

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Mapeamento das Unidades Geotécnicas e Desenvolvimento de um
Sistema de Informações Geográficas para Área de Abrangência
da Rodovia BR-101/RS**

Talita Caroline Miranda

Porto Alegre

2008

TALITA CAROLINE MIRANDA

**MAPEAMENTO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS E
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS PARA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DA
RODOVIA BR-101/RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Orientação: Prof. Dr. Luiz Antônio Bressani.

Porto Alegre

2008

TALITA CAROLINE MIRANDA

**MAPEAMENTO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS E
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS PARA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DA
RODOVIA BR-101/RS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Geotecnia, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 14 de março de 2008

Prof. Luiz Antônio Bressani
PhD, University of London.
orientador

Prof. Fernando Schnaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Newton Moreira de Souza (UNB)
DSc, Universidade de São Paulo

Prof. Juan Antonio Altamirano Flores
(UFRGS)
PhD, Université de Poitiers

Prof. Cezar Augusto Burkert Bastos
(FURG)
DSc, Universidade Federal do Rio Grande
do Sul

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)
DSc, Universidade Federal do Rio Grande
do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Luiz Carlos e Noemi,
e ao meu irmão, Ismael, pelo apoio incondicional na
concretização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Cada pessoa percorre um caminho em busca dos seus sonhos. Nesta caminhada existem indivíduos especiais, que nos auxiliam a atingir os nossos objetivos. Agradecer este auxílio constitui uma atividade agradável, mas ao mesmo tempo, de difícil particularização. Portanto agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento e finalização desta dissertação.

Meus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, e ao seu corpo docente pelo suporte e pela ciência lecionada e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte financeiro.

Ao Departamento Nacional de Infra-estrutura Terrestre – DNIT/RS, em especial ao engenheiro Ricardo Daut; a empresa Queiros Galvão S.A., em especial do engenheiro Sérgio Lafeté Toledo, pelo fornecimento de dados do projeto de duplicação da BR101/RS.

Aos professores Elvio Giasson, Henrich Hasenack e Cezar Bastos pelas cartas de exercício e mapas fornecidos para a confecção desta dissertação.

Os agradecimentos particulares iniciam com o professor Luiz Antônio Bressani, meu orientador, pela orientação e pelas sugestões de reformulações e de correções no decorrer do trabalho, as quais foram colocadas oportunamente e de maneira objetiva, contribuindo para a forma e finalidade desta dissertação.

Agradecimento especial aos professores Vladimir Caramori, Rutinéia Tassi e Cezar Bastos por todo ensinamento e pela instigação a pesquisa durante a minha iniciação científica.

As bolsistas do laboratório Ana Carolina Kamura de Lucca e Camila Fagundes Xavier pelo apoio na digitalização dos dados.

Agradeço a todos os colegas e amigos: Milena, Leandro, Álvaro, Ieda, Marília, Anderson, Salete, Juliana, Lucas, Tadeu e ao Jair, laboratorista do LMS, pelo apoio, pelos conselhos e pela amizade.

Finalmente externo meus agradecimentos aos meus pais, Luiz Carlos e Noemi, e ao meu irmão Ismael, pela pacienciosa compreensão e apoio decorrido no tempo da dissertação.

Afortunado é o homem que encontra sabedoria e o homem
que adquire conhecimento.

