

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM)

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEO-REFERENCIADA NA ANÁLISE
GEOTÉCNICA DA ÁREA URBANA DE NOVO HAMBURGO/RS**

Daniel Dassoler da Silva

Dissertação para obtenção do título de

Mestre em Engenharia

Porto Alegre (RS)

2002

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM)

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEO-REFERENCIADA NA ANÁLISE
GEOTÉCNICA DA ÁREA URBANA DE NOVO HAMBURGO/RS**

Daniel Dassoler da Silva

Engenheiro Civil

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral

Porto Alegre (RS)

2002

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Regina Davison Dias

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Cezar Zingano – DEMIN - UFRGS

Prof. Dr. Fernando Schnaid – DECIV - UFRGS

Prof^a. Dr^a. Glaci Trevisan Santos – ECV - UFSC

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Coordenador do PPGEM

Aos meus pais, irmãos, ao meu filho Zac e
à minha companheira Morgana.

AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Às professoras Regina Davison Dias e Glaci Trevisan Santos pela amizade e ao grande estímulo dado ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Jair Carlos Koppe pela orientação e pelas valiosas contribuições dadas para o andamento do trabalho.

Aos professores João Felipe Coimbra e Telmo Quadros que ministraram aulas de grande proveito para a minha formação.

Aos colegas do LPM pelas dicas, sugestões e ajuda sempre que solicitada.

Ao bolsista Daniel Appel Coelho pela amizade e grande ajuda dada no desenvolvimento deste trabalho.

À bolsista Márcia Meirelles pela amizade e ajuda com o idioma inglês.

Aos bolsistas do Laboratório de Mapeamento Geotécnico da UFSC André, Celso, Daniel (cabeça), Fabiana, Fabrício, Klayton e pela amizade, companherismo e não mediram esforços para ajudar sempre que foram solicitados.

Aos mestrandos da UFSC Adriano, Clebson e Fernanda e Mary pelo coleguismo e amizade. Boa sorte para vocês!

Ao doutorando Rafael dos Reis Higashi pela amizade.

Às empresas de engenharia Serki, Tecnosolo, Fundasolo, ETA e EPT que forneceram as sondagens utilizadas neste trabalho.

À Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo que forneceu dados importantes para a realização deste trabalho.

E a todos que não foram citados aqui mas que de alguma forma colaboraram para a realização desta dissertação.

AS PALAVRAS SÃO NOVAS

As palavras são novas: nascem quando

No ar as projetamos em cristais

De macias ou duras ressonâncias

Somos iguais aos deuses, inventando

Na solidão do mundo estes sinais

Como pontes que arcam as distâncias.

José Saramago.

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 Organização da dissertação.....	3
2 ARCABOUÇO DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	5
2.1 Sistema de informações geo-referenciadas.....	5
2.1.1 O programa de SIG <i>Arcview</i>	9
2.2 Banco de dados.....	11
2.3 Pedologia, mapeamento geotécnico e Sondagem SPT.....	14
2.3.1 Sondagem SPT.....	21
3 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	25
3.1 Planejamento e demarcação da área de estudo.....	25
3.2 Pesquisa e coleta do material existente.....	25
3.3 Aquisição das sondagens SPT.....	27
3.4 Localização das sondagens	27
3.5 Elaboração do banco de dados no Access.....	29
3.6 Mapa plano-altimétrico.....	31
3.7 Edição das ruas e curvas de nível.....	32
3.8 Geração do MDT e mapa de declividades.....	32
3.9 União das informações no programa de SIG.....	34
3.10 Geração do mapa de estimativas das unidades geotécnicas.....	37
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
4.1 Geologia da área de estudo.....	41
4.1.1 Formação Botucatu.....	42

4.1.2 Formação Serra Geral	43
4.1.3 Depósitos Aluvionares.....	44
4.2 Pedologia da área de estudo.....	45
4.2.1 Solos Litólico e Litossolos.....	47
4.2.2 Cambissolos.....	48
4.2.3 Brunizém-Avermelhado.....	49
4.2.4 Terra Roxa Estruturada.....	50
4.2.5 Podzólico Vermelho-Escuro.....	51
4.2.6 Podzólico Vermelho-Amarelo.....	52
4.2.7 Planossolo.....	53
4.2.8 Gleis.....	54
4.2.9 Solos Aluviais.....	54
4.2.10 Solos Orgânicos.....	55
4.2.11 Areias Quartzosas Hidromórficas.....	56
4.3 Hidrografia.....	56
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	58
5.1 - Estimativas das unidades geotécnicas.....	59
5.1.1 Planossolos substrato sedimentos quaternários.....	62
5.1.2 Terra Roxa Estruturada com substrato basalto.....	65
5.1.3 Podzólico Vermelho-Escuro substrato arenito.....	67
5.2 Modelo Digital do Terreno.....	75
5.3 Banco de dados.....	79
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	81
6.1 Resumo dos resultados obtidos.....	81
6.2 Proposta metodológica.....	81
6.3 Avaliação dos objetivos específicos.....	82
6.4 Recomendações para trabalhos futuros.....	83
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	
Mapa de estimativas das unidades geotécnicas 1:25.000.....	89
CD para consulta ao banco de dados geotécnico.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Arquitetura de um SIG (adaptado de Câmara et al, 1996).....	6
Figura 2.2 – Implementação de um SIG (adaptado de Davison Dias, 2000).....	9
Figura 2.3 – Estrutura do <i>Arcview</i>	10
Figura 2.4 - Os quatro componentes maiores de um SGBD (adaptado de Date, 1986).....	11
Figura 2.5 – Sondagem SPT (adaptado de Souza et al, 1998).....	16
Figura 2.6 – Perfil de solo indicando as características dos horizontes.....	20
Figura 2.7 – Exemplo de emprego da simbologia das unidades geotécnicas.....	21
Figura 3.1 – Descrição da metodologia empregada.....	27
Figura 3.2 – Localização dos pontos de sondagem no croqui original e no mapa de ruas dentro do <i>Arcview</i>	30
Figura 3.3 – Formulário para preenchimento dos dados de sondagens.....	34
Figura 3.4 – Cena 3D de Novo Hamburgo com aumento de cinco vezes na vertical.....	36
Figura 3.5 – Buscando informações do banco de dados a partir de um ponto no mapa.....	37
Figura 3.6 – Abrindo um gráfico de sondagem a partir de um ponto no mapa.....	38
Figura 3.7 – Abrindo uma imagem a partir de um ponto no mapa.....	39
Figura 4.1 - Localização da área de estudo.....	41
Figura 4.2 – Exploração de pedreira de Arenito Botucatu e solo residual de arenito.....	43
Figura 4.3 - Pedreira da COMUR, bairro Roselândia, Formação Serra Geral (Aerofotográfico SEMAM, 2001).....	44
Figura 4.4 - Aspecto de uma área de extração de argila na região da planície de inundação do Rio dos Sinos. Depósito aluvionar (Aerofotográfico SEMAM, 2001).....	45
Figura 4.5 – Perfil típico de solo Litólico (foto da esquerda EMBRAPA, 1999; foto da direita Oliveira et al., 1992).....	47
Figura 4.6 – Perfis típicos de Cambissolo (foto da esquerda EMBRAPA, 1999; foto da direita Oliveira et al., 1992).....	48
Figura 4.7 – Perfil típico de Brunizém Avermelhado (Oliveira et al., 1992).....	49
Figura 4.8 – Perfil típico de Terra Roxa Estruturada (Oliveira et al., 1992).....	50
Figura 4.9 – Perfil típico de Podzólico Vermelho-Escuro (Oliveira et al., 1992).....	51

Figura 4.10 – Perfil típico de Podzólico Vermelho-Amarelo (Oliveira et al., 1992).....	52
Figura 4.11 – Perfis típicos de Planossolo (foto da esquerda EMBRAPA, 1999, foto da direita Oliveira et al., 1992).....	53
Figura 4.12 – Perfil típico de Glei (EMBRAPA, 1999).....	54
Figura 4.13 – Perfil de solo Aluvial (Oliveira et al., 1992).....	55
Figura 4.14 – Perfil típico de solo Orgânico (foto da esquerda EMBRAPA, 1999, foto da direita Oliveira et al., 1992).....	56
Figura 4.15 – Perfil típico de Areia Quartzosa hidromórfica (Oliveira et al., 1992).	57
Figura 4.16 – Rios, canais e sistema viário da área de estudo.....	57
Figura 5.1 – Representação dos diferentes planos de informação.....	58
Figura 5.2 – Mapa de estimativas das unidades geotécnicas.....	60
Figura 5.3 – Toposequência típica da área de estudo.....	61
Figura 5.4 – Porcentagem da ocorrência das unidades geotécnicas e suas associações na área de estudo.....	62
Figura 5.5 – Solo mapeado como Planossolo apresentando características do residual de arenito em pouca profundidade.....	64
Figura 5.6 – Principais diferenças entre os perfis de solo da unidade geotécnica PLqa.....	66
Figura 5.7 – Principais diferenças entre os perfis de solo da unidade geotécnica TRb.....	69
Figura 5.8 – Perfil de um Podzólico Vermelho-Amarelo substrato arenito da Formação Botucatu.....	70
Figura 5.9 – Perfil de um Podzólico Vermelho-Escuro com substrato arenito da Formação Botucatu.....	71
Figura 5.10 – Formação de ravinas no horizonte C do arenito Botucatu.....	72
Figura 5.11 – Talude vertical de solo residual do arenito Botucatu.....	73
Figura 5.12 – Principais diferenças entre os perfis de solo da unidade geotécnica PEa.....	74
Figura 5.13 – Exagero vertical para visualização do relevo.....	75
Figura 5.14 – Sobreposição para comparar o relevo com as unidades geotécnicas..	76
Figura 5.15 – Declividades e limites das estimativas das unidades geotécnicas.....	77
Figura 5.16 – Relevo em seis classes.....	78
Figura 5.17 – Destacando pontos de sondagem com média dos valores de SPT dos três primeiros metros maior ou igual a seis.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre cartografia tradicional e cartografia utilizando SIG (Câmara et al 1996).....	8
Tabela 2.2 – Principais grupamentos e classes de solos (Maciel Filho, 1998).....	21
Tabela 3.1 – Tipos de solo.....	32
Tabela 4.1 – Resumo das principais características dos solos que ocorrem na área de estudo (adaptado de Davison Dias, 2001).....	46
Tabela 5.1 – Estatísticas da resistência à penetração (SPT) para os Planossolos e associações da área de estudo.....	63
Tabela 5.2 – Estatísticas da resistência à penetração (SPT) para os Podzólicos Vermelho-Escuros e associações encontrados na área de estudo.....	68

RESUMO

As características geotécnicas de um local têm grande influência no planejamento de áreas adequadas para a implantação de novos loteamentos e conjuntos habitacionais, dirigindo a expansão urbana para regiões mais favoráveis. Permitem mapear áreas de risco (instabilidade de taludes, inundação, adensamento...) ou então, a avaliação do tipo de fundação a ser utilizado em determinada obra de engenharia. Podem contribuir na seleção de locais apropriados para a exploração de depósitos minerais ou do melhor traçado para uma rodovia visando às características de suporte do subleito. A utilização de sistema de informação geo-referenciada (SIG) permite elaborar um mapa vinculado a um banco de dados. A estruturação de um banco de dados em estudos geotécnicos é de grande importância para armazenar informações e facilitar a comparação entre várias propriedades proporcionando maior compreensão dos solos. A área urbana do município de Novo Hamburgo/RS foi escolhida para este trabalho, onde se realizou o mapeamento geotécnico da região e montagem de um banco de dados de sondagens SPT. Um formulário eletrônico foi desenvolvido para facilitar o cadastro das informações constituindo um banco de dados que tem como principais campos resistência à penetração, nível do lençol freático, descrição do solo e unidade geotécnica. A metodologia empregada nesse trabalho tornou possível a geração de um mapa de estimativas das unidades geotécnicas e um modelo digital do terreno. O mapa geotécnico permitiu avaliar as aptidões e restrições em diferentes aplicações para os universos geotécnicos delimitados. O banco de dados com fotografias de perfis típicos e informações de sondagens SPT e o mapa geotécnico, tem seu acesso viabilizado por meio da tecnologia de SIG permitindo assim que o usuário faça a consulta aos dados diretamente no mapa.

Palavras chaves: SPT, banco de dados, mapeamento geotécnico.

ABSTRACT

The geotechnical features of a specific region have a strong influence on the adequate area's planning to implement new building lots and residential neighborhoods, conducting the urban expansion to more favorable locations. This allow to map the risk areas (bank instability, inundation, consolidation...) or to evaluate the type of foundation that can be used for engineering constructions and can also to contribute to choose the appropriate area for the mineral deposit exploration or the best traced of a roadway, focusing the support characteristics of the road foundation. The use of geo-referenced information system (GIS) allows to develop a map linked to a database. The structure of a data base in geotechnical studies has a great importance to store information and to compare several properties providing a better understanding of the soils. Novo Hamburgo County – RS was chose to elaborate the geotechnical mapping and to build a SPT database. An electronic spreadsheet was developed to make easier to record the information, which their most important data are: penetration resistance, water fable, soil description and geotechnical units. The metothology used in this work made possible a mapping generation with the estimation of geotechnical units and a digital terrain model. The geotechnical map allow to evaluate the abilities and the restrictions in different applications on the delimited geotechnical universes. The database with typical profiles images, standard penetration test information (SPT) and the geotechnical map, provide easy access to geotechnical information directly on the map and at the database.

Key-words: SPT, database, geotechnical mapping.

1. INTRODUÇÃO

As características geotécnicas de um local têm grande influência no planejamento de áreas adequadas para a implantação de novos loteamentos, conjuntos habitacionais, rodovias e outras obras, fornecendo parâmetros para direcionar a expansão urbana para regiões com condições geotécnicas mais favoráveis.

A ocupação atual do solo no Brasil, de um modo geral, ressalta o desconhecimento dos universos geotécnicos, proporcionando a ocupação de áreas de risco. As cidades, em geral, são planejadas com o uso de fotografias aéreas e levantamentos que não levam em conta as características do subsolo, o que pode resultar em problemas de difícil solução técnica ou então muito onerosos.

Pela aplicação dos fundamentos da pedologia associada à interpretação da geologia na geotecnia para solos brasileiros, em geral, pode-se ter uma estimativa dos tipos de solos que serão solicitados num problema de engenharia. Os levantamentos pedológicos, muito utilizados por agrônomos, dão indicação dos horizontes superficiais. No entanto, fazendo o cruzamento dessas informações com as informações geológicas, tem-se uma caracterização do subsolo associando os horizontes superficiais com o substrato rochoso.

A introdução de novas tecnologias, que facilitam o reconhecimento e avaliação das características geotécnicas e outras, permite desenvolver um trabalho mais elaborado. O uso de Sistemas de Informações Geo-referenciadas (SIGs) facilita a manipulação e a integração de dados geotécnicos geo-referenciados. Além de gerar mapas temáticos, um SIG oportuniza que o banco de dados associado seja consultado, permitindo a avaliação dos dados de acordo com a sua localização ou correlacionando com outros dados. Os SIGs são

sistemas de gerenciamento de banco de dados capazes de manejar uma grande quantidade de informações.

Com o uso de técnicas de computação gráfica e de sistemas de informação georeferenciada é possível elaborar um diagnóstico rápido e atualizado das principais informações de uma determinada região. Um dos produtos do SIG é o mapa temático, onde se agrupam as informações coletadas e geradas a partir da análise do meio físico.

As dificuldades de se utilizar programas computacionais de sistemas de informações geográficas são cada vez menores e, atualmente, a integração de informações gráficas tem apresentado excelentes resultados.

Para ilustrar essa situação foi selecionada uma área de interesse na região Metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. O local foi escolhido em função da existência de um razoável número de informações geotécnicas e por se tratar de um município em constante crescimento. A partir de dados existentes e com novos dados obtidos no transcorrer do trabalho foram gerados mapas temáticos que permitirão seu uso no planejamento do desenvolvimento do município e, ao mesmo tempo, evidenciar os erros cometidos nas áreas expandidas e não planejadas.

Juntamente com os mapas temáticos, nesse trabalho, será apresentado um banco de dados geotécnico elaborado a partir de resultados de sondagens SPT (Standard Penetration Test) realizadas na área de estudo. O ensaio de SPT é, atualmente, o ensaio mais utilizado no Brasil e no mundo para determinação da resistência do solo visando o emprego em fundações. Esse ensaio destaca-se por ser relativamente simples, possível de ser realizado nos mais diversos tipos de solo e por possuir uma padronização universal.

1.1 Objetivo Geral

Essa dissertação tem por objetivo essencial gerar um mapa de estimativas de unidades geotécnicas da área urbana de Novo Hamburgo com o auxílio do uso de SIG, vinculado a um banco de dados de sondagens SPT, permitindo a análise do meio físico sob o ponto de vista geotécnico e auxiliar no futuro planejamento de expansão municipal.

1.2 Objetivos Específicos

No desenvolvimento desse trabalho, buscou-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- (i) Apresentar uma metodologia para a elaboração de um banco de dados de sondagens geo-referenciado;
- (ii) Elaborar um banco de dados de sondagens SPT vinculado a um mapa de unidades geotécnicas;
- (iii) Apresentar um modelo digital do terreno para a região estudada;
- (iv) Criar o mapa das unidades geotécnicas de Novo Hamburgo, em meio digital e impresso, na escala 1:25.000;
- (v) Analisar as características das unidades geotécnicas.
- (vi) Confrontar os problemas relacionados da expansão desordenada do município com o mapa de estimativas de unidades geotécnicas gerado.

1.3 Organização da Dissertação

Essa dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo, nesse primeiro, apresentado a introdução, os objetivos gerais e específicos. Os demais capítulos são organizados da seguinte forma:

- (i) O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos assuntos tratados nessa dissertação. Esse capítulo é dividido em quatro partes. A primeira revisa alguns conceitos de sistemas de informação geográfica (SIG) e suas aplicações para a engenharia geotécnica. A segunda parte trata de algumas considerações a respeito de banco de dados. Na seqüência, revisam-se alguns conceitos sobre a sondagem SPT e sua padronização. Por fim, apresenta-se o uso da pedologia no mapeamento geotécnico e alguns trabalhos que utilizaram esta mesma metodologia.

- (ii) O capítulo 3 apresenta a metodologia desenvolvida para a realização deste trabalho.
- (iii) O capítulo 4 faz uma apresentação da área de estudo, descrevendo os aspectos gerais, as unidades geológicas e as unidades pedológicas encontradas na região.
- (iv) No capítulo 5 são apresentados e analisados os resultados.
- (v) O capítulo 6 apresenta as considerações finais e as recomendações para trabalho futuros.

2. ARCABOUÇO DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Para o melhor entendimento da metodologia utilizada neste trabalho é necessária a revisão de alguns conceitos. A introdução de novas tecnologias no mapeamento geotécnico como sistema de informações geo-referenciadas e banco de dados será apresentada neste capítulo, bem como os fundamentos da sondagem SPT que vem sendo utilizada como auxiliar na caracterização e delimitação dos diferentes universos geotécnicos.

2.1 Sistema de informações geo-referenciadas

Os sistemas de informações geográficas, também, conhecidos como sistemas de informações geo-referenciadas ou simplesmente SIGs, vêm evoluindo rapidamente nos últimos anos, principalmente devido ao avanço da informática. Os SIGs dependem fundamentalmente de mapas e de como podem ser estabelecidas relações entre eles. Nesse capítulo serão apresentadas algumas definições e as utilizações dessa ferramenta na engenharia geotécnica.

Silva (1999) afirma que a definição de SIG é um enorme desafio devido a uma série de razões, dentre as quais pode-se citar:

- A orientação comercial da utilização dos SIGs gerou figuras de linguagem que engrandecem ou diminuem em demasia a verdade dos fatos.
- O aumento do número de consultores em SIG provocou o aparecimento de informações conflitantes sobre o que realmente significa SIG.
- A diversidade do uso do SIG possibilitou que grupos heterogêneos formulassem diversos conceitos sobre SIG.
- A definição de SIG também tem sido dificultada pelo debate acadêmico, envolvendo qual seria o enfoque principal dos SIGs.

Uma definição clássica de SIG é a de Aronoff (1989) que define SIG como um programa que opera dentro de um sistema computacional e permite: entrada, armazenamento e recuperação; manipulação e análise; saída dos dados geo-referenciados. Esse sistema computacional deve estar inserido em uma estrutura organizacional adequada e preparado para operá-lo.

Numa visão abrangente, Câmara et al. (1996) consideram que um SIG tem os seguintes componentes: interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados. A figura 2.1 indica o relacionamento entre esses componentes. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa esses componentes de forma distinta, mas todos estão usualmente presentes num SIG.

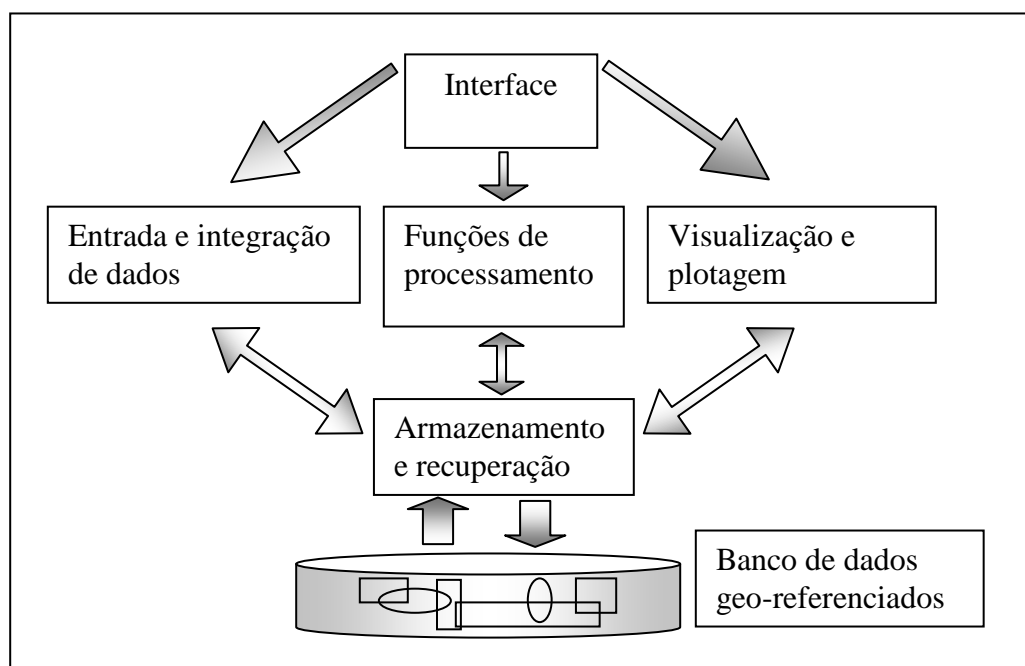


Figura 2.1 – Arquitetura de um SIG (adaptado de Câmara et al, 1996).

Silva (1999) analisou as diversas definições sobre SIG e esboçou sua visão sobre o tema: “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 geo-referenciados e com controle de erro; devem conter funções de análises desses dados que variem de álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão, etc.) até álgebra não cumulativa (operações lógicas)”.

O produto de um SIG, em geral, apresenta excelente qualidade visual. Porém, como é ressaltado por Silva (1999), a utilização de um SIG não garante a certeza e a segurança de que o produto final corresponda a alternativas de soluções corretas. Se, por acaso, não houver um controle da qualidade do banco de dados, isto é, se esse for impreciso e/ou cheio de erros, o mapa final será colorido, capaz de impressionar, mas, na prática, nada mais será que um mapa sem significado, impróprio para uso. Portanto, ao utilizar um SIG, deve-se conhecer o problema e não fazer com que ele funcione como uma “caixa preta”.

De acordo com Figueiredo (2000), um dos objetivos principais de um SIG é que ele pode ser utilizado por usuários de formações e níveis distintos, uma vez que existem aplicações numa variedade grande de disciplinas, no entanto, não é de se esperar que todos os usuários dominem aspectos específicos.

O mapeamento geotécnico utilizando SIG permite que apresentações cartográficas tenham uma série de vantagens sobre a cartografia tradicional. A tabela 2.1 mostra uma comparação entre a cartografia utilizando SIG e a tradicional.

No mercado o número de *softwares* de SIG disponíveis é bastante elevado, sendo que o usuário tem a opção de avaliar as capacidades de cada programa e optar pelo que satisfaz suas necessidades. A maioria dos *softwares* permite que sejam implementadas novas funções por meio de programação, criando os chamados *scripts*. Na *Internet*, é possível ter acesso a um grande número de *scripts* já criados por outros usuários.

Atualmente o uso de sistemas de informações geo-referenciadas na geotecnia encontra-se bastante difundido. Duarte (1999) revisa os conceitos clássicos de SIG e discute uso do programa *Arcview* na engenharia geotécnica. Valente (1999) apresenta algumas definições de SIG, o armazenamento dos dados e sua aplicação na geotecnia. Higashi (2002) apresenta inúmeras definições de SIG e suas relações com um banco de dados geotécnico.

Tabela 2.1 – Comparação entre cartografia tradicional e cartografia utilizando SIG
(Câmara et al 1996).

Cartografia tradicional	Cartografia usando SIG
Cartas limitadas a aspectos gráficos	Cartas com recursos multimeios
Imagem estática	Imagem dinâmica
Documento único	Múltiplos documentos interligados
Carta destinada a um público grande	Carta destinada a necessidades individuais
Carta destinada a comunicar um conhecimento	Carta utilizada para descobrir novas informações, usando mecanismos de visualização e exploração
Carta usada para leitura	Carta usada para comunicação interativa
Carta produzida por cartógrafo	Carta produzida por usuário, não necessariamente cartógrafo

Sob certo ponto de vista, Câmara et al. (1996) dividem o processo de implantação de um SIG em três grandes fases: modelagem do mundo real; criação do banco de dados geográfico (geo-referenciado); e operação.

A fase de modelagem do mundo real engloba a modelagem de processos e de dados e consiste em selecionar fenômenos e entidades de interesse, abstraindo-os e generalizando-os. Diferentes conjuntos de fenômenos podem ser escolhidos para descrever distintas visões do mundo, para uma mesma região, em um dado instante.

A criação de um banco de dados geográficos exige várias etapas: coleta dos dados relativos aos fenômenos de interesse identificados na modelagem; correção dos dados coletados (devido, por exemplo, a erros introduzidos pelos dispositivos de coleta); e geo-referenciamento dos dados (associando a cada conjunto de dados informação sobre sua localização geográfica). Esta fase representa uma grande parcela do custo total do desenvolvimento de um SIG, que pode ser minimizado por uma modelagem adequada.

A fase de operação refere-se tanto ao uso em si do SIG, quanto ao desenvolvimento de aplicações específicas por parte dos usuários a partir dos dados armazenados, reconstruindo visões (particulares) da realidade.

A implementação de um SIG para a elaboração e análise de mapas geotécnicos, segundo Davison Dias (2000) compreende a seguinte estrutura: estruturação; processamento; e integração dos dados (figura 2.2).

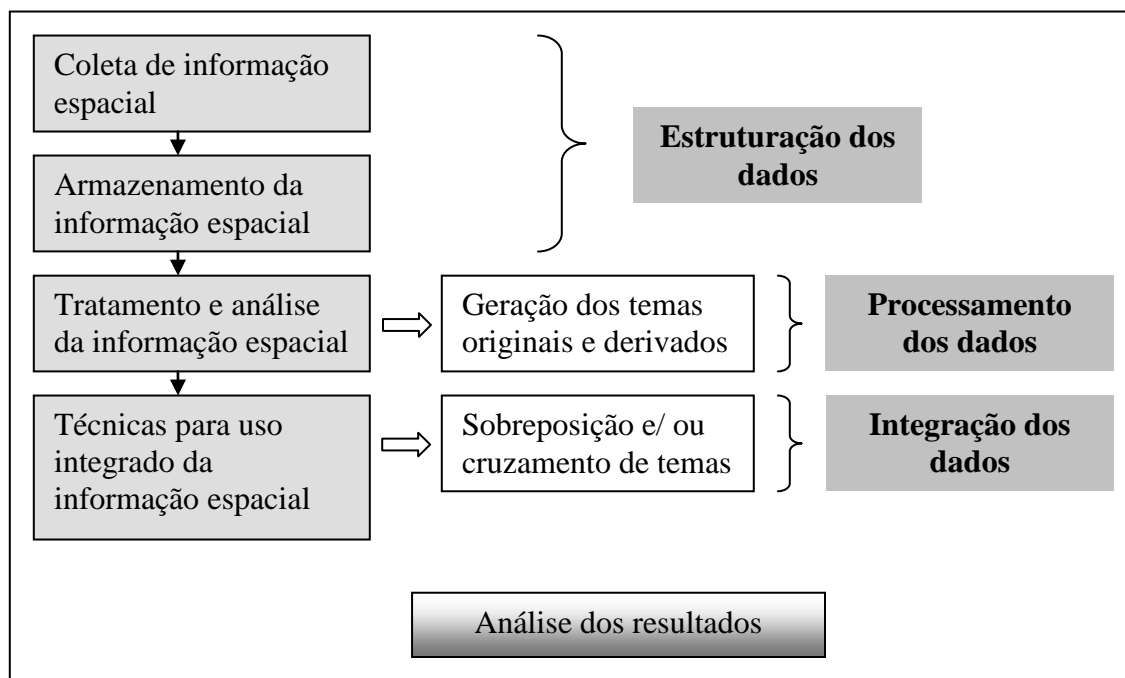


Figura 2.2 – Implementação de um SIG (adaptado de Davison Dias, 2000).

O uso de sistemas de informações geo-referenciadas apresenta inúmeras vantagens na integração de informações espaciais e gerência de banco de dados. Portanto, parte da pesquisa foi direcionada para conhecer melhor esta tecnologia e utilizar suas ferramentas para o mapeamento geotécnico.

2.1.1 O programa de SIG *Arcview*

O programa *Arcview* apresenta as ferramentas necessárias para integrar informações de várias origens e trabalhar com um banco de dados associado às feições geo-referenciadas.

Além de dados alfa-numéricos, pode-se associar às feições geo-referenciadas fotografias, vídeos ou outros documentos.

Os dados são arquivados em tabelas ligadas aos temas, nos quais são inseridos os campos necessários, contendo os atributos correspondentes às feições dos mapas. Pode-se fazer a ligação de cada registro da tabela com uma feição, a qual pode ser um ponto, uma linha ou um polígono. Os *layouts* são criados para gerar mapas impressos na escala desejada. De acordo com os registros, pode-se criar gráficos para sumarizar os dados das tabelas. A estruturação do programa segue a forma mostrada na figura 2.3.

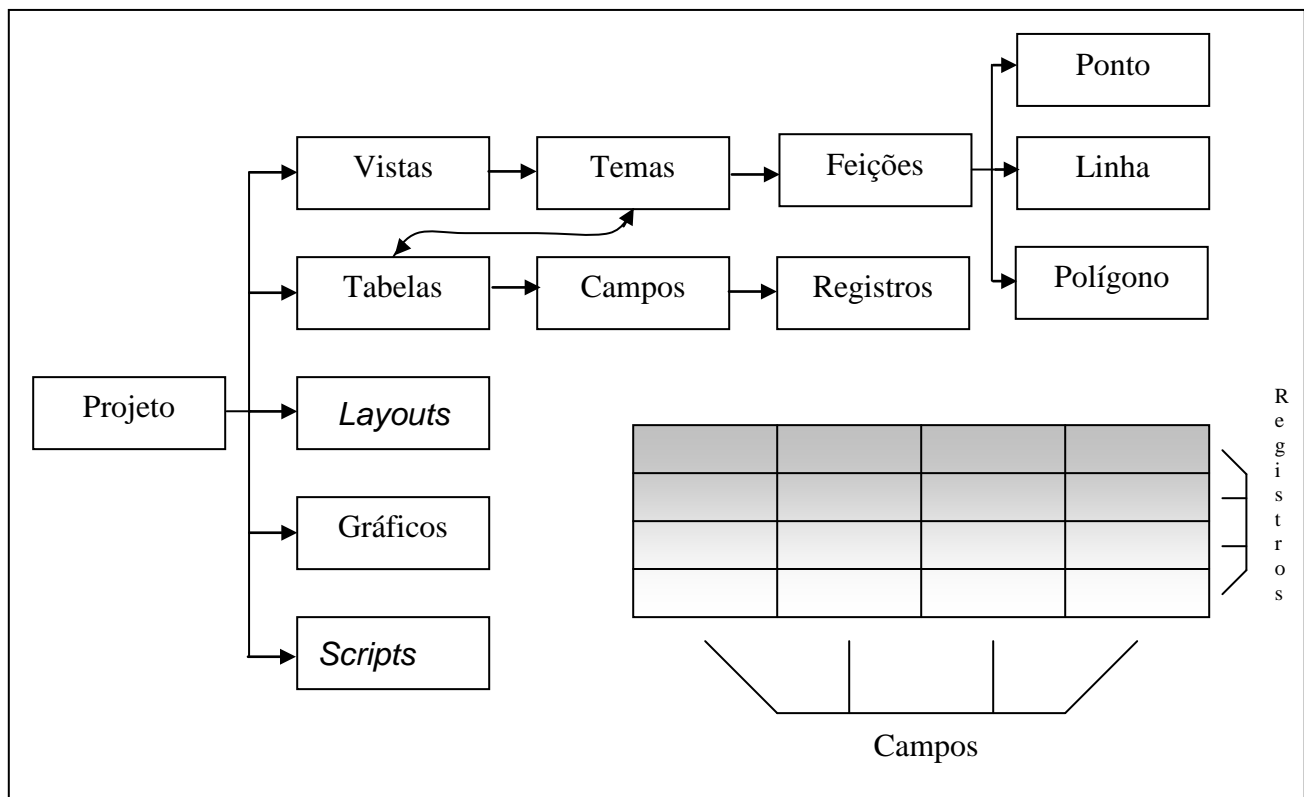


Figura 2.3 – Estrutura do Arcview.

2.2 Banco de dados

Um banco de dados pode ser considerado como um conjunto de informações que estão relacionadas a um tópico ou propósito particular. De acordo com Date (1985), um usuário deseja que um banco de dados atenda a três requisitos básicos: Capacidade de armazenar registros de dados no sistema; recuperá-los quando necessário; e atualizá-los na forma e no momento necessários.

Date (1985) define um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) como um sistema baseado em computador que permite ao usuário criar tabelas, manter essas tabelas, recuperar dados e apresentar a informação recuperada. Uma de suas funções primárias é possibilitar a manipulação de dados (recuperação, modificação, remoção e inserção).

A figura 2.4 mostra que um SGBD envolve quatro componentes maiores; dados, *hardware*, *software*, e usuários.

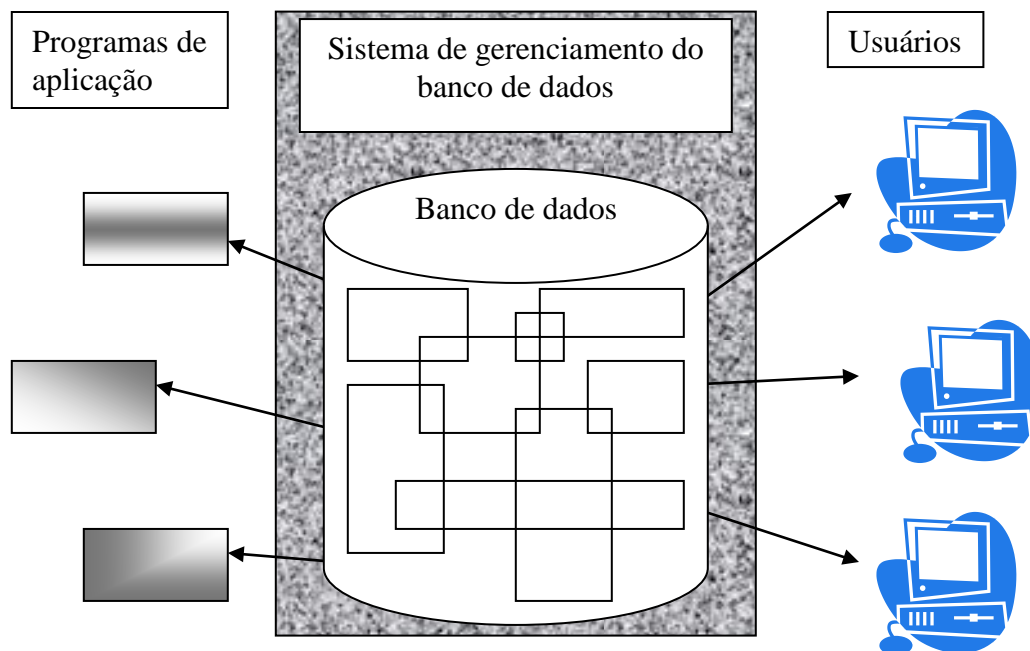


Figura 2.4 - Os quatro componentes maiores de um SGBD (adaptado de Date, 1986).

Segundo Celestino e Diniz (1998), as características de bancos de dados para armazenamento de informação, consulta por parâmetros isolados ou combinados, manipulação numérica de dados, etc., têm sido utilizadas com frequência em geologia de engenharia. As vantagens são evidentes sobre a alternativa tradicional de arquivamento de dados. A possibilidade de acesso remoto ao banco de dados tem causado e certamente ainda irá causar, grandes transformações nos hábitos de trabalho de muitos profissionais.

Um sistema de banco de dados não é, essencialmente, nada mais do que um sistema computadorizado de arquivamento de registros. Muitos dos arquivos que tradicionalmente são guardados sob forma de papel podem ser guardados de forma mais conveniente em um banco de dados. Por exemplo, os boletins de sondagens SPT deixariam de ocupar um enorme espaço físico nos arquivos das empresas se estivessem armazenados em um banco de dados digital. Outra grande vantagem seria a velocidade em que uma determinada informação seria recuperada.

Date (1985) cita ainda mais vantagens dos bancos de dados sobre os registros tradicionais: maior compactação, tarefas mecânicas são melhores executadas por máquinas, e ficam disponíveis informações precisas e atualizadas para solicitação a qualquer tempo.

Um banco de dados pode fornecer um conjunto de informações, o que permite analisar um problema com uma visão global e de maneira sistemática, podendo-se, também, fazer abordagens estatísticas e análises paramétricas. Quanto maior o volume de dados, mais aplicáveis são estas observações.

Furtado e Santos (1986) consideram que um banco de dados contém:

- Item: unidade de informação, o valor de um item pode ser um número inteiro, uma cadeia de caracteres, etc.;
- Registro: seqüência de itens;
- Arquivo: conjunto de registros.

É natural fazer corresponder um conjunto de entidades a um arquivo. Assim, teríamos, por exemplo, um arquivo de sondagens SPT; então, cada sondagem corresponde a um registro desse arquivo, e os atributos nível do lençol freático, empresa, ano, N do SPT, etc., correspondem a itens dentro do registro da sondagem.

As aplicações de informações espaciais ou geo-referenciadas em diversas áreas como gerenciamento de recursos naturais, engenharia de tráfego, redes de telefonia e de energia, dentre muitas outras, tornou-se cada vez mais intensa.

Auler (1991) desenvolveu o GEOCOPPE, um SGBD espacial. Este sistema adiciona um SGBD a um gerenciador de dados espaciais. Os SIGs possuem, em diversos graus de sofisticação, as funcionalidades necessárias para a manipulação e a gerência de dados espaciais, o que inclui: captação e entrada de dados, gerenciamento da base de dados espaciais, transformação de dados espaciais para permitir sínteses, análise e apresentação de dados e geração de relatórios.

Os SGBDs espaciais manipulam em geral três formas básicas de dados espaciais: pontos, linhas e regiões. Junto a esses dados, podem estar associados outros atributos, sejam eles alfanuméricos ou gráficos.

Higashi (2002) elaborou um banco de dados geotécnico gerenciado por um SIG do norte do estado do Rio Grande do Sul. O autor afirma que devido ao grande número de dados e informações envolvidos em uma análise geotécnica, é de grande importância o desenvolvimento de uma estrutura que possibilite a armazenagem de dados e a integração de um banco de dados para determinados propósitos.

Santos Filho (2000) elaborou um banco de dados geo-referenciado de características dos solos do Distrito Federal. Este banco de dados foi gerenciado por um SIG que tem a capacidade de armazenar, em banco de dados geográfico, informações variadas. Uma vez formada a base de dados, o sistema de gerenciamento deve ser capaz de manter a consistência da base de dados por meio das operações realizadas pelos usuários, controlar o acesso simultâneo aos dados, garantir a integridade da relação entre o gerenciador de dados gráficos e alfanuméricos, executar operações de cópias de segurança dos arquivos e recuperação da informação e garantir segurança às informações contidas no banco de dados.

Valente (1999) elaborou um banco de dados geotécnico do município de Porto Alegre. Os dados foram armazenados em inúmeras tabelas, contendo cada uma delas informações sobre um determinado tema. Algumas das tabelas estruturadas tiveram suas informações preenchidas ou complementadas após as operações desenvolvidas com auxílio do SIG.

Geralmente as informações geotécnicas estão associadas à localização geográfica da obtenção dos dados. Com o banco de dados geo-referenciado, pode-se trabalhar com análises geoestatísticas de dados. Alguns exemplos de desenvolvimento deste tipo de trabalho já existem no Brasil.

Folle (2002) cadastrou 141 furos de sondagens SPT executados na área urbana do município de Passo Fundo/RS e, trabalhando com análise geoestatística gerou mapas de valores de resistência à penetração (N_{spt}) e suas respectivas incertezas.

Silva (2000) cadastrou e geo-referenciou inúmeros furos de sondagem realizados na Bacia do Itacorubi em Florianópolis/SC, constituindo um banco de dados digital gerenciado pelo programa de sistema de informação geo-referenciada *Arcview*.

2.3 Pedologia, mapeamento geotécnico e sondagem SPT

A pedologia, largamente utilizada na agronomia, vem trazendo grandes vantagens para a geotecnia, como vem sendo mostrado por Davison Dias (1987, 1989, 1996, 2001). Esta ciência estuda a origem, morfologia, mapeamento e classificação dos solos.

De acordo com a pedologia, a formação dos solos depende de cinco fatores: relevo, clima, material de origem, organismos vivos e tempo.

O relevo, isto é, as formas do terreno que compõem a paisagem, influenciam diretamente na dinâmica da água. Os solos formados nas partes altas do terreno diferem dos de encostas e baixadas. Segundo Hoppe e Schumacher (1999) o relevo interfere na formação do solo e modifica o perfil através dos seguintes processos:

- Na absorção e retenção da água da precipitação;
- No grau de remoção de partículas do solo pela erosão;
- Na movimentação de materiais em suspensão ou em solução para outras áreas.

O clima afeta diretamente o intemperismo pela ação da temperatura, umidade e pressão atmosférica, acelerando os processos químicos e físicos de decomposição da rocha matriz.

O material de origem vai influenciar diretamente nas características mineralógicas do solo formado.

Os organismos vivos, bactérias, fungos, algas, insetos, minhocas e outros, são responsáveis pela deposição dos resíduos que auxiliam no surgimento das plantas. O homem, também, vem atuando como agente modificador, removendo horizontes de solo, aplicando sobrecargas, depositando materiais orgânicos, etc.

O tempo de atuação dos fatores de formação tem influência no grau de desenvolvimento dos perfis de solo.

A pedologia divide o perfil de um solo em horizontes, que são, na maioria das vezes paralelos e apresentam características distintas. A figura 2.5 ilustra o perfil de um solo com seus horizontes e camadas de acordo com a metodologia de mapeamento geotécnico que será adotada nesse trabalho. Na mesma figura pode-se verificar que a pedologia considera os horizontes superficiais e a geologia o substrato rochoso.

A metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Davison Dias e Milititsky (1994), propõe a integração das informações geológicas e pedológicas, adaptando-as para o uso na geotecnia e constituindo as unidades geotécnicas. Essas unidades possuem a simbologia “XYZxyz”. As letras maiúsculas referem-se à classificação pedológica do perfil de solos identificados de acordo com o sistema de classificação de solos de Oliveira et al. (1992). As letras minúsculas são referentes ao substrato rochoso (geologia) caracterizando os horizontes C, RA e R. Na classificação geológica é utilizada a rocha dominante, quando achar-se necessário, considera-se entre parênteses a Formação. No caso de haver mais de uma litologia dominante no material do substrato, adotam-se siglas dessas litogias em letras minúsculas separadas por vírgulas. A figura 2.6 mostra um exemplo de uma pequena área mapeada no norte no Rio Grande do Sul utilizando essa simbologia.

Os conhecimentos de pedologia são mais importantes para perfis desenvolvidos de solo enquanto que para solos rasos, pouco desenvolvidos, as características geológicas são de maior importância.

No Brasil, o sistema brasileiro de classificação dos solos, EMBRAPA (1999) está sendo largamente utilizado na agronomia. Porém, para a metodologia de mapeamento geotécnico, insiste-se em utilizar a classificação apresentada por Oliveira et al. (1992), pois já se desenvolveram inúmeros trabalhos baseados nesta classificação e se têm uma série de resultados dessas unidades. Migrar do sistema de classificação antigo para o atual seria um

trabalho pioneiro e, não se têm certeza de que o novo sistema se mostrará mais eficiente para fins geotécnicos.

De acordo com Maciel Filho (1998), na classificação dos solos deve-se observar duas categorias. A primeira, os grupamentos de solos definidos por tipos de horizonte B diagnóstico ou propriedades que expressam particularidades pedogenéticas. Na segunda categoria estão as classes de solos definidas pelas variações de características diagnósticas ou por conjunto de características específicas de cada classe. Na tabela 2.2 são apresentados os principais grupamentos e classes de solos. No capítulo 4 serão apresentadas as descrições e fotografias dos perfis típicos das classes de solos que ocorrem na área de estudo.

A metodologia proposta por Davison Dias (1989) é composta das seguintes etapas: estudo de escritório; estimativas das unidades geotécnicas; coleta de sondagens existentes; investigação de campo e ensaios de laboratório. E o resultado deste trabalho tem o objetivo de auxiliar em problemas de fundações, erosão, taludes naturais e exploração jazidas de solos.

Davison Dias (1987) apresenta as vantagens do uso da pedologia na geotecnia. Por meio dos levantamentos pedológicos, pode-se ter uma estimativa dos tipos de solos que serão solicitados num problema de engenharia. Têm-se indicações do grau de saturação do solo, da profundidade do lençol freático, da macroestrutura, da presença de minerais expansivos, das características de drenagem, da granulometria, das características de plasticidade, da presença de horizonte C residual próximo à superfície, da ocorrência de solos porosos impermeáveis ou permeáveis, entre outras.

Dentre as principais vantagens do uso dos levantamentos pedológicos na engenharia de solos citadas por Davison Dias (1987), destacam-se:

- Servem como complemento dos levantamentos geológicos. Principalmente onde ocorrem espessas camadas de solos acima do material consolidado ou parcialmente intemperizado.
- Utilizando-se a pedologia, pode-se definir, com maior precisão, pelo uso de métodos padronizados, as características morfológicas dos solos.
- As classificações pedológicas associadas às geológicas funcionam como indicadores de unidades geotécnicas.

- Pode-se agrupar resultados de experimentos (cone, SPT, provas de carga, etc.) de acordo com as unidades geotécnicas previamente estabelecidas. Isto facilita a extrapolação dos resultados destes experimentos para outros locais semelhantes.

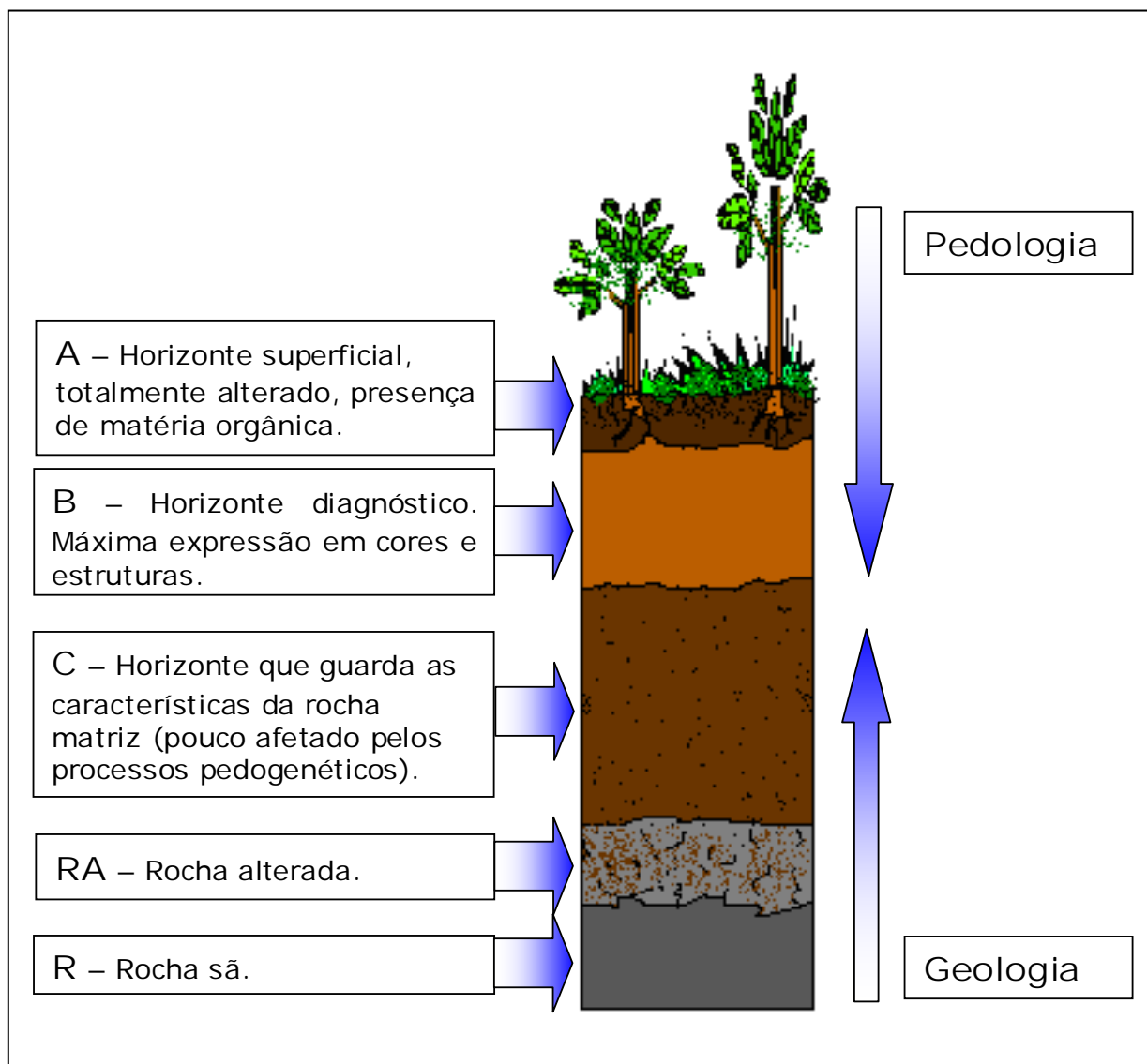


Figura 2.5 – Perfil de solo indicando as características dos horizontes.

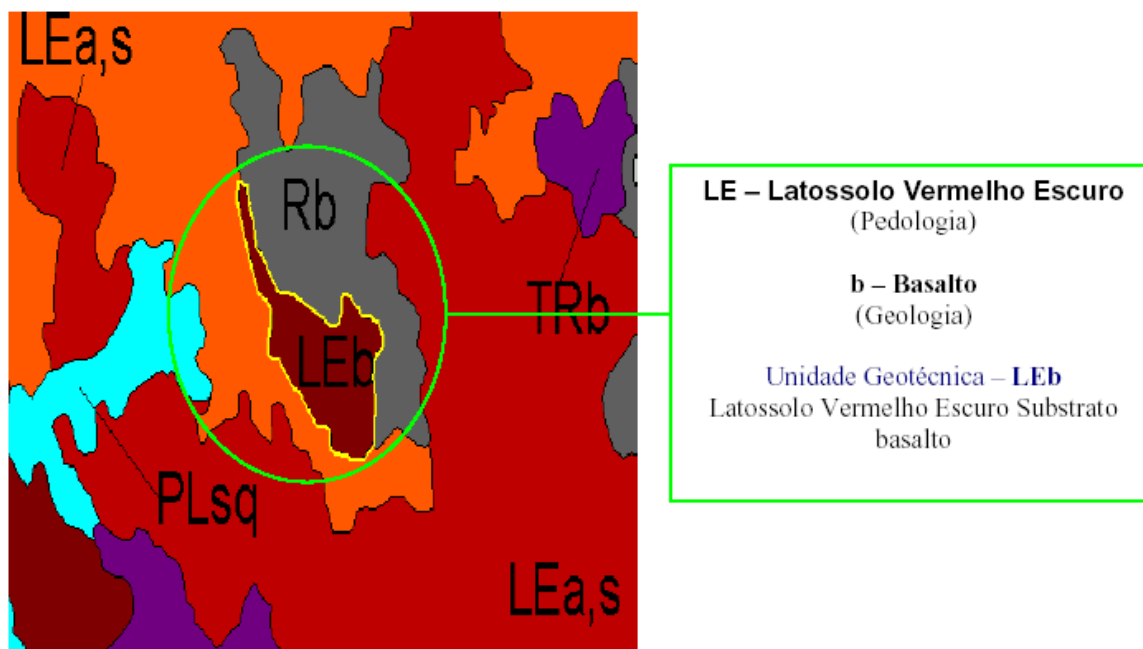


Figura 2.6 – Exemplo de emprego da simbologia das unidades geotécnicas (Higashi, 2002).

Klamt (1989) apresenta a relevância na avaliação do comportamento dos solos. O autor afirma que as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas constituem parâmetros usados para separar os solos individuais, similares nestas propriedades selecionadas, em classes distintas. Essas classes de indivíduos ou corpos naturais não são separados por fronteiras abruptas e intransponíveis, mas sim graduam de modo contínuo para outras classes. No intervalo entre classes encontram-se indivíduos com características de ambas, constituindo os indivíduos ou solos intergradacionais.

Antunes (1989) discute o uso da pedologia na engenharia, correlacionando as características genéticas dos solos com suas propriedades geotécnicas, tendo como base o levantamento semi-detalhado dos solos do Município do Rio de Janeiro.

Santana (2002) utilizou levantamentos pedológicos e a geológicos para a elaboração de um mapa geotécnico preliminar do estado do Maranhão e complementou tal estudo com a aplicação da metodologia MCT. Um dos objetivos de seu trabalho foi a caracterização de duas jazidas de areia utilizadas para misturas de areia-asfalto a quente. Este estudo permite estender as unidades por ele caracterizadas a outros perfis semelhantes.

Tabela 2.2 – Principais grupamentos e classes de solos (Maciel Filho, 1998).

Grupamento	Classe
Solos com Horizonte B latossólico (não hidromórficos)	Latossolo Roxo
	Latossolo Vermelho-Escuro
	Latossolo Vermelho-Amarelo
	Latossolo Amarelo
	Latossolo Bruno
Solos com horizonte B textural e com argila de atividade baixa (não hidromórficos)	Terra Roxa Estruturada
	Terra Roxa Estruturada Similar
	Terra Bruna Estruturada
	Podzólico Vermelho-Amarelo
	Podzólico Vermelho-Escuro
Solos com horizonte B textural e com argila de atividade alta (não hidromórficos)	Podzólico Bruno Acinzentado
	Brunizém Avermelhado
	Bruno Não Cálcico
Solos com horizonte B espódico	Podzol
	Podzol Hidromórfico
Solos com horizonte B incipiente	Cambissolo
Solos com horizonte B textural e com características associadas à umidade	Planossolo
	Hidromórfico Cinzento
Solos halomórficos (B sólico ou B nátrico)	Solonchak
	Solonetz Solodizado
Solos vertissolos	Vertissolo
Solos hidromórficos	Orgânico
	Glei Pouco Húmico
	Glei Húmico
	Glei Tiomórfico
	Laterita Hidromórfica
Solos pouco desenvolvidos	Litólico
	Rendizina
	Regossolo
Solos aluviais	Solo Aluvial
Solos areno-quartzosos profundos	Areia Quartzosa

Santos (1997) integrou as informações pedológicas e geológicas elaborando um mapa geotécnico na escala 1:50.000 do município de Florianópolis e analisando as unidades geotécnicas existentes, suas características físico-morfológicas, físico-químicas segundo a pedologia, granulometria, plasticidade e índices físicos e ainda, para alguns perfis analisou-se dados de sondagens SPT e “*Vane Test*”. O autor observou que as unidades ocorrem, no relevo, segundo uma orientação lógica, designada toposequência. Nas regiões não urbanizadas, onde a atividade antrópica não interfere com escavações e aterros, isso pode ser observado com relativa facilidade.

Higashi (2002) utilizou um SIG para integrar o mapa de estimativas das unidades geotécnicas do norte do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:1.000.000 com informações geotécnicas como sondagens SPT, compressibilidade, colapsividade, resistência ao cisalhamento e compactação.

Utilizado o mapa de estimativas das unidades geotécnicas elaborado por Santos (1997), Raimundo (1998) fez uma análise dos escorregamentos de encostas correlacionado com a unidade geotécnica do local.

Abitante (1997) agrupou resultados de ensaios para rodovias com as unidades de mapeamento geotécnico. A individualização dos solos da região de estudo em unidades geotécnicas produziu uma diminuição do coeficiente de variação dos resultados laboratoriais particularizando o comportamento geomecânico de cada material.

Como resultado da integração de dados, Valente (1999) elaborou o mapa de unidades geotécnicas estimadas para o município de Porto Alegre identificando trinta e sete unidades com perfis de solos praticamente homogêneos quanto às suas características geotécnicas.

Duarte (1999) aplicou a metodologia de mapeamento geotécnico para a caracterização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em Florianópolis, SC. O mapa de estimativas geotécnicas foi gerado na escala 1:10.000 e, utilizando o programa de SIG *Arcview*, integrou-se as características geotécnicas com o zoneamento de uso do solo proposto pelo plano diretor do município e o mapa de declividades.

Orlandini (1991), elaborou uma estimativa das unidades geotécnicas dos municípios de Novo Hamburgo e Campo Bom, complementando com uma série de ensaios laboratoriais para os solos de arenito.

Zuquette e Gandolfi (1988) apresentam as formas de avaliação do meio físico (metodologias e sistemáticas) mais conhecidas e empregadas para a elaboração de mapeamentos geotécnicos em diversos países.

Além da metodologia de mapeamento geotécnico utilizado nesta dissertação, existem inúmeras outras. No entanto, cada autor procura dar maior enfoque às características de seu interesse. Portanto para os solos tropicais e sub-tropicais do sul do país, a metodologia que mostra-se mais eficiente para a aplicação em obras civis é a apresentada por Davison Dias (1989).

2.3.1 Sondagem SPT

A sondagem SPT (*Standard Penetration Test*) é o ensaio de campo mais utilizado no Brasil e no mundo para o conhecimento do comportamento do subsolo em fundações de obras de engenharia. Niyama (2002) apresentou os resultados das questões aplicadas durante a VI Conferência Internacional Stress Wave'2000 onde uma das questões apontou que o ensaio de campo mais utilizado nos países dos participantes do congresso para estimar capacidade de carga é o SPT ou o SPT-T, com 78,6% dos votos, seguido do CPT ou CPTU com 7,1%.

Folle (2002) faz um relato da história do ensaio SPT no mundo e no Brasil bem como a história da padronização desse ensaio. Destacando a importância da energia existente no martelo no instante do impacto, bem como a transferência à haste e desta ao amostrador, o autor revisa os trabalhos de medida de energia do ensaio SPT.

Uma das grandes vantagens deste ensaio é a sua padronização mundial. No Brasil, a execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos é padronizada pela NBR 6484/1980. Esta norma descreve a aparelhagem necessária para a realização do ensaio bem como a execução do ensaio, que será sucintamente descrita a seguir, e os resultados que devem ser apresentados no relatório de sondagem.

A sondagem inicia-se com o trado concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1m. Nesta profundidade, posiciona-se o amostrador e apóia-se o martelo padrão de 65Kg sobre a cabeça de bater, anotando-se eventual penetração do amostrador no solo. Para a cravação do amostrador padrão no solo, ergue-se o martelo até a altura de 75cm e deixa-o cair em queda livre.

Através de quedas sucessivas do martelo o amostrador penetra no solo, deve ser anotado separadamente o número de golpes necessário à cravação de cada 15cm do amostrador em um total de 45cm. Em seguida, o avanço até o metro seguinte segue por trado helicoidal enquanto não se encontrar o nível d'água.

Após o nível d'água, o avanço segue por circulação de água. A cada metro de profundidade devem ser recolhidas amostras dos solos. Este processo se repete até atingir-se algum critério de parada que pode ser impenetrável à percussão, que ocorre quando após cinco impactos consecutivos do martelo a penetração for nula dentro da precisão da medida ou quando durante o ensaio da perfuração por lavagem forem obtidos avanços inferiores a 50mm em cada período de 10 minutos durante 30 minutos ou então quando após a realização de quatro ensaios consecutivos não for alcançada a profundidade de execução do ensaio penetrométrico.

Os níveis d'água durante a execução da perfuração e 24 horas após a paralisação do ensaio devem ser medidos.

As principais informações obtidas em um relatório de sondagem SPT são: resistência do solo à penetração dinâmica (NSPT); nível d'água; profundidade do impenetrável e descrição dos solos na profundidade do ensaio. O esquema apresentado na figura 2.7 mostra os principais elementos de um equipamento de sondagem SPT.

Para a descrição do solo, recomenda-se utilizar a NBR 6502. Azevedo (1990) reuniu 370 relatórios de sondagens realizadas em Porto Alegre e constatou na descrição das camadas de solos 66 designações distintas de cores (simples, composta e adjetivadas), destas somente 20 designações estavam de acordo com a norma. Sugere-se a utilização da escala de cores de Munsell (1946) para solos. Esta escala, embora considerada complexa, viria simplificar a identificação da cor do solo, já que foram observadas 66 designações de cores de solos no levantamento de Azevedo (1990) e a escala de Munsell apresenta apenas 58 designações.

Azevedo (1990) ainda faz uma análise crítica das informações expostas nos relatórios de sondagem SPT, como nível do lençol freático, N-SPT e critérios de parada.

Mesmo sendo um ensaio padronizado, podem ocorrer variabilidades nos índices SPT obtidos pela sondagem a percussão, alguns determinando inconsistência desses resultados dentro de um mesmo processo, outros causando diferenças de resultados coletados por processos diversos. Baillot e Ribeiro Júnior (2000) apontam como os principais fatores metodológicos causadores de variação nos resultados o tipo de haste, as dimensões do amostrador e falha ou subjetividade humana.

Belicanta e Branco (2002) discutem os fatores intervenientes no SPT brasileiro e dividem estes em três grupos, a saber:

- Aqueles que interferem nas condições naturais do solo, no ponto e no momento da cravação do amostrador. Geralmente se associam à perfuração, no que se refere à limpeza, à estabilidade do furo de sondagem ou à perturbação nas condições naturais do solo;
- Aqueles que interferem na energia dinâmica que é transferida às hastes, em cada golpe do martelo, e que alcança o amostrador;
- Aqueles referentes a normatização existente ou mesmo desvio deliberado à mesma, conduzindo geralmente à descaracterização do ensaio.

Devido a suas características e decorrente das informações que podem ser obtidas, sua utilidade na prática de engenharia de fundações e abundância de resultados nas áreas urbanas, os dados do SPT foram escolhidos para compor o banco de dados que estará referenciado nessa dissertação.

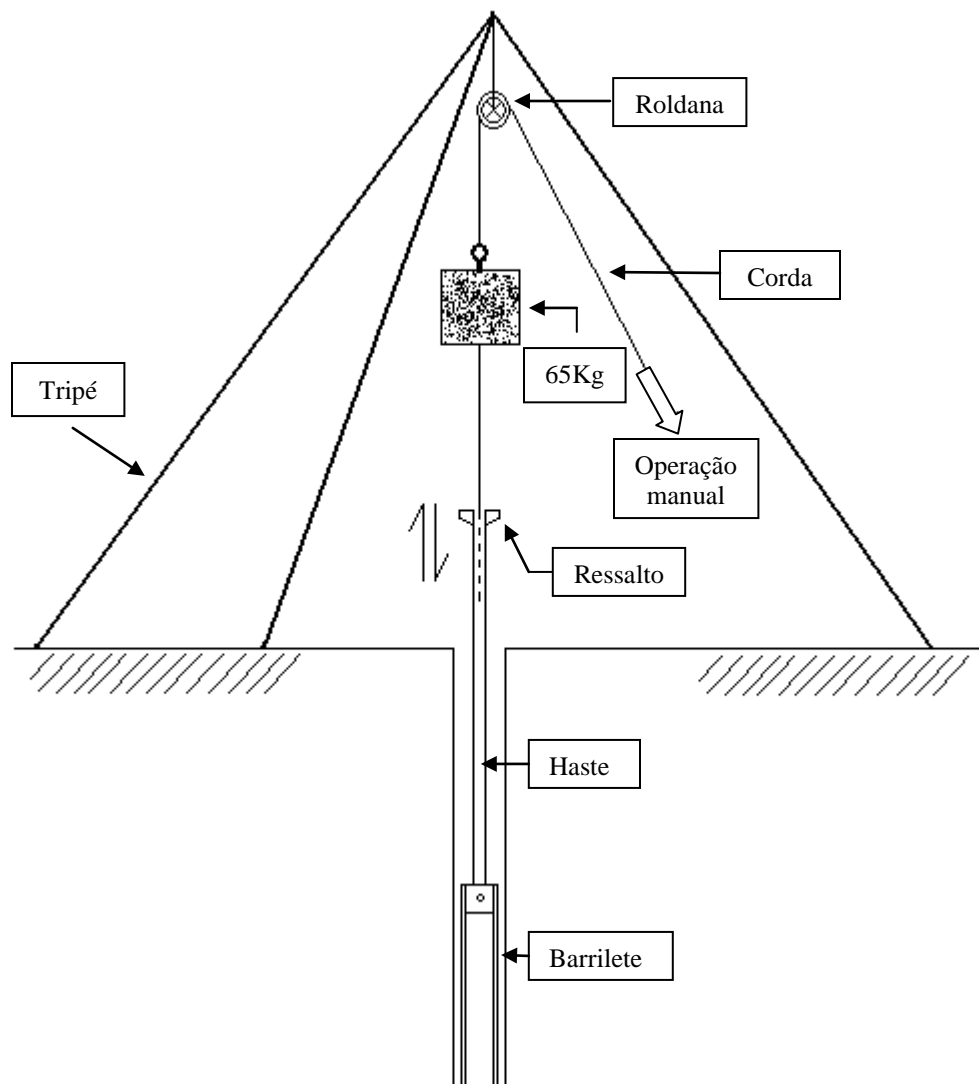


Figura 2.7 – Sondagem SPT (adaptado de Souza et al, 1998).

3. METODOLOGIA DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

A metodologia utilizada nessa dissertação é uma adaptação da metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Davison Dias (1989) que utiliza os conhecimentos pedológicos associados aos geológicos para o conhecimento geotécnico de grandes áreas. Essa pesquisa utiliza resultados de sondagens SPT, conhecimento do relevo, visitas a campo e mapas geotécnicos em escalas menores para obtenção do mapa final.

As etapas desse trabalho podem ser melhor visualizadas no fluxograma da Figura 3.1. Após a etapa de coleta do material existente, dividem-se as atividades realizadas em paralelo para no final serem integradas utilizando-se um programa de sistema de informações geográficas gerando o produto final.

3.1 Planejamento e demarcação da área de estudo

A área urbana de Novo Hamburgo foi escolhida para estudo pelo fato de possuir inúmeros resultados de ensaios geotécnicos, em específico, sondagens SPT e também por já possuir base cartográfica em meio digital. Essa área está em crescimento, principalmente no setor industrial. A área de estudo é delimitada a leste, oeste e norte, pelos limites do município e a sul o Rio dos Sinos.

3.2 Pesquisa e coleta do material existente

As informações geológicas, pedológicas e geotécnicas foram pesquisadas em dissertações, teses, páginas na Internet, mapas, empresas de engenharia atuantes na região e visitas a campo.

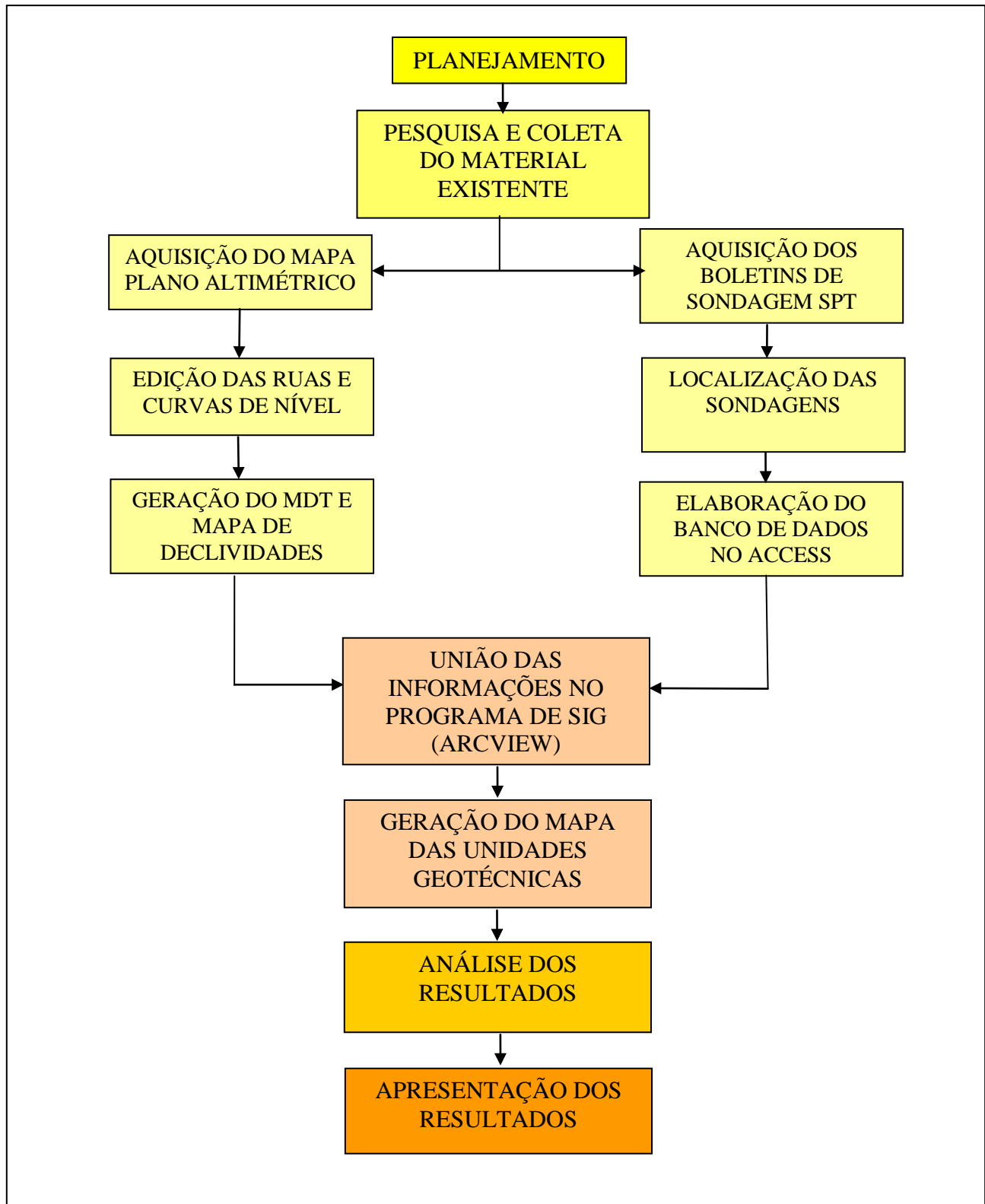


Figura 3.1 – Descrição da metodologia empregada.

3.3 Aquisição das sondagens SPT

A maioria das sondagens SPT realizadas em Novo Hamburgo foram executadas por empresas de Porto Alegre, então, a coleta desses resultados foi realizada nessas empresas. Nem todas as empresas concordaram em ceder as informações, e, a maioria das empresas tinha em seu arquivo, boletins de sondagens executados nos últimos dez anos. Ao total foram coletados aproximadamente 120 furos de sondagem espalhados em diversos terrenos dentro da área de estudo.

3.4 Localização das sondagens

Os resultados de sondagens coletados devem estar inseridos dentro de um estudo de mapeamento, e necessariamente devem estar bem localizados, pois, um resultado de sondagem mal localizado não contribuirá para auxiliar na classificação das unidades geotécnicas.

A localização das sondagens em campo iniciou-se com a demarcação expedita dos terrenos onde as sondagens foram realizadas sobre o mapa de ruas de Novo Hamburgo. Nessa etapa, diversos boletins de sondagem foram excluídos por não apresentarem localização bem definida, impossibilitando, dessa forma, sua demarcação.

Após a demarcação dos pontos procedeu-se à primeira visita a campo. Com o auxílio de um GPS de navegação, as coordenadas UTM de diversos terrenos foram anotadas.

A locação das sondagens dentro dos terrenos realizou-se de acordo com o croqui de locação dos furos quando esse se apresentava no relatório de sondagem. Nos boletins onde não se obteve o croqui, a localização dos pontos dentro do terreno foi realizada procurando-se posicionar os furos segundo a recomendação da norma de programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios, a NBR 8036/83. O item 3.1.1.4 desta norma sugere que em fase de estudos preliminares, as sondagens devem ser igualmente distribuídas em toda a área e, quando o número de sondagens for superior a três, elas não devem ser distribuídas ao longo de um mesmo alinhamento.

Já trabalhando com o mapa de ruas, geo-referenciado no programa *Autocad Map*, procedeu-se a localização final dos pontos de sondagem no mapa entrando com as coordenadas UTM dos pontos de referência e, baseado neste, localizando os furos de sondagem de acordo com sua disposição apresentada no croqui. A figura 3.2 mostra uma localização dos furos de sondagem dentro do terreno conforme o croqui desenhado pela empresa em comparação com a localização dos furos no mapa de ruas em meio digital.

Estima-se que essa localização tenha um erro máximo de 50 metros devido à imprecisão do GPS de navegação e, principalmente, a inexistência de croqui de locação dos furos em algumas sondagens obtidas. O total de sondagens localizadas até o presente momento é de 97.

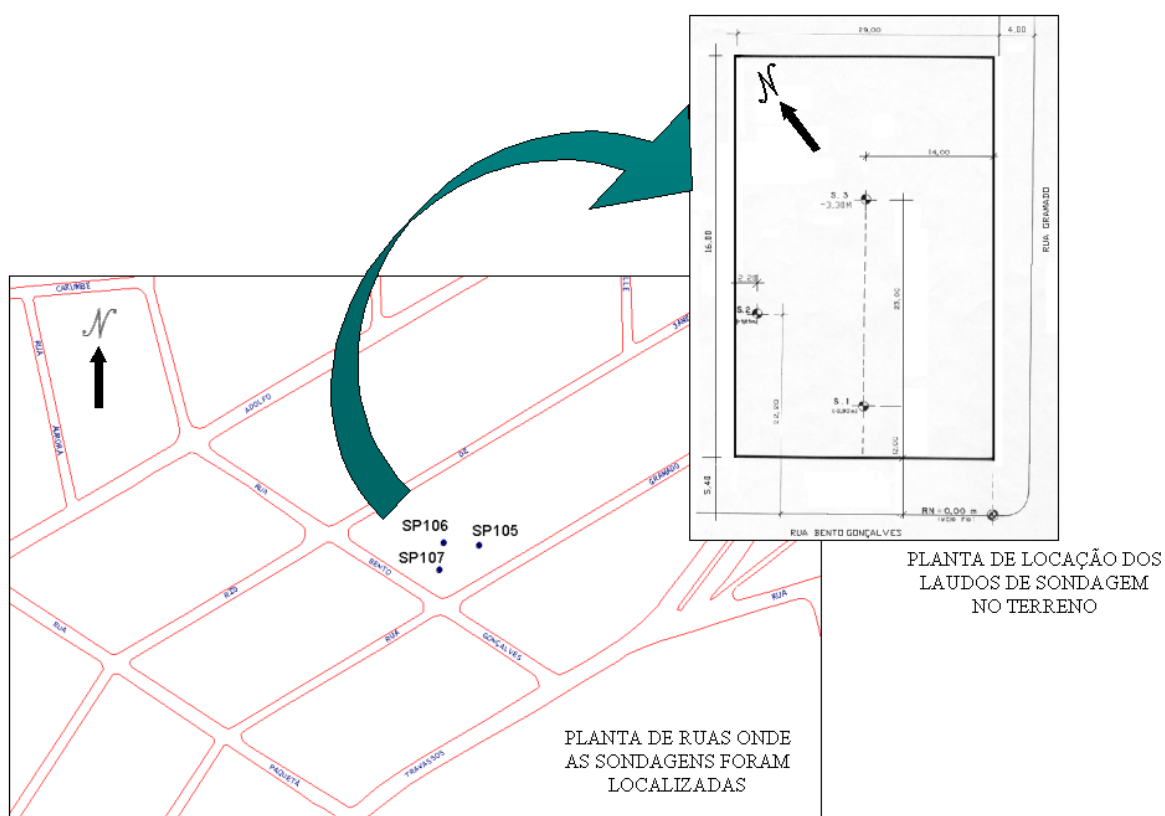


Figura 3.2 – Localização dos pontos de sondagem no croqui original e no mapa de ruas dentro do *Arcview*.

3.5 Elaboração do banco de dados no Access

O cadastro e organização das informações dos boletins de sondagem em meio digital procederam-se no programa Microsoft Access onde foi criado um formulário para facilitar o preenchimento dos dados, como pode ser visto na figura 3.3. O banco de dados de sondagens SPT é organizado de tal maneira que cada registro corresponde a um furo de sondagem e, dentro deste registro, cada item corresponde a uma informação fornecida pelo boletim de sondagem.

Os primeiros itens do registro da sondagem tratam de informações gerais tais como:

- Id: serve de identificação da sondagem e foi criado de maneira a diferenciar as sondagens no mapa atribuindo um valor único a cada uma. Este campo é estruturado com as letras SP seguido de três algarismos. Exemplo: SP001;
- Terreno: indica os diferentes terrenos onde foram realizados os furos de sondagem, este campo, denominado terreno é numérico;
- Ano: indica o ano em que foi realizada a sondagem;
- UTM_x e UTM_y: estes dois itens seriam utilizados em caso de encontrar nos próprios boletins de sondagem as coordenadas UTM, até o presente momento este campo não foi preenchido no Access e sim no programa de CAD pela localização no próprio mapa;
- Endereço: informa o endereço que consta no boletim de sondagem;
- Empresa: indica a empresa que realizou a sondagem;

As informações geotécnicas das sondagens foram descritas nos seguintes itens:

- Nivel_água: informa a profundidade do lençol freático após 24 horas da realização do ensaio de penetração. Quando este campo é deixado em branco, significa que o nível do lençol freático não foi observado pelo sondador ou então não foi encontrado até a profundidade de parada da sondagem. São casos bem diferentes, pois no primeiro não

se tem idéia de onde pode estar o nível d'água e no segundo sabe-se que o nível d'água está mais profundo do que a cota de parada da sondagem. Essas informações constam no item obs;

- SPT_01m até SPT_25m: indicam o número de golpes do SPT na profundidade indicada;
- Limite_sond: informa a profundidade de parada da sondagem em metros;
- Critparada: diferencia que critério seguido para a paralisação do ensaio. Este item possui três opções de preenchimento: estabelecido pelo engenheiro, impenetrável ao avanço por lavagem, impenetrável a percussão. O critério impenetrável à percussão foi anotado quando a sondagem apresentou índices de penetração muito altos e não efetuou-se o ensaio de perfuração por lavagem em seguida. O critério “impenetrável por lavagem” foi anotado quando, de acordo com a NBR 6484/1980, atingiu-se o impenetrável ao trépano. E, por fim, anotou-se “estabelecido pelo engenheiro” quando a sondagem foi paralisada sem obedecer aos dois critérios anteriores.
- Tipo_01m até tipo_25m: fornecem o tipo de solo encontrado a cada profundidade. Devido à diversificação de caracterização do solo entre as empresas, adotou-se para o preenchimento deste banco de dados a descrição de acordo com a tabela 3.1;
- Cor_01 até cor_25m: as diferentes empresas apresentam muitas formas de caracterizar as cores das amostras de solo, sendo que estabelecer um padrão ficaria difícil, portanto, esses itens foram preenchidos da forma exata apresentada no boletim de sondagem;
- Unid_geotec: apenas observando os dados do boletim de sondagem e o relevo do local onde os furos foram realizados, procedeu-se uma classificação geotécnica preliminar de cada registro. Por tratar-se de um ponto, muitos tipos diferentes de solo poderiam ser atribuídos para todos os registros. Então, estabeleceu-se alguns perfis

geotécnicos como padrão e o solo foi classificado de acordo com o padrão em que mais se assemelhou;

- Obs: foi utilizado para informações adicionais. Algumas características do solo que não se encaixaram no padrão estabelecido foram anotadas neste item.

Tabela 3.1 – Tipos de solo.

Código	Tiposolo
1	Areia
2	areia siltosa
3	areia argilosa
4	areia com argila e silte
5	Silte
6	silte arenoso
7	argila arenosa
8	silte com areia
9	Argila
10	argila com silte e areia
11	silte argiloso
12	Argila
13	argila siltosa
14	Aterro
15	silte com argila e areia

3.6 Mapa plano-altimétrico

A Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo cedeu um mapa em meio digital, no formato de exportação do CAD (*dxf*), contendo as curvas de nível com cotas de cinco em cinco metros, ruas e nome das ruas, rios, pontes, limite da área urbana e divisão dos bairros. Constatou-se nesta etapa que a área correspondente ao bairro Primavera não fora levantada.

Então, para obtenção das curvas de nível desta área procurou-se outra fonte em mesma escala. Junto a METROPLAN em Porto Alegre, adquiriu-se em meio analógico as cartas do levantamento aerofotogramétrico da região metropolitana de Porto Alegre na escala 1:10.000 e com curvas de nível de cinco em cinco metros. Em outra etapa procederam-se a digitalização e o geo-referenciamento destas cartas.

3.7 Edição das ruas e curvas de nível

As curvas de nível do bairro Primavera, adquiridas em papel, foram transformadas em meio digital através de um *scanner*. Em seguida, utilizando o programa *Autocad Map*, executou-se a vetorização das curvas de nível. Ainda neste programa, foram atribuídos os valores das elevações das curvas para a futura geração do MDT. Por fim, geo-referenciou-se o mapa, utilizando-se o sistema de coordenadas original.

As ruas e curvas de nível adquiridas em meio digital não foram editadas, apenas os textos das ruas que apresentavam problemas de acentuação gráfica foram editados.

3.8 Geração do MDT e mapa de declividades

Objetivando uma melhor visualização do relevo da região, um modelo digital do terreno foi construído a partir das informações dos pontos cotados e das curvas de níveis utilizando o módulo *3D Analyst* do programa *Arcview 3.1*.

Os vetores das curvas, para que fossem utilizados junto aos pontos, foram transformados em alinhamentos de pontos cotados.

O módulo *3D Analyst* permite que a superfície seja representada por TINs (*triangulated irregular network*) que são triângulos irregulares onde os vértices são os pontos cotados.

Outra ferramenta de visualização é a cena tridimensional criada a partir do MDT onde se pode navegar pelo terreno ou então exagerar as cotas para destacar mais os desníveis. A figura 3.4 mostra uma cena 3D onde exagerou-se cinco vezes a escala vertical.

id	terreno	ano	UTM_x	UTM_y
SP001		1	1994	
Endereço				
RS 239 - Campus FEEVALE				
empresa	nivel_agua	SPT_01m	SPT_02m	SPT_03m
eta		43	50	50
SPT_04m	SPT_05m	SPT_06m	SPT_07m	SPT_08m
33	38	46	50	50
SPT_10m	SPT_11m	SPT_12m	SPT_13m	SPT_14m
50	44	50		
SPT_16m	SPT_17m	SPT_18m	SPT_19m	SPT_20m
SPT_22m	SPT_23m	SPT_24m	SPT_25m	Limite_sond critparada
				12 limite avanco poi
tipo_01m	tipo_02m	tipo_03m		
areia siltosa	areia siltosa	areia siltosa		
tipo_04m	tipo_05m	tipo_06m		
areia siltosa	areia siltosa	areia siltosa		
tipo_07m	tipo_08m	tipo_09m		
areia siltosa	areia siltosa	areia siltosa		
tipo_10m	tipo_11m	tipo_12m		
areia siltosa	areia siltosa	areia siltosa		
tipo_13m	tipo_14m	tipo_15m		
tipo_16m	tipo_17m	tipo_18m		
tipo_19m	tipo_20m	tipo_21m		
tipo_22m	tipo_23m	tipo_24m		
tipo_25m	cor_01m	cor_02m		
	rosa	rosa		
cor_03m	cor_04m	cor_05m		
rosa	rosa	rosa		
cor_06m	cor_07m	cor_08m		
rosa	rosa	rosa		
cor_09m	cor_10m	cor_11m		
rosa	rosa	rosa		
cor_12m	cor_13m	cor_14m		
rosa				
cor_15m	cor_16m	cor_17m		
cor_18m	cor_19m	cor_20m		
cor_21m	cor_22m	cor_23m		
cor_24m	cor_25m	Unid_Geotec		
		Litolico subst. Arenito Botucatu		
obs				
Nivel da agua nao foi encontrado.				

Figura 3.3 – Formulário para preenchimento dos dados de sondagens.

Para auxiliar na elaboração do mapa de estimativas das unidades geotécnicas, utilizando o módulo *Spacial Analyst* do *Arcview* gerou-se um mapa de declividades a partir do MDT, separando o relevo plano dos demais.

Ao sul da área de estudo, em uma região baixa e plana, não foram levantados os pontos cotados, então, nesta área, foi criada uma poligonal indicando que a interpolação nesta área não fora considerada.

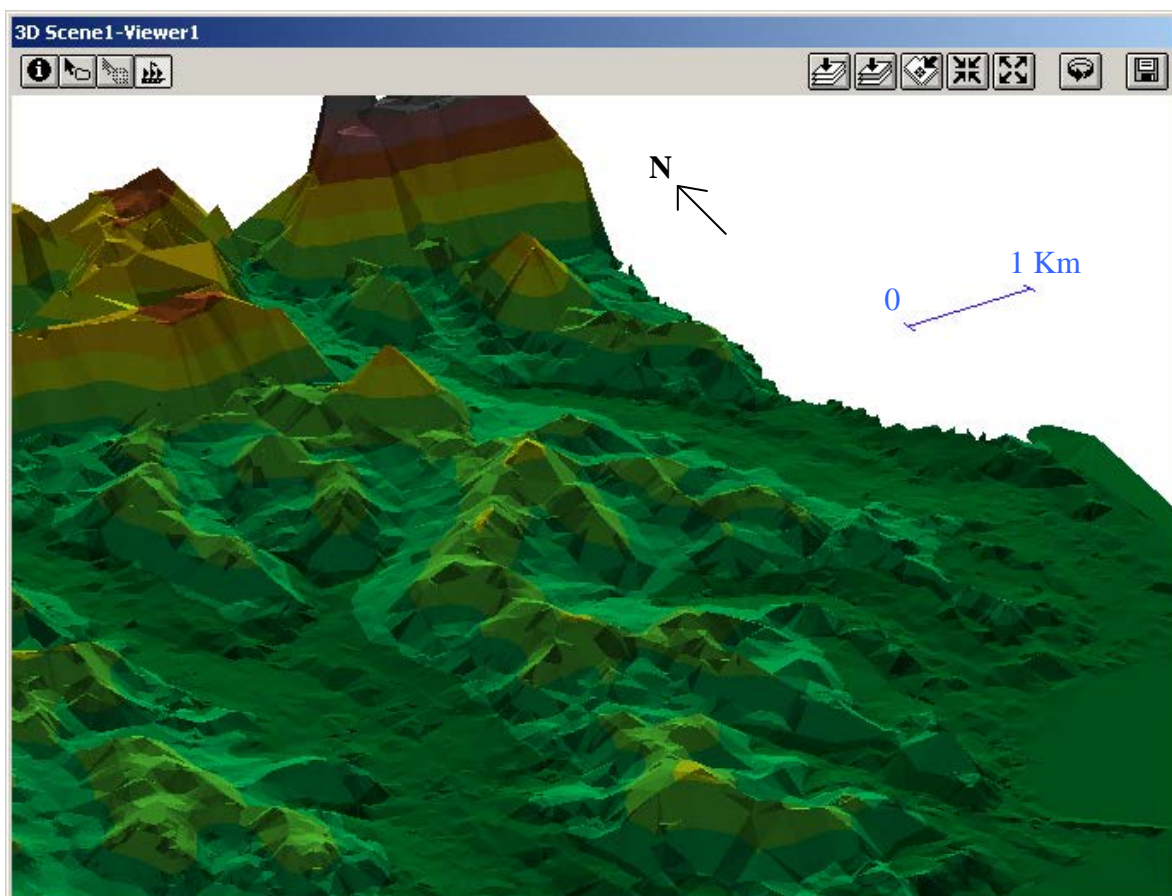


Figura 3.4 – Cena 3D de Novo Hamburgo com aumento de cinco vezes na vertical.

3.9 União das informações no programa de SIG

O banco de dados de sondagens SPT e as informações plano-altimétricas foram unidas no programa de SIG *Arcview 3.1*. Os pontos de sondagem, geo-referenciados, são

unidos às tabelas elaboradas no *Access*. Assim, o Arcview funciona como o gerenciador do banco de dados, possibilitando, por exemplo, obter as informações geotécnicas de um ponto qualquer no mapa conforme é mostrado na figura 3.5.

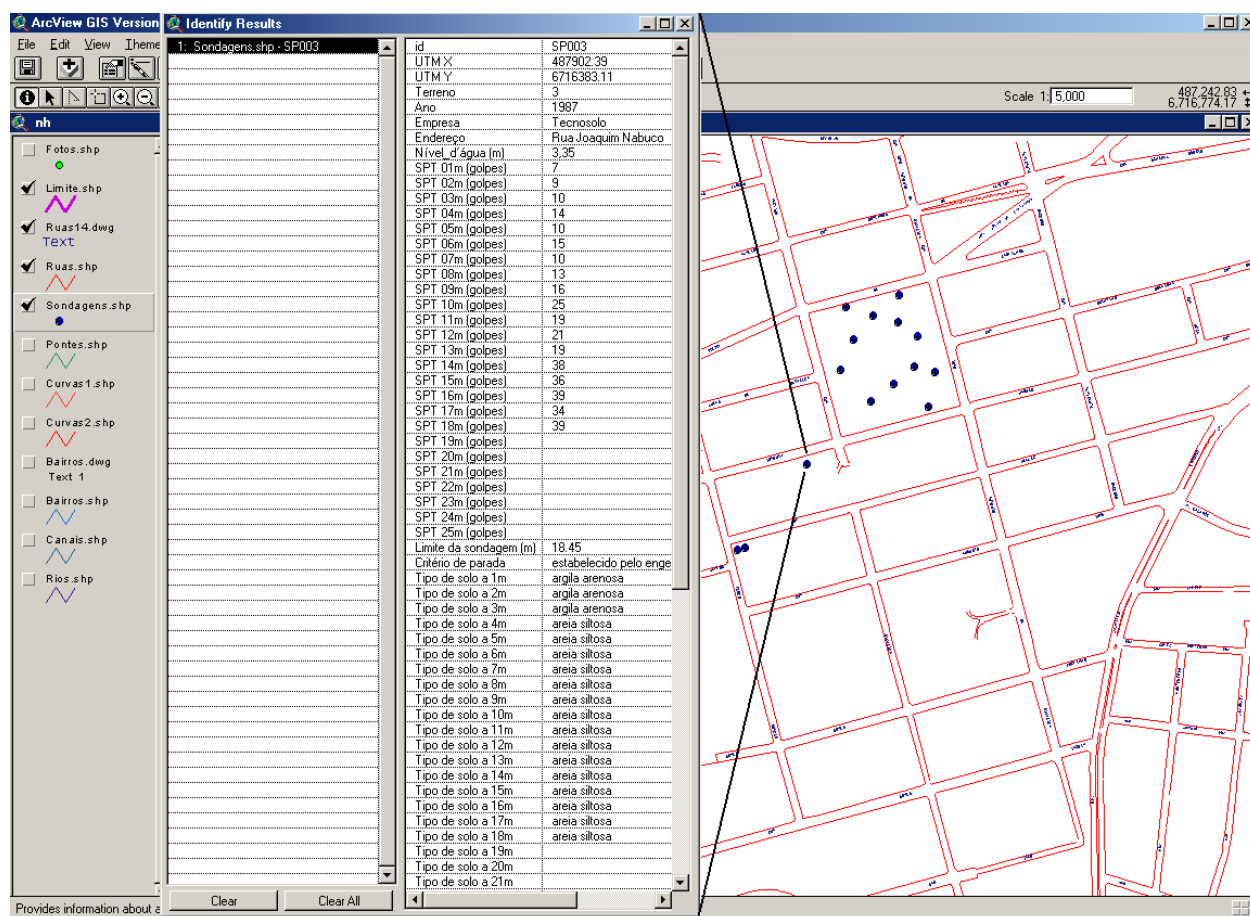


Figura 3.5 – Buscando informações do banco de dados a partir de um ponto no mapa.

Para cada furo de sondagem, foi construído um gráfico mostrando a resistência à penetração, nível do lençol freático, profundidade de parada da sondagem e as características dos solos das diversas camadas. Esses gráficos, assim como as informações do banco de dados, podem ser abertos diretamente de um ponto de sondagem no mapa como pode ser visto na figura 3.6.

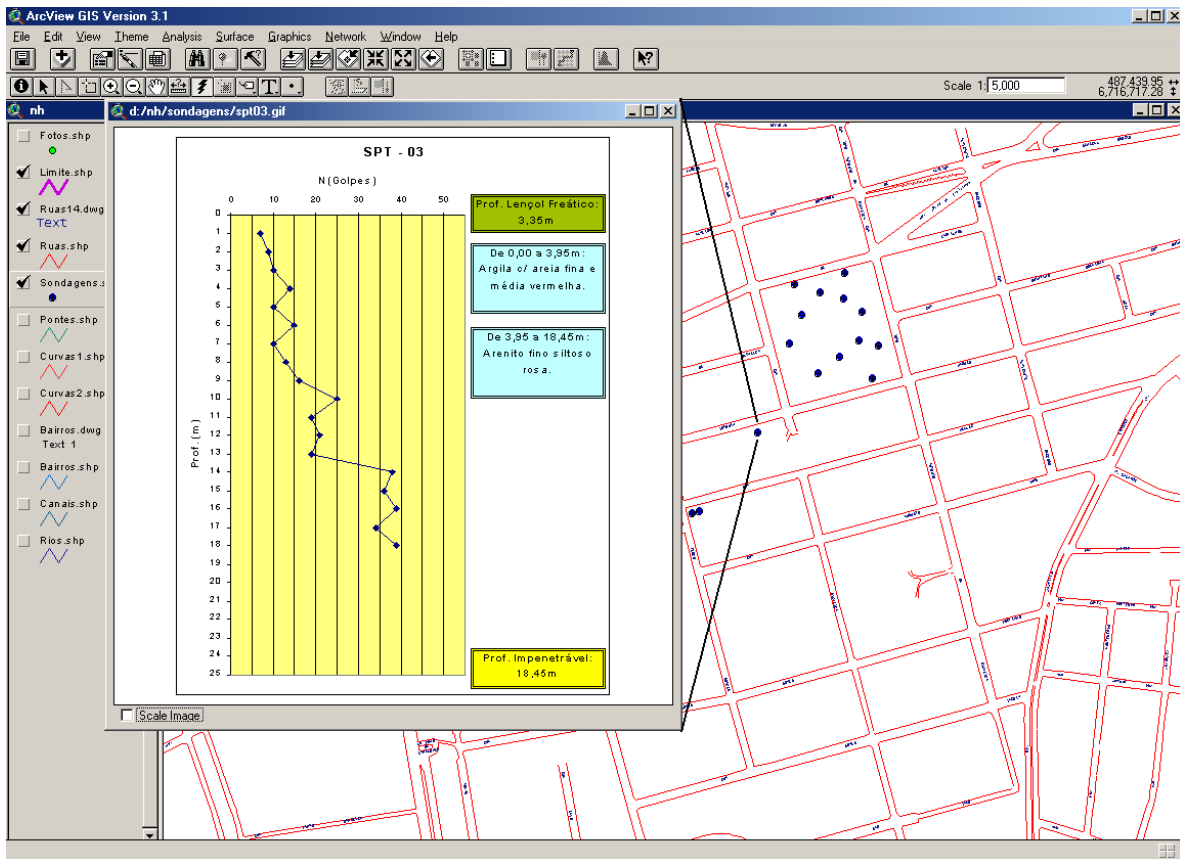


Figura 3.6 – Abrindo um gráfico de sondagem a partir de um ponto no mapa.

Nas visitas a campo foram feitas diversas fotografias de locais característicos, então, estas foram localizadas sobre o mapa de ruas e, construiu-se um banco de dados de fotos gerenciado pelo *Arcview*. Da mesma maneira que as sondagens, a partir de um ponto no mapa, pode-se visualizar a correspondente fotografia (figura 3.7).

Integrando as informações pode-se elaborar diversos planos de informações conforme será visto no capítulo de apresentação dos resultados.

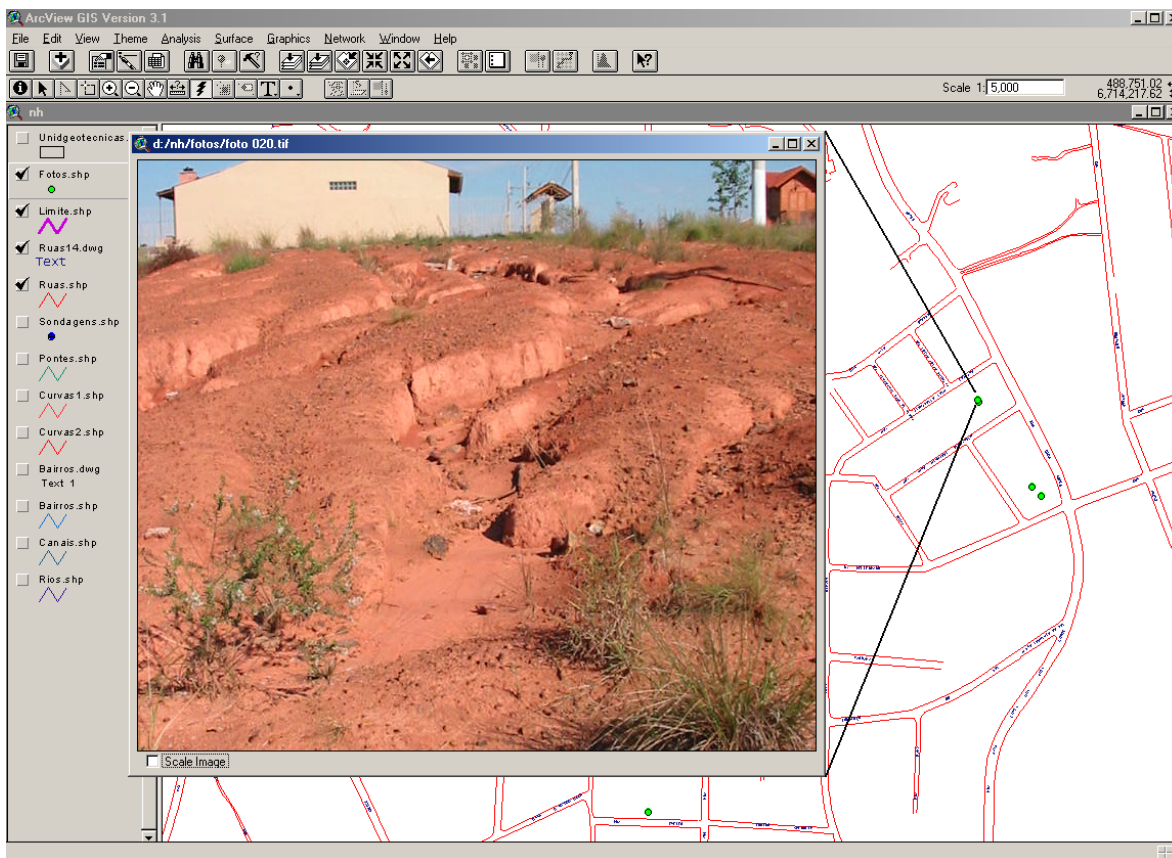


Figura 3.7 – Abrindo uma imagem a partir de um ponto no mapa.

3.10 Geração do mapa de estimativas das unidades geotécnicas

Com as informações de sondagens, fotografias de locais característicos, curvas de nível e mapa de declividades unidas em um mesmo plano de informações no *Arcview*, procedeu-se a delimitação das unidades geotécnicas conforme será descrito a seguir.

A metodologia utilizada para a confecção do mapa de estimativas das unidades geotécnicas é baseada na metodologia proposta por Davison Dias (1989). O mapa gerado tem como objetivo estimar as unidades geotécnicas, ou seja, as características pedológicas

dos horizontes superficiais acrescidas das características geológicas do substrato. Esta metodologia é composta das seguintes etapas: estudo de escritório; estimativas das unidades geotécnicas; coleta de sondagens, investigações de campo e ensaios de laboratório.

A etapa de coleta de sondagens já foi descrita neste trabalho. As investigações de campo realizadas neste trabalho foram apenas tácteis e visuais, sendo que já se tinha em mãos relatórios de sondagens SPT em diferentes perfis de solo. Não foram realizados ensaios de laboratório para este trabalho, porém, Orlandini (1991) apresentou e analisou os resultados dos ensaios de granulometria, compressibilidade, resistência ao cisalhamento, permeabilidade, colapsividade, erodibilidade e difração de raio-x dos solos de Novo Hamburgo.

O estudo de escritório engloba os seguintes itens:

- a) Análise de levantamentos existentes. Neste trabalho, comparou-se dois trabalhos de mapeamento geotécnico realizados na mesma área. O primeiro mapa analisado foi o mapa elaborado por Davison Dias et al (1996) na escala 1:100000. O outro mapa analisado foi elaborado por Orlandini (1991) na escala 1:25000, porém, este se encontrava na forma de figura e sem coordenadas.
- b) Análise de mapas topográficos. Além dos mapas em meio digital, analisou-se também o MDT construído no *Arcview*, facilitando a visualização das formas do relevo. De acordo com o relevo, dividem-se os solos inicialmente em duas grandes unidades formadas por solos hidromórficos e não hidromórficos.
- c) Análise do mapa de declividades. O mapa de declividades criado a partir do MDT separou o relevo plano (indicador de solo hidromórfico) dos demais.
- d) Nos solos hidromórficos separam-se as unidades situadas próximas aos rios ou lagoas daquelas que ocorrem entre elevações. Nas depressões verificam-se os locais situados em cotas mais altas, que formam o micro relevo de uma zona aparentemente plana. Nas zonas mais elevadas destes micro-relevos podem ocorrer perfis plínticos.
- e) Nas unidades em relevo ondulado, separam-se os locais onde o relevo é fortemente ondulado, ondulado e suavemente ondulado. As variações do relevo junto com a geologia servem como indicadores das unidades geotécnicas.

A estimativa das unidades geotécnicas iniciou-se com a delimitação da área com relevo plano, indicativa de solos hidromórficos onde predomina a ocorrência dos Planossolos. Porém, foi constatada a presença de Planossolo em declividades até 5%.

As Unidades Podzólico Vermelho Amarelo e Podzólico Vermelho Escuro com substrato arenito Formação Botucatu ocorrem geralmente acima de 30 metros. No mapa de estimativas das unidades geotécnicas ficou difícil a diferenciação entre estas duas unidades. Portanto, elas aparecem associadas no mapa. Suas diferenças serão descritas no capítulo de análises dos resultados.

Da mesma maneira que Davison Dias et al (1996) e Orlandini (1991) delimitaram a ocorrência dos solos de basalto da Formação Serra Geral ao norte da área de estudo, aproximadamente acima da cota 100. O mapeamento realizado neste trabalho adotou a cota 100 como divisor desta unidade.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Novo Hamburgo, conhecido pelo país como Capital Nacional do Calçado, possui uma população de aproximadamente 220.000 habitantes quase que totalmente urbana e ocupa uma área de 217 Km. Situa-se no Vale do Rio dos Sinos e distancia-se aproximadamente 40 Km da capital do Rio Grande do Sul e 356 Km do porto de Rio Grande. O clima do município é mesotérmico úmido com temperatura média anual em torno dos 19°C.

Nesse trabalho foi selecionada apenas a área urbana do município, que já possui base cartográfica em meio digital, e ocupa aproximadamente 74 Km², localizando-se entre as coordenadas UTM 492757; 6721370 e 482718; 6709675 (meridiano 51° W) como pode ser visto na figura 4.1. Essa área é delimitada ao norte, leste e oeste pela divisa do município e ao sul pelo rio dos Sinos. A área não estudada corresponde ao bairro Lomba Grande e representa cerca de dois terços da superfície do município, com uma área de 144 km², contudo, sua população representa cerca de 2% da população total de Novo Hamburgo. Devido a sua vocação rural, a Prefeitura, por meio de suas diversas secretarias, vem incentivando a agro-indústria e a agricultura orgânica, bem como o ecoturismo, como fontes de renda para a pequena população do bairro.

A urbanização de Novo Hamburgo desenvolveu-se, ao longo do tempo, de acordo com as condições físicas do ambiente natural, evitando as áreas de difícil acesso, com vegetação densa e de topografia acidentada. Com a expansão da cidade essas áreas mais vulneráveis foram sendo progressivamente ocupadas, gerando um progressivo processo de degradação ambiental. Nos últimos 30 anos, com a expansão do setor industrial coureiro calçadista, favoreceu-se a proliferação de loteamentos clandestinos e favelas, principalmente em áreas de nascentes dos recursos hídricos.



Figura 4.1 - Localização da área de estudo.

4.1 Geologia da área de estudo

A geologia da área de estudo é formada por Arenitos da Formação Botucatu sotopostos e intercalados por derrames basálticos da Formação Serra Geral. No relevo plano, ocorrem os depósitos aluvionares originados pelo Rio dos Sinos. Cada uma dessas unidades será descrita a seguir.

4.1.1 Formação Botucatu

A Formação Botucatu é uma das mais importantes formações brasileiras no que diz respeito a água subterrânea, ocorre em toda a região sul e sudeste do Brasil e outros países como Paraguai, Argentina e Uruguai, abrangendo área superior a 1.300.000 Km².

O arenito encontrado na Formação Botucatu se apresenta em forma de dunas primitivas de grande porte, o que é uma evidência que em épocas passadas esta região foi um grande deserto. A Formação Botucatu é constituída pelos arenitos apresentando estratificação cruzada de grande porte, tendo sido depositados por ação eólica em ambiente desértico.

São arenitos de coloração variando do amarelo ao vermelho, de granulação fina a média com grãos arredondados e foscos. O cimento é ferruginoso, mas próximo ao contato com o basalto o arenito endurece um pouco, com a introdução de cimento silicoso, formando as conhecidas estruturas lajeadas.

O arenito apresenta grãos de quartzo bem arredondados, cimentados por matéria silicosa secundária. Estão presentes, em pouca quantidade, feldspatos (microclínio e plagioclásio), turmalina e minerais opacos. Os grãos apresentam as superfícies cobertas por uma película ferruginosa, que dá cor à rocha.

De acordo com Orlandini (1991), a principal característica destes arenitos é a ausência da variação litológica, formando uma monótona sucessão de corpos nos quais persistem, de modo geral, as mesmas propriedades texturais, estruturais e mineralógicas, constituindo um empilhamento de cunhas arenosas que apresentam prolongamento maior na direção do vento. Tommasi apud Orlandini (1991) indicou, uma espessura máxima de 250 metros de arenito Botucatu em Novo Hamburgo.

A figura 4.2 ilustra no lado esquerdo a exploração de uma pedreira de Arenito Botucatu e no lado direito mostra o solo residual que preserva a aparência da rocha, no entanto, pode ser escavado com pá e picareta.

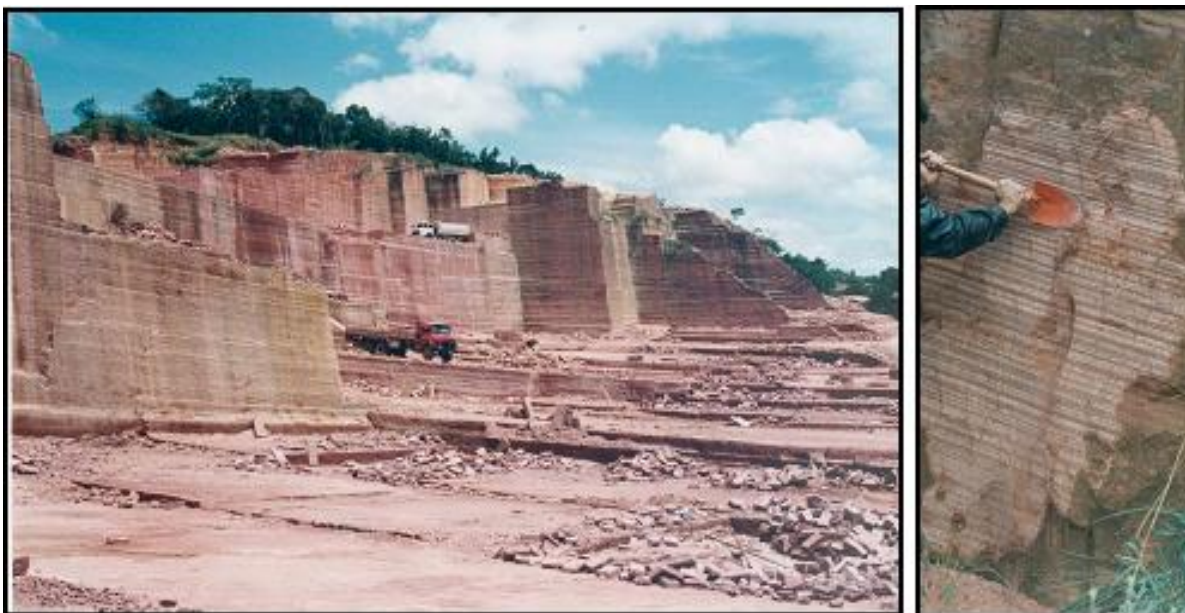


Figura 4.2 – Exploração de pedreira de Arenito Botucatu e solo residual de arenito.

4.1.2 Formação Serra Geral

Esta unidade ocorre no limite norte do município, caracterizando a encosta da serra. Embora esta formação seja a de maior expressão no estado do Rio Grande do Sul, na área de estudo deste trabalho ela recobre apenas uma pequena porção. A formação é composta por derrames basálticos, riódacíticos e riolíticos, destacando-se sua estrutura horizontalizada, proveniente do rápido resfriamento da lavas emanadas a partir de estruturas lineares em ambiente continental. Essas rochas estão sobrepostas diretamente aos arenitos da Formação Botucatu.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, quando frescas, apresentam uma variedade de cores que grada do cinza escuro ao negro, com tonalidades esverdeadas. Quando alteradas apresentam, via de regra, coloração em tons de verde, castanho-avermelhado e castanho-claro. As colorações escuras devem-se principalmente à granulação fina e à abundante presença de minerais de composição ferromagnesiana, opacos e vidros. Como características texturais, os basaltos geralmente apresentam-se afaníticos, sendo menos comum faneríticos, finos a médios, mostrando-se, muito raramente porfiróides, IBGE (1986).

Orlandini (1991) destaca freqüente ocorrência de diques e sills de diabásio intrusivos no interior da Formação Botucatu, com espessuras variando de centímetros, perfeitamente intercalados nos planos de estratificação, até dezenas de metros.

A figura 4.3 ilustra a exploração de rocha vulcânica da Formação Serra Geral em uma pedreira localizada no bairro Roselândia.



Figura 4.3 - Pedreira da COMUR, bairro Roselândia, Formação Serra Geral

(Aerofotográfico SEMAM, 2001).

4.1.3 Depósitos Aluvionares

Esta unidade é formada pelos depósitos aluvionares, originados pelo Rio dos Sinos, depósitos fluviais e turfeiras. Ocorre principalmente ao sul da área de estudo e caracteriza-se por uma morfologia plana, oriunda de constantes erosões e deposições do rio e da atividade pluvial. Estes sedimentos são constituídos em superfície por areias finas e, secundariamente, por siltes e material argiloso, não se verificando dentro dos limites do município a ocorrência de material grosseiro.

A sedimentação siltico-argilosa desenvolve-se acentuadamente nas extensas planícies de inundação dos cursos médio a inferior das drenagens principais, locais em que se verificam condições de transbordamento, IBGE (1986).

A figura 4.4 ilustra o aspecto de uma área de extração de argila na região da planície de inundação do Rio dos Sinos.



Figura 4.4 - Aspecto de uma área de extração de argila na região da planície de inundação do Rio dos Sinos. Depósito aluvionar (Aerofotográfico SEMAM, 2001).

4.2 Pedologia da área de estudo

Os principais solos encontrados na área de estudo, de acordo com a pedologia são:

- Litólico (R), Cambissolo (C), Brunizém Avermelhado (BV) e Terra Roxa Estruturada (TR) com substrato basalto;
- Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Podzólico Vermelho-Escuro (PE) e Litólico (R) com substrato arenito;
- Planossolo (PL), Gleis (HG), solos Aluviais (A), solos Orgânicos (HO) e Areias Quatzozas Hidromórficas (HAQ) com substrato depósitos aluvionares.

A tabela 4.1 mostra as principais características dos solos quanto tipo de horizonte, atividade da argila e hidromorfismo. A atividade da argila indica a presença de minerais expansivos no horizonte B e o hidromorfismo indica a presença do nível d'água neste horizonte.

Na seqüência serão descritas com maior detalhamento as principais características de cada solo, mostrando perfis típicos que ocorrem em diversas regiões do país.

Tabela 4.1 – Resumo das principais características dos solos que ocorrem na área de estudo (adaptado de Davison Dias, 2001).

Tipo de Horizonte	Atividade da argila	Hidromorfismo	Grandes grupos
Textural	Baixa	Não	Podzólico Vermelho-Amarelo
			Podzólico Vermelho-Escuro
			Terra Roxa Estruturada
	Alta	Não	Brunizém Avermelhado
		Sim	Planossolo
Incipiente	Alta ou baixa	Não	Cambissolo
Pouco desenvolvido	Alta ou baixa	Não	Litólico
	Alta	Sim	Glei
			Orgânico
			Aluvial
			Areia Quartzosa Hidromórfica

4.2.1 Solos Litólico e Litossolos

São solos pouco evoluídos, não hidromórficos, com profundidades geralmente inferiores a 50 cm. Apresentam a sequência de horizontes A-R ou A-C-R, sendo o C pouco espesso ou ainda A-Bi-C-R com o Bi muito delgado e C muito pouco espesso. Segundo Oliveira et al. (1992) os Litossolos, em sentido estrito, são muito rasos, com espessura inferior a 20 cm, constituídos de um horizonte A seguido de rocha dura. Dificilmente ocorrem em áreas contínuas o suficiente para constituir uma unidade de mapeamento em mapas pedológicos de escalas menores que 1:20.000; daí, não aparecem sequer em mapas pedológicos semidetalhados executados no Brasil. Nesses levantamentos, têm sido incorporados aos Solos Litólicos.

Esses solos usualmente aparecem associados com o Cambissolo e o Brunizém-Avermelhado, também, são comuns afloramentos rochosos nas porções muito dissecadas. A figura 4.5 ilustra dois perfis típicos desses solos.

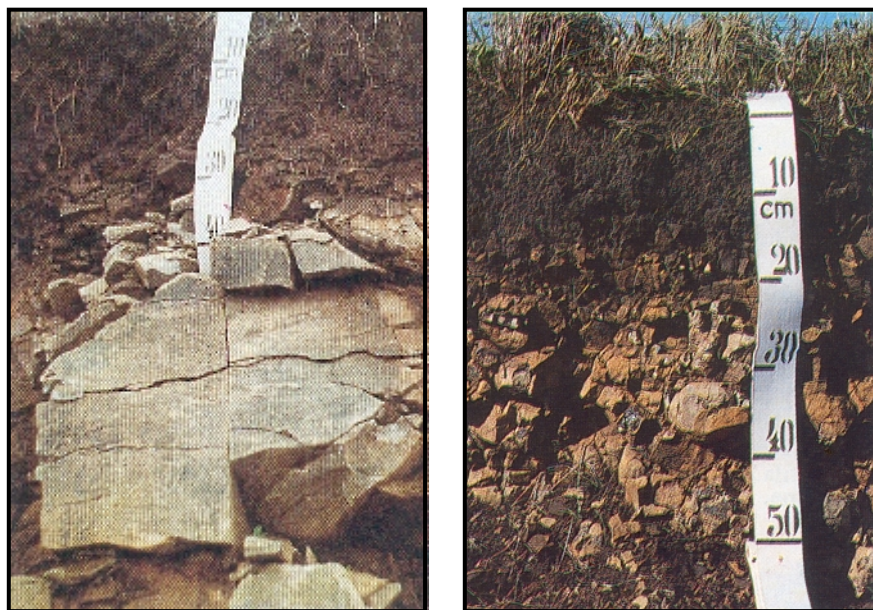


Figura 4.5 – Perfil típico de solo Litólico (foto da esquerda EMBRAPA, 1999; foto da direita Oliveira et al., 1992).

4.2.2 Cambissolos

Esses solos, não hidromórficos, são pouco desenvolvidos e apresentam a seqüência de horizontes A-Bi-C, sendo o horizonte B incipiente. O horizonte C situa-se próximo à superfície, em geral, a menos de 1 metro, este horizonte pode ser bem espesso e é o mais importante do ponto de vista da engenharia geotécnica. No caso do basalto, este horizonte pode apresentar minerais expansivos.

Esses solos ocorrem em relevo movimentado, por isso o solo é pouco profundo. Neste trabalho, esta unidade aparecerá associada a outras devido à dificuldade de delimitar sua área de ocorrência. Em campo, diferencia-se do Litólico por apresentar horizonte B incipiente com espessura superior a 10cm.

A figura 4.5 ilustra dois perfis típicos deste solo que ocorrem em outras regiões do país.

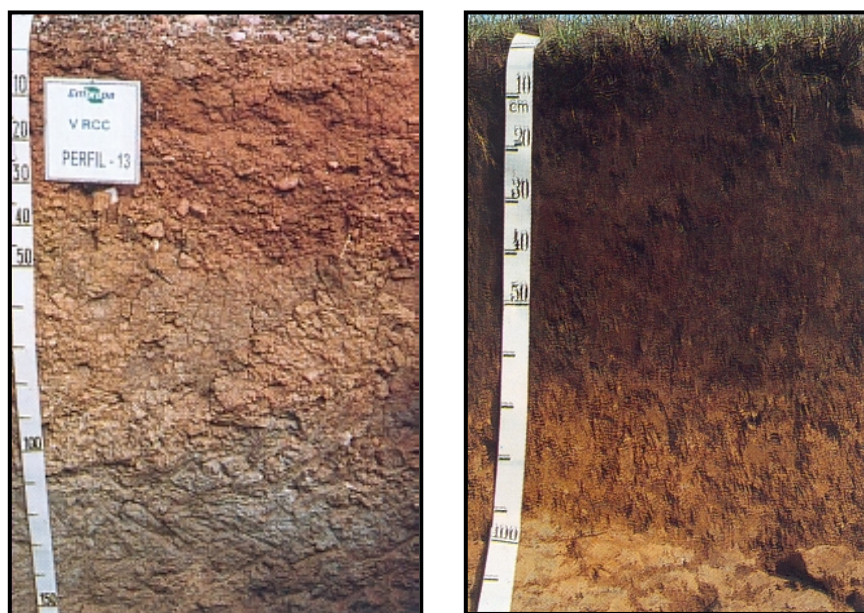


Figura 4.6 – Perfis típicos de Cambissolo (foto da esquerda EMBRAPA, 1999; foto da direita Oliveira et al., 1992).

4.2.3 Brunizém-Avermelhado

São solos não hidromórficos que apresentam a seqüência de horizontes A-Bt-C, sendo o horizonte B textural avermelhado. São solos pouco profundos e geralmente de textura argilosa. Em profundidade encontra-se material decomposto que guarda a estrutura da rocha de origem.

Segundo Oliveira et al. (1992), a grande maioria desses solos situam-se em relevo forte ondulado e montanhoso, no entanto, podem ocorrer em relevo suave ondulado e mesmo aplainado.

Como unidade de mapeamento, este solo aparece associado às Terras Roxas e demais associações. A figura 4.7 ilustra um perfil típico deste solo.

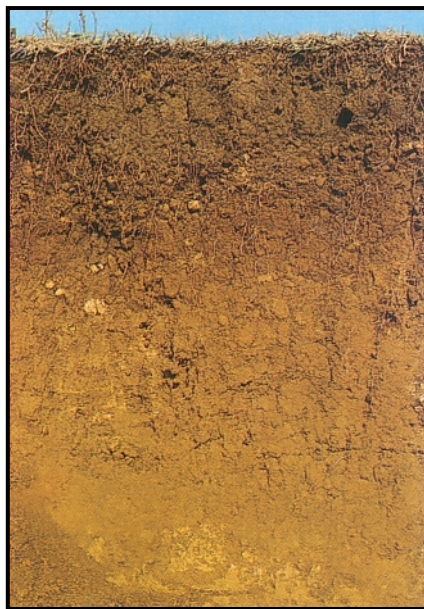


Figura 4.7 – Perfil típico de Brunizém Avermelhado (Oliveira et al., 1992).

4.2.4 Terra Roxa Estruturada

Caracterizados pela cor vermelha escura de tonalidade púrpurea, estes solos são não hidromórficos e apresentam a sequência de horizontes A-Bt-C, possui elevados teores de óxidos de ferro e o horizonte B apresenta estrutura em blocos.

São solos bem drenados e aparecem, como unidade de mapeamento, associados a outros solos (Litólicos, Cambissolos e Brunizéns Avermelhados).

Distingui-se a Terra Roxa Estruturada e o Podzólico Vermelho-Escuro através dos teores de óxidos de ferro. A Terra Roxa Estruturada apresenta maiores teores. A figura 4.8 ilustra o perfil deste solo.

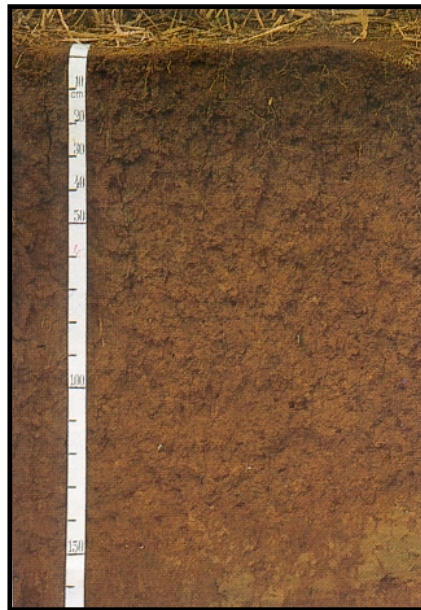


Figura 4.8 – Perfil típico de Terra Roxa Estruturada (Oliveira et al., 1992).

4.2.5 Podzólico Vermelho-Escuro

São solos não hidromórficos, que apresentam a seqüência de horizontes A-Bt-C. O horizonte B deste solo apresenta cor avermelhada com tonalidade escura.

De acordo com Oliveira et al. (1992), a característica marcante desta unidade é a presença de um horizonte B textural com cor vinculada a teor e natureza de óxidos de ferro de tal forma que ele se apresenta mais vermelho e, em equidade de teor de argila, com teor de óxido de ferro normalmente mais elevado do que os Podzólicos Vermelho-Amarelos e com menor teor que as Terras Roxas Estruturadas.

Aparecem associados aos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Em campo estes solos diferenciam-se pela cor vermelha de tonalidade mais escura apresentada pelo Podzólico Vermelho-Escuro. A figura 4.9 ilustra um perfil deste solo.

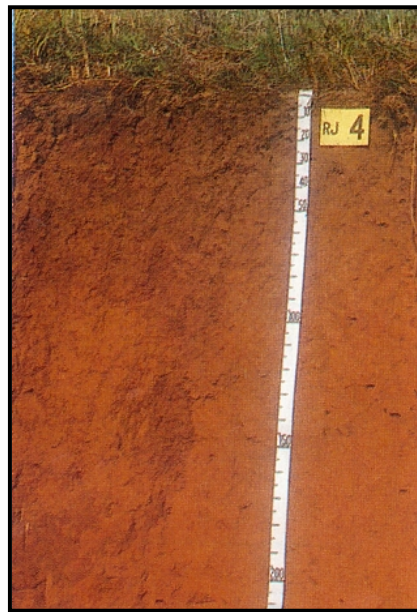


Figura 4.9 – Perfil típico de Podzólico Vermelho-Escuro (Oliveira et al., 1992).

4.2.6 Podzólico Vermelho-Amarelo

São solos não hidromórficos, que apresentam a sequência de horizontes A-Bt-C. O horizonte B deste solo apresenta cores vermelhas à amarelas.

Os Podzólicos Vermelho-Amarelos apresentam as mais variadas profundidades e texturas. Eventualmente pedras podem estar presentes em alguns destes solos.

Estes solos podem apresentar-se como intermediários com os Planossolos. Neste caso é comum a presença de mosqueamentos acinzentados e/ou coloração de menor croma no topo do horizonte B.

A figura 4.10 mostra um perfil típico de um Podzólico Vermelho-Amarelo.

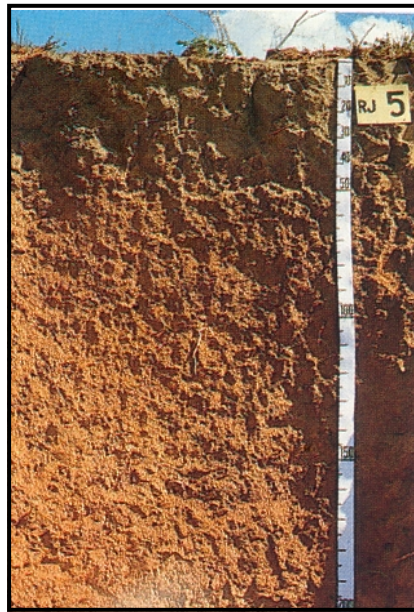


Figura 4.10 – Perfil típico de Podzólico Vermelho-Amarelo (Oliveira et al., 1992).

4.2.7 Planossolo

Estes solos, em geral, são hidromórficos. Caracterizam-se pela mudança textural abrupta com teor muito maior de argila no horizonte Bt do que o horizonte suprajacente.

Devido às más condições de drenagem destes solos, apresentam cores de redução (acinzentadas) e/ou mosqueados.

Ocorrem em regiões planas e/ou abaciaadas. Em geral apresentam valores de SPT baixos, com exceção do Planossolo plúntico que ocorre nas partes mais altas dos micro-relevos conforme caracterizado por Davison Dias (1987). Estes solos podem apresentar minerais expansivos.

Associados aos Planossolos, ocorrem os Gleis, solos Orgânicos, solos Aluviais e as Areias Quartzosas Hidromórficas. Todos estes solos são hidromórficos. A figura 4.11 ilustra dois perfis de Planossolo.

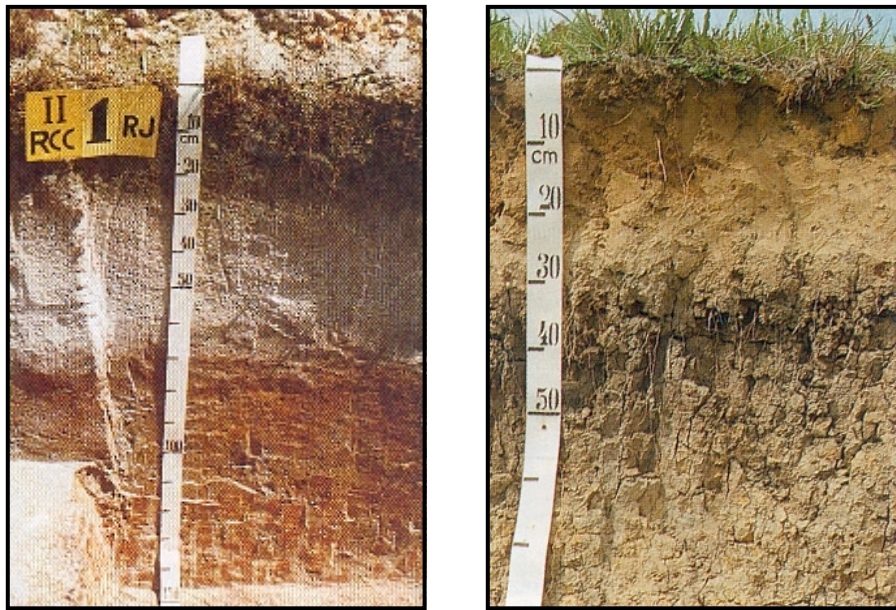


Figura 4.11 – Perfis típicos de Planossolo (foto da esquerda EMBRAPA, 1999, foto da direita Oliveira et al., 1992).

4.2.8 Gleí

São solos hidromórficos, com horizonte A seguido de horizonte gleí. São solos mal ou muito mal drenados e apresentam cores cinzentas, apresentam matéria orgânica e podem conter minerais expansivos.

Os valores de SPT deste solo são baixos. Estes solos que ocorrem em relevo plano e zonas abaciaadas são conhecidos pelos geotécnicos como as argilas moles tradicionais.

Em campo, diferenciam-se dos Planossolos pela ausência de horizonte B textural. Apresentam matéria orgânica, porém, não em quantidade para ser classificado como solo Orgânico. A figura 4.12 ilustra um perfil típico de Gleí.

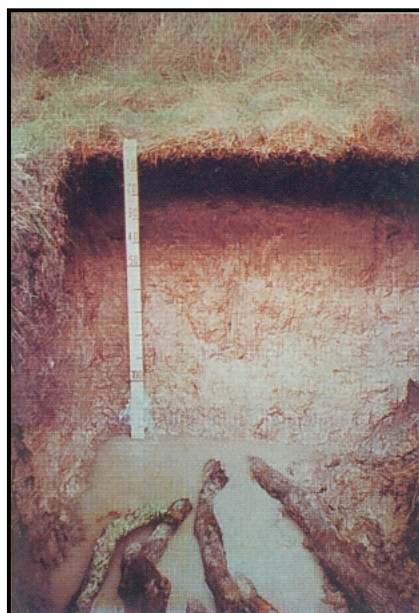


Figura 4.12 – Perfil típico de Gleí (EMBRAPA, 1999).

4.2.9 Solos Aluviais

Estes solos ocorrem nas planícies aluvionares, no caso de Novo Hamburgo, em depósitos recentes de origem fluvial. Estes solos são pouco desenvolvidos e não apresentam horizonte diagnóstico de superfície.

Oliveira et al. (1992) afirmam que estes solos apresentam propriedades que podem variar consideravelmente a curta distância horizontal e/ou vertical. Isso dificulta o mapeamento e a eleição de um perfil representativo, quer da classe de solo, quer da área

cartografada em levantamento pedológico. Um perfil de solo Aluvial é mostrado na figura 4.13.

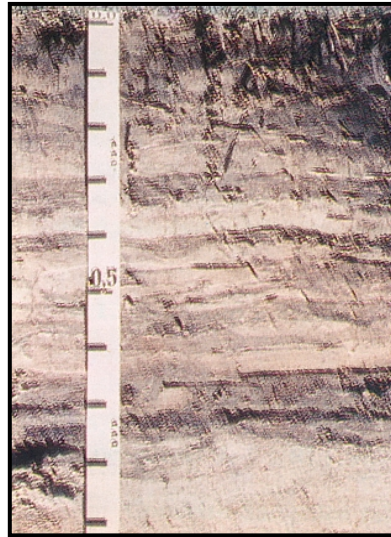


Figura 4.13 – Perfil de solo Aluvial (Oliveira et al., 1992).

4.2.10 Solos Orgânicos

São solos de constituição orgânica. De acordo com Oliveira et al. (1992) a matéria orgânica deve constituir mais de 50% dos 80cm superiores do perfil, com exceção se o perfil tiver espessura inferior a 80 centímetros. Desenvolve-se em ambientes hidromórficos e apresenta uma densidade baixa com cores escuras ou pretas. O horizonte C deste solo é profundo e, em geral, gleizado.

Pode ser denominado turfa ou *muck* dependendo do estado de decomposição da matéria orgânica. Quando ainda contém restos de organismos, é denominado turfa. Quando a decomposição é total, este solo é denominado *muck*.

A figura 4.14 ilustra dois perfis de solo Orgânico.

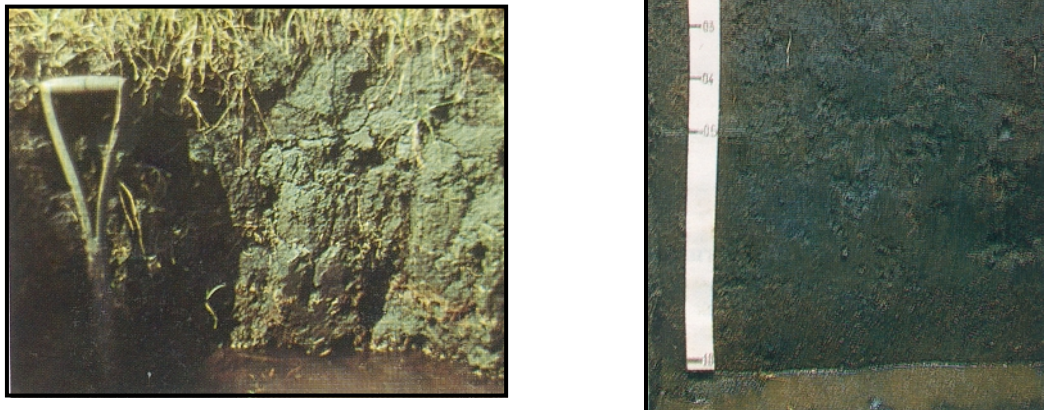


Figura 4.14 – Perfil típico de solo Orgânico (foto da esquerda EMBRAPA, 1999, foto da direita Oliveira et al., 1992).

4.2.11 Areias Quartzosas Hidromórficas

São solos geralmente profundos, hidromórficos, com textura areia ou areia franca. Este tipo de solo ocorre ao longo do rio, devido à atividade deposicional.

A figura 4.15 ilustra uma Areia Quartzosa não hidromórfica. Na área de estudo, devido ao local de ocorrência deste solo ele apresenta-se hidromórfico.

Areia Quartzosa hidromórfica (Oliveira et al., 1992).

4.3 Hidrografia

Novo Hamburgo encontra-se em região influenciada pela bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Vários são os arroios que deságuam na região da várzea do Sinos, tanto na margem norte quanto na sul do rio. Os arroios da margem sul são todos eles localizados no bairro de Lomba Grande, enquanto que, na margem norte, chegam águas dos arroios cujas nascentes principais estão nos morros de Novo Hamburgo.

A figura 4.16 mostra os rios, canais juntamente com o sistema viário da área de estudo. Ao sul, delimitando a área de estudo, encontra-se o Rio dos Sinos.



Figura 4.15 – Perfil típico de uma Areia Quartzosa hidromórfica (Oliveira, et al., 1992).

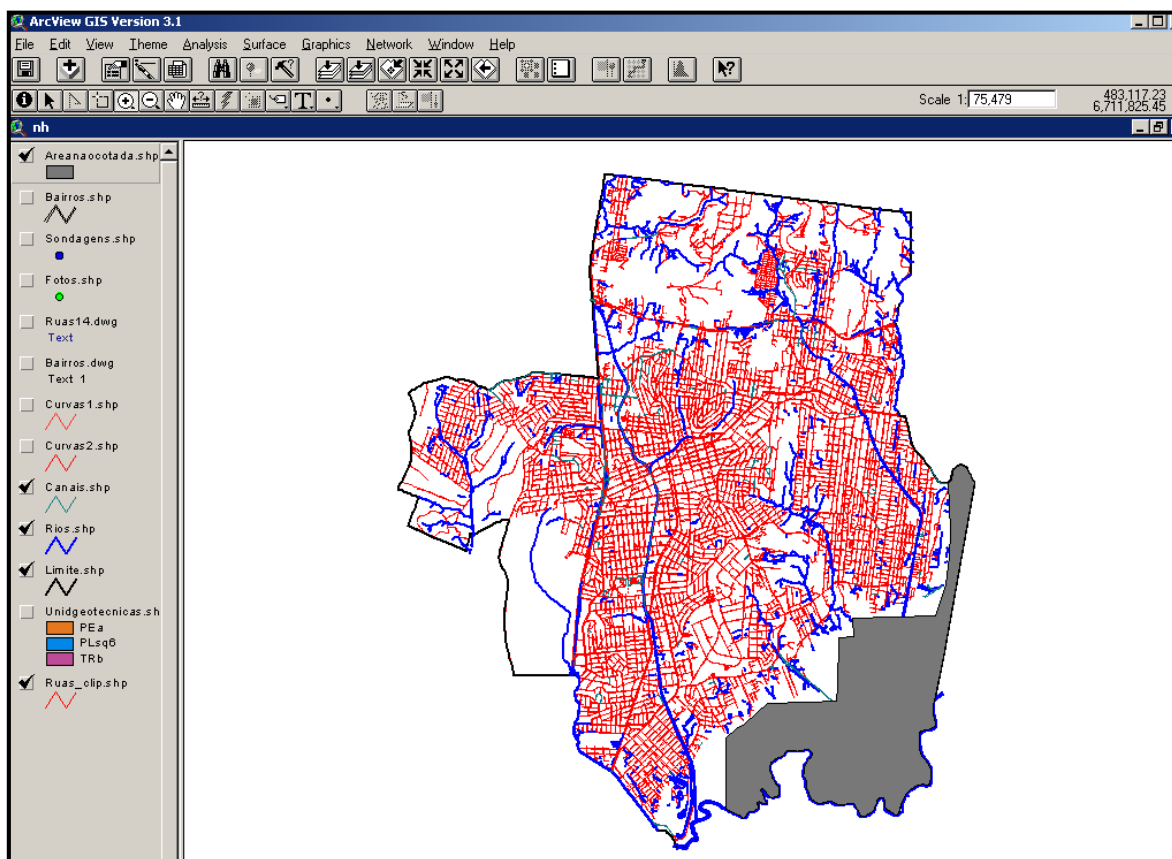


Figura 4.16 – Rios, canais e sistema viário da área de estudo.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dependendo do objetivo, pode-se integrar temas distintos em um programa de SIG e obter diferentes planos de informação, gerando mapas temáticos com as informações necessárias para o objetivo do usuário. Os planos de informação utilizados neste trabalho estão representados na figura 5.1.

O programa de SIG utilizado gerencia estes planos de informação através das *views*. Serão apresentadas neste capítulo duas *views*. A primeira, denominada NH, contém o mapa de estimativas das unidades geotécnicas integrado com o banco de dados de sondagens SPT geo-referenciado, as fotografias dos perfis observados, as ruas e as divisões dos bairros. A segunda *view*, denominada MDT, apresenta as curvas de nível, o modelo digital do terreno e o mapa de declividades gerado a partir do MDT.

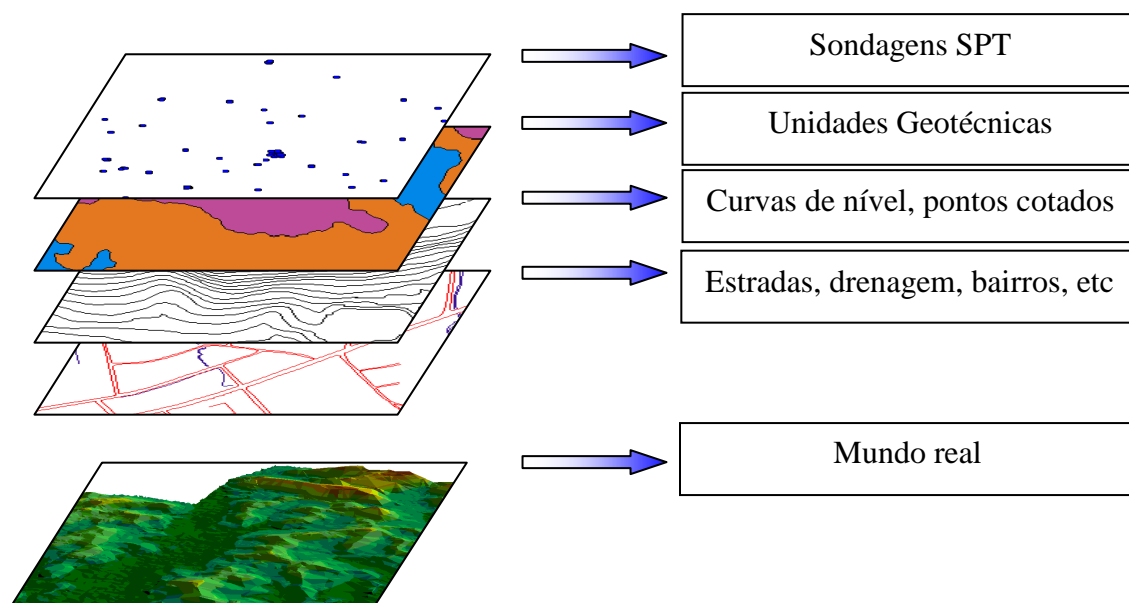


Figura 5.1 – Representação dos diferentes planos de informação.

5.1 - Estimativas das unidades geotécnicas

O mapa de estimativas das unidades geotécnicas (figura 5.2) foi elaborado de maneira que as unidades geotécnicas dividem-se em três grandes unidades que constituem associações de solos. Um substrato geológico origina uma ou mais de uma unidade geotécnica dependendo dos fatores pedogenéticos atuantes sobre o solo. O mapa geotécnico impresso na escala 1:25.000 é apresentado no anexo 1.

Cada unidade associada será descrita neste capítulo. Estas unidades ocorrem de acordo com a toposequência apresentada na figura 5.3.

A toposequência típica da área de estudo, ocorre da seguinte maneira:

- Nas cotas mais elevadas, em relevo mais íngreme, sobre o basalto da Formação Serra Geral, ocorrem os solos Litólicos, os Cambissolos e os afloramentos rochosos;
- Seguindo a toposequência, encontram-se solos mais evoluídos ainda sobre o basalto. São os Brunizéns Avermelhados e as Terras Roxas Estruturadas;
- Na seqüência, já sobre o arenito da Formação Botucatu, ocorrem os Podzólicos Vermelho-Escuro e os Podzólicos Vermelho-Amarelo;
- Conforme representado na figura 5.3, existe uma zona de transição entre o Podzólico Vermelho-Amarelo e o Planossolo;
- Nas cotas mais baixas ocorrem os Planossolos, os Gleis, os solos Orgânicos, Aluviais e Areias Quartzosas Hidromórficas.

O mapa de estimativas das unidades geotécnicas pode ser utilizado para aplicações visando estudos de estabilidade de taludes naturais, erosões, jazidas para material compactado, saneamento básico e fundações. A análise deste capítulo terá como principal enfoque o comportamento das unidades geotécnicas em fundações de obras de engenharia.

Analisando-se a unidade geotécnica juntamente com o relevo, pode-se estimar locais e horizontes problemáticos quanto à estabilidade de taludes naturais. Davison Dias (1989) descreve alguns exemplos aplicados aos solos do Rio Grande do Sul. Pinheiro (2000) estudou alguns casos de estabilidade de encosta da Formação Serra Geral e da Formação Botucatu no estado do Rio Grande do Sul.

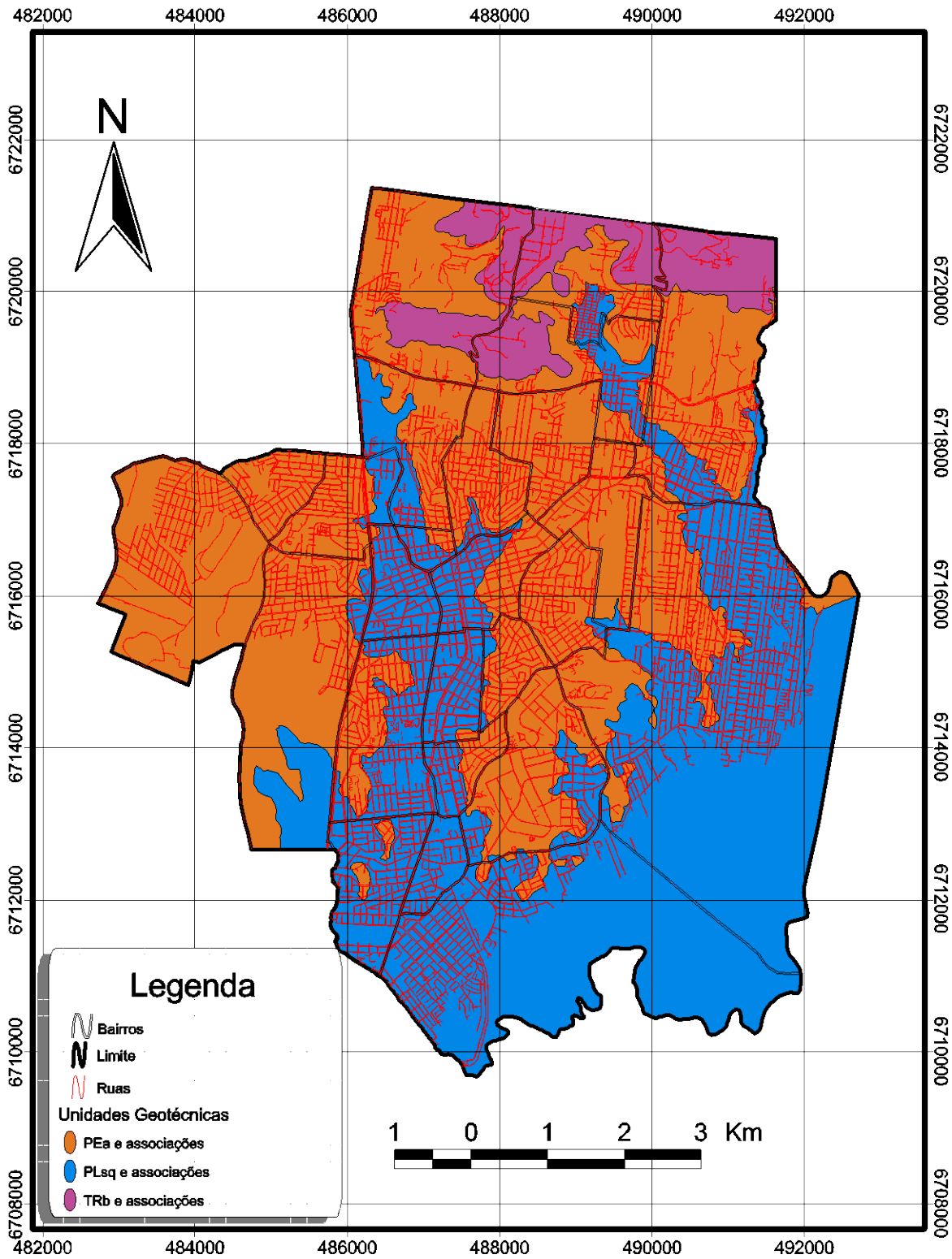


Figura 5.2 – Mapa de estimativas das unidades geotécnicas.

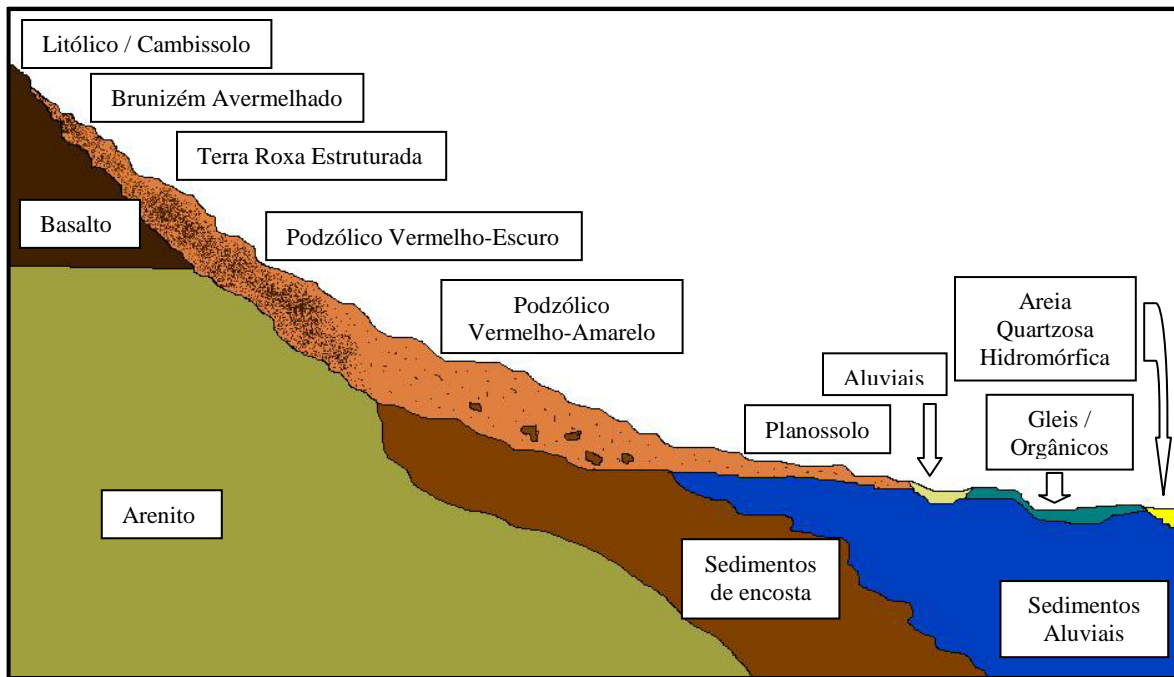


Figura 5.3 – Toposequência típica da área de estudo.

A porcentagem de área que cada unidade geotécnica e suas associações abrangem na área urbana de Novo Hamburgo é representada pelo gráfico da figura 5.4. Percebe-se o predomínio de duas unidades: os Planossolos com substrato sedimentos quaternários e suas associações e o Podzólico Vermelho-Escuro com substrato arenito e suas associações. Cobrindo apenas 7% da área de estudo, têm-se a Terra Roxa Estruturada e associações com substrato basalto.

Higashi (2002) apresentou a porcentagem de área que cada unidade geotécnica abrange no norte do estado do Rio Grande do Sul. O percentual de área das principais unidades geotécnicas de Novo Hamburgo em relação ao norte do Rio Grande do Sul, apresentado por este autor seria: O Podzólico Vermelho-Amarelo somado ao Podzólico Vermelho-Escuro com substrato arenito somariam pouco mais de 1% da área. Os Planossolos acrescidos dos Gleis somariam pouco mais de 4,5 % da área. Enquanto que os solos de basalto ocupam grandes áreas: As Terras Roxas Estruturadas ocupam quase 8%, os

Cambissolos aproximadamente 5,5%, os Brunizéns Avermelhados pouco mais de 1% e os Litólicos de basalto recobrem pouco mais de 14% do norte do estado.

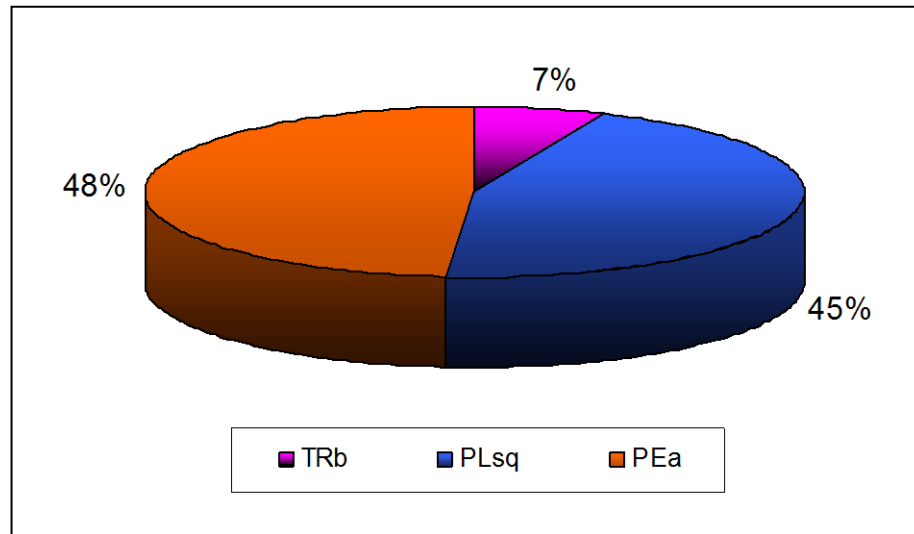


Figura 5.4 – Porcentagem da ocorrência das unidades geotécnicas e suas associações na área de estudo.

5.1.1 Planossolos substrato sedimentos quaternários

Esta unidade ocorre em relevo plano com lençol freático geralmente próximo à superfície. A ela estão associados os planossolos com substrato arenito da Formação Botucatu, os Gleis com substrato sedimentos quaternários, as Areias Quartzosas com substrato sedimentos quaternários, solos Orgânicos com substrato sedimentos quaternários e os solos Aluviais.

Os Planossolos apresentam um horizonte A de natureza diversa, e um horizonte B com teor muito mais alto de argila do que o horizonte suprajacente. Ocorrem em terrenos baixos, locais favoráveis ao acúmulo de água durante certo período do ano com nível do lençol freático próximo à superfície e coincidem com uma área densamente urbanizada,

incluindo o centro da cidade. As cores desse solo em geral são acinzentadas devido à redução do ferro, amareladas e avermelhadas indicando a influência do arenito.

Nos laudos de SPT analisados para as profundidades iniciais esta unidade comporta-se de acordo com a tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Estatísticas da resistência à penetração (SPT) para os Planossolos e associações da área de estudo.

Profundidade(m)	Nº. de dados	SPT médio	Desvio padrão
1	68	5	4
2	68	6	7
3	68	7	7
4	68	8	6
5	68	13	11
6	68	14	14
7	63	16	14
8	58	20	14

Existe uma faixa de transição entre esta unidade e o Podzólico Vermelho-Amarelo, onde o substrato é o arenito da Formação Botucatu, porém, o material depositado sobre esta rocha deu origem ao Planossolo. As características deste solo são semelhantes ao Planossolo com substrato sedimentos quaternários, porém, em profundidade, encontra-se rocha ou rocha alterada de arenito.

Em alguns locais, o subsolo encontrado não é o solo residual do arenito, mas, sim sedimentos de encosta que se depositaram antes da formação dos Planossolos.

A figura 5.5 ilustra uma área mapeada como Planossolo. Ao executar um serviço de terraplenagem no terreno, encontra-se o solo arenoso característico do arenito da Formação Botucatu.

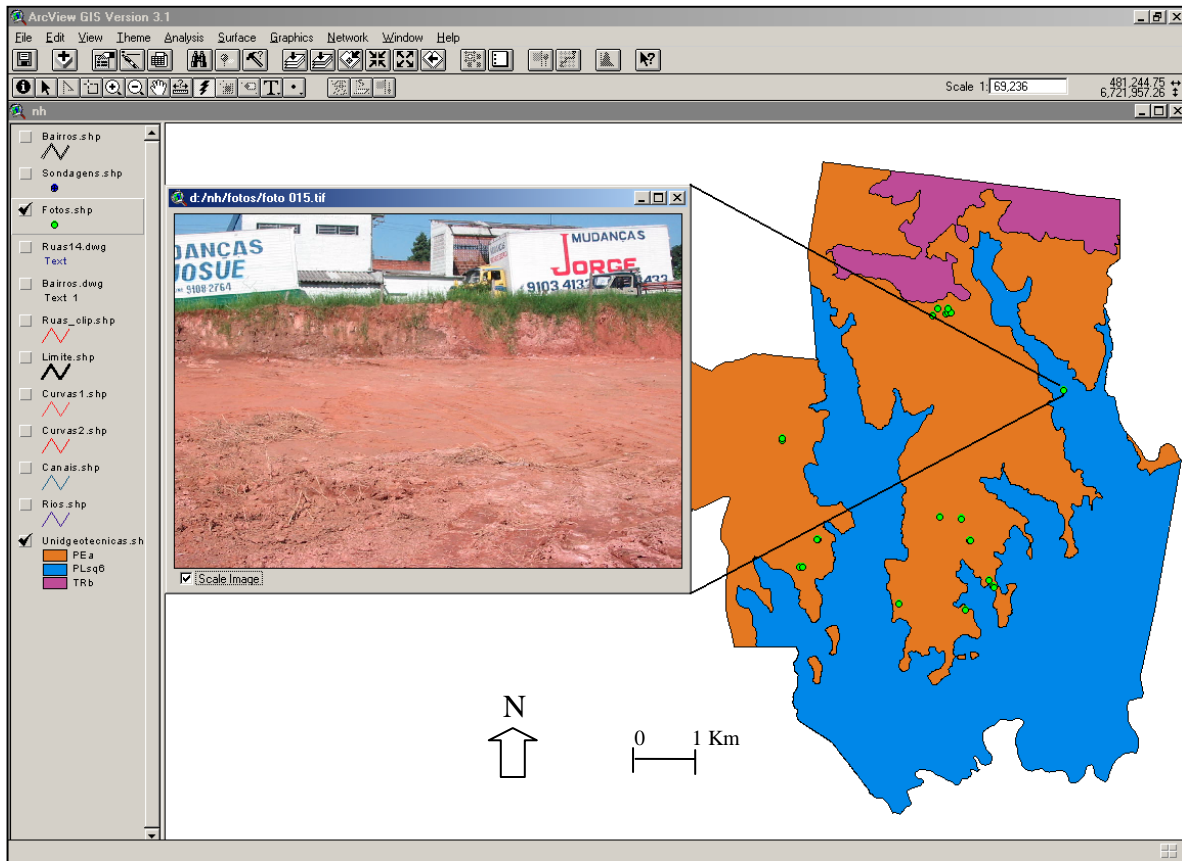


Figura 5.5 – Solo mapeado como Planossolo apresentando características do residual de arenito em pouca profundidade.

Nas zonas mais baixas ocorrem os Gleis com substrato sedimentos quaternários, estes solos possuem o SPT ainda mais baixo que os Planossolos e não apresentam horizonte B textural. A associação entre os Planossolos e os Gleis é bastante comum.

Nos leitos dos rios ocorre ainda a Areia Quartzosa com substrato sedimentos quaternários. É um solo com potencial para a exploração de areia para construção civil.

Os solos Orgânicos com substrato sedimentos quaternários ocorrem no relevo plano abaciado, junto ao curso do Rio dos Sinos. As condições favoráveis ao acúmulo de água permitem o desenvolvimento de turfas. Estes solos são problemáticos nas aplicações geotécnicas.

Ocorrem também nesta unidade os solos Aluviais, que ainda estão sofrendo deposição e não tem evolução pedogenética.

O esquema mostrado na figura 5.6 ilustra as principais diferenças encontradas nos perfis dos tipos de solo que ocorrem dentro da mesma unidade geotécnica e permitem diferenciar os solos em campo. As características apontadas para cada solo são baseadas em observações de campo, análise de boletins de sondagem SPT e pesquisa à bibliografia existente.

5.1.2 Terra Roxa Estruturada com substrato basalto

Esta unidade ocorre em relevo fortemente ondulado a ondulado ao norte da área de estudo. O substrato geológico desta unidade é o basalto da Formação Serra Geral que foi delimitado pela cota 100. Esta área não é muito urbanizada e, no trabalho de coleta de dados, não foram obtidos relatórios de sondagem desta unidade.

São solos minerais, não hidromórficos, bem drenados e apresentam a seqüência de horizontes A, Bt, C e rocha alterada ou rocha.

Em associação com esta unidade encontra-se o Brunizém Avermelhado constituindo solos menos evoluídos. Nos relevos mais montanhosos e escarpados, têm-se os Cambissolos que se caracterizam pela presença do horizonte B incipiente e os Litólicos que não possuem horizonte B. Também se encontram nesta unidade afloramentos da rocha basáltica. Os horizontes B e C deste solo podem apresentar minerais expansivos.

A urbanização nesta área é pouco intensa e a malha viária é escassa. Uma atividade desenvolvida no local é a extração da rocha basáltica.

O esquema da figura 5.7 ilustra as principais diferenças encontradas nos perfis dos tipos de solo que ocorrem dentro da unidade geotécnica Terra Roxa Estruturada som substrato basalto e permitem diferenciar os solos em campo. As características apontadas para cada solo são baseadas principalmente em pesquisa à bibliografia existente e observações de campo já que não se obteve resultados de sondagens SPT desta área.

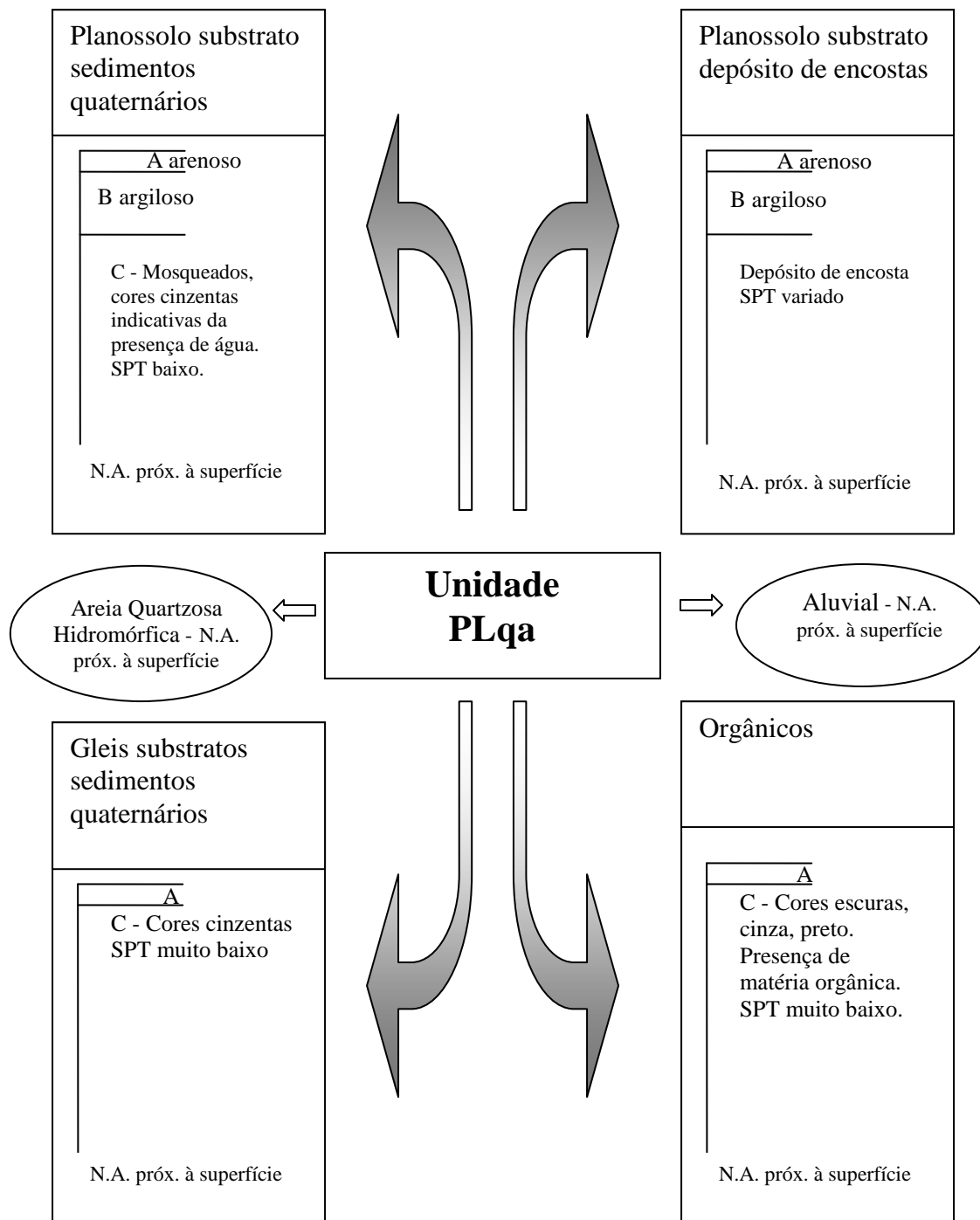


Figura 5.6 – Principais diferenças entre os perfis de solo da unidade geotécnica PLqa.

5.1.3 Podzólico Vermelho-Escuro substrato arenito

A esta unidade estão associados os Podzólicos Vermelho-Amarelo e inclusões de Litólico. Estes solos ocorrem sobre o arenito da Formação Botucatu em relevo desde suave ondulado até fortemente ondulado. Esta área, atualmente, encontra-se bastante urbanizada. Possuem perfis de solo desenvolvidos e o conhecimento do seu comportamento é de grande relevância para a implantação de obras de engenharia. Os dados de SPT coletados mostraram-se bastante heterogêneos, conforme pode ser visto na tabela 5.2.

As duas unidades estão associadas no mapa devido a grande dificuldade de definir os limites de separação entre elas. No entanto, em campo a distinção entre as duas torna-se mais fácil, principalmente devido a cor vermelha escura apresentada no horizonte B do Podzólico Vermelho-Escuro. Esta coloração deve-se à contribuição de óxidos de ferro oriundos dos solos de basalto. As figuras 5.8 e 5.9 ilustram a diferença de tonalidade entre estes dois perfis.

Quando estes solos ocorrem em zonas abaciadas, o horizonte C apresenta tons mosqueados e cores cinzentas, indicadores da presença de água. Em geral, estes solos apresentam valores de SPT inferiores aos demais.

Os solos Litólicos ocorrem em relevos de maior declividade, caracterizando-se pela ausência do horizonte B.

Bastos (1999) fez um estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Um dos locais estudados por este autor é o Loteamento Parque do Trabalhador que também já fora estudado por Orlandini (1991). O solo deste local pode ser classificado como Podzólico Vermelho-Escuro com substrato Arenito Botucatu e investigações no local revelaram que a ocupação dos lotes vinha reduzindo a freqüência dos ravinamentos. Entretanto, problemas na rede de drenagem pluvial levaram ao rompimento de certas estruturas, com excepcional concentração do fluxo superficial e o conseqüente surgimento de processos erosivos acelerados do tipo boçoroca.

O horizonte C do PEa, em geral é mais susceptível à erosão quando encontrado em taludes de baixa declividade. A figura 5.10 mostra a formação de ravinas no horizonte C do Arenito. Em contrapartida, a figura 5.11 mostra um talude vertical de solo residual de arenito onde a erosão é bem menos intensa.

O esquema da figura 5.12 ilustra as principais diferenças encontradas nos perfis dos tipos de solo que ocorrem dentro da unidade geotécnica Podzólico Vermelho Escuro com substrato arenito e permitem diferenciar os solos em campo. As características apontadas para cada solo são baseadas em resultados de sondagens SPT, observação de perfis típicos em campo e em pesquisa à bibliografia existente.

Tabela 5.2 – Estatísticas da resistência à penetração (SPT) para os Podzólicos Vermelho-Escuros e associações encontrados na área de estudo.

Profundidade	Nº. de dados	SPT médio	Desvio padrão
1	29	8	11
2	29	13	15
3	29	14	15
4	29	17	15
5	29	21	16
6	28	24	15
7	27	27	17
8	22	26	15

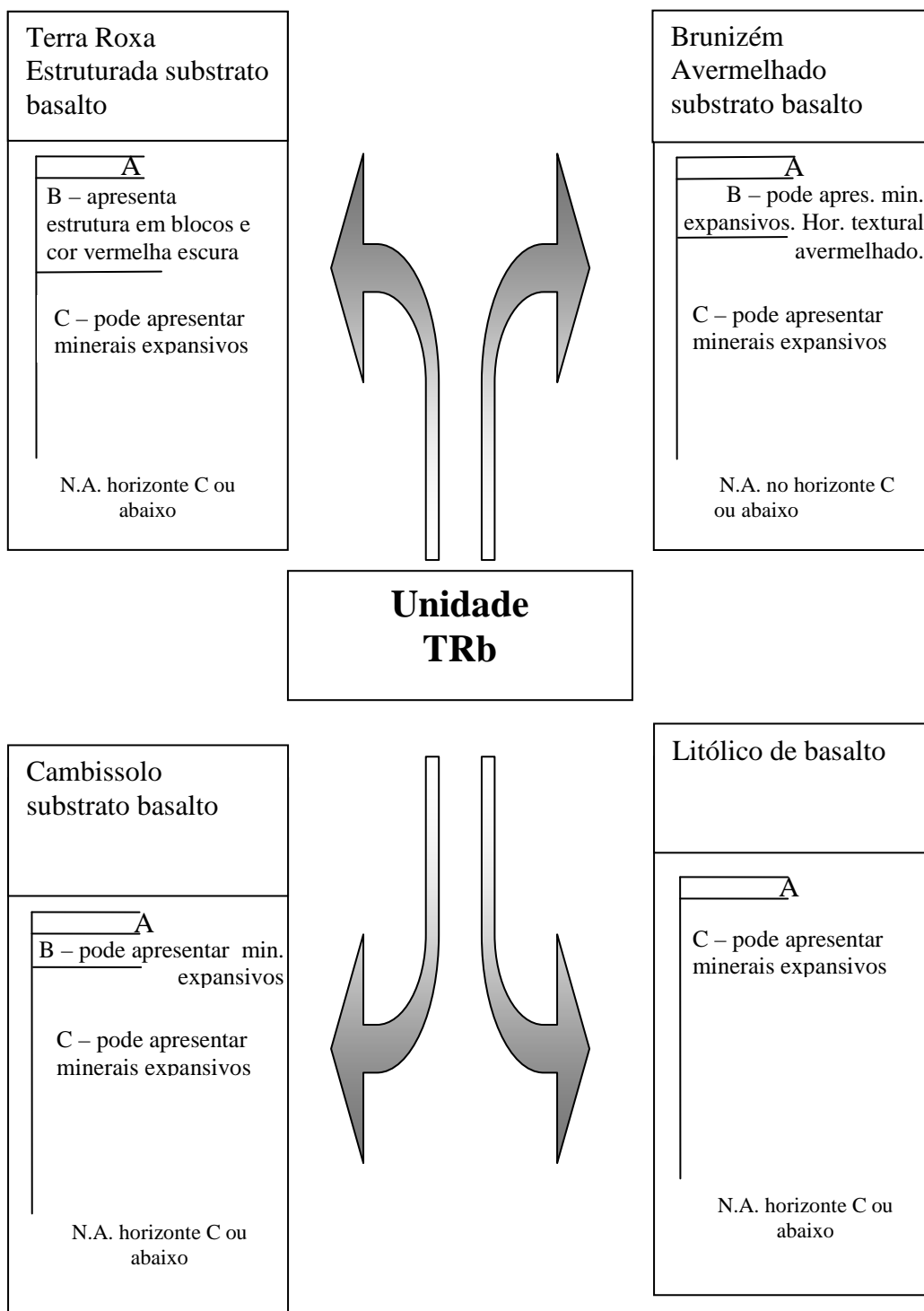


Figura 5.7 – Principais diferenças entre os perfis de solo da unidade geotécnica TRb.

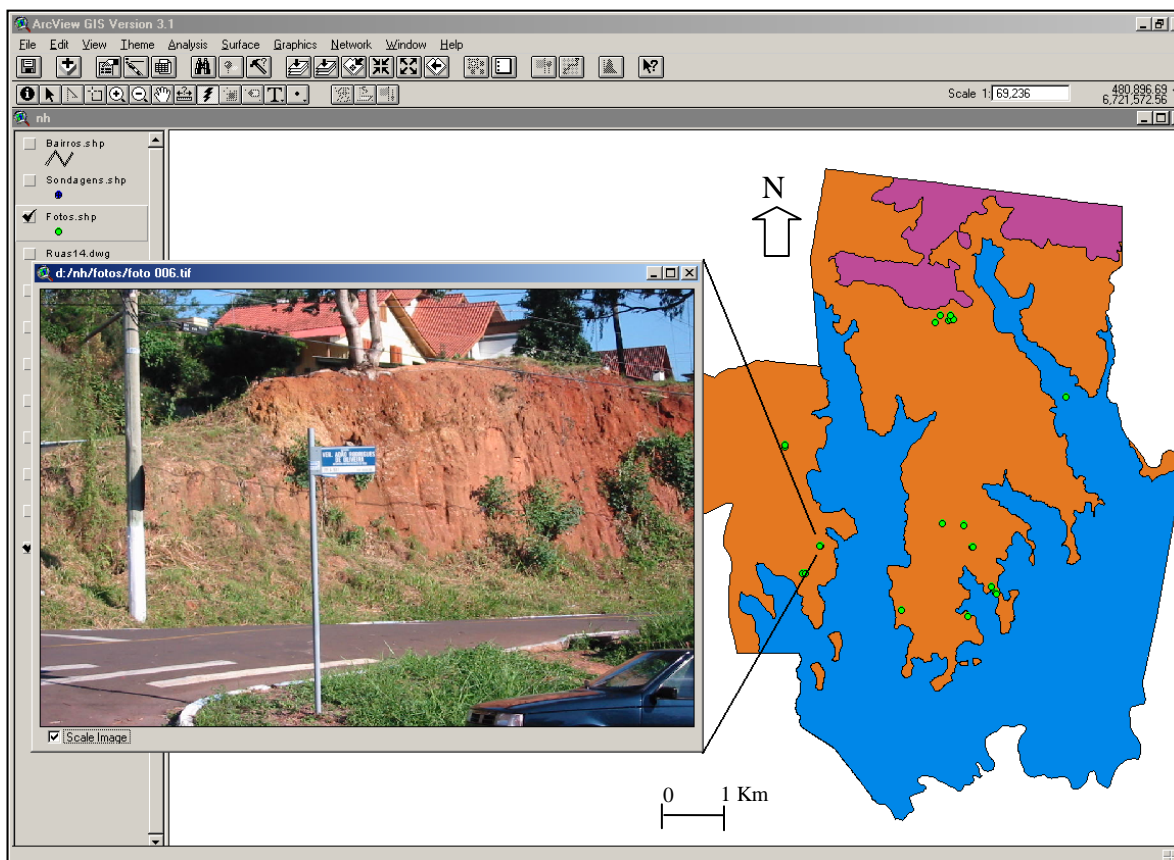


Figura 5.8 – Perfil de um Podzólico Vermelho-Amarelo substrato arenito da Formação Botucatu.

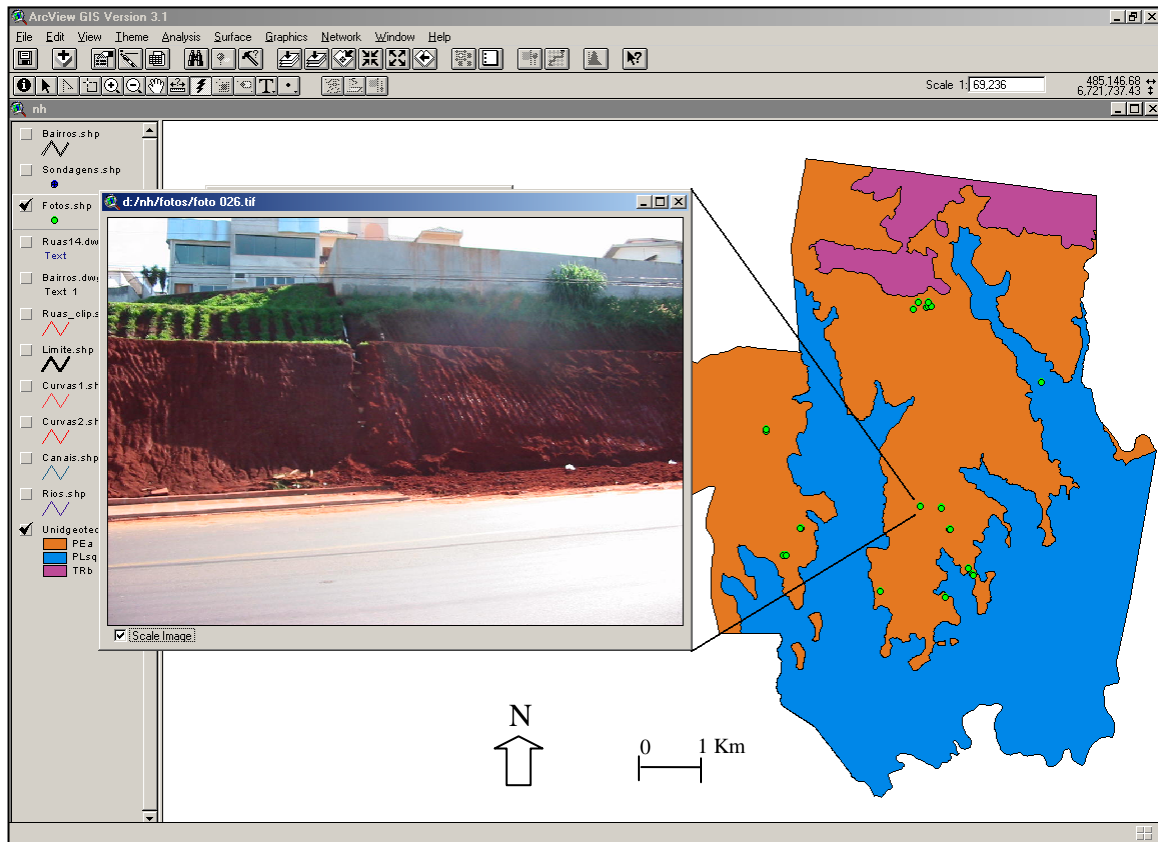


Figura 5.9 – Perfil de um Podzólico Vermelho-Escuro com substrato arenito da Formação Botucatu.

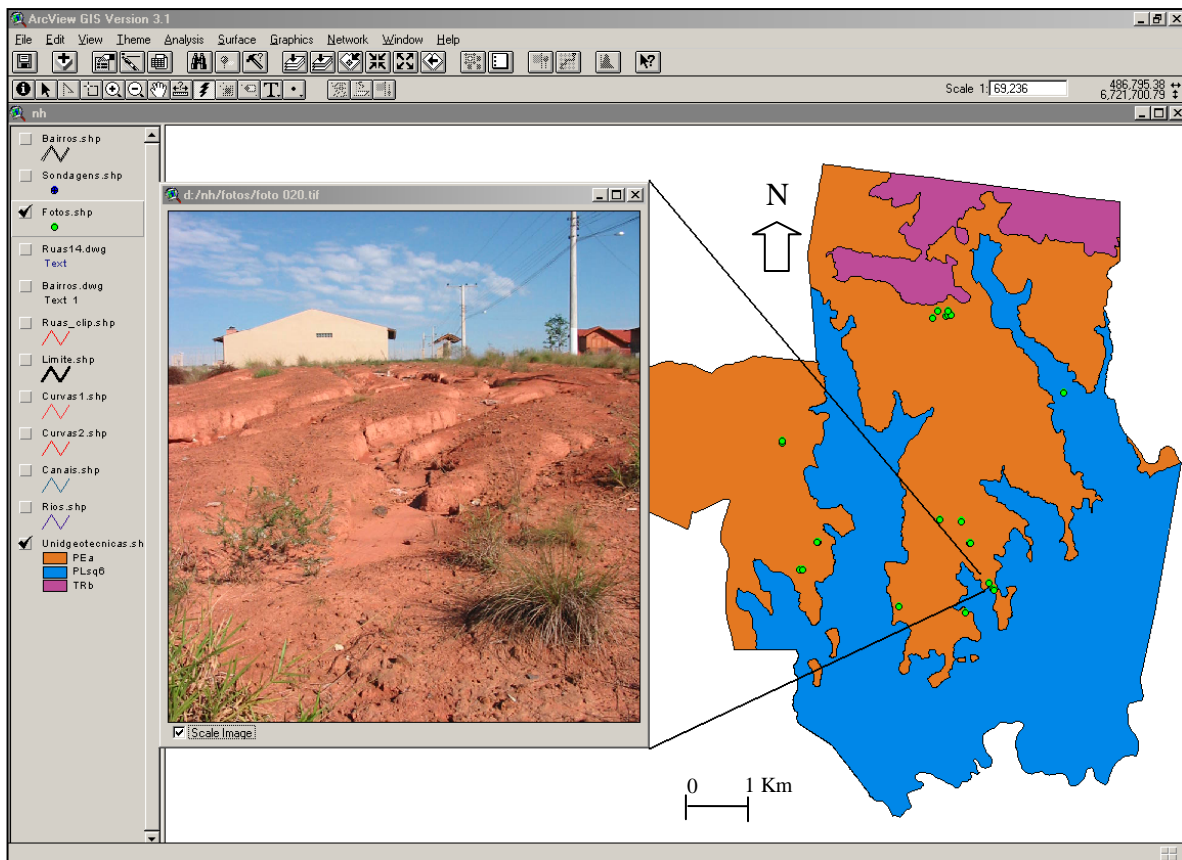


Figura 5.10 – Formação de ravinas no horizonte C do arenito Botucatu.

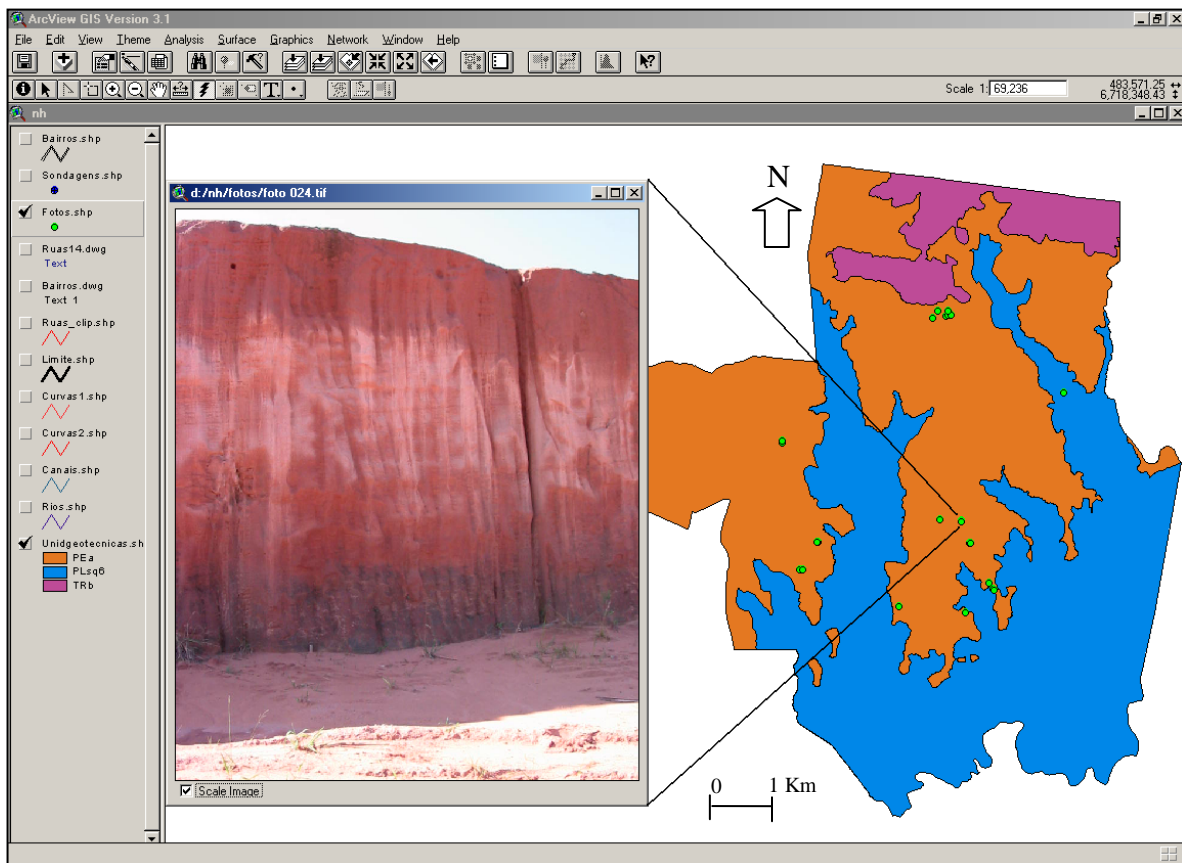


Figura 5.11 – Talude vertical de solo residual do arenito Botucatu.

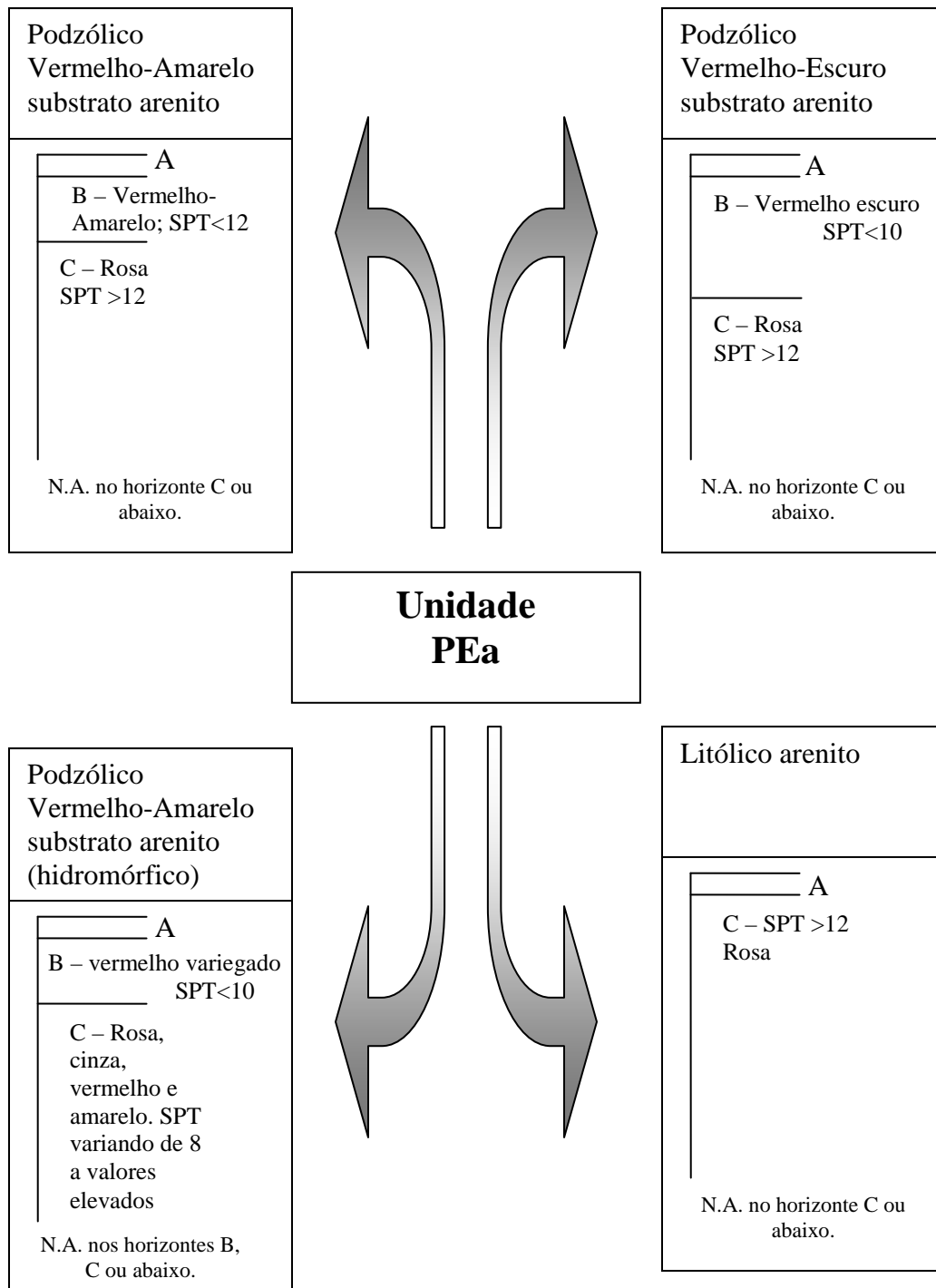


Figura 5.12 – Principais diferenças entre os perfis de solo da unidade geotécnica PEa.

5.2 Modelo Digital do Terreno

A representação do relevo e a elaboração do mapa de declividades tornaram-se possíveis devido à confecção de um modelo digital do terreno (MDT) ou também conhecido como modelo numérico do terreno.

A aplicação desta técnica permite gerar modelos dinâmicos onde o usuário pode “navegar” pelo terreno, tendo assim maior facilidade em visualizar a forma do relevo, calcular volumes de corte e aterro, localizar pontos de maior visibilidade de uma determinada área e diversas outras aplicações.

Para uma melhor visualização do terreno, principalmente nas partes de menores declividades, pode-se exagerar a escala vertical, salientando as elevações conforme mostrado na figura 5.13 onde se exagerou duas vezes a escala vertical em relação a horizontal.

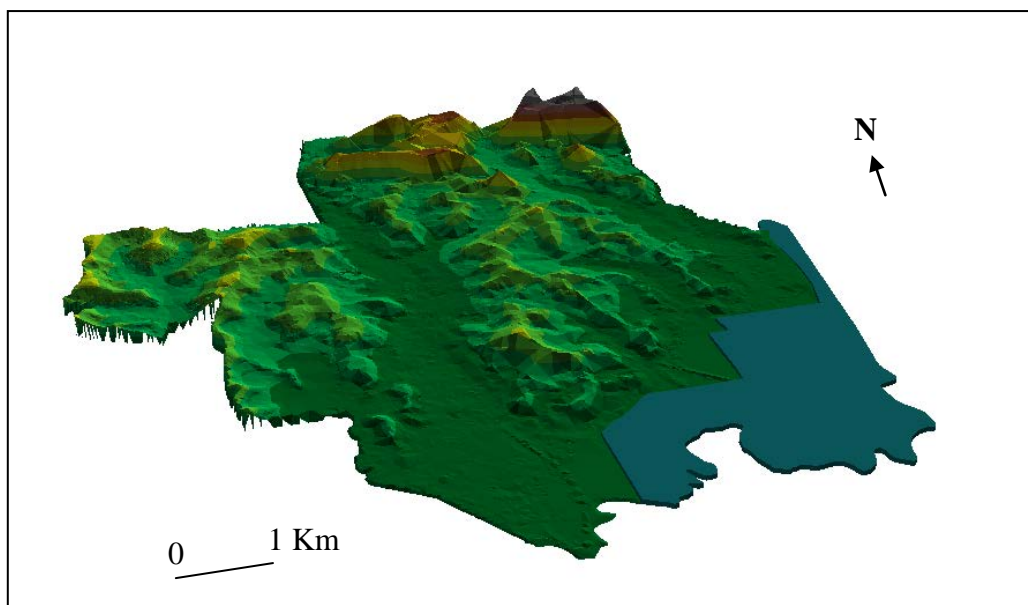


Figura 5.13 – Exagero vertical para visualização do relevo.

As formas de relevo têm relação direta com o tipo de solo formado no local. Cruzando o plano de informações do relevo com o das unidades geotécnicas (figura 5.14) é possível visualizar essa relação.

Uma das etapas do mapeamento geotécnico é a separação em dois grandes universos: os solos hidromórficos e os não-hidromórficos. O mapa de declividades permite separar as regiões de relevo plano, isto é, declividade menor que 3% , indicadoras de solos hidromórficos das regiões de maior declividade (figura 5.15).

A figura 5.16 mostra o relevo dividido em seis classes, sendo que as duas primeiras classes de 0 a 10 e de 10 a 30 metros englobam a área de ocorrência dos Planossolos e suas associações. As classes intermediárias entre 30 e 100 metros abarcam a área de ocorrência dos solos originados do Arenito da Formação Botucatu. E as classes acima de 100 metros abrangem a área dos solos originados das rochas da Formação Serra Geral.

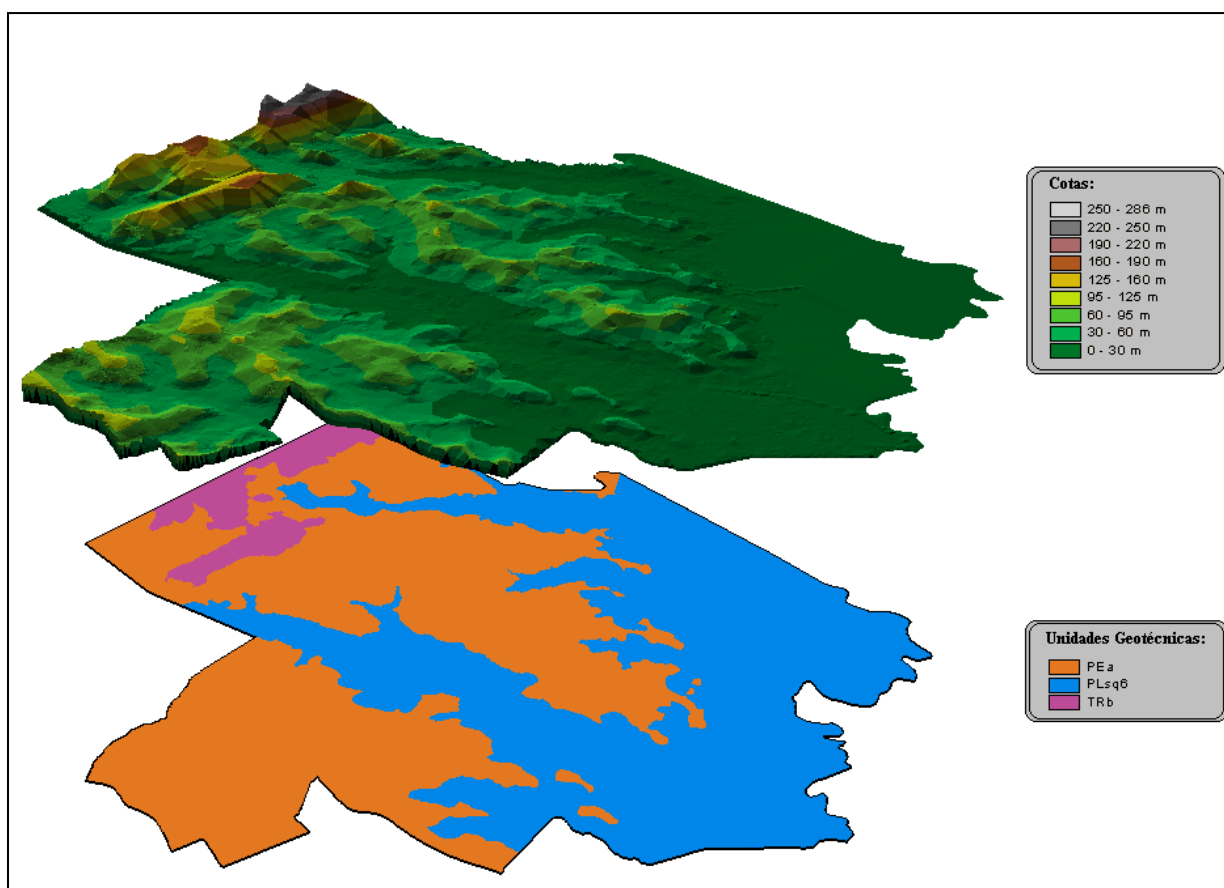


Figura 5.14 – Sobreposição para comparar o relevo com as unidades geotécnicas.

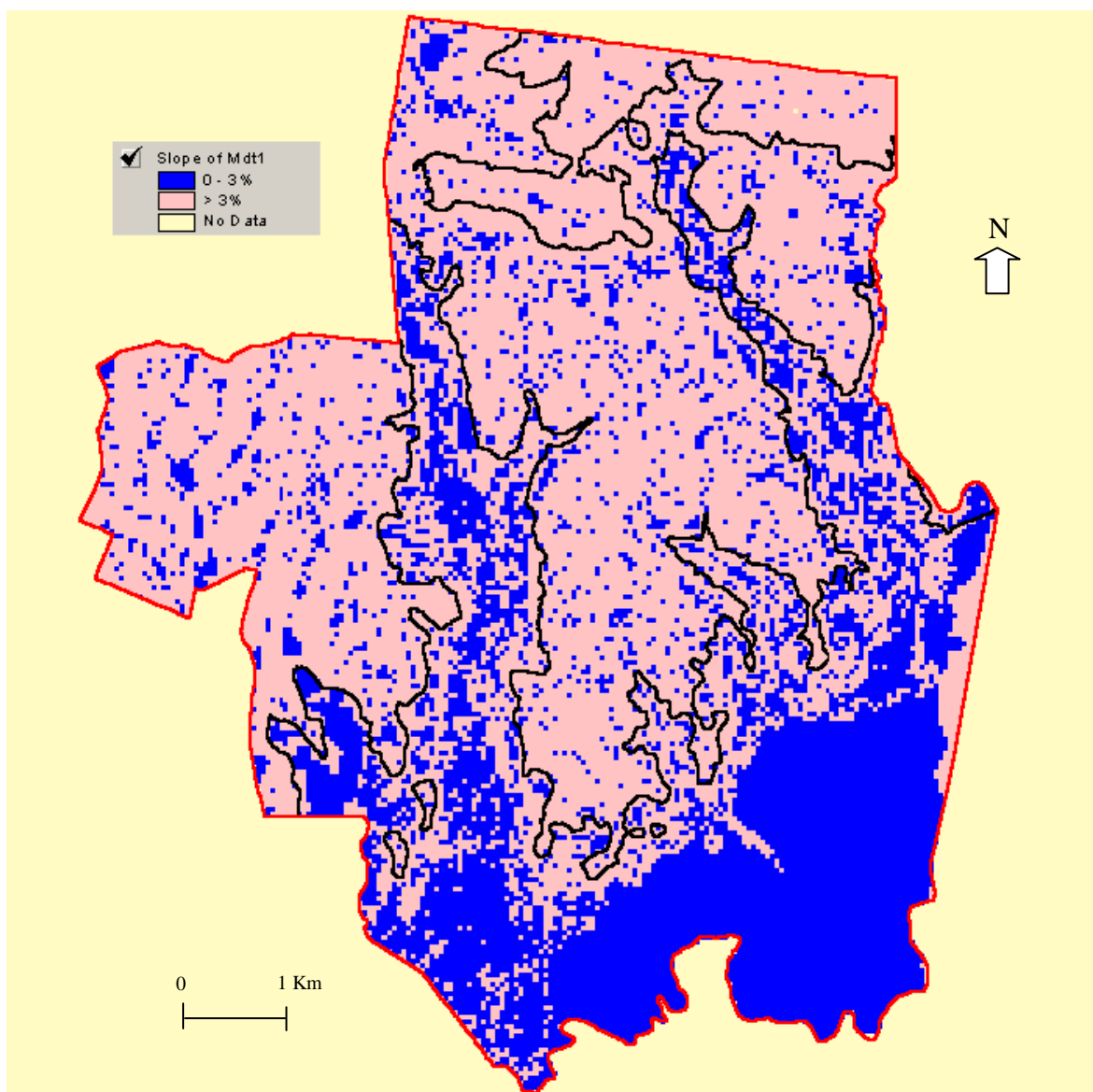


Figura 5.15 – Declividades e limites das estimativas das unidades geotécnicas.

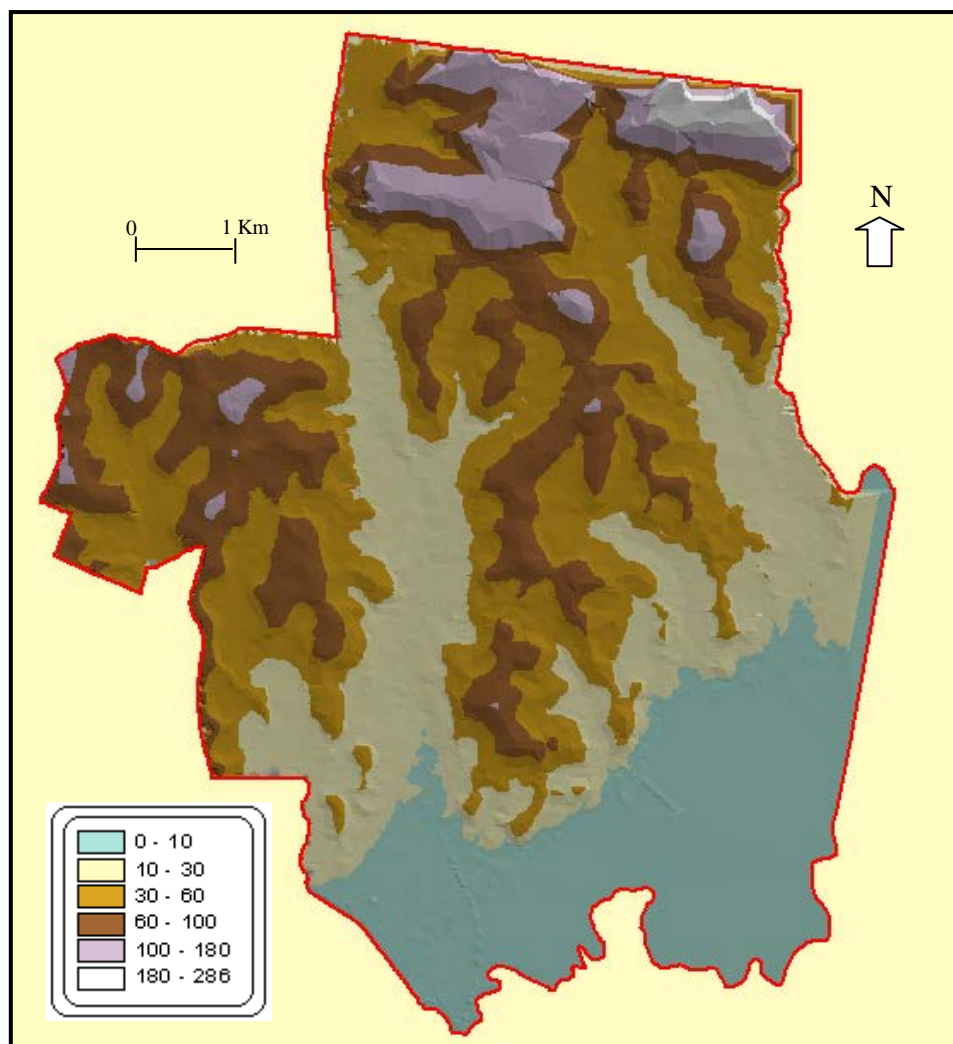


Figura 5.16 – Relevo em seis classes.

5.3 Banco de dados

O banco de dados geo-referenciado está disponível para consulta no CD anexo a essa dissertação. O usuário pode consultar as informações dos pontos onde foram cadastradas as informações das sondagens visualizando a sua localização geográfica e a unidade geotécnica em que esta se encontra.

Ao consultar um ponto de sondagem, o usuário tem acesso tanto às informações alfanuméricas quanto a um gráfico que contém as informações de resistência à penetração de metro em metro, profundidade do lençol freático, profundidade do impenetrável da sondagem e descrição das camadas encontradas.

Utilizando a ferramenta “*query*”, pode-se destacar no mapa as sondagens que apresentam características semelhantes a uma determinada profundidade ou então, valores de SPT maiores que um determinado valor, dentre diversas outras aplicações.

Um exemplo de aplicação dessa ferramenta é mostrado na figura 5.17 onde foram destacados na cor amarela, os pontos de sondagem onde a média dos três primeiros metros da sondagem é maior ou igual a seis. De acordo com Teixeira e Godoy (1997), em muitos casos a aplicabilidade de fundações por sapatas como tipo de fundação em um edifício é definida pelo valor do SPT médio maior ou igual a seis.

Com o objetivo de melhor caracterizar os perfis, os pontos onde foram fotografados perfis típicos podem ser consultados pelo usuário, que tem acesso às fotografias no mesmo plano de informações do mapa geotécnico.

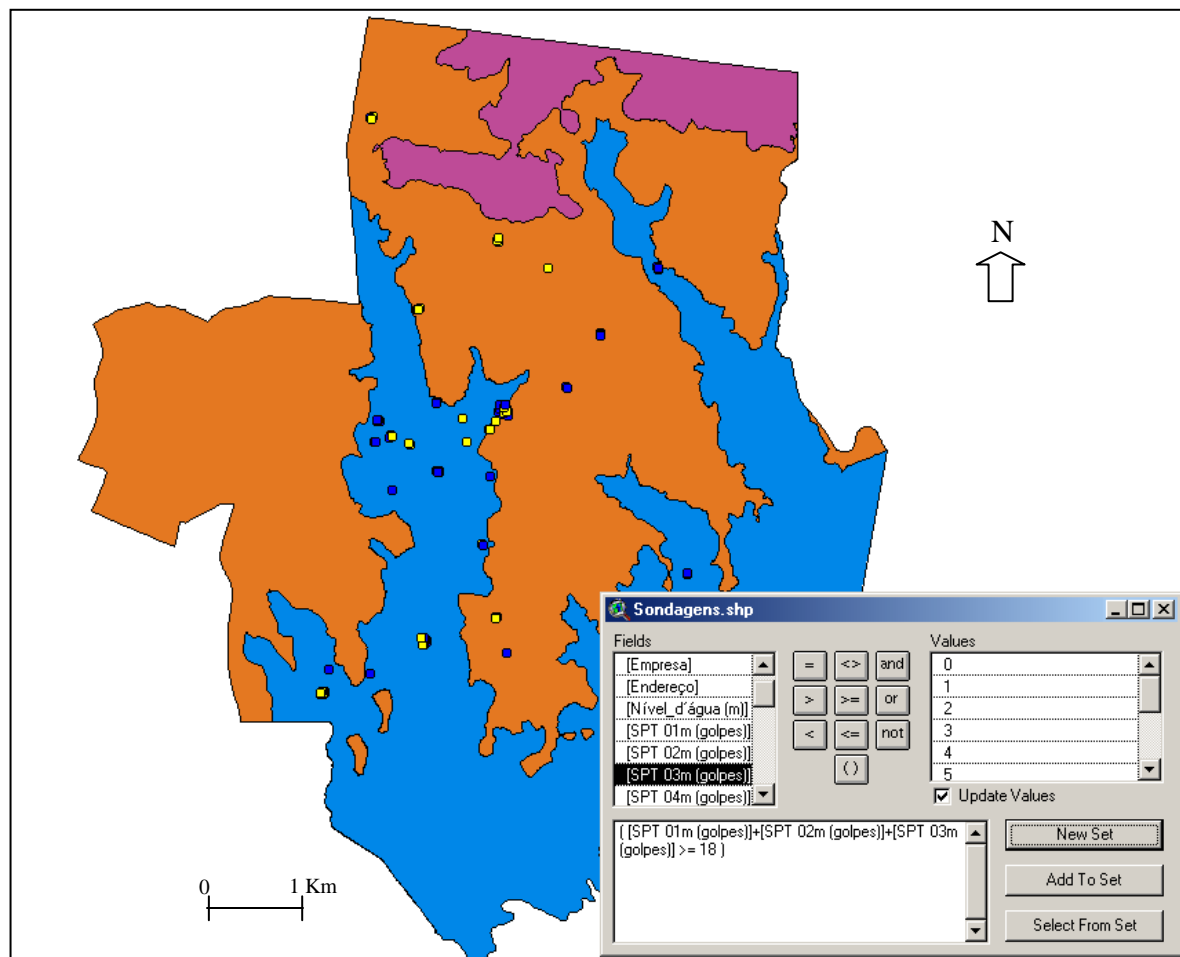


Figura 5.17 – Destacando pontos de sondagem com média dos valores de SPT dos três primeiros metros maior ou igual a seis.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesse capítulo serão apresentadas as considerações finais, resumo dos resultados obtidos e descrição da proposta metodológica, finalizando com a discussão dos objetivos e sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Resumo dos resultados obtidos

A metodologia empregada nesse trabalho tornou possível a geração de um mapa de estimativas das unidades geotécnicas e um modelo digital do terreno. O mapa geotécnico gerado permitiu avaliar as aptidões e restrições em diferentes aplicações para os universos geotécnicos delimitados.

O uso de SIG permitiu criar o banco de dados geo-referenciado, tornando possível que o usuário faça a consulta diretamente do mapa, visualizando assim o universo geotécnico em que uma dada sondagem se encontra.

A prática da engenharia de fundações, no Brasil, utiliza os resultados de sondagens SPT para o dimensionamento de fundações rasas e profundas. O banco de dados de sondagem constitui uma fonte de consulta para “avaliação inicial” do tipo de fundação a ser utilizado em determinado local e estimativa da capacidade de suporte do solo.

6.2 Proposta metodológica

O principal objetivo dessa dissertação consistiu, basicamente, em gerar um mapa de estimativas de unidades geotécnicas vinculado a um banco de dados de sondagens SPT com

a utilização de um SIG, permitindo assim a análise do meio físico sob o ponto de vista geotécnico.

Para atingir os objetivos, a seqüência metodológica apresentada na figura 3.1 foi cumprida conforme segue:

- (i) Pesquisa e coleta do material existente;
- (ii) Coleta e cadastro dos boletins de sondagem;
- (iii) Aquisição do mapa plano-altimétrico;
- (iv) Edição das ruas e curvas de nível;
- (v) Geração do MDT e mapa de declividades;
- (vi) Localização das sondagens;
- (vii) Elaboração do banco de dados de sondagens;
- (viii) União das informações no SIG;
- (ix) Geração do mapa de estimativas das unidades geotécnicas;
- (x) Análise dos resultados;
- (xi) Apresentação dos resultados.

6.3 Avaliação dos objetivos específicos

Mediante os resultados obtidos, serão apresentadas as conclusões finais tendo como meta o cumprimento dos objetivos específicos propostos.

- (i) A metodologia para a elaboração de um banco de dados de sondagens, utilizando um formulário para o preenchimento dos campos dos registros mostrou-se bastante ágil e eficiente. No entanto, a geração manual dos boletins de sondagem foi um trabalho que demandou certo tempo;
- (ii) O banco de dados de sondagens SPT vinculado a um mapa de unidades geotécnicas tornou possível fazer, além da análise de uma região delimitada

pelas unidades geotécnicas, uma análise pontual fornecida pelas diversas sondagens distribuídas pela área de estudo;

- (iii) O modelo digital do terreno permitiu a análise das formas do relevo e a geração do mapa de declividades, indicando as zonas planas (solos hidromórficos) ou zonas de alta declividade (solos pouco desenvolvidos). O grau de desenvolvimento dos solos tem relação direta com a declividade do terreno;
- (iv) O mapa de estimativas das unidades geotécnicas da área urbana de Novo Hamburgo, em meio digital, inserido no programa de SIG permite que o mapa seja dinâmico, facilmente atualizado. Também foi gerada a versão impressa do mapa na escala 1:25.000;
- (v) A análise das características das unidades geotécnicas permitiu delimitar áreas propícias para a execução de fundações rasas ou profundas, áreas com problema de erosão, instabilidade de taludes, dentre outras restrições ou aptidões. A construção de uma toposequência típica da área de estudo permitiu uma análise da formação do solo de acordo com o relevo e associá-lo ao substrato geológico. Confrontando as informações do novo mapa gerado com o desenvolvimento urbano sem conhecimento prévio, foi possível constatar que boa parte da área urbanizada, inclusive o centro da cidade situa-se sobre o Planossolo, que apresenta baixa capacidade de suporte e lençol freático próximo à superfície. Loteamentos recentes foram alocados em locais de solos erosivos, e ainda, o descuido de deixar o horizonte C do arenito Botucatu exposto desencadeou o processo de erosão.

6.4 Recomendações para trabalhos futuros

Durante o desenvolvimento desse trabalho, apareceram algumas limitações e surgiram novas idéias que ficam como recomendações para outras pesquisas.

Estender esse trabalho para regiões com potencial para expansão urbana com fins de auxiliar no planejamento da ocupação.

Acrescentar mais resultados de sondagens ao banco de dados.

Cadastrar e acrescentar ao banco de dados geotécnico resultados de outros ensaios, como o CBR, CPT, granulometria, triaxial, etc.

Ampliar a coleta de dados de campo e utilizar imagens de satélite para delimitar com maior precisão as unidades geotécnicas, separando as unidades que neste trabalho aparecem como associações.

Em cada unidade geotécnica, utilizar geoestatística para interpolar os valores do N do SPT gerando mapas de valores de SPT.

Fazer a correlação das unidades pedológicas utilizadas nesta metodologia com o sistema brasileiro de classificação dos solos da EMBRAPA (1999).

Através do uso de linguagem de programação, automatizar o processo de geração de boletins de sondagem SPT a partir dos registros do banco de dados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITANTE, E. **Proposta metodológica de mapeamento geotécnico com o uso de pedologia em solos tropicais visando obras rodoviárias**. 1997. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ANTUNES, F. dos S. Uso da pedologia na engenharia. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUB-TROPICAIS, 2., 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1989. p. 25 - 33.

ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: a management perspective**. Ottawa, Canadá: WDL, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

AULER, P.; SOUZA, J. M.; RAMIREZ, M. R. GEOPPE: Um SGBD Espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCO DE DADOS, 6., 1991, Manaus. **Anais...** Manaus: FUA, 1991. p. 87-100.

AZEVEDO, S. L. **Sistematização dos resultados de sondagens de simples reconhecimento dos solos de Porto Alegre/RS**. 1990. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BAILLOT, R. T.; RIBEIRO JÚNIOR, A. Sondagem a percussão comparação entre processos disponíveis para ensaios SPT (standard penetration test). In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO, 2000. **Anais...** 2000. p. 122-137.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 269 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BELICANTA, A.; BRANCO, J. M. da C. Discussão sucinta sobre os fatores intervenientes no SPT brasileiro. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 3., 2002, Joinville. **Anais...** Porto Alegre: Pallotti, 2002. p. 177 - 186.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C. M. B. M.; MAGALHÃES, G. C. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. UNICAMP, Campinas. IX Escola de Computação, 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2002.

CELESTINO, T. B.; DINIZ, N. C. Informática. In: _____. **Geologia da Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 234 – 240.

DATE, C. J. **Introdução a sistemas de banco de dados**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986. 513 p.

DATE, C. J. **Banco de dados**: fundamentos. Rio de Janeiro: Campus, 1985. 214 p.

DAVISON DIAS, R. **Aplicação da Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão**. 1987. 334 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DAVISON DIAS, R. Metodologia de estudo do comportamento geotécnico dos solos no Rio Grande do Sul visando cartografia. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUB-TROPICAIS, 2., 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1989. p. 228-247.

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, 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2001.

DAVISON DIAS, R.; BASTOS, C.; PINHEIRO, R. **Projeto SIGEO**: região metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre: FAERGS, 1996.

DAVISON DIAS, R. **Geotecnologia ambiental no uso e ocupação dos solos de Florianópolis**. Projeto de pesquisa CNPq, 2000. Relatório detalhado.

DAVISON DIAS, R.; MILITITSKY, J. Metodologia de classificação de perfis e unidades geotécnicas desenvolvida na UFRGS. **Solos e Rochas**, v. 17, 1994.

DUARTE, S. B. **Utilização de Sistema de Informações Geográficas na Análise do Meio Físico e do Uso do Solo na Lagoa da Conceição – Florianópolis**. 1999. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.

FIGUEIREDO, L. F. G. de. **Sistema de apoio multicritérios para aperfeiçoamento de mapas de sensibilidade ambiental ao derrame de petróleo em região costeira do estado de Santa Catarina**. 2000. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FOLLE, D. **O estudo geostatístico de sondagens SPT para geração de mapas auxiliares em obras de engenharia.** 2002. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FURTADO, A. L.; SANTOS, C. S. dos. **Organização de banco de dados.** 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986. 281 p.

HIGASHI, R. R. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul.** 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A floresta e o solo.** Porto Alegre: Pallotti, 1999. 83 p.

IBGE. **Levantamento de recursos naturais.** Rio de Janeiro, 1986. v. 33. 791 p.

KLAMT, E. Relevância da pedologia na avaliação do comportamento dos solos. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUB-TROPICAIS, 2., 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1989. p. 13 - 24.

MACIEL FILHO, C. L. Metodologias da cartografia geotécnica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998. 1 CD.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Color Soil Charts.** Baltimore, USA : Kollmorgen Corporation, 1946.

NIYAMA, S. A prática dos ensaios dinâmicos em estacas: retrospecto a partir da VI Conferência Internacional Stress Wave 2000. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 3., 2002. **Anais...** Porto Alegre, Pallotti, 2002. p. 141 a 152.

OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** Jaboticabal: Funep, 1992. 201 p.

ORLANDINI, R. **Unidades geotécnicas dos municípios de Novo Hamburgo e Campo Bom – RS e caracterização geomecânica de perfis típicos de solos de arenito.** 1991. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PINHEIRO, R. J. B. **Estudo de alguns casos de instabilidade de encosta da serra geral do estado do Rio Grande do Sul.** 2000. 318 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RAIMUNDO, H. A. **Aspectos geotécnicos e pluviométricos associados a instabilidade de encostas em Florianópolis – SC.** 1998. 325 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANT'ANA, W. C. **Estudo de misturas de areia-asfalto a quente para o estado do Maranhão.** 2002. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia.** 1997. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS FILHO, A. P. dos. **Uso de geoprocessamento na distribuição espacial das características e classes geotécnicas de solos do Distrito Federal.** 2000. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

SEMAM (Novo Hamburgo, RS). Aerofotográfico 2001: fotografia aérea. **Novo Hamburgo,** 2001. Disponível em: <<http://www.novohamburgo.rs.gov.br/sec/semam/geologia.htm>>. Acesso em: 10 out. 2002.

SOUZA, L. A. P. de; SILVA, R. F. da; IYOMASSA, W. S. Métodos de investigação. In: _____. **Geologia da Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. p. 163 – 196.

VALENTE, A. L. S. **Banco de dados por meio de geoprocessamento para elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana de Porto Alegre.** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. Mapeamento geotécnico: levantamento e análise das metodologias e sistemáticas mais utilizadas. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., 1988, Belém. **Anais...** Belém: 1988. v. 1. p. 591 - 605.

SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas: Unicamp, 1999. 236 p.

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

TEIXEIRA, A. T.; GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: _____. **Fundações: teoria e prática.** São Paulo: PINI, 1999. p. 227 – 264.