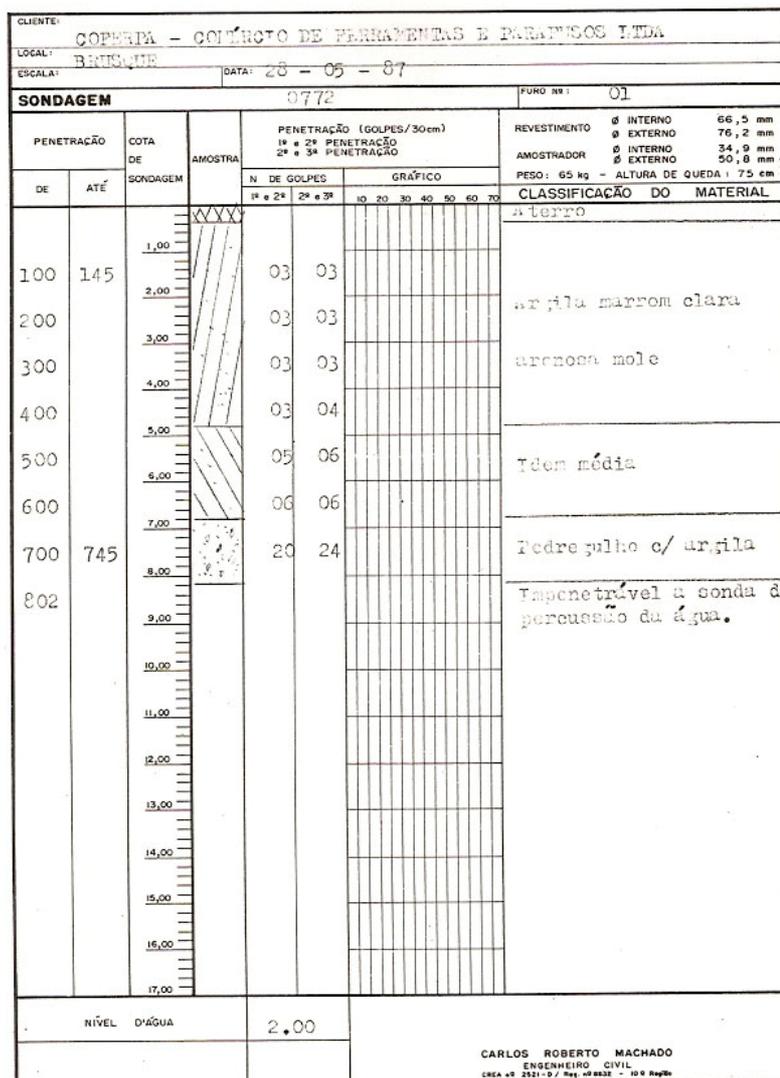


FIGURA 18 - Boletim de sondagem escanerizado.

4.2. EDIÇÃO DOS MAPAS

Este item se faz presente com o intuito de demonstrar o tratamento dado aos mapas obtidos até chegarem ao destino final que é o *software ArcView*.

4.2.1. Limite Político do Município

Buscando limitar exatamente a área de estudo escolhida, uma das primeiras preocupações foi a obtenção do limite municipal, na melhor escala possível. Assim, o mapa político do Estado de Santa Catarina foi a fonte adotada, já que a Secretaria de Planejamento Municipal de Brusque não dispunha de um material cartográfico de qualidade, que apresentasse de maneira confiável as fronteiras municipais. Assim, decidiu-se por utilizar um material de menor escala, porém com confiabilidade incontestável, já que foi estruturado via IBGE.

Dessa maneira, editou-se o mapa de divisões de municípios de Santa Catarina, através do programa *Autocad Map*, isolando-se o polígono contendo o município de Brusque e eliminando-se os restantes, de forma a obter-se um arquivo de desenho contendo somente o polígono que forma o limite do município. Esse arquivo de desenho é muito importante em outras etapas do trabalho, e será resgatado em outros pontos desse capítulo. A figura 19 busca ilustrar as etapas do procedimento descrito.

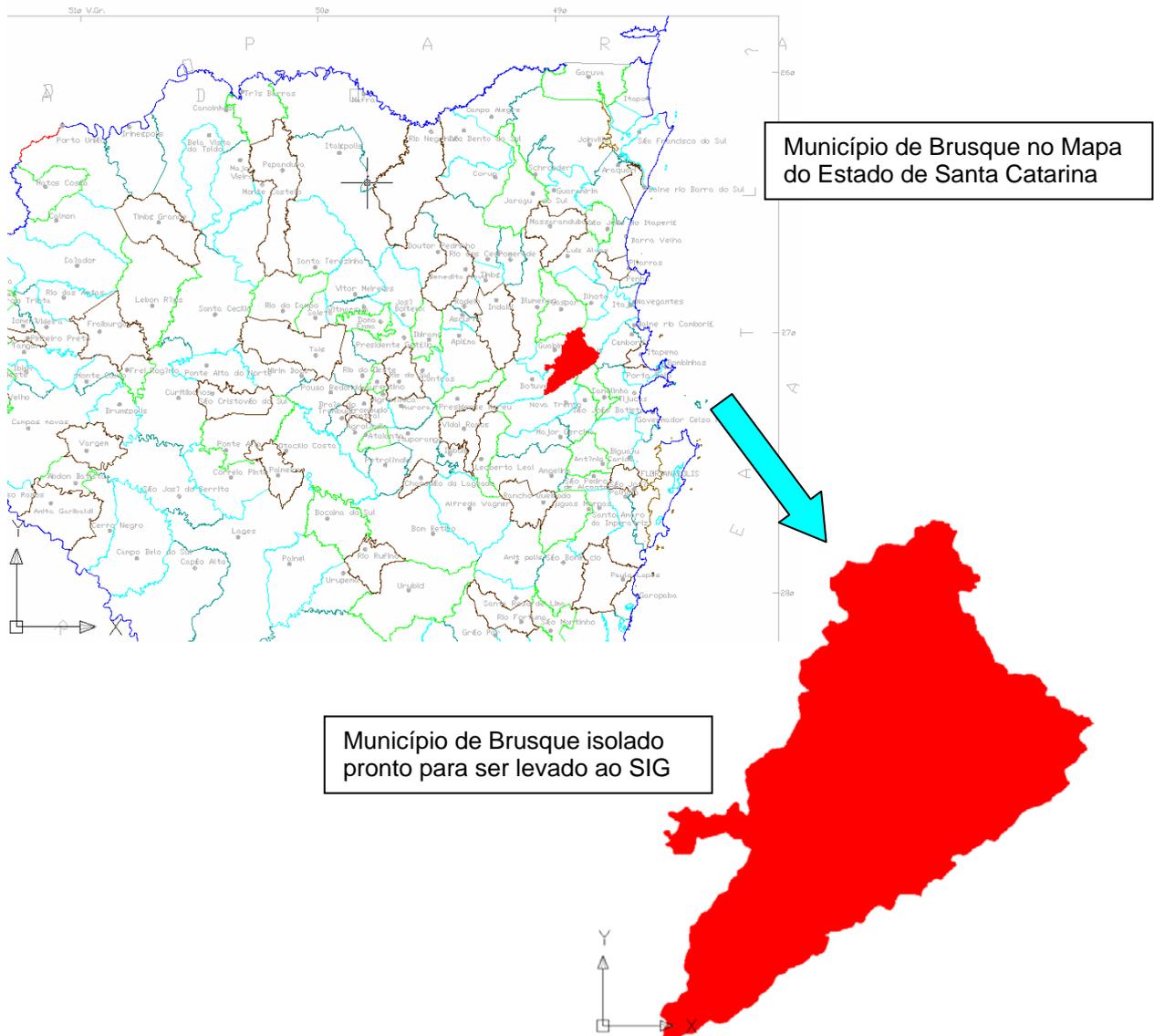


FIGURA 19 - Edição para obtenção do limite do município.

O limite do município tem utilidade restrita como fundo em mapas como o hidrográfico ou hipsométrico, que não possuem preenchimento sólido.

4.2.2. Cartas Geológicas

A área da pesquisa limitada como sendo o Município de Brusque abrange 5 (cinco) cartas, citadas a seguir, juntamente com os códigos de referência adotados pelo órgão de pesquisa : Carta Brusque (SG.22-Z-D-II-1); Carta Gaspar (SG.22-Z-B-V-3); Carta Botuverá (SG.22-Z-D-I-2); Carta Aguti (SG.22-Z-D-I-4) e a Carta São João Batista (SG.22-Z-D-II-3). Os arquivos de *Microstation* obtidos do IBGE agrupam, em cada um deles seis cartas. As cartas citadas estão presentes em dois arquivos de desenho, de maneira que esses tiveram de ser unidos para então serem editados. Esse processo se deu no *Autocad Map*, onde se julgou mais fácil o trabalho de edição. A figura 20 exhibe a posição das cinco cartas frente ao polígono do município, sendo que as duas da esquerda pertencem a um arquivo de desenho, e as três cartas da direita a outro.

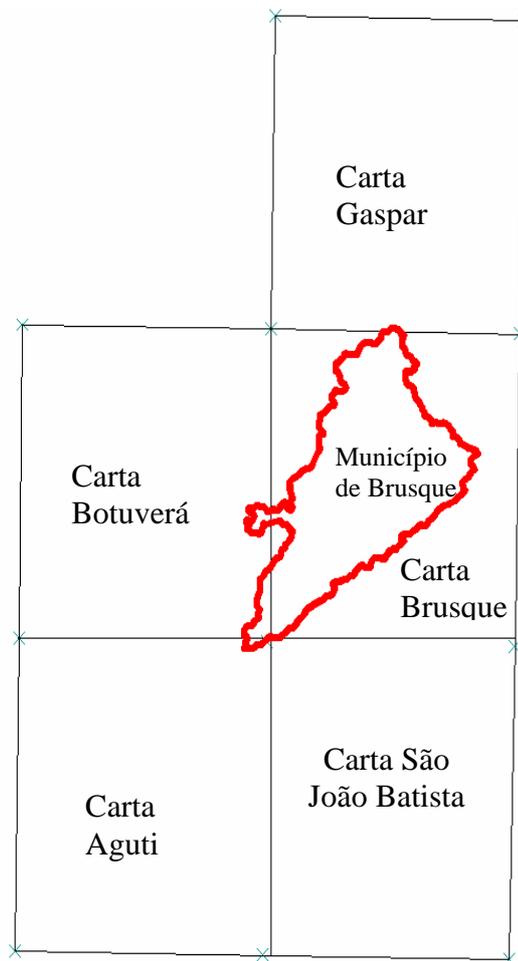


FIGURA 20 - Município de Brusque frente às cinco cartas geológicas.

Após unificados os arquivos de desenho que reúnem as cartas geológicas de interesse, se sobrepôs o polígono do município de Brusque sobre a carta geológica resultante e eliminou-se todas as feições externas à sobreposição, de forma a restar somente as entidades que

interessavam. Esse processo é lento pois muitas linhas e polígonos devem ser cortados exatamente no limite da área de estudo, que constitui uma entidade nova no desenho. A figura 21 exhibe o limite de município sobre o mapa geológico resultante em ambiente de CAD.

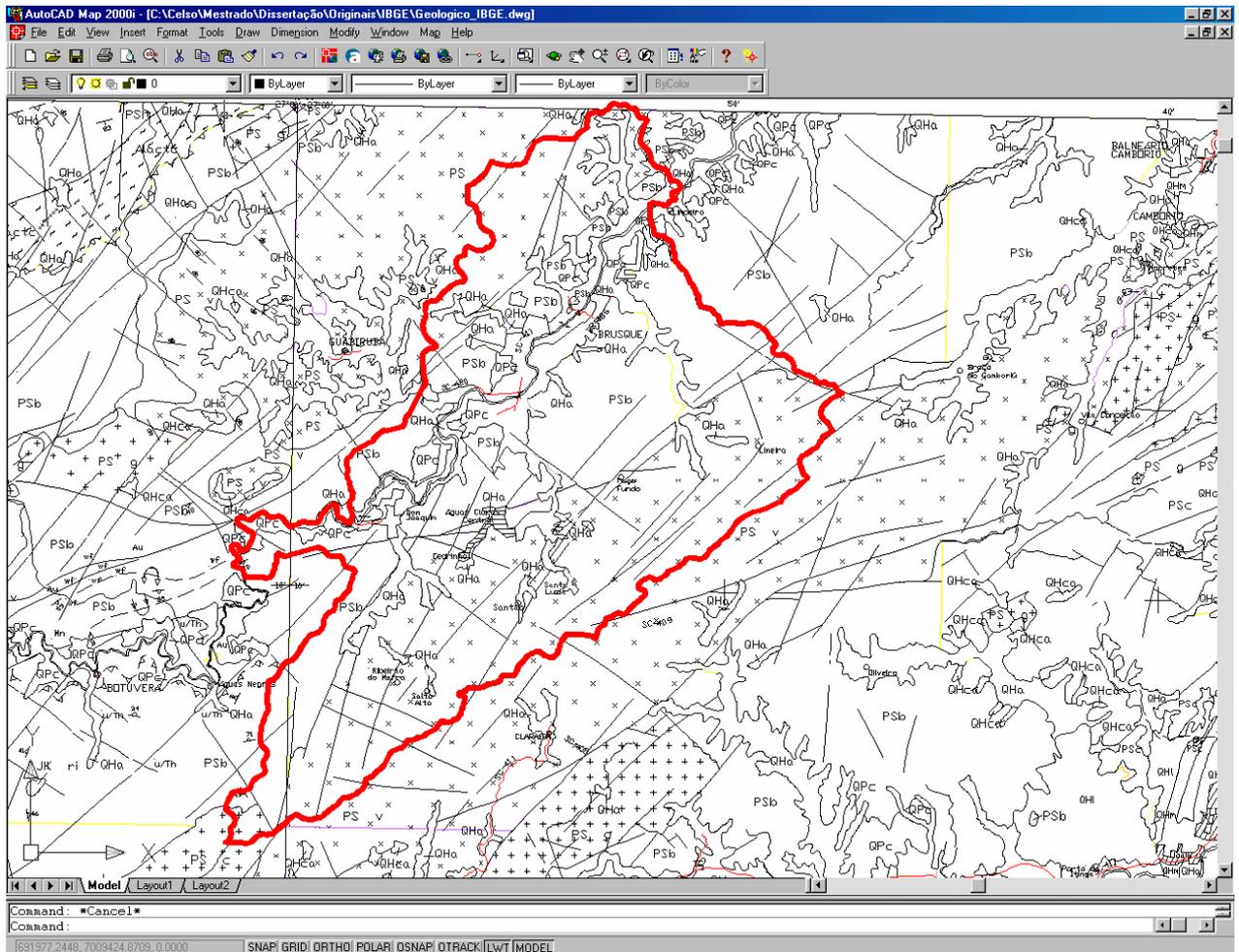


FIGURA 21 - Limite municipal sobre o mapa geológico.

Após serem eliminadas as feições “extra-municipais”, separou-se em arquivos individualizados os polígonos (unidades geológicas) das linhas e traços que representam as feições geológicas (falhas e contatos, por exemplo). No arquivo contendo polígonos, ainda precisou ser gerada a topologia, para que quando solicitado pelo SIG, este último reconheça que trata-se de um arquivo composto de unidades sólidas e não apenas linhas, e assim se possa trabalhar com polígonos.

Neste ponto, terminam os trabalhos de edição fora do *ArcView*, mais adiante será tratado da edição em ambiente de Sistema de Informações Geográficas.

4.2.3. *Cartas Pedológicas*

O tratamento realizado com vistas ao mapa pedológico do município é exatamente idêntico ao efetuado com o mapa geológico. As tarefas de unir dois arquivos de desenho, a inserir o limite municipal, eliminar feições restantes e conceber o arquivo de polígonos são análogas. Elas diferem unicamente pelo fato de não haver um segundo arquivo formado (que corresponderia ao das feições geológicas), por motivos evidentes. Assim sendo, gerou-se o arquivo de desenho contendo os polígonos, e, em seguida, a topologia dos mesmos.

4.2.4. *Cartas Hipsométricas*

Diferente dos casos anteriores, as cartas hipsométricas se apresentavam em arquivos de desenho individuais, e portanto formavam um conjunto de cinco arquivos de *Microstation* (*.dgn). Dessa maneira, esses arquivos foram todos importados e unidos em ambiente de CAD, onde foi lançado também o limite do município (ver figura 22). Nesse ponto tratou-se de eliminar as curvas de nível (ou trechos delas) que estivessem situadas fora do limite adotado. Como as curvas de nível não tinham a informação de cota Z, que era sinalizada apenas por textos a cada 100m de altitude, as cotas tiveram que ser todas inseridas, para que quando o *ArcView* recebesse esse arquivo, já obtivesse a informação da cota Z de cada curva.

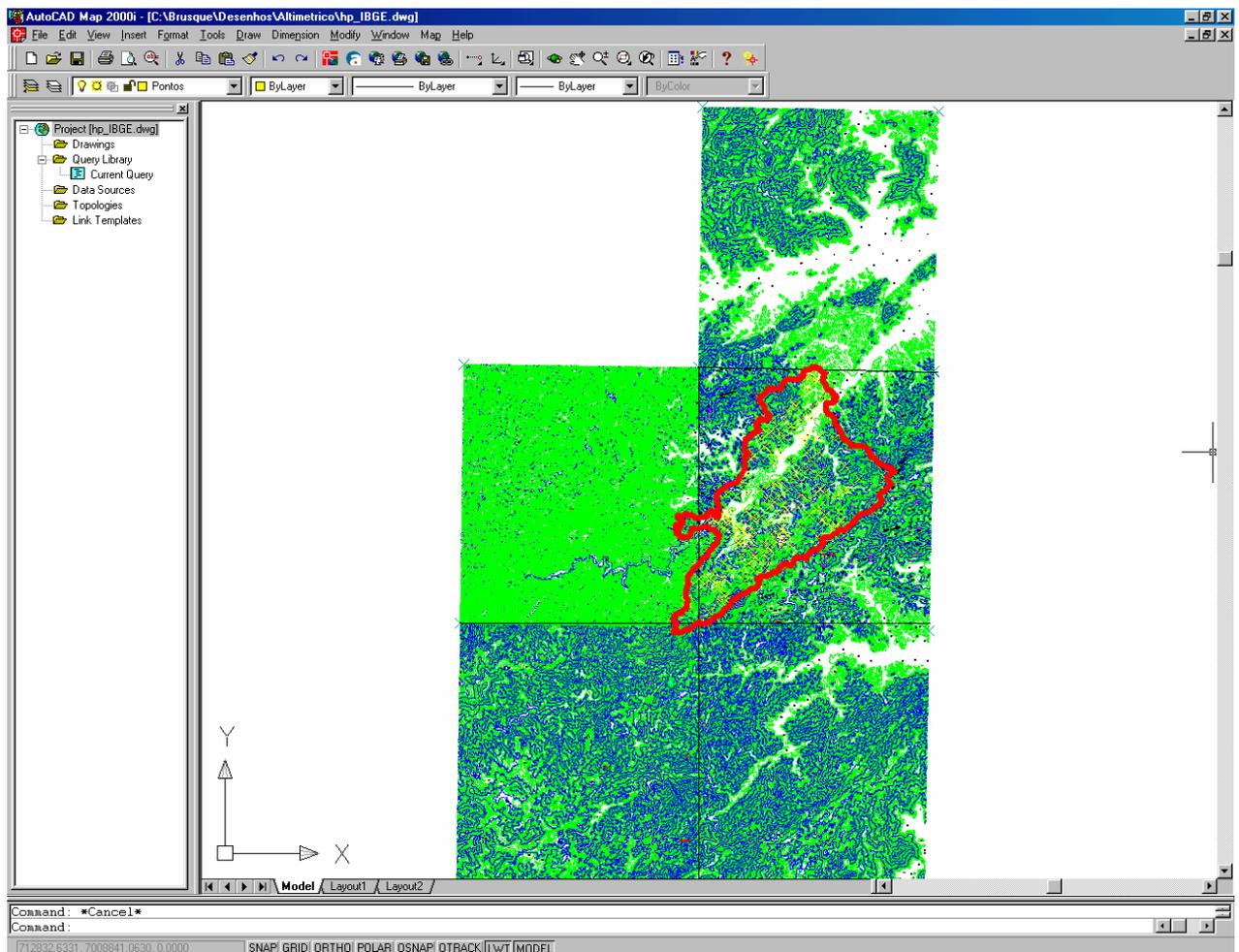


FIGURA 22 - Início de edição das cartas hipsométricas unidas.

4.2.5. *Cartas Hidrográficas*

As cartas que compõem a hidrografia do município, a exemplo das hipsométricas, também foram adquiridas separadas nas cinco cartas básicas que se apresentam na área correspondente ao Município de Brusque. Assim, procedeu-se de forma análoga à anterior, unindo-as e eliminando a hidrografia não pertencente à região de interesse, utilizando-se para isso, como contorno, o polígono com o limite do município.

O próximo passo foi separar em dois arquivos de desenho o rio principal dos restantes. A topologia teve de ser novamente criada para o desenho contendo o rio principal, enquanto o desenho contendo os rios restantes já estava pronto, por se tratarem somente de linhas. A figura 23 exhibe parte da hidrografia do município, onde se pode perceber a diferença entre o rio principal dos restantes.

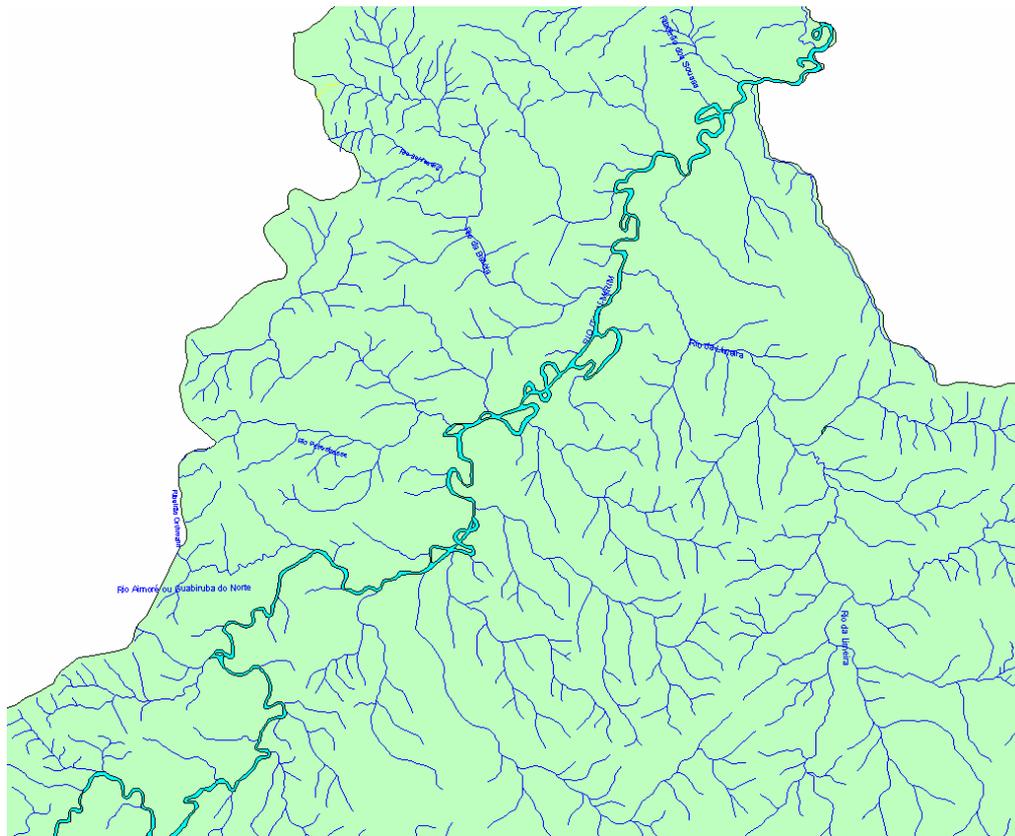


FIGURA 23 – Parte da hidrografia do município.

4.2.6. Mapa de Ruas

O único mapa de ruas encontrado para o trabalho não se apresentava inserido em sistema de coordenadas, de forma que o único modo de ser utilizado seria através de seu georreferenciamento.

Além da ausência de coordenadas, outro problema encontrado no mapa original é decorrente de que o nome das ruas não constarem diretamente no mapa, ou sobre o desenho que represente cada uma das ruas. Sua identificação é dada por números presentes sobre cada rua do mapa e listados numa tabela que relaciona os números aos nomes reais das ruas. Isso acaba por complicar bastante o processo de identificação, motivo pelo qual se achou mais conveniente que o SIG contenha somente o desenho das ruas com seus respectivos números, e que se trabalhe em paralelo com o mapa original em papel ou CAD, quando o objetivo for encontrar uma dada rua no mapa.

Dessa maneira, o georreferenciamento se deu com a utilização do *Autocad Map*, aplicando-se o comando *Rubber Sheet* ("folha de borracha"). Esse comando deforma o mapa em função de

pontos bases (identificados no mapa) que devem estar em pontos cujas coordenadas são determinados pelo usuário (obtidas por GPS). Eliminando-se as feições indesejáveis desse novo mapa georreferenciado, o mesmo está apto para ser inserido no SIG.

4.2.7. Inconsistências Observadas

Ao se trabalhar com mapas de diferentes escalas, e oriundos de fontes diferentes, é comum o aparecimento de algumas inconsistências ou incoerências entre eles. Neste caso não foi diferente. Neste item são abordadas duas dessas situações que se julgou relevante reportar.

4.2.7.1. Limite do Município

O limite do município adotado, conforme comentado, veio do mapa político do estado, na escala 1: 500 000. Ao se adotar esse limite como sendo verdadeiro, através da ampliação do mesmo, acaba-se por assumir um limite com menor detalhamento (menos sinuoso) do que se este tivesse origem em uma escala maior. Isso é bastante perceptível no trecho em que o rio Itajaí Mirim faz a fronteira do município, em sua porção sul ocidental. Essa diferença ocorre tanto em relação aos mapas geológico e pedológico (1: 100.000), quanto no hidrográfico (1:50.000).

4.2.7.2. Mapa de Ruas

Segundo a Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Brusque, o mapa de ruas disponível, muito embora não se apresente inserido num sistema de coordenadas, é resultado de voo aerofotogramétrico. Isso sugere que, apesar da ausência de um georreferenciamento, esse desenho apresente uma proporcionalidade e certa consistência entre as feições gráficas nele contida. Após o processo de georreferenciamento (descrito adiante no item 4.4.1), o que se verificou foi certa incoerência entre este e os outros mapas adotados na pesquisa. Esse fato é bem evidenciado em trechos onde o rio corta a mancha urbana, onde algumas ruas o atingem ou o cruzam onde não deveriam.

Por essa razão, o procedimento de georreferenciamento foi realizado mais de uma vez com o intuito de encontrar-se uma situação mais favorável, que é aquela presente no SIG.

4.3. EDIÇÃO, E PREPARAÇÃO DAS SONDAgens SPT

Após estarem disponíveis, todos os boletins de sondagens levantados tiveram de ser fotocopiados, para então serem efetivamente processados.

Cada sondagem é constituída por um grupo de furos, sendo que a descrição de cada um deles compõe uma página, chamada de boletim de ensaio do furo, onde constam os valores dos números de golpes, as diferentes camadas de solo, a posição do nível d'água (se houver), dentre outras informações. Uma informação bastante importante para a pesquisa é a presença do nome da rua em que foi realizada a sondagem, já que esse é o único meio de se localizá-la no SIG.

A partir daí, um processo bastante lento se iniciou, com o objetivo de transformar cada um dos 373 furos, pertencentes a 94 locais diferentes, em imagens, já que essa é a melhor opção quando o objetivo é a realização de *links* com o mapa.

O primeiro passo foi a criação de uma planilha padrão, no Excel, associada a um gráfico, onde se pudesse fazer o resumo do boletim de sondagem de cada furo. Com o arquivo padrão montado, iniciou-se a inserção, de forma manual, de cada furo, inclusive com as descrições das camadas de solo. Outras informações importantes como a posição do nível d'água, endereço da sondagem também se fazem presente.

Cada local onde se tem resultados de ensaio originou um arquivo de Excel, cujo nome dado foi o próprio nome da rua em que ele se situava. Assim, 94 arquivos foram montados. Cada arquivo continha o número de planilhas correspondente ao número de furos realizados no local, variando entre 2 e 11. A figura 24 exhibe a planilha do furo 01 de um dos arquivos montados.

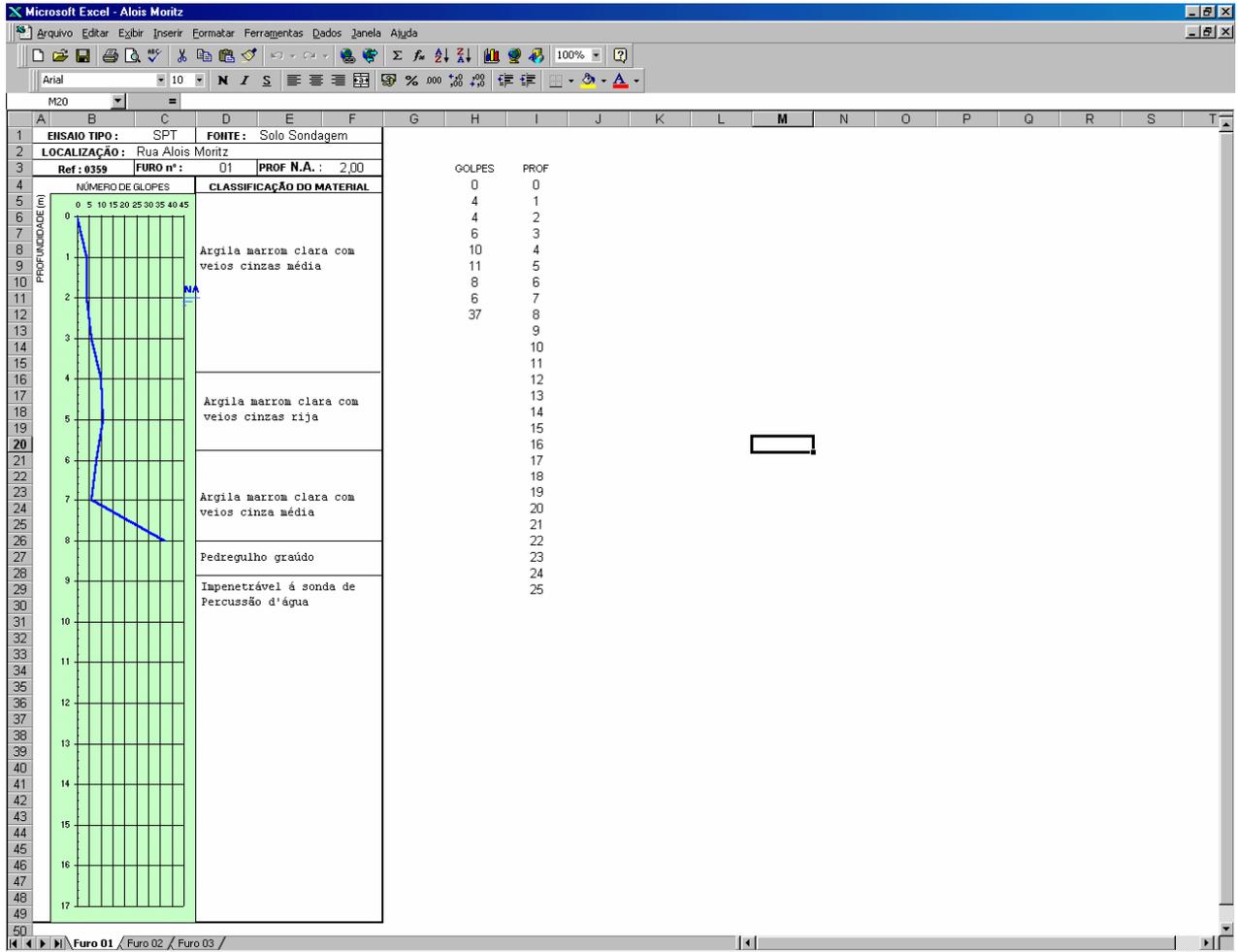


FIGURA 24 - Planilha 01 do arquivo chamado Alois Moritz.xls

Com todos os arquivos devidamente montados, como próximo passo tratou-se de transformar os boletins de sondagem dos furos em imagens. Assim, um a um foram sendo selecionados os boletins e com a utilização de um programa de edição de imagens foram convertidos em arquivos tipo *.JPG. Assim, um arquivo *Excel* deu origem a várias imagens. A organização desses arquivos se deu com a criação de várias pastas, cada uma delas contendo as imagens dos furos de um local de sondagem, juntamente com o seu respectivo arquivo de *Excel*, como mostra a figura 25. Como se pode observar, o nome de cada pasta corresponde ao nome da rua a qual a sondagem pertence, que também é o nome da planilha do *Excel*.

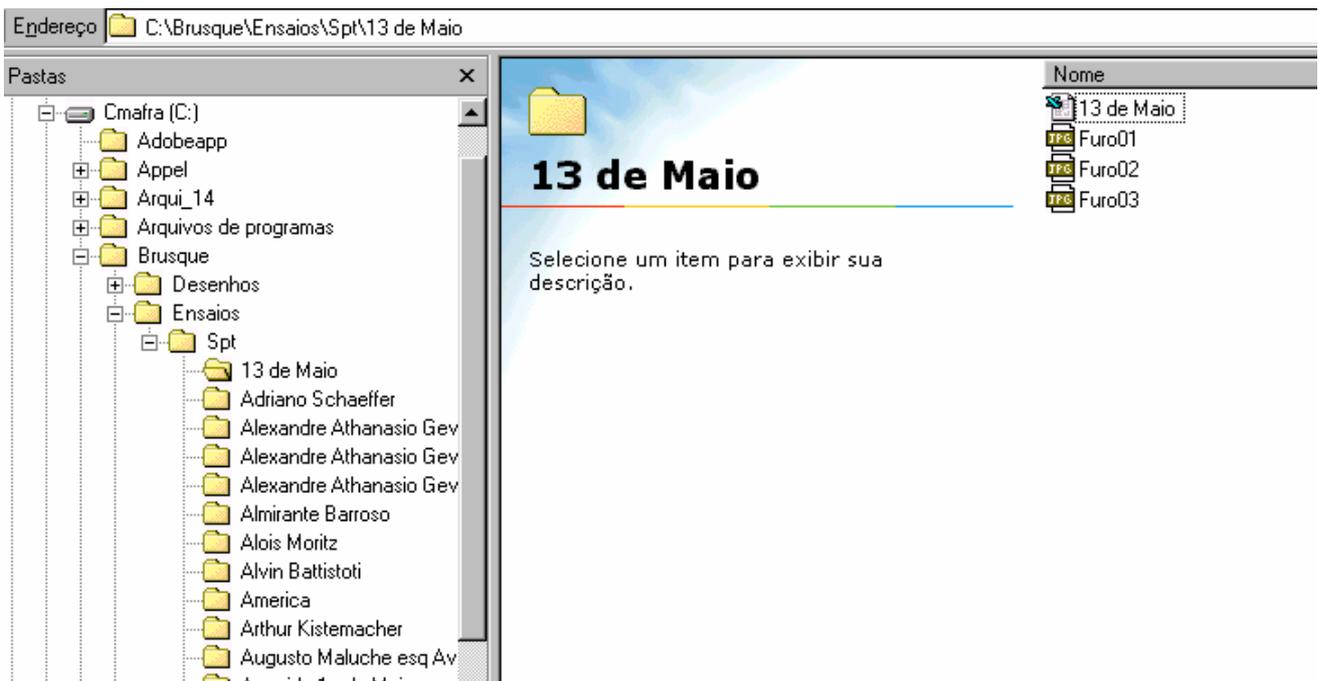


FIGURA 25 - Organização dos arquivos das sondagens.

4.4. LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Foram realizadas uma série de saídas a campo, com dois objetivos principais: o primeiro deles era o georreferenciamento do mapa de ruas do município, que é tido como peça chave para a localização das sondagens no SIG; o segundo objetivo foi a obtenção de fotos de perfis de solo, também referenciados por GPS.

4.4.1. Georreferenciamento do Mapa de Ruas

Conforme já comentado, o que se dispunha era um desenho das ruas do município, sem coordenadas. Assim sendo, tratou-se de colher pontos de coordenadas, com a utilização de um GPS, em locais que poderiam ser identificados no mapa de ruas não referenciado. Por esse motivo, todos os pontos coletados se situam em esquinas (cruzamentos) de ruas, cujos nomes eram anotados em campo para que pudessem ser identificados posteriormente no mapa. Um total de 15 pontos foram demarcados, sendo que uma atenção maior foi dada às margens do rio Itajaí-Mirim, no seu trecho situado no centro da cidade. Isso se deu com o objetivo de evitar incoerências como a de ruas sobrepondo o rio principal.

Com o mapa posicionado nas coordenadas devidas, o que se fez foi exportá-lo ao *ArcView*, de forma que pudesse ser utilizado quando fosse necessário localizar algum dado a partir apenas de seu endereço.

4.4.2. Fotos de Perfis de Solo

Saídas à campo foram programadas com o intuito de retratar através de fotos os perfis de solo existentes em taludes de corte do município. No total 13 locais foram fotografados, gerando 39 fotos.

Assim como os furos de sondagens, as fotos de perfis de solo também foram lincadas ao mapa de Brusque. Porém, neste caso o processo foi muito mais simples por duas razões básicas. A primeira se refere ao meio disponível, que nesse caso já eram fotos digitais, o outro fato é função da localização, que neste caso é dada diretamente por coordenadas obtidas por GPS e não pelo mapa de ruas.

4.5. MANIPULAÇÃO DOS MAPAS NO ARCVIEW

Após o processo e preparação de cada mapa individualmente, estes foram um a um inseridos no SIG e novamente editados. Esse processo de edição dá ao projeto uma excelente estruturação, e permite que novas etapas sejam implementadas. Essas etapas, para o presente trabalho dividem-se em dois grupos: a estruturação do banco de dados relacionado e a geração de novos mapas.

O *ArcView*, além da sua propriedade de relacionar dados a mapas, apresenta funções que permitem que novos mapas possam ser gerados. Tais funções permitiram que os dados altimétricos pudessem ser bastante explorados, além de permitirem o concebimento do mapa de unidades geotécnicas. Boa parte do que foi gerado para esse trabalho está exibido no Capítulo 5, por estarem qualificados como resultados parciais.

4.5.1. Inserção e Edição Final dos Mapas em SIG

Após terem sido editados e estarem prontos para serem importados pelo *ArcView*, de forma satisfatória, procedeu-se com os trabalhos no SIG.

4.5.1.1. Limite do Município

O limite do município nada mais é que um grande polígono. Esse polígono deu origem a um tema quando adicionado no SIG, podendo ser ligado ou desligado conforme se julgue necessário.

4.5.1.2. Mapa de Unidades Geológicas

Os dois arquivos formados foram levados ao *ArcView* em forma de temas, onde receberam novos tratamentos.

Estando no SIG, tratou-se de classificar cada polígono com seu respectivo atributo geológico, num total de cinco variedades possíveis, além da mancha urbana e o rio já existente no mapa. Esse procedimento foi realizado trabalhando-se em paralelo com o mapa geológico original, para que as unidades pudessem ser identificadas e qualificadas na tabela do tema. Nessa tabela, cada polígono é um registro (uma linha da tabela), sendo que um dos campos (colunas) criados é o da classificação geológica, cujo nome é dado para cada entidade.

O segundo arquivo de desenho, que traz as denominadas feições geológicas, foi inserido no sistema de informações geográficas na forma de um novo tema, para que possa ser ligado e desligado conforme se deseje visualizar as falhas e contatos geológicos.

Com o mapa geológico pronto e com a litologia definida (conforme item 3.5.3 do capítulo anterior), foi criada uma nova coluna na tabela associada, onde foi especificada a litologia correspondente a cada polígono da geologia. Procedeu-se então com a cópia deste tema, para se ter um novo mapa, classificado agora pela litologia (conforme apresentado no item 3.5.2.1), porém idêntico ao anterior em termos gráficos. Esse mapa foi denominado como Mapa Litológico e é de suma importância para implementação do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas.

Tanto o mapa geológico quanto o mapa litológico recebem sobre seus polígonos as tarjetas com os nomes das unidades, que devem ser editadas e relocadas conforme o caso, buscando uma melhor clareza na identificação das mesmas na *view*.

4.5.1.3. Mapa de Unidades Pedológicas

De forma análoga ao que ocorreu com o geológico, o mapa de unidades pedológicas também foi levado ao SIG como um novo tema, e seus polígonos pedologicamente classificados a partir do mapa original do IBGE.

Nesse caso, a tabela do tema foi classificada com suas várias unidades pedológicas e para cada uma delas uma convenção foi adotada. Procedeu-se então com a criação de um novo campo na tabela onde foi feita uma generalização taxonômica das unidades pedológicas. Conforme já comentado, o município apresenta apenas três classes pedológicas básicas, a partir das quais se baseiam os estudos na região. A partir delas, pode ser gerado um mapa de unidades pedológicas generalizado. Com esse intuito foi gerada uma tabela (tabela 04), que traz a seqüência de generalização da pedologia.

TABELA 04 - Generealização da pedologia

UNIDADES	PRIMEIRA GENERALIZAÇÃO	SEGUNDA GENERALIZAÇÃO
PVa2	PVa	PV
PVa9		
PVa11		
PVa12		
PVa14		
PVa16		
PVd1	PVd	
Ca5	Ca	C
Ca6		
Ca13		
Ca14		
Ca51		
Ca54		
Ca59		
Ca64		
Cd1	Cd	
Cd6		
Gd2	Gd	G

Assim, foi criado um novo mapa denominado Mapa Pedológico Generalizado.

4.5.1.4. Mapa Hipsométrico

Nesse caso, cada curva de nível corresponde a uma linha (registro) da tabela que vem associada ao tema "Curvas de Nível", criado no SIG. Esse tema, portanto, é resultado da inserção do arquivo de desenho contendo as curvas de nível, após ter passado pelo processo de edição outrora relatado.

Por fim, tem-se o novo tema criado no SIG, a partir do qual novas informações são geradas, sendo esse o tema de outro item desse mesmo capítulo. Vale comentar que o *software* permite a consulta rápida a respeito das informações de uma curva qualquer. No caso, a informação relevante é a altitude, que pode ser apresentada como resposta a um simples clicar do mouse sobre a linha da curva de nível.

4.5.1.5. Mapa Hidrográfico

Após estarem separados o rio principal (polígonos) dos rios secundários (linhas), os dois desenhos foram adicionados como temas no SIG.

4.5.1.6. Mapa de Ruas

Como já é de conhecimento, o *ArcView* permite que sejam associadas informações a desenhos, o que sugere que cada conjunto de linhas que compõem uma rua poderia estar associado ao nome da rua por meio de uma tabela. Isso é verdade e possível. Todavia, esse processo exige um trabalho bastante lento de edição, primeiramente em CAD, onde se teria que isolar cada rua, e posteriormente no SIG, onde o banco de dados deveria conter todos os nomes das ruas e cada um deles estar associado (lincado) a feições gráficas do mapa de ruas. Esse processo levaria semanas (talvez meses), e como este não é o objetivo principal do trabalho, sua viabilidade foi descartada.

Assim, o mapa de ruas, embora esteja presente no SIG, ainda não está incorporado de maneira muito acessível e que permita o uso dinâmico como se desejava. Ele somente está presente como um conjunto de linhas e textos.

4.5.2. *Concepção do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas*

O Mapa de Unidades Geotécnicas é fruto, num primeiro momento, do cruzamento entre o mapa pedológico com o geológico (na verdade o litológico). Conforme supra comentado, ambos os mapas já se encontram em ambiente de SIG, devidamente editados e classificados.

A ferramenta *Geoprocessing Wizard*, apresenta, dentre suas opções, a de fazer a interseção de dois temas (*Intersect two themes*), conforme exhibe a figura 26, que segue.

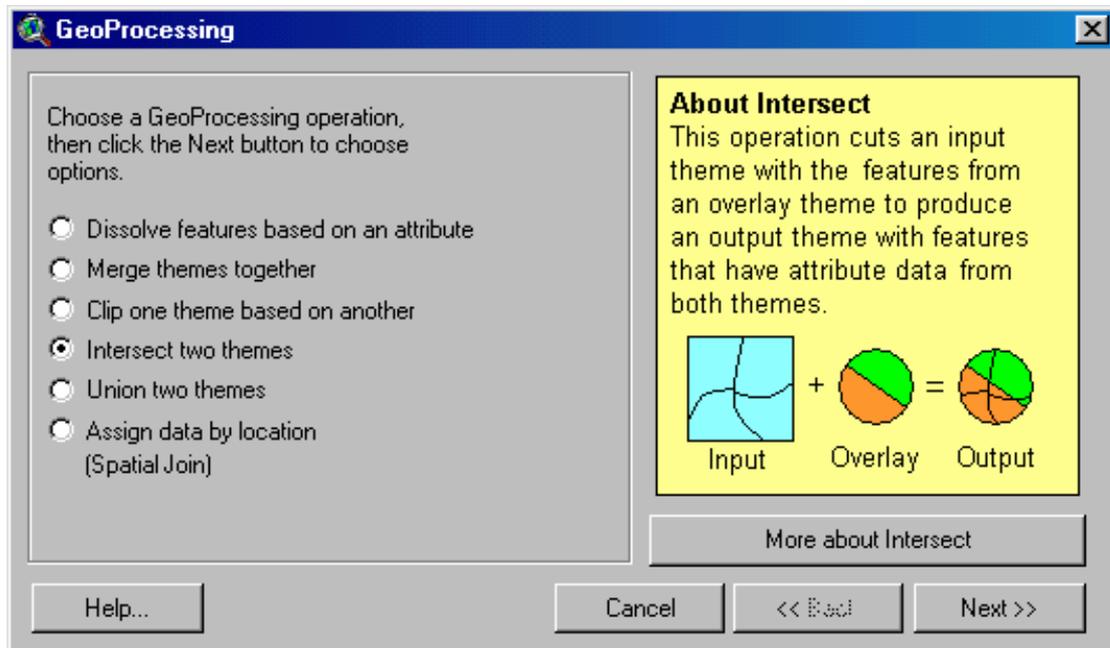


FIGURA 26 - Ferramenta de interseção de temas.

Utilizando-se dessa opção realizou-se o cruzamento dos temas pedologia e litologia, criando-se um novo tema composto de unidades geotécnicas. Esse processo foi realizado duas vezes, a primeira utilizando-se o mapa pedológico generalizado, e na segunda vez com o mapa pedológico original.

Com isso, foram gerados dois temas nomeados geotécnico completo e geotécnico generalizado. Cada um desses temas passou por um processo de edição, onde alguns polígonos formados pelo cruzamento dos temas foram apagados ou unidos a outros, conforme cada caso e representatividade cartográfica dos mesmos no mapa.

Quando findado esse procedimento, foi realizada a classificação de cada um desses polígonos, baseando-se na unidade geotécnica formada pela sobreposição dos mapas pedológico e litológico.

4.5.2.1. Nomenclatura Adotada para Unidades Geotécnicas

O nome de cada unidade geotécnica gerada baseia-se, obviamente, nas unidades litológicas e pedológicas de origem. Para os dois mapas gerados, o que se fez foi batizar o nome da unidade

pela junção da sigla ou nomenclatura da unidade pedológica original com as siglas adotadas para as unidades litológicas, conforme a tabela 01 do capítulo anterior. A tabela 05, que segue, busca retratar essa situação, no caso da geotecnia completa.

TABELA 05 – Nomenclatura das unidades para geotecnia completa.

Pedologia		+	Litologia	=	Geotecnia
PVa2	+				PVa2 f,x
PVa9	+				PVa9 f,x
PVa11	+				PVa9 g
PVa12	+				PVa11 g
PVa14	+				PVa12 g
PVa16	+				PVa12 f,x
PVd1	+	f,x			PVa14 f,x
Ca5	+	g			PVa14 g
Ca6	+	gl			PVa16 g
Ca13	+	sq (f)			PVd1 g
Ca14	+	sq (g)			Ca5 sq(g)
Ca51	+				Ca6 f,x
Ca54	+				Ca6 sq(g)
Ca59	+				Ca13 sq(f)
Ca64	+				Ca14 sq(f)
Cd1	+				Ca14 f,x
Cd6	+				Ca51 f,x
Gd2	+				Ca54 f,x
					Ca59 gl
					Ca64 g
					Cd1 sq(f)
					Cd6 sq(f)
					Gd2 sq(f)

Como se pode observar, um total de 23 variedades geotécnicas foram geradas a partir do cruzamento. O mapa simplificado que dá origem à somente oito variedades, conforme ilustrado a seguir, na tabela 06.

TABELA 06 – Nomenclatura das unidades para geotecnia generalizada

Pedologia		+	Litologia	=	Geotecnia
					PV s,x
					PV g
PV	+	f,x			C f,x
C	+	g			C g
G	+	gl			C gl
					C sq(f)
					C sq(g)
					G sq(f)

4.5.3. Construção do MDT e Mapa de Declividades

A partir das curvas de nível devidamente tratadas e agora adicionadas ao *ArcView*, como um novo tema, o programa permite que o modelo tridimensional do terreno seja gerado. Esse comando está no *menu Surface*, nomeado *CREATE TIN FOR FEATURES*. Alguns ajustes devem ser feitos até que a superfície gerada esteja conforme o desejado. Essa superfície é adicionada como um novo tema na *view*.

Com o Modelo Digital do Terreno (MDT) em mãos, o *software* permite ainda que seja gerado, a partir deste, uma carta de declividades. Essa carta representa a declividade do terreno, e é hachurada conforme intervalos de declividades definidos pelo usuário (0 a 5%; 5 a 10%, e assim por diante).

4.6. ASSOCIAÇÃO DO BANCO DE DADOS AOS MAPAS NO ARCVIEW

Após todo o processo de edição, tanto fora quanto dentro do ambiente de SIG, incluindo ainda aqui a concepção dos mapas criados com o SIG, restou anexar ao programa os dados que também se apresentavam prontos para serem adicionados.

4.6.1. Boletins de Sondagens SPT

Com a organização devidamente estabelecida, iniciaram-se os trabalhos no *ArcView*. Cada Furo de sondagem deu origem a uma nova *view*. Um tema contendo pontos foi criado, associado a uma tabela através da qual foram estabelecidos os *links* entre pontos e sondagens. Primeiramente esses pontos foram devidamente localizados com o auxílio do mapa de ruas, e posteriormente lincados às sondagens de forma que um simples clique sobre o ponto faça com que os furos daquela localidade apareçam na tela.

Com o término dessa etapa fecha-se uma seqüência de eventos muito importante para a pesquisa que é a associação do banco de dados de sondagens SPT ao SIG, que envolveu um longo processo de edições com o objetivo da consulta rápida ao banco de dados.

4.6.2. Fotos dos Perfis

Resumidamente, o procedimento baseou-se em criar uma nova *view* para cada fotografia, nomeadas conforme o local (Local 01, Local 02,...Local 13) e o número da foto retirada daquele determinado local (Foto 01, Foto 02...).

Um novo tema contendo pontos foi criado. Cada ponto recebeu a devida coordenada UTM correspondente à coordenada do local fotografado. Em seguida foram criados os *links* entre os pontos e as fotos, e com isso a consulta rápida ao banco de fotos foi disponibilizada.

5. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no decorrer do trabalho, que de alguma maneira se fazem imprescindíveis à conclusão do mesmo. Parte destes são resultados parciais dos processos de edição em ambiente de SIG, que culminaram em produtos a serem analisados e avaliados. Cabe, por hora, somente apresentá-los nesse momento. Na verdade, o trabalho em si possui como meta o alcance de dois pontos básicos: o primeiro deles é a associação e reformulação dos mapas e dados em ambiente de SIG, de maneira clara e confiável, seguindo os preceitos abordados em metodologias já consolidadas; o segundo trata da análise conjunta e multidisciplinar de todos os produtos levantados, editados e gerados. A seguir serão apresentados resultados correspondentes ao primeiro grupo, já que o capítulo 6, intitulado de análise dos resultados, suprirá as aspirações do segundo.

5.1. MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS E LITOLÓGICAS NO SIG

O Mapa de Unidades Geológicas, e o respectivo Mapa Litológico gerado a partir deste, são resultados importantes tendo em vista a necessidade e utilidade frente à geotecnia e também ao Mapa Geotécnico Preliminar gerado.

A figura 27 exhibe o mapa geológico do município, juntamente com as feições geológicas e parte da tabela associada aos polígonos. Vale citar que qualquer registro selecionado na tabela também seleciona o polígono correspondente no mapa (e vice-versa). No caso, esse fato pode ser visualizado pelo realce na cor amarela da figura. O Mapa Geológico e o Mapa Litológico, ambos na escala 1:100.000, seguem como anexo 01 e 02, respectivamente.

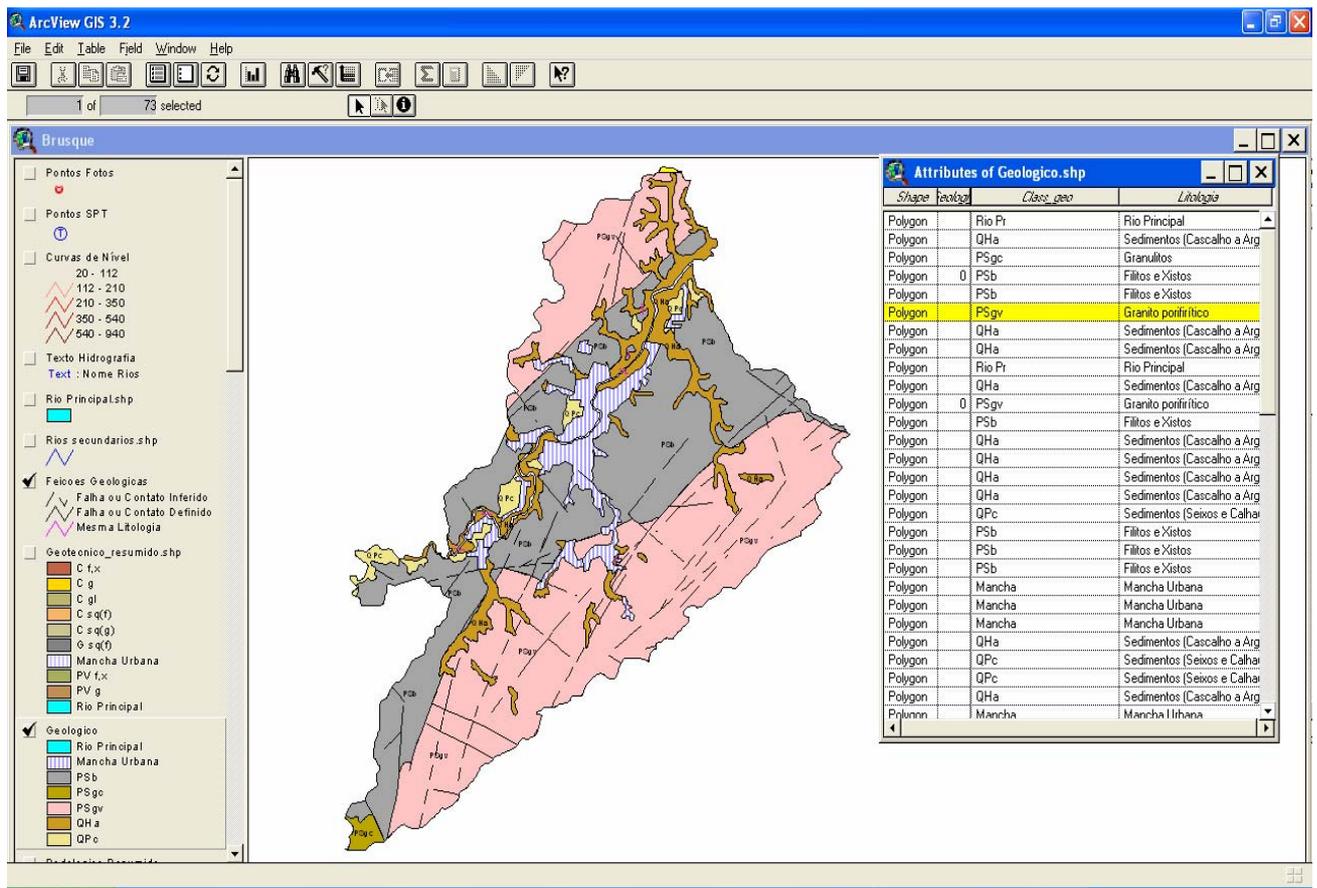


FIGURA 27 - Mapa geológico no SIG e tabela associada ao tema.

No SIG, com o mapa e as feições geológicas (fraturas, contatos, etc) devidamente classificadas nas tabelas vinculadas ao mapa, pode-se afirmar que o mesmo está pronto para ser utilizado na confecção do Mapa de Unidades Geotécnicas. A figura 29 exhibe o Mapa Geológico na escala 1:150.000. As unidades relativas às cores do mapa aparecem na figura 28, abaixo.

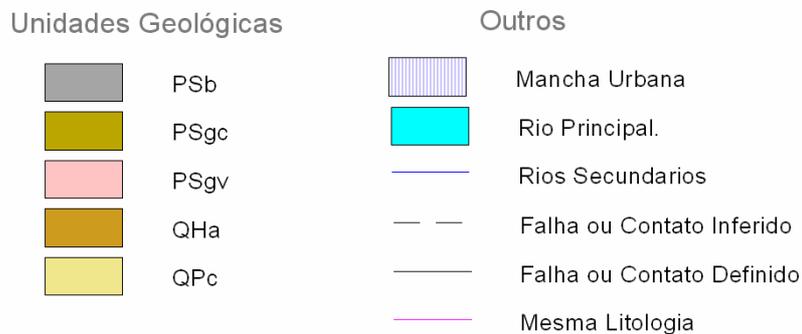


FIGURA 28 – Legenda para Mapa Geológico.

FIGURA 29 – Mapa Geológico na escala 1:150.000.

FIGURA 31 – Mapa Pedológico 1:150.000.

5.3. MAPAS DE UNIDADES GEOTÉCNICAS

Após todos os processos de edições, cruzamentos e classificações, os mapas geotécnicos (um completo e outro generalizado) foram disponibilizados no *ArcView*. A partir destes, uma série de outras informações e análises podem ser realizadas com o intuito de compreender-se as características geotécnicas dos solos do município como um todo. Por hora somente é apresentado o mapa completo, na escala 1:150.000. Em anexo 04 têm-se o mapa geotécnico completo em escala 1:100.00, que é a escala de publicação. Na figura 32 que segue, é apresentada a legenda para o mapa geotécnico completo, e na figura 33 o mapa.

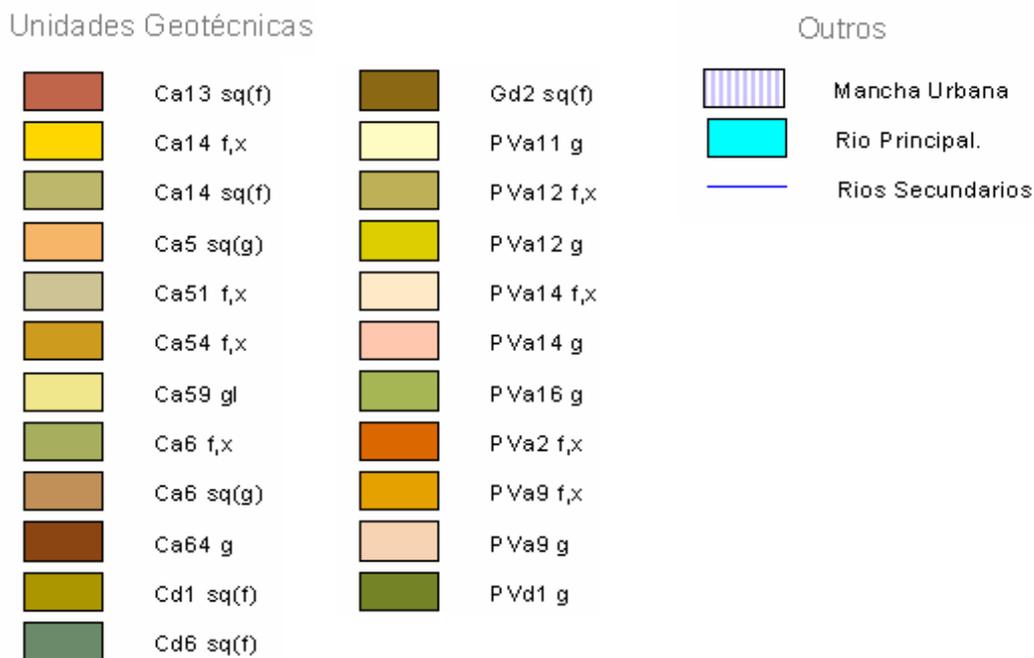


FIGURA 32 – Legenda para Mapa Geotécnico Completo.

FIGURA 33 – Mapa Geotécnico Completo na escala 1:150.000.

5.4. CARTA HIPSOMÉTRICA EM AMBIENTE DE SIG

Após uma série de procedimentos descritos no item 4.2.4 da metodologia, as curvas de níveis foram exportadas ao *ArcView*, juntamente com as informações de altitude de cada uma delas. A figura 34 exhibe parte das curvas de nível, no *ArcView*, juntamente com o resultado de uma consulta realizada a uma delas.

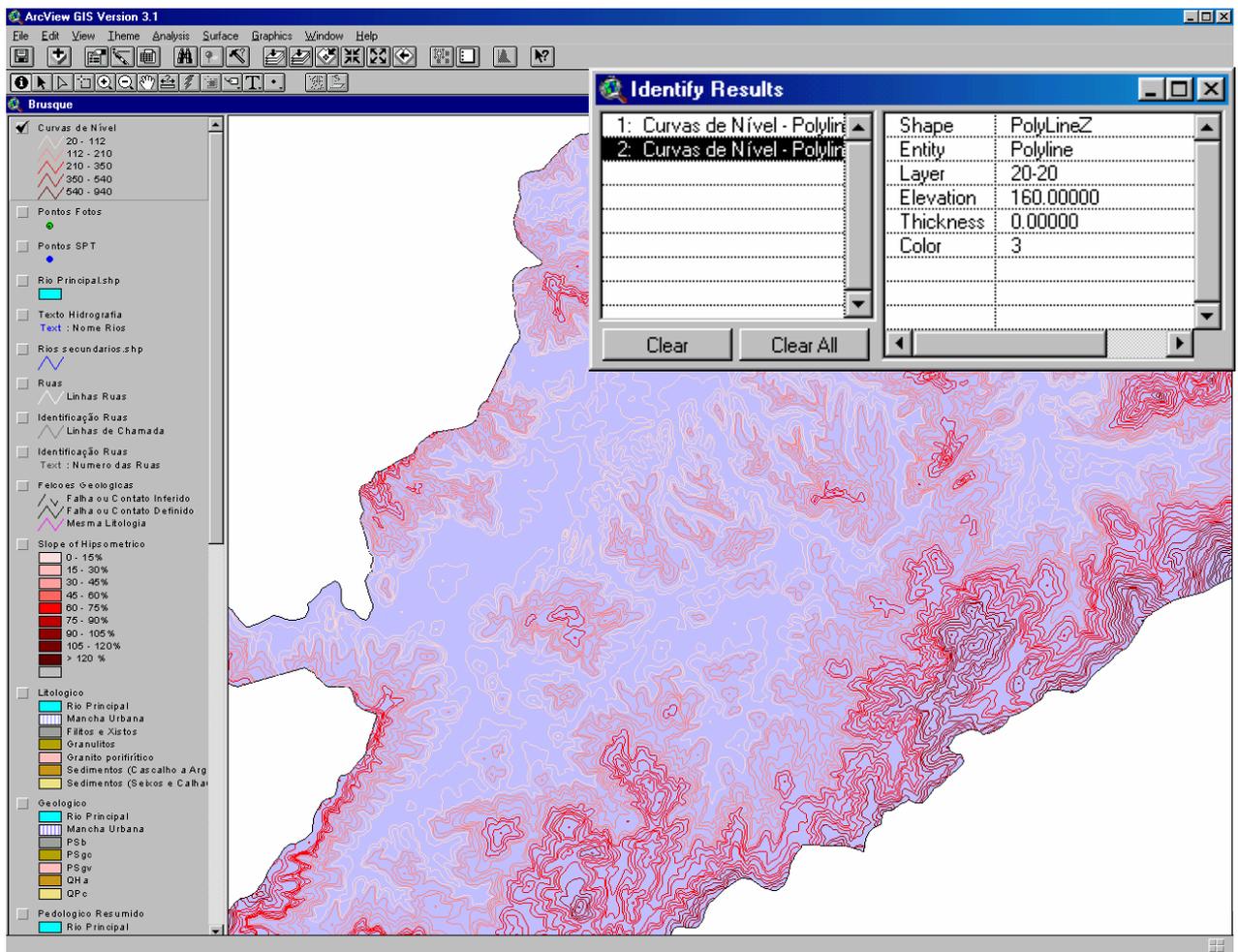


FIGURA 34 - Curvas de nível no Arcview.

5.4.1. Informações de Ordem Altimétrica Geradas no ArcView

O programa *ArcView* apresenta duas extensões disponíveis que tem por finalidade o trabalho em três dimensões (3D). Eles são o *3D Analyst* e o *Spatial Analyst*. Em se tratando de curvas de níveis, essas funções são bastante úteis para uma melhor visualização das feições do relevo, além da geração de novas informações e mapas, a partir do disponível.

A primeira entidade a ser gerada é o modelo tridimensional do terreno, denominado aqui de Modelo Digital do Terreno (MDT), que visualmente dá uma melhor idéia das feições de relevo

presentes no município. Com a utilização destas extensões do *software*, pode-se navegar em 3D por entre as montanhas e capturar imagens. A figura 35 exibe uma imagem capturada de uma área específica da região de estudo.

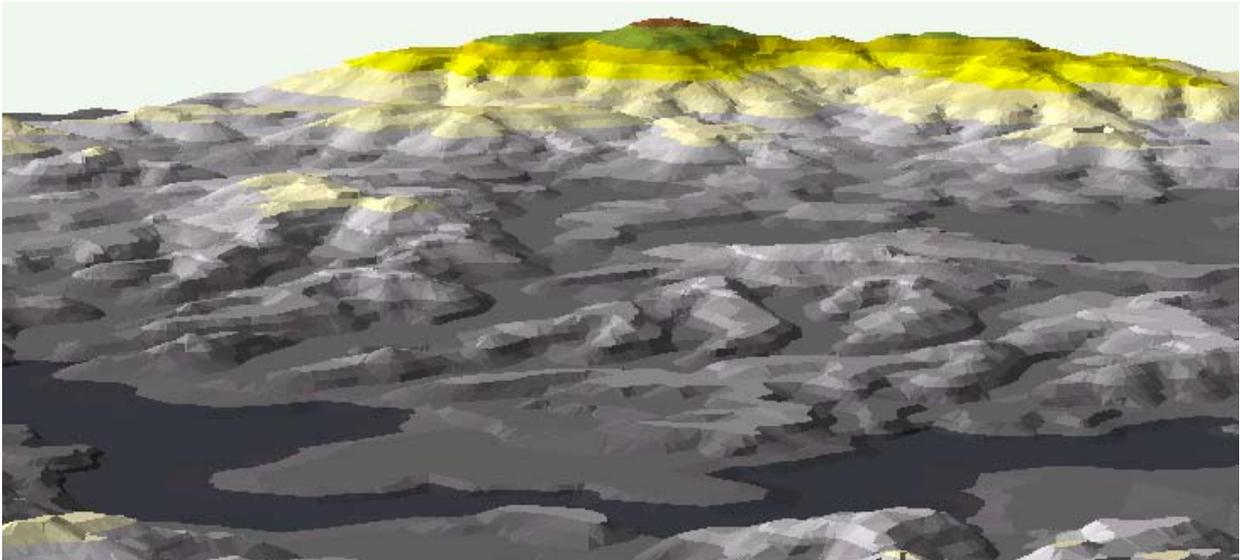


FIGURA 35 - Imagem capturada do Modelo Digital do Terreno (MDT).

A partir do MDT, o software é capaz de gerar um mapa de declividades, classificando por escala de cores pequenos polígonos, que foram gerados em relação à inclinação (em graus ou percentagem) que os mesmos apresentam. A escala de cores, variando do róseo ao vermelho escuro classifica inclinações que vão de 0 até maiores que 120% (ou 54°). A saída do programa é em forma raster (imagem em *pixels*), e não vetorial. Esta é uma limitação da versão do SIG utilizada. A figura 36 exibe uma pequena amostra desta carta gerada, onde também estão presentes as curvas de nível e a hidrografia.

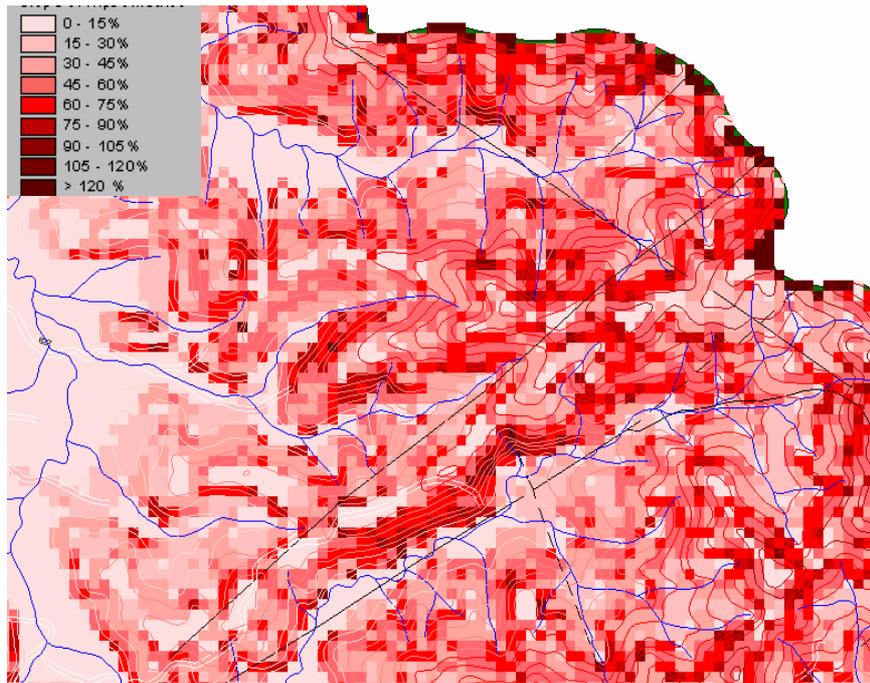


FIGURA 36 - Amostra da Carta de Declividades.

5.5. MAPA DE RUAS EM AMBIENTE DE SIG

Após um longo procedimento que envolveu georreferenciamento e trabalhos em ambiente de CAD, finalmente o mapa de ruas pode ser exportado para o *ArcView* onde efetivamente se fez bastante útil.

A figura 37 exibe parte deste mapa, onde se visualiza algumas ruas com seus respectivos nomes.

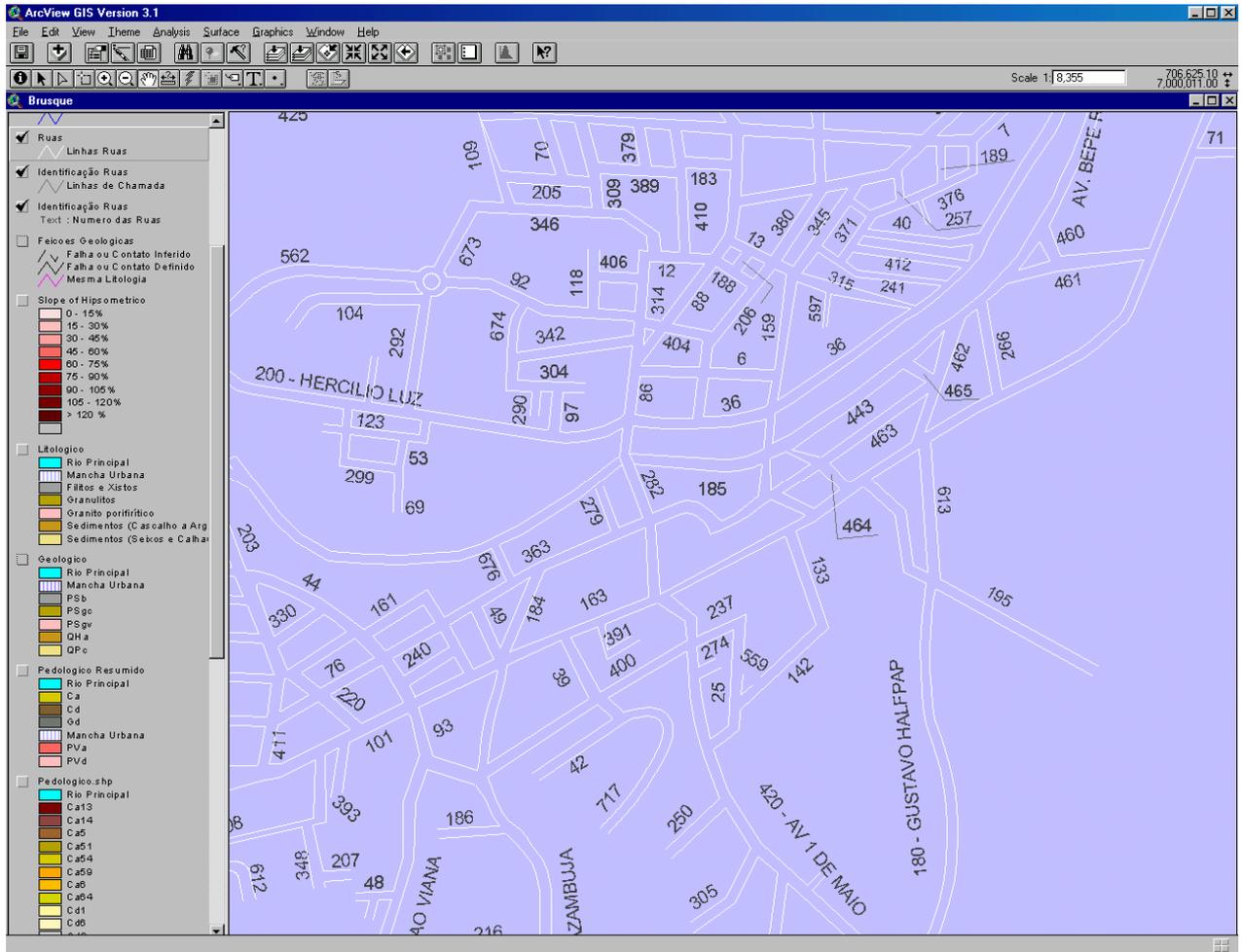


FIGURA 37 - Visualização parcial do Mapa de Ruas no SIG.

5.6. SONDAGENS ASSOCIADAS AOS MAPAS EM AMBIENTE DE SIG

Após serem confeccionadas a partir dos boletins de sondagens originais, as imagens que formam os furos de sondagens foram disponibilizados no ArcView, onde são consultados a qualquer momento, surgindo na tela conforme exhibe a figura 38, obtida do SIG. A agilidade e facilidade na consulta de um resultado de ensaio diretamente sobre o mapa em estudo, são de grande valia para a análise integrada das informações, abordada no Capítulo 6.

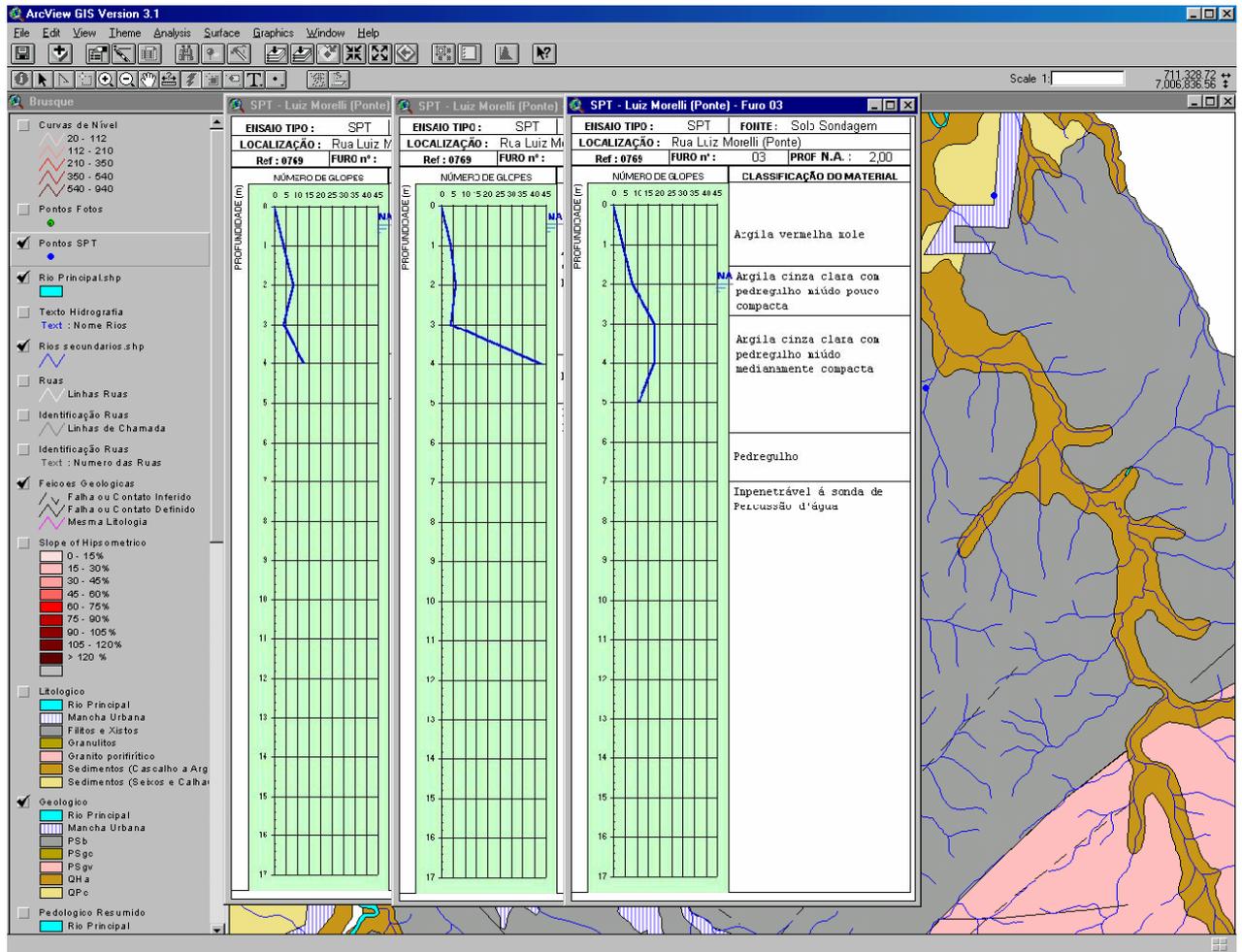


FIGURA 38 - Consulta a um ponto de sondagem.

5.7. FOTOGRAFIAS LINCADAS EM AMBIENTE DE SIG

Da mesma forma que as sondagens, as fotografias organizadas e georreferenciadas foram vinculadas a pontos no ArcView, de forma que com um simples clique elas possam ser acessadas. A figura 39 exhibe o as imagens vinculadas a um determinado ponto do mapa, podendo ser visualizados os perfis de solo imediatamente durante a navegação sobre o mesmo, dando grande agilidade na análise.

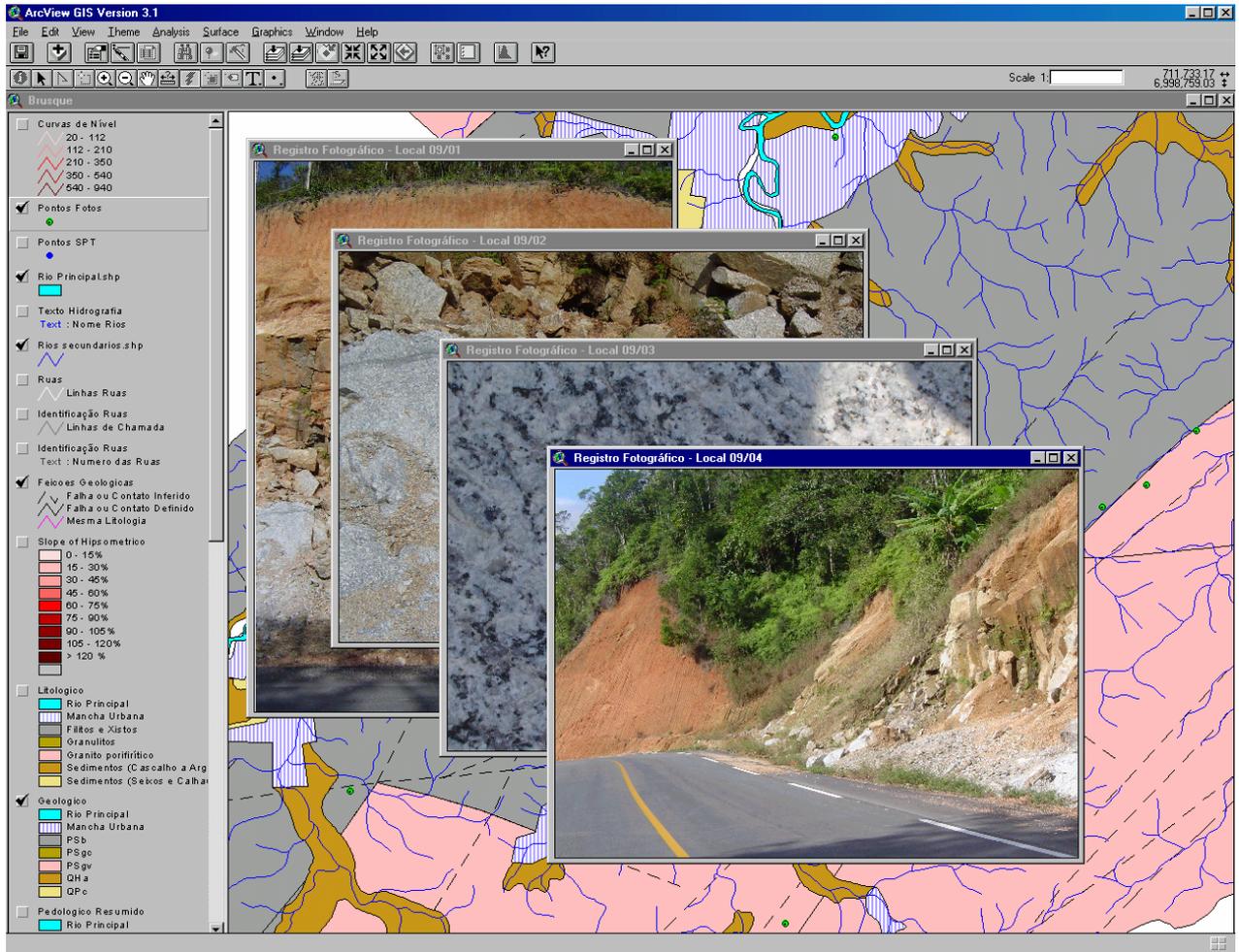


FIGURA 39 - Consulta a um ponto de fotografias.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por tratar-se de um trabalho multidisciplinar, onde informações de diferentes formatos são interadas, a análise dos resultados não teria como deixar de ser um grande apanhado de avaliações que buscam retratar, da melhor maneira possível, as características geotécnica dos solos da área de estudo.

Sendo assim, se decidiu por dividir esse capítulo de tal maneira que a análise dos resultados fosse realizada para grupos geotécnicos, que pelo fato de possuírem características similares, permitem uma avaliação generalizada. Por tratar-se de um estudo preliminar, tal aproximação não acarreta em erros consideráveis, tendo em vista os poucos dados disponíveis para cada unidade geotécnica. Os grupos formados possuem necessariamente a mesma classe geológica, ou litologia. O que varia são as classes pedológicas, distinguidas por detalhes pouco importantes para fins da análise geotécnica. Dessa maneira, definiram-se quatro grupos básicos. Esses quatro grupos formados respeitam, por motivos evidentes, a separação básica entre os solos residuais e os sedimentares.

Higashi (2006) afirma que, muito embora a Pedologia classifique os solos baseando-se, dentre outros fatores, na declividade do terreno, para os solos do leste do Estado de Santa Catarina, a divisão entre solos residuais e sedimentares pode ser identificada através de uma altitude, e não de uma declividade. Analisando-se sob esta perspectiva, verificou-se uma considerável relação entre esta hipótese e o caso em estudo. A curva de nível limite entre esses dois grandes universos de solo é a de 60m de altitude. Partindo-se dessa premissa as curvas de nível foram classificadas novamente de forma que fossem reunidas em dois conjuntos, o primeiro com cotas menores e iguais a 60m, e o segundo com cotas acima deste valor. Essas curvas, sobre o mapa geotécnico, são apresentadas na página seguinte como figura 40. O primeiro grupo em curvas na cor vermelha e o segundo na cor verde. Vale ressaltar que quase a totalidade da mancha urbana situa-se na faixa das cotas abaixo de 60m, onde predominam os solos sedimentares.

FIGURA 40 – Curvas de nível em função dos solos.

Conforme comentado, a análise se dará baseada em quatro grupos básicos. O primeiro dos grupos é composto pelos solos residuais (Podzólicos e Cambissolos) com substrato xistos e filitos (f,x), denominado Grupo 01. O Grupo 02 é formado pelas mesmas classes de solos do Grupo 01, porém com o substrato granítico (g). O Grupo 03, por sua vez, é formado apenas pelo Cambissolo com substrato granulito (unidade Ca59gl); e Grupo 04 é formado pelos solos com substrato de sedimentos quaternários (Cambissolos e Glei). O esquema da figura 41 retrata a divisão realizada com o objetivo de facilitar a análise dos resultados.

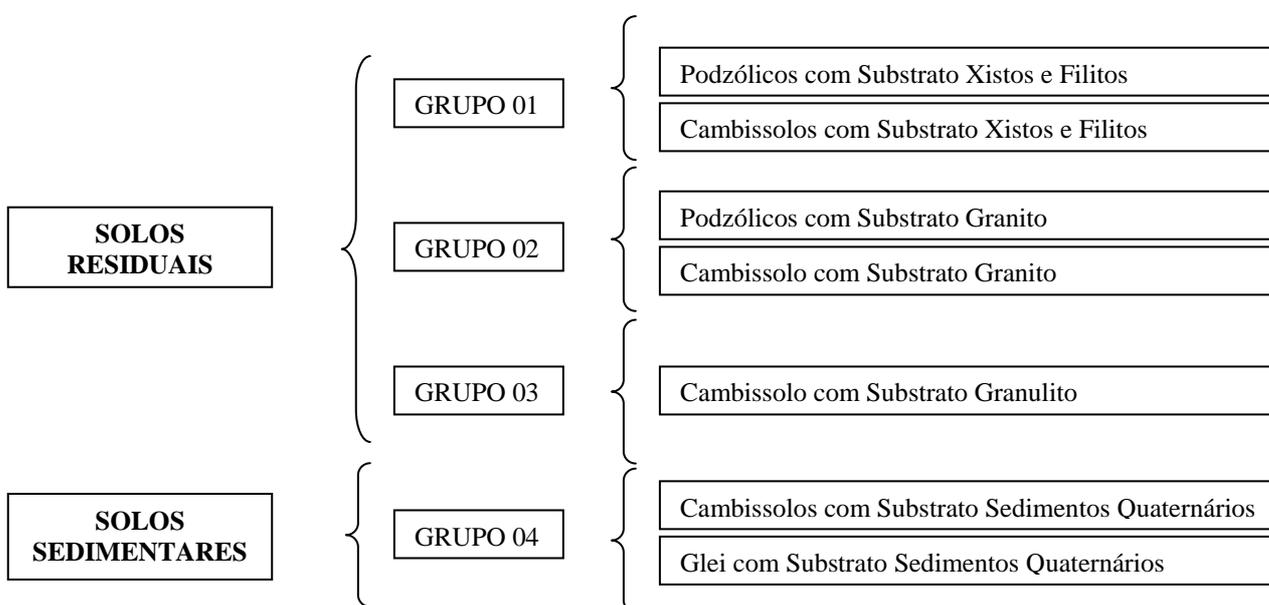


FIGURA 41 – Divisão dos grupos para a análise dos resultados.

Os itens que seguem apresentam uma análise global da situação dos grupos geotécnicos formados, abordando sistematicamente, e de maneira objetiva, os aspectos geológicos, pedológicos, geomorfológicos, em paralelo a fotos, sondagens e artifícios outros disponíveis no SIG que se façam oportunos (hidrografia, MDT, entre outros).

6.1. GRUPO 01

Este grupo compõe os solos residuais de xistos e filitos, e será analisado conforme os aspectos pedológicos. Primeiramente os Podzólicos e posteriormente os Cambissolos.

6.1.1. Unidades: *PVa2 f,x - PVa9 f,x - PVa12 f,x - PVa14 f,x*

Essas quatro unidades representam os Podzólicos Vermelho-Amarelo com substrato de filito e xistos. Todas elas possuem atividade de argila baixa (Tb) em seus horizontes B, textura média/argilosa, podendo ser muito argilosa no caso do PVa12. Além disso, podem apresentar inclusões de cambissolos, com exceção do PVa2. A diferença básica entre elas está no relevo, variando desde ondulado a montanhoso.

Por essência, apresentam cor amarelada ou vermelho-amarelada no horizonte B, o qual apresenta maior teor de argila do que o horizonte A. Normalmente apresentam cerosidade, especialmente se a textura for argilosa ou muito argilosa. São solos típicos de regiões de clima úmido, com perfis bem desenvolvidos, profundidade do horizonte B mediana (até 2 metros), moderadamente ou bem intemperizados. São não hidromórficos, e comumente, possuem diferenciação marcante entre os horizontes. Um registro fotográfico efetuado em um talude exposto da unidade PVa14 f,x exibe um enorme perfil de solo, porém com o horizonte B ainda pouco espesso (figura 42).

Como se pode observar na figura 42, o perfil de solo dessas unidades pode ser bastante espesso, obviamente dependendo do relevo, variação mineralógica da rocha adjacente, dentre outros fatores pedogenéticos. Por esse motivo, os solos dessas unidades são por muitas vezes utilizados como fonte de material de empréstimo para aterros executados de forma indiscriminada pela região. Pouco se sabe a respeito de seu comportamento compactado, nem sobre suas particularidades como subleito de pavimento. O que se observa é que as vias municipais são executadas sem maiores estudos geotécnicos, resultando, em muitos casos, em deteriorações precoces do revestimento asfáltico, ou deformações exageradas nas vias com calçamento e lajotas.



FIGURA 42 – Perfil de solo exposto na unidade PVa14 f,x.

O substrato geológico básico da unidade, composto por xistos e filitos, favorece o desenvolvimento de perfis de solo profundos, não havendo exposições rochosas dessas litologias. A mineralogia dos filitos é baseada em micas e clorita. As micas, dependendo das suas variações e concentrações, podem influenciar o comportamento dos horizontes residuais, em especial o horizonte C. Este horizonte faz a transição entre a rocha alterada e o horizonte B, já mais estável, e pode ser bastante espesso, e, portanto, de elevada importância frente à obras geotécnicas. Suas feições estruturais herdadas da rocha de origem ainda se fazem bem presentes, devendo-se ter precaução especial com bandeamentos e xistosidades com ângulos de mergulho desfavoráveis. Da mesma forma, planos com concentração de mica muscovita (mica branca) resultantes da macrofábrica herdada podem se tornar preferenciais para ruptura, devido ao seu acamamento típico no estado natural. A figura 43 ilustra a situação de um pequeno deslizamento observado num dos locais fotografados. Pode-se perceber, na porção mais a esquerda do talude, o brilho sedoso típico da mica muscovita, que formou um plano preferencial de escorregamento neste pequeno talude de corte.



FIGURA 43 – Perfil de solo exposto na unidade PVa14 f,x.

A mica tipo biotita, muito encontrada no horizonte C, pode acarretar em problemas de expansão significativos.

O banco de dados de sondagens apresenta para as unidades pertencentes a esse grupo, perfis bastante diferenciados. Teoricamente, por se tratarem de solos com uma fração alta de silte e argila, portanto, bastante finos, espera-se que o valor do NSPT inicie baixo para as pequenas profundidades, onde há o predomínio da argila, e conforme se adentre o horizonte C (onde a porção siltosa aumenta), que este valor suba até atingir-se o impenetrável no RA (rocha alterada). O que ocorre é que a grande maioria das sondagens situa-se na mancha urbana, ou próxima a ela. Essa área compreende os arredores do rio principal, que é a zona mais baixa do relevo ou muitas vezes a área de transição entre planície e elevação. Esta verdade acarreta em variações nos solos para pequenas distâncias percorridas. Na realidade, as sondagens posicionadas com o apoio do mapa de ruas servem como excelente ferramenta de apoio para a ocupação das áreas remanescentes na mancha urbana, porém, para o estudo em função das unidades pedológicas e geotécnicas, extrapolações e estimativas se fazem necessárias.

Esse fato pode ser mais bem evidenciado por um simples exemplo, com uma abordagem multidisciplinar e apoiada pelo SIG. A sondagem da Rua Alvin Battistotti do banco de dados foi escolhida, e apresenta-se situada na mancha urbana, conforme a figura 44 abaixo. A seta verde indica o local de sondagem (pequeno círculo azul) escolhida.

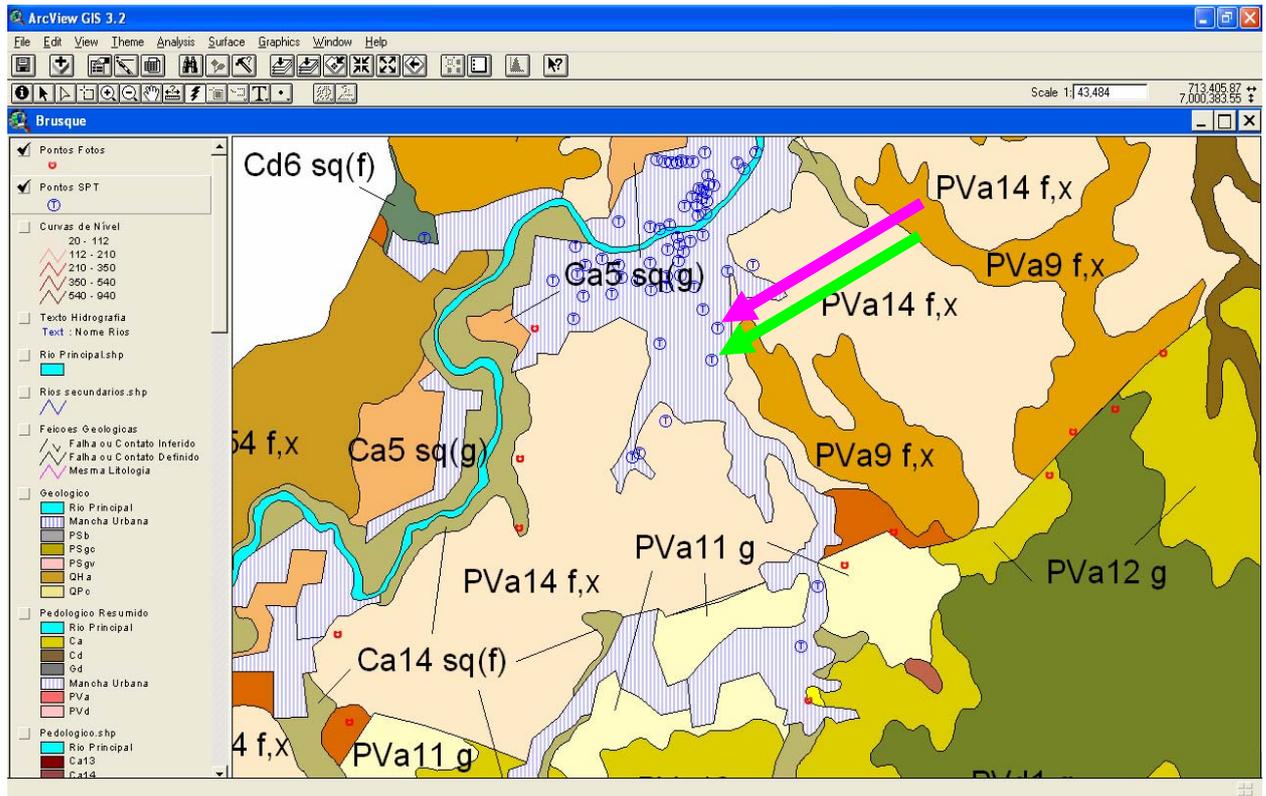


FIGURA 44 – Local de sondagem da Rua Alvin Battistotti, na mancha urbana.

Este local apresenta quatro furos de sondagem, dos quais dois são exibidos na figura 45.

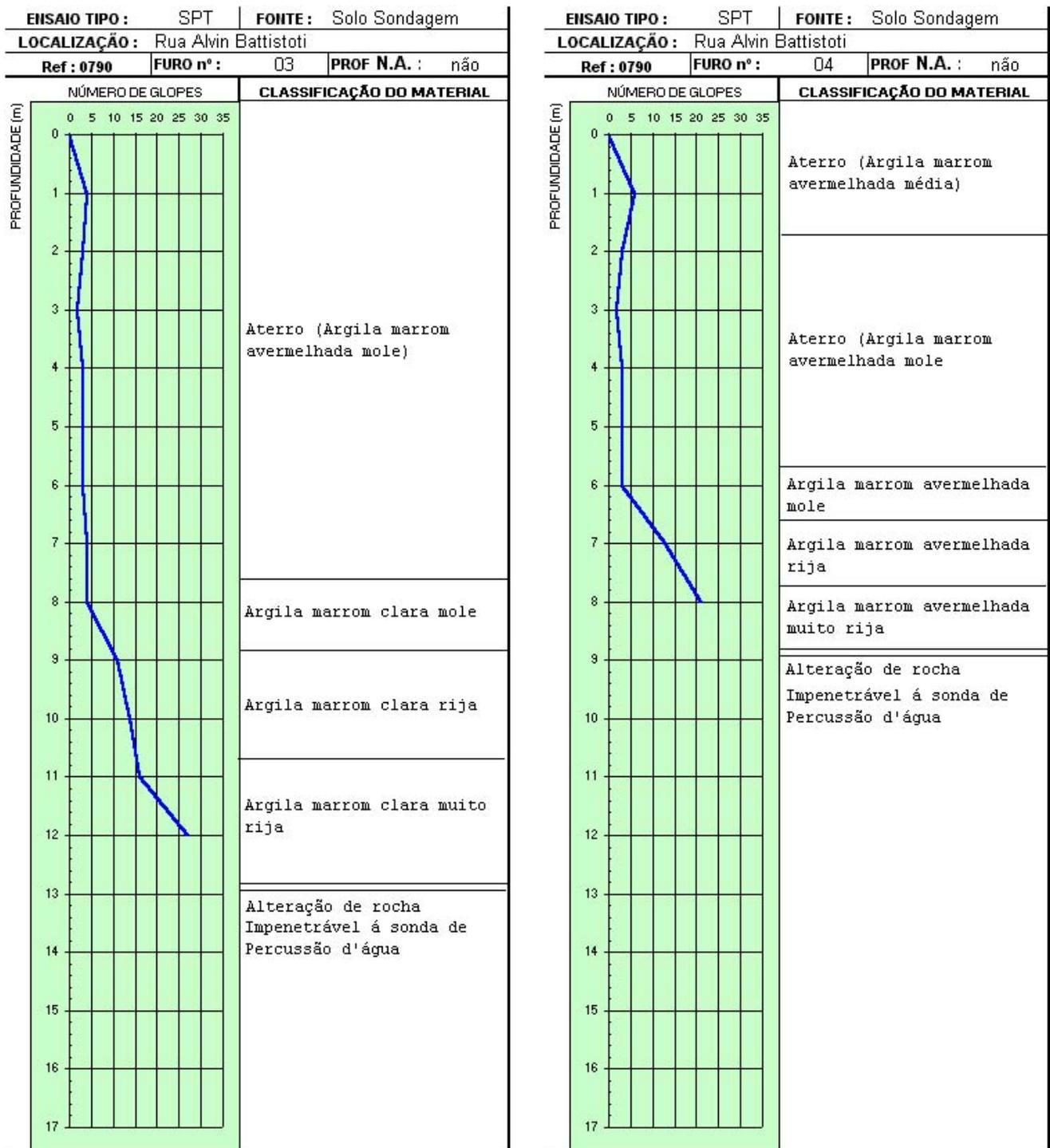


FIGURA 45 – Dois furos de sondagem da Rua Alvin Battistoti.

Esta rua municipal é em aclave, partindo de uma zona baixa até o alto de uma elevação, e é composta por lotes em corte e aterro. Tudo leva a acreditar-se que abaixo da camada de aterro descrita na sondagem, tenha se atingido o horizonte B, ou diretamente o horizonte C dos solos residuais de xisto ou filito. E conforme o ensaio atinge maiores profundidades, encontra a alteração de rocha (RA) até que a sondagem se dá por encerrada. Se analisada novamente a

figura 44, logo se conclui (por estimativa) que realmente trata-se da unidade PVa14 f,x, ou no máximo PVa9 f,x.

Agora, escolhida a sondagem existente na Av. Primeiro de Maio (3), situada ligeiramente acima da anterior e indicada pela seta cor de rosa na figura 44, tem-se dois dos quatro furos na figura 46.

Estes furos de sondagem, embora não se situem muito afastados dos anteriores, possuem duas camadas com descrições bastante diferenciadas. A primeira com areia grossa cinza, e a segunda com argila cinza esverdeada mole, com boa espessura. O aparecimento de camadas de argila mole acinzentadas sugere solos hidromórficos, onde lentes de areia podem ocorrer. Neste momento entra a praticidade da utilização do SIG. Com essa estimativa, é suficiente avaliar a hidrografia e as curvas de níveis para perceber que este local encontra-se numa posição mais abaixo da anterior, e, além disso, bastante próximo a um ribeirão. Muito embora o laudo da sondagem não tenha apresentado a posição do nível de água NA, pode-se estimar que esteja em uma cota variando entre 3 e 5 metros provavelmente. Com esta rápida análise, pode-se dizer que não é nenhum absurdo esses furos terem apresentado tais descrições, muito embora num primeiro instante elas pareçam inconsistentes.

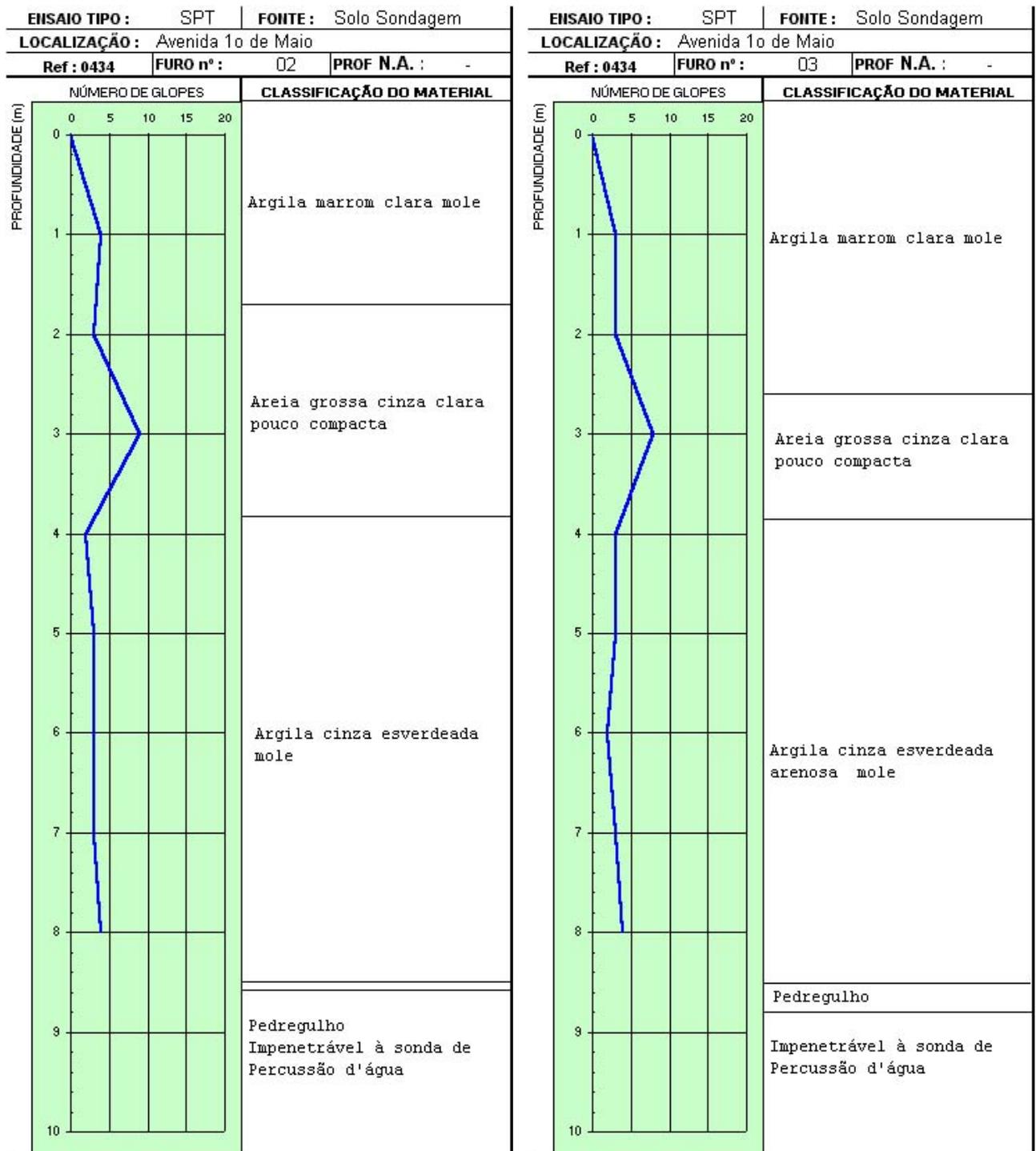


FIGURA 46 – Dois furos de sondagem da Rua Primeiro de Maio (3).

Essa análise seria dispensável se a mancha urbana não fosse considerada um impedimento para o detalhamento do mapa pedológico. Porém, seria necessário trabalhar em uma escala muito maior para que tal detalhamento possa efetivamente ser reslizado. Na verdade, a presença da mancha

urbana é um fator que dificulta bastante os trabalhos de levantamento de solos, por motivos óbvios, resultando em um trabalho mais complexo, já que os perfis de solo apresentam-se cobertos pelos pavimentos e edificações, ou alterados por escavações, aterros recentes e antigos, entre outros. E isso se torna ainda mais complexo ainda quando ela ocupa uma área com muitas variações de relevo, e conseqüentemente nas classes pedológicas, como é o caso.

Um outro aspecto bastante relevante é de que as sondagens em solo normalmente são contratadas quando o terreno a ser ocupado por algum empreendimento situa-se em local plano e normalmente de baixada. É muito raro se obter dados de sondagens para locais com altitudes maiores. Por um lado, isso pode parecer bastante lógico, pois normalmente, conforme se avança em direção aos topos dos morros, maior a resistência à penetração dos solos, e para obras convencionais, muitas vezes se dispensa a investigação do subsolo. Porém, essa é somente uma “tendência”, e não uma verdade genérica. Para os solos dessa unidade, uma obra de grande porte pode ter sérios problemas se realizada sobre fundações rasas, já que o solo não apresenta boa capacidade de suporte, em especial nos primeiros metros. Isso tanto é verdade que há relatos de obras realizadas sobre fundações profundas, mesmo estando situadas em pontos elevados do município.

De uma maneira geral, o que se observa é que a resistência a penetração medida pelo ensaio de SPT não atinge grandes valores nas pequenas profundidades, sendo a solução por sapatas pouco segura. Além disso, o horizonte C, em especial, pode ser expansivo, piorando a condição. O que se faz em muitos casos, para obras de pequeno e médio porte, são sapatas dentro das quais são escavadas estacas a trado, até se atingir o impenetrável ao trado. Essas pequenas estacas são armadas e preenchidas com concreto juntamente com a fundação superficial. Este procedimento tem sido bastante usual e tem funcionado bem em obras na região.

6.1.2. Unidades Ca6 f,x- Ca14 f,x- Ca51 f,x- Ca54 f,x

Esse grupo de unidades normalmente recebe, frente aos aspectos geotécnicos, as mesmas considerações das unidades PVa com o mesmo substrato. A distinção pedológica entre elas representa, grosseiramente falando, diferenças nas propriedades do horizonte B (solo residual maduro). Os Cambissolos caracterizam-se por possuírem este horizonte incipiente, apresentando pequeno grau de desenvolvimento não suficiente para decompor totalmente os minerais primários facilmente intemperizáveis, ou para reduzir os teores de silte a níveis suficientemente baixos. Logo, deve-se atentar para o fato de que a textura desse horizonte, e a atividade da argila

podem diferir bastante das encontradas nos Podzólicos. O Ca6 f,x, por exemplo, pode apresentar argila Ta (argila de atividade alta), no seu horizonte B, o que é um forte indício de que serão encontrados solos expansivos nos horizontes subjacentes. Além disso, apesar de apresentar uma textura predominantemente argilosa, pode-se encontrar uma fase pedregosa nesse horizonte. Já no caso do Ca14 f,x, a textura varia de argilosa a média, com argila Tb. O restante dos Cambissolos deste grupo possui textura argilosa com Tb (argila de atividade baixa).

As considerações básicas apresentadas para os Podzólicos Vermelho-Amarelo são válidas também para esse grupo. Essa diferenciação de tratamento é justificada pelo fato de que essa é uma prática comum nos mapeamentos realizados no Estado de Santa Catarina, como o de Higashi (2006) e Santos (1997). Dessa forma, como o presente trabalho não realiza a coleta e ensaios de amostras nos solos apresentados, é interessante que sejam realizadas tais investigações nessas unidades para verificar as possíveis diferenças entre seus comportamentos geotécnicos.

6.2. GRUPO 02

Da mesma maneira que o Grupo 01, o Grupo 02 arranja os solos residuais do granito, e distingue os Podzólicos Vermelho-Amarelos da única unidade de Cambissolo Ca64g.

6.2.1. Unidades PVa g – PVal1g – PVal g – PVal4g – PVal6g – PValg

Embora a classificação pedológica dos solos desse grupo seja a mesma do anterior, o fato de diferirem na litologia faz com que se tenha uma situação bastante distinta. A presença dominante dos granitos nessa unidade acarreta em perfis de solos normalmente menos espessos e com melhor comportamento frente a muitas propriedades geotécnicas.

Um detalhe bastante relevante é a variação que o granito apresenta, dentro da mesma unidade. Este tipo de rocha pode apresentar solo com texturas finas e também grosseiras, variando sua granulometria em função do processo de formação, que resulta em diferentes composições mineralógicas e de tamanho dos grãos.

Sabe-se que a granulação de uma rocha ígnea é função direta da velocidade de resfriamento do maciço em formação. Assim sendo, as considerações aqui deferidas de forma genérica para a unidade, devem ser adaptadas para as realidades pontuais observadas em campo. Um exemplo disso está representado na figura 47, que exhibe um perfil de solo residual de um granito com

granulometria fina, resultando num solo profundo. Neste local pode-se observar a presença de matações de rocha no horizonte C.



FIGURA 47 – Perfil de solo de granito.

Um outro corte de solo fotografado apresenta um perfil menos espesso, e com exposição da rocha matriz. A figura 48 mostra este perfil, onde se pode facilmente identificar os horizontes de solo A, B, C, RA e a rocha matriz.

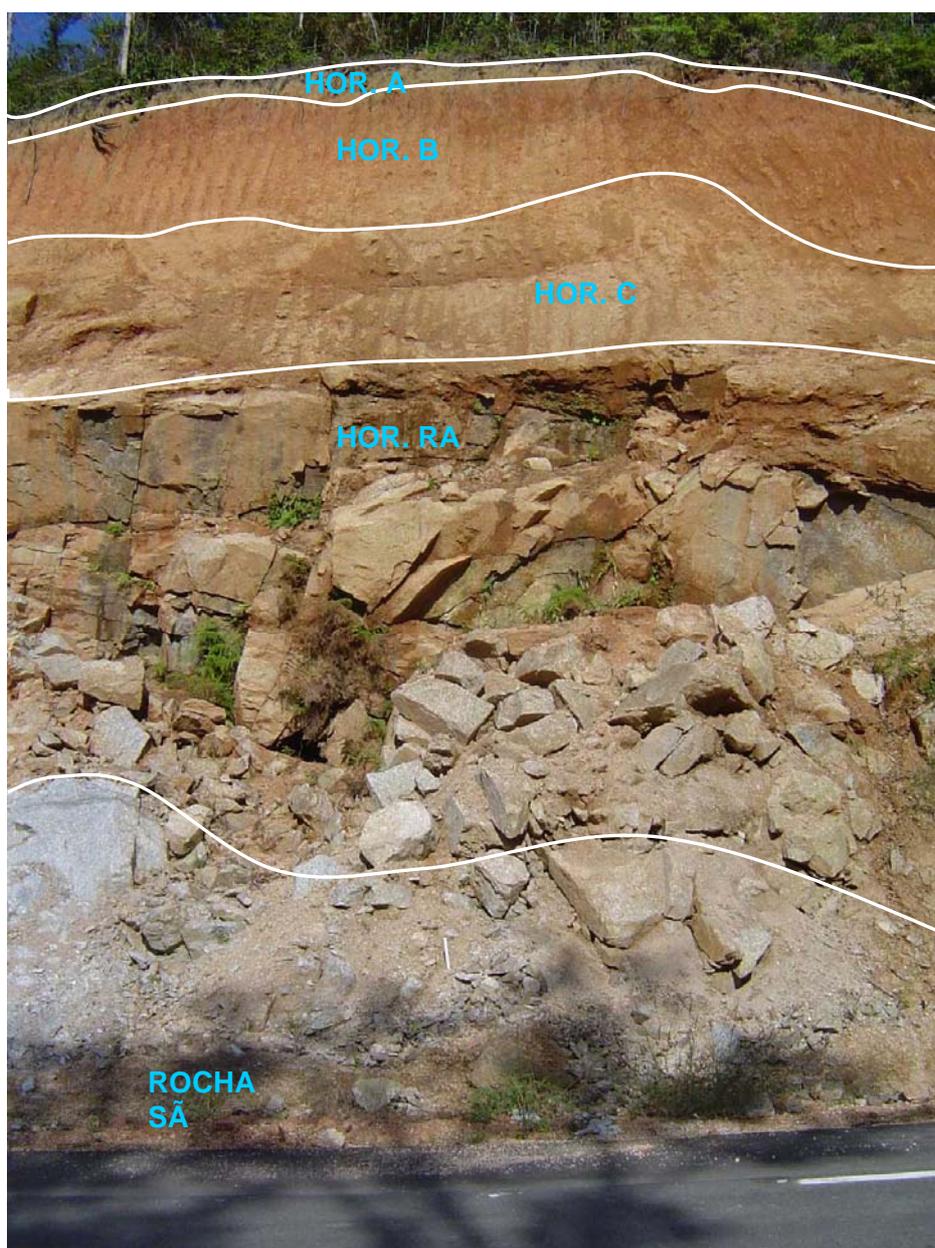


FIGURA 48 – Perfil de solo de granito.

Nesse caso, a textura da rocha de origem apresentava-se mais grosseira que a anterior, e menos alterável, repercutindo na espessura do perfil de solo. O Horizonte RA, quando exposto, apresenta instabilidade e risco de queda de blocos e detritos, como evidenciado na fotografia. Este corte, em particular, deveria ter sido executado com uma inclinação menor ou com alguma estrutura de contenção para conter as quedas de fragmentos de rocha.

O horizonte C deste material normalmente apresenta alto ângulo de atrito, porém baixa coesão. Assim sendo, por possuir baixa altura crítica, devem ser evitados cortes próximos a 90 graus.

Alguns episódios de deslizamento em épocas chuvosas já foram registrados, em especial em escavações de obras, onde se costuma trabalhar em situações críticas. Este horizonte, por ser mais arenoso que o B, também tem maior potencial erosivo.

O horizonte B possui pequena espessura, sendo normalmente constituído por solo não expansivo, já que seus minerais se encontram alterados a elementos mais estáveis pelo processo de intemperismo. Este fato ocorre em razão da boa drenagem que este tipo de perfil apresenta.

Devido à variação da composição e granulção da rocha de origem desta unidade geotécnica, ensaios geotécnicos desses materiais também devem apresentar significativas variações. Em relação ao banco de dados de sondagem SPT, nenhum furo se apresenta inserido sobre essas unidades, apesar delas ocuparem uma área bastante representativa do município. Isso se deve basicamente a dois fatores. O primeiro é a baixa ocupação dessas áreas, por estarem em sua maioria afastadas do centro urbano da cidade, em zonas de relevo bastante acidentado. O segundo fator é que as ocupações existentes nessas regiões se dão predominantemente por residências, que por tradição são normalmente executadas sem investigações geotécnicas apuradas, ou seja, apenas com investigação por tradagem ou escavação de pequenos poços de observação.

De qualquer modo, estimando-se um perfil de sondagem típico para este grupo de unidades geotécnicas, seria construído um gráfico com valor do N_{SPT} crescente com a profundidade, chegando ao impenetrável no RA. Diferiria das unidades com substrato xistos e filitos (f,x), por conter valores mais altos do N_{SPT} já no horizonte B, variando de 3-5 golpes, e ao adentrar ao horizonte C, atingir-se-ia valores da ordem de 7-10 golpes, crescentes conforme alcançasse maiores profundidades. Obviamente, as variações granitóides existentes resultariam em diferentes valores no valor de N_{SPT} e também na descrição correspondente às camadas de solo. Más, pelo bom desempenho das fundações diretas observadas nas edificações existentes nessas unidades, pode-se concluir que o solo apresenta satisfatórios parâmetros de resistência, já nos primeiros metros de profundidade, onde se assentam as sapatas das pequenas obras.

6.2.2. *Unidade Ca64g*

Embora esta seja a única unidade de Cambissolo com substrato granítico, os Cambissolos se fazem presentes como inclusões na maioria das unidades de Podzólico. Além disso, na unidade

Ca64 g é comum a inclusão de solo tipo Podzólico, fazendo com que, para fins geotécnicos, esta unidade seja tratada de maneira idêntica às relatadas no item anterior.

6.3. GRUPO 03 - UNIDADE Ca59 gl

A única unidade geotécnica formada por solo residual de granulito está situada no extremo sul do município, e segundo o mapa de ruas, não possui acesso por estradas mapeadas. Por essa razão, não se tem nenhum registro fotográfico, sondagens, ou qualquer dado relativo a esta área. Sendo assim, poucos comentários serão tecidos, partindo-se apenas dos caracteres pedológicos e litológicos.

Os solos de granulito aparecem em várias regiões do estado, sendo muito freqüente na região centro norte do município, até a região de Joinville, São Francisco do Sul e Guaramirim. São solos normalmente profundos e muito propensos à expansão.

Este tipo de solo foi caracterizado por Higashi et. Al. (2001), em São Francisco do Sul, como impróprio para ser utilizado em seu estado compactado, em função dos baixos valores de CBR e elevados valores de expansão apresentados em seus ensaios, impossibilitando seu uso como material de empréstimo. Além disso, ensaios laboratoriais atestaram a propensão deste solo a ser erodível, característica bastante analisada nos estudos ambientais.

6.4. GRUPO 04

Por fim, este grupo abriga os solos sedimentares, e os divide pela classificação pedológica em Cambissolos e Gleis. Grande parte da mancha urbana situa-se sobre solos dessas unidades, já que ocupa predominantemente zonas baixas. O Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas, associado às curvas de níveis, permite a constatação de que a grande maioria das áreas que compreendem esses solos estão abaixo da cota dos 60m, conforme relatado no início do capítulo.

6.4.1. Unidades Ca5 sq(g) – Ca6 sq(g) – Ca13 sq(f) – Ca14 sq(f) – Cd1 sq(f) – Cd6 sq(f)

Os Cambissolos normalmente ocorrem em relevo predominantemente ondulado, forte ondulado ou montanhoso, e não apresentam perfis profundos. Porém, é comum também ocorrerem em terraços de rios ou riachos. Para os solos desse grupo em análise, situados em zonas de baixa declividade, em muitos casos em pés de morros, a possibilidade mais sensata é de eles terem sido fruto de escorregamentos antigos, de solos residuais sobre solos sedimentares. Esse material

escorregado, após algum tempo de atuação dos agentes pedogenéticos, resultou no surgimento de um perfil de solo pouco desenvolvido. Assim, o que se observa é um pouco espesso perfil de solo que se desenvolveu sobre os solos sedimentares, indiferente se a granulometria da deposição é fina ou grosseira. Como perfis desta natureza são ainda incipientes, nenhum Podzólico se apresenta sobre esse substrato, já que para tal se exige um grau mais avançado de desenvolvimento.

Pode-se afirmar, que esses solos não possuem o nível d'água aflorando, porém é muito possível que não sejam profundos. Essa afirmação é baseada no princípio de que os Cambissolos são solos não hidromórficos, e por esse fato são formados sem influência direta do lençol freático, ou não inundados por ele. Por outro lado, nada se pode afirmar sobre a profundidade do nível d'água, pois este pode apresentar grande variação de posição, por ser influenciado por vários aspectos (relevo, intensidade de chuvas, cota de rios e riachos vizinhos, vegetação, clima, estação do ano etc).

Pelo fato de estarem situados em locais de baixada ou relevo pouco acidentado, não se obteve nenhum registro fotográfico de perfis de solo, já que exposições desses perfis são mais raras de serem observadas. Por outro lado, boletins de sondagem SPT não são tão raros, muito embora ainda sejam poucos.

Um fato observado é que alguns dos furos de sondagem situados nessas unidades, ou na mancha urbana (próximos a tais unidades), apresentam na superfície uma camada de solo que o sondador classifica como aterro, abaixo da qual surge uma espessa camada de argila cinza/esverdeada, normalmente mole, e lentes mais arenosas. A camada de inferior seria algo de se esperar, por tratar-se de um substrato de sedimentos do quaternário. A camada descrita como aterro é apresentada pelo operador da sondagem com a descrição de uma argila marrom/avermelhada siltosa/arenosa, ou algo do tipo. O que se questiona é se essa camada tida como aterro não seria na verdade o Cambissolo formado a partir de um colúvio sobre o solo sedimentar. Um sondador, mesmo experiente, poderia assumir, que um solo vermelho acima de uma camada de argila mole só poderia estar ali se tivesse sido transportado pelo homem, o que parece bastante razoável, ainda mais pelo fato desse material não ter mais a estrutura de um solo residual típico. Somente com uma investigação *in situ* se poderia verificar a realidade. De qualquer modo, foram selecionados dois locais contendo furos de sondagem, localizados no mapa geotécnico pelas setas na figura 49.

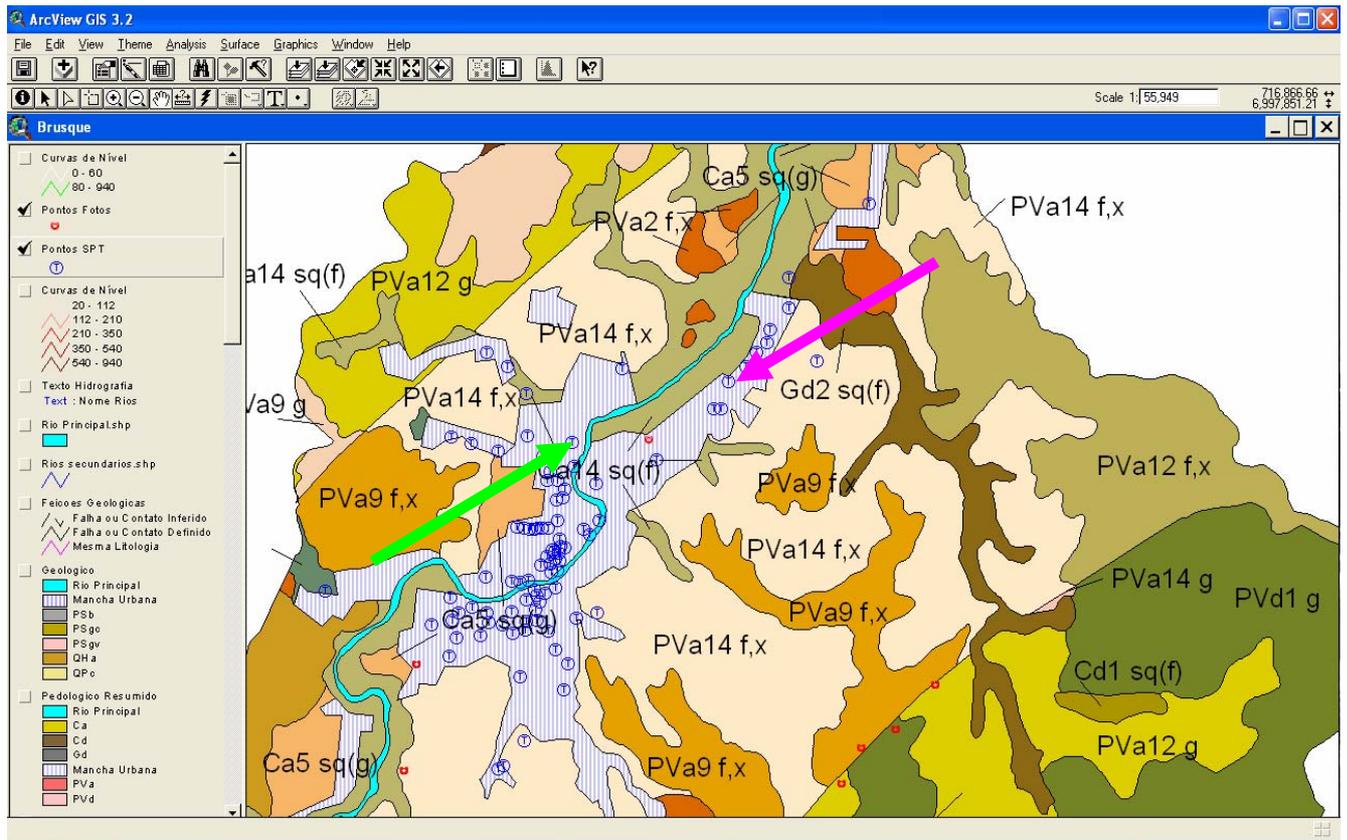


FIGURA 49 – Dois furos de sondagem de diferentes localidades.

A seta magenta pertence ao furo da rua Santos Dumont, e a verde da rua João Becker (furo da esquerda), apresentados na figura 50. Os dois furos de sondagens exibem a camada superficial de aterro comentada. Eles pertencem a locais afastados por mais de 2 km.

Analisando-se os boletins, claramente se conclui que são solos tipicamente sedimentares. É interessante notar a semelhança da camada enfatizada anteriormente, descrita em ambas as sondagens como aterro. Ambos os furos estima-se serem pertencentes à unidade Ca14sq(f), por estarem situados próximos dela, apesar de apresentarem-se na mancha urbana.

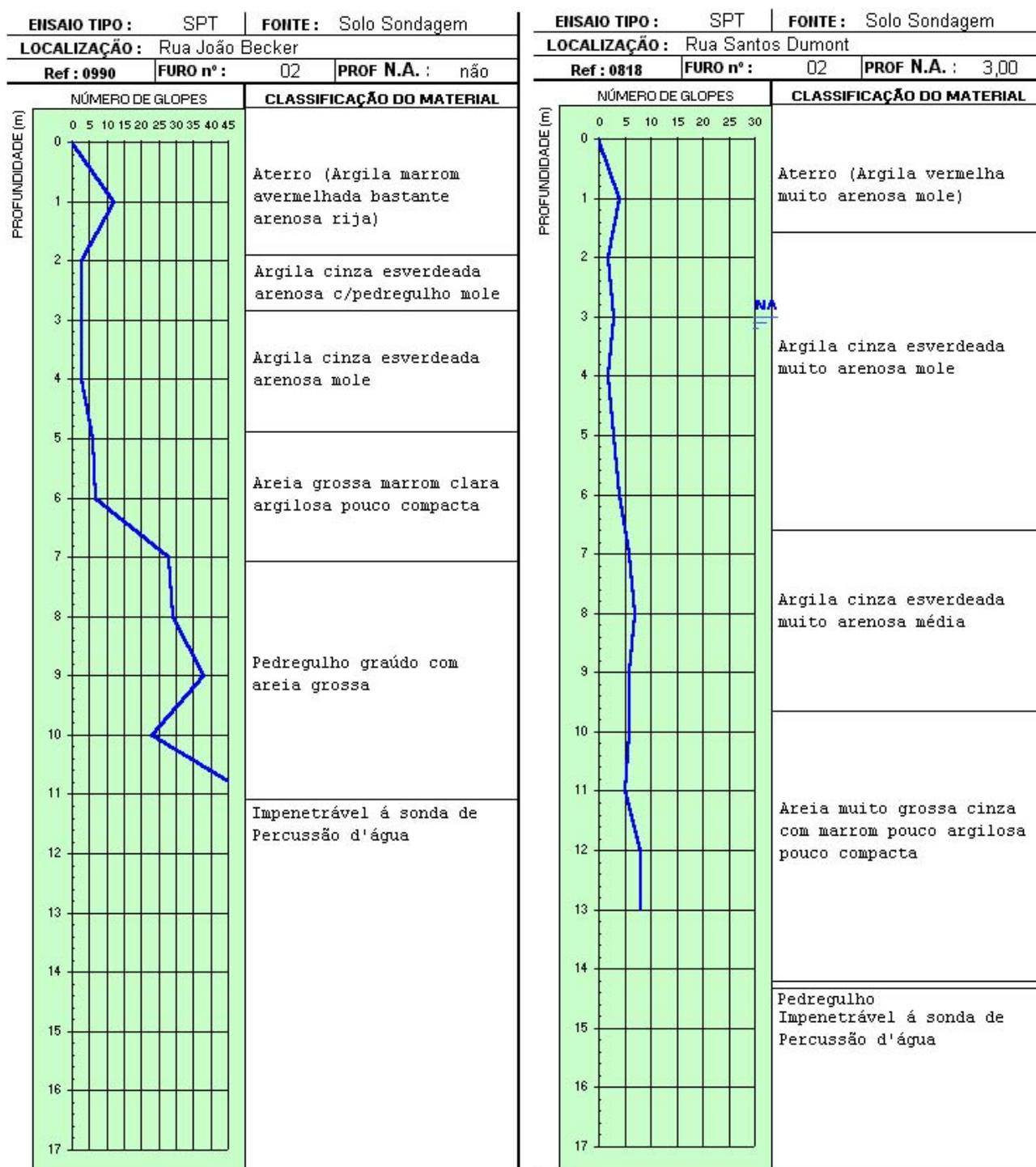


FIGURA 50 – Dois furos de sondagem de diferentes locais pertencentes a unidade C14 sq(f).

Algumas observações se fazem oportunas nesse momento. A primeira delas é a grande possibilidade da camada de aterro ser mesmo os horizontes de Cambissolo como classificado pedologicamente. A segunda é sobre o entendimento do desenvolvimento do perfil de solo numa situação como essa. Para um solo residual, o horizonte B nada mais é do que um estágio mais avançado da evolução do horizonte C, sendo ambos solos residuais de uma mesma rocha de

origem, e que em alguns casos são horizontes bastante semelhantes (visualmente inclusive). Porém, no caso do substrato ser de sedimentos do quaternário, essa situação pode ser bastante mais complicada, necessitando de estudos adicionais para seu entendimento e descrição.

6.4.2. *Unidade Gd2 sq(f)*

Os solos do tipo Glei ocorrem em relevo plano de várzea, sendo solos tipicamente hidromórficos. Apresentam, normalmente, um horizonte A escuro relativamente espesso e, logo abaixo, uma camada de cor acinzentada com ou sem mosqueado ou variegado. O teor de matéria orgânica é relativamente alto e, em consequência, a capacidade de troca de cátions é alta. Isso resulta na maioria dos casos em solos muito expansivos, além de apresentarem alta compressibilidade.

No município de Brusque, poucas sondagens situam-se nessa unidade mapeada, porém, na mancha urbana, ocorrem inúmeros perfis contendo a argila orgânica cinza/esverdeada mole. Nessas localidades, além da argila mole, aparecem trechos mais ou menos arenosos, variando assim a resistência à penetração.

Além de apresentarem alta compressibilidade e expansão, os solos de Glei normalmente possuem baixa capacidade de suporte, baixo ângulo de atrito, alto teor de umidade, lençol freático próximo da superfície, entre outros. Esses terrenos quando ocupados por obras de engenharia, normalmente exigem soluções por fundações profundas, o que enfatiza a prerrogativa de haverem tantos resultados de sondagem SPT em argilas moles do município.

Os solos desta unidade geotécnica, ao serem solicitados na sua forma natural, poderão apresentar grandes deformações. Não se aconselha o uso deste tipo de solo devido apresentar características de hidromorfismo.

Da mesma forma que para os Cambissolos substrato sedimentos quaternários, a unidade do Glei também não foi fotografada, pelas mesmas razões. Dessa maneira, algumas considerações são realizadas baseadas nas sondagens.

Dentre os vários boletins de sondagens pertencentes à mancha urbana, nas zonas de relevo mais plano, muitos registram a camada de argila mole típica desses solos, e nível d'água com profundidades a partir de 1,5m aproximadamente. Porém, não se encontrou uma descrição com o perfil completo de Glei, com o horizonte escuro e espesso desde a superfície, situado sobre a

camada mole típica, que ao contrário é bastante comum. O que ocorre com frequência são os boletins de sondagens apresentados para os Cambissolos com mesmo substrato, costumeiramente aparecendo uma camada marrom/vermelha argilosa classificada como aterro, e a argila escura mole logo abaixo. Esse fato leva a uma conclusão básica, ou essa camada classificada como aterro é o Cambissolo, ou ela realmente é um aterro executado sobre o Gleí.

De qualquer modo, do ponto de vista geotécnico, o tratamento dado para o Grupo 04 será um só, tendo em vista de que as variedades pertencentes a esse grupo não apresentam características divergentes importantes.

6.5. MAPA DE GRUPOS GEOTÉCNICOS

A partir da separação em grupos formada, foi gerado um mapa a partir do Mapa Geotécnico, dividindo por cores as variedades geotécnicas que compõem um mesmo grupo. A finalidade é de se apresentar um mapa contendo as unidades geotécnicas, porém com um esquema de cores que represente os grupos geotécnicos formados e analisados. Assim sendo, cinco cores formam este novo mapa, cuja legenda é apresentada a seguir, na figura 51.



FIGURA 51 – Legenda para Mapa de Grupos Geotécnicos.

FIGURA 52 – Mapa de Grupos Geotécnicos escala 1:150 000.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Tendo em vista todo o trabalho realizado e aqui apresentado, as conclusões têm o intuito de avaliar os métodos, procedimentos, softwares, dentre outros, sob o ponto de vista de seus resultados, já apresentados e analisados. Obviamente, o mapeamento geotécnico do município ainda pode (e deve) ser muito melhorado e implementado, e é isso que vem no item de sugestões para trabalhos futuros.

7.1. CONCLUSÕES

O mapeamento geotécnico do município de Brusque, muito embora tenha sido apresentado ainda de maneira preliminar, demonstra ser uma excelente ferramenta para a análise geotécnica de grandes áreas, a partir dos grupos geotécnicos concebidos. A utilização do mapeamento geotécnico possibilita a orientação da utilização do solo, facilitando a previsão do comportamento dos mesmos.

O SIG construído com o *software* ArcView mostrou-se bastante adequado para o trabalho de mapeamento geotécnico associado a banco de dados. Além de permitir a integração de vários mapas e dados, ele tem a capacidade de gerar e cruzar mapas, gerando novos planos de informações. Sua interface simples e prática permite fácil consulta a dados e mapas, de maneira rápida, permitindo que as análises possam ser realizadas de maneira objetiva. A utilização de sistemas de informações geográficas é bastante adequada para organizar e apresentar os resultados do mapeamento geotécnico, que envolvem uma grande quantidade de informações que tem referência espacial.

A partir dos mapas gerados, outros ainda podem ser implementados, para serem utilizados diretamente no planejamento urbano, de forma mais simplificada ou didática.

O banco de dados de sondagem SPT constitui uma ótima ferramenta para a análise geotécnica dos solos, muito embora grande parte dele se situe na mancha urbana do município. Mesmo assim, extrapolações podem ser realizadas para que assim novas análises sejam feitas.

As fotos de perfis típicos, em locais de exposição do solo, compõem um conjunto de informações bastante importantes, que também permitem análises frente à pedologia, geologia e à geotecnia de maneira geral.

O mapa geotécnico, muito embora apresente uma gama enorme de unidades, pode ser avaliado frente a 04 grupos geotécnicos básicos, definidos pelas litologias do município. A partir daí, novas divisões ocorrem, porém sem grande importância geotécnica até o momento. Conforme novos dados forem incluídos no SIG, essas divisões podem vir a se tornarem bastante importantes.

7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Buscar mapas em melhores escalas, para que sejam possíveis resultados mais confiáveis e detalhados no mapeamento;
- Encontrar o limite do município numa escala mais adequada do que a encontrada;
- Obter imagens de satélite do município, a partir das quais possam ser digitalizadas as ruas de maneira precisa, e não sendo necessário o mapa georreferenciado em utilização, que possui erros evidentes;
- Aumentar o banco de dados, através de coleta e realização de novos ensaios geotécnicos, de campo e laboratório, buscando caracterizar melhor as diferenças entre grupos e unidades geotécnicas encontradas;
- Realizar saídas à campo, auxiliadas por GPS, buscando demarcar *in situ* as fronteiras de unidades, corrigindo os mapas existentes, quando necessário;
- Buscar caracterizar diferenças existentes dentro de uma mesma unidade, como pode ser encontrado nos solos com substrato granítico, que são bastante heterogêneos. Se possível, criar novas unidades mais homogêneas.
- Realizar todas e quaisquer correções no mapa de estimativas de unidades geotécnicas, a partir de novos dados, novos estudos e ensaios, sempre melhorando a confiabilidade do mesmo;
- Buscar caracterizações de ordem pedológica, litológica e geotécnica para a mancha urbana, onde se faz presente boa parte do banco de dados, possibilitando assim uma melhor análise das informações contidas nos boletins de sondagens.

-
- Realizar mais trabalhos de mapeamento geotécnico em outras regiões, para consolidar cada vez mais a metodologia de mapeamento em prática, e para que seja aumentado o conhecimento das características e propriedades dos solos brasileiros.

8. REFERÊNCIAS

ARONOFF, S. *Geographic Information System: a Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa, Canadá. 1989.

BARROSO, J. A. *Experiências de Mapeamento Geológico-Geotécnico no Rio de Janeiro: Escalas, Detalhes a Considerar e Resultados*. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL. Anais. Porto Alegre, UFRGS, 1989. p. 218-227.

BASTOS, G. *Estudos em Sistemas de Informação Geográfica para o Mapeamento Geotécnico de Feira de Santana – BA*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. UnB, Brasília, 1996.

BASTOS, G. *Estruturação de Banco de Dados a partir do Mapeamento Geotécnico Aplicado à Região de Ribeirão Preto (SP)*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2005.E.

CABALLERO, M. *Evolución Histórica de los Mapas Geotécnicos*. In: BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO, Espanha, Tomo 84, Fascículo I, p: 55-68. Enero e Febrero, 1973.

BURROUGH, P. A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Assessment*. Oxford, Oxford Press, 1988.

BURROUGH, P.A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. New York : Oxford University Press, 1994.

CARTER, J. R. *On Defining the Geographic Information System*. In: RIPPLE (ed). *Fundamentals of Geographic Information Systems: a Compendium*. ASPRS/ACSM. Falls Church, Virginia. 1989.

CASAGRANDE, A. *Classification and identification of soils*. ASCE, 1948. v.113.

COWEN, D. J. *GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54: 1551- 1555, 1988.

SILVA, D. D. Uso do Sistema de Informação Geográfica no Cadastro de Sondagens SPT na Bacia do Itacorubi. Florianópolis, 2000 Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, UFSC.

SILVA, D. D. *Elaboração de um Banco de Dados Geotécnico da Área Urbana de Novo Hamburgo/RS*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2002.

DAVISON DIAS, R.; BASTOS, C.; PINHEIRO, R. *Projeto SIGEO – Região Metropolitana de Porto Alegre*, FAERGS, Porto Alegre, 1996.

DAVISON DIAS, R. E GEHLING, W. Y. Y. Influence of the Macrostructure Originated from Pedologic Process on the Mechanical Behaviour of Lateritic Porous Soils in South Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, BRASILIA. PROCEEDINGS. Anais. São Paulo: ABMS, V.2, p.255-268, 1985.

DAVISON DIAS, R. *Aplicação da Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão*. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ, 1987

DAVISON DIAS, R. *Geomecânica dos Solos Lateríticos do Sul do Brasil*. II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL Anais. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, Novembro, 1989. p. 96-120.

DAVISON DIAS, R. *Proposta uma Metodologia de Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias, Estradas Rurais e Vicinais em Solos Brasileiros*. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO Anais. Florianópolis, 2001.

DUARTE, S. B. *Utilização de Sistema de Informações Geográficas na Análise do Meio Físico e do Uso do Solo na Lagoa da Conceição - Florianópolis; Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. ESRI. Arc View User's Guide. EUA : Redlands, 1992.*

GALVÃO, M. V. *Atlas Nacional do Brasil*. Rio de Janeiro : IBGE-CNG, 1966.

GOODCHILD, M. F. *Geographic Information Systems in undergraduate geography: A contemporary dilemma*. The Operational Geographer, 8: 34-38, 1985.

HIGASHI, R. R.; DAVISON DIAS, R.; MAFRA JR. C. S.; COELHO. D. A.; MARTINS, K. P. Análise do Subsolo de Santa Catarina Visando a Implantação de Rodovias. Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis. 2001

HIGASHI, R. R. *Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental* - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Infra-Estrutura Viária. 485p, 2006.

HIGASHI, R. R. Utilização de um SIG no Desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnico do Norte do Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Infra-Estrutura Viária. 198p, 2002.

HANIGAN, F. *GIS by any other name is still...* The GIS Fórum 1: 6. 1988.

KÖPPEN, W. *Grundriss der Klimakunden*. De Gruyter, Berlin. XII, 338pp. 1931.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de baixo custo com solos laterítico*. São Paulo: Ed. Vilibor, 240p, 1995.

MCHARG, I. L. *Design with Nature: The definitive work on the use of map analysis in landscape arquitetura*. Doubleday, New York, 1969.

PRANDINI, F.L.; NAKAZAVA, V.A.; FREITAS, C.G. *Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais*. IN: CURSO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA APLICADA A PROBLEMAS AMBIENTAIS, 2., 1992, São Paulo. Anais... São Paulo, 1992.

SANTOS, G. T. *Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 1997.

SILVA, A. B. *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos*. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999.

STAR, J. L. e ESTES, J. E. *Geographic Information System: An Introduction*, Prentice Hall, 1990.

TOMLIN, C. D. *Geographic Information System and Cartographic Modelling*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1990.

TOMLIN, C. D. *The Impact of the Transition from Analogue to Digital Cartographic Representation*. American Cartographer 15: 249-62. An overview from pioneer of GIS. 1988

UNESCO – IAEG. *Engineering Geological Maps. A Guide to Their Preparation*. Paris : The unesc press, 79p.

VIANELLO, R.L. e ALVES, A.R. *Metereologia básica e aplicações*. Viçosa : UFV. 449p, 1991.

ZUQUETTE, L.V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras São Carlos – SP*, 1987. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP.

ZUQUETTE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. *Cartas de Geologia de Engenharia*. In: ABGE. *Geologia de Engenharia*. São Paulo : Editora. p. 283-300, 1998.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO 01 – MAPA GEOLÓGICO

9.2. ANEXO 02 – MAPA LITOLÓGICO

9.3. ANEXO 03 – MAPA PEDOLÓGICO

9.4. ANEXO 04 – MAPA GEOTÉCNICO