Provérbios 3:13

RESUMO

MIRANDA, T.C. Mapeamento das Unidades Geotécnicas e Desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas para Área de Abrangência da Rodovia BR-101/RS. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Nesta dissertação é apresentado o mapeamento geotécnico obtido para a região adjacente à obra de duplicação da rodovia BR101, entre os municípios de Osório a Torres, RS. A região apresenta uma grande variedade de materiais e complexidade de deposição, com interdigitação entre materiais de encosta e materiais de deposição flúvio-marinha. O trabalho utilizou a metodologia de mapeamento proposta por Davison Dias (1995), com cruzamento e análise das informações contidas nos mapas geológicos e pedológicos. Foi feita uma generalização taxonômica para agrupar classes de materiais com características geotécnicas semelhantes. Utilizando uma plataforma de SIG, foram introduzidas informações de topografia, geologia e pedologia para gerar 2 mapas de unidades geotécnicas: o Mapa Geotécnico Generalizado com 23 unidades e um Mapa Geotécnico Detalhado com 52 unidades geotécnicas. Foi confeccionado um Modelo Numérico do Terreno utilizado para a verificação das unidades mapeadas nas áreas de encosta e criado um banco de dados com informações de mapas de Geologia e Pedologia, sondagens do tipo SPT, dados de granulometria das jazidas utilizadas na obra e material fotográfico. A metodologia e os dados utilizados resultaram em um mapeamento de muito boa qualidade na identificação das classes de solos.

Palavras-chave: mapeamento geotécnico, sistemas de informação geográfica; rodovia.

ABSTRACT

MIRANDA, T.C. Mapeamento das Unidades Geotécnicas e Desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas para Área de Abrangência da Rodovia BR-101/RS. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

This dissertation presents the mapping obtained from the adjacent region of the BR101 highway duplication, between the towns of Osório and Torres, Rio Grande do Sul. The region presents great variety of materials and deposition complexity, with inter-stratification between slope materials and estuarine deposited materials. The work was carried out using the mapping methodology proposed by Davison Dias (1995), which analyse and combine the informations contained in geological and pedological maps. Some classes of soils of similar geotechnical characteristics were grouped together by a taxonomic generalization. Collected information on topography, geology and pedology were introduced in a Geographical Information System (GIS), to produce 2 maps: a Simplified Geotechnical Map with 23 unities and a Detailed Geotechnical Map with 52 geotechnical unities. A Digital Terrain Model (DTM) was constructed and used for the checking the mapping unities in the slope areas. A digital database was also assembled with results of SPT soundings, grain-size distribution of the deposits used in the construction and photographic material. The methodology and the quality of information used resulted in maps with very good quality for the identification of the soil classes presented in the area.

Key-words: geotechnical mapping; Geographical Information Systems; highway.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	19
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	20
3 MÉTODOS DE PESQUISA	51
3.1 Mapeamento Geotécnico	51
3.1.1 Reunião, interpretação e tratamento dos dados digitais do meio-físico	54
3.1.2 Generalização taxonômica das unidades geológicas e pedológicas	55
3.1.3 Definição das unidades geotécnicas	56
3.1.4 Generalizações cartográfica e taxonômica e edição final da Carta de Unidades Geotécnicas.....	56
3.2 Implementação de um SIG de Dados Geotécnicos	56
4 ÁREA DE ESTUDO	58
4.1 Descrição Geral	58
4.2 Geomorfologia.....	61
4.3 Geologia	63
4.3.1 Geologia das encostas do Planalto da Serra Geral	63
4.3.3.1 Formação Botucatu (J_b)	63
4.3.3.2 Formação Serra Geral (β)	64
4.3.2 Geologia da Planície Costeira	66
4.3.2.1 Subsistema de leques aluviais alimentados pelo Planalto (Ql_4)	67
4.3.2.2 Sistema Laguna-Barreira III (Qbd_3 e Qbc_3).....	68
4.3.2.3 Sistema Lagunar IV (Qp_4 , Qf_4 , Qd_4 , Qc , Qbc_4 e Qbd_4).....	69
4.4 PEDOLOGIA	72
4.4.1 Solos de encosta	72
4.4.1.1 Unidade Pituva – P (Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico – EMBRAPA, 1973 ou Argiloso Latossolo Bruno distrófico típico – EMBRAPA, 1999)	72

4.4.1.2 Unidade Ciríaco – C (Brunizem avermelhado Raso Argiloso – EMBRAPA, 1973 ou Chernossolo Argilúvico férrico típico – EMBRAPA, 1999)	73
4.4.1.3 Unidade Aratinga – At (Litólicos Distrófico/ Húmico/ Álico Argilosa - EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Litólico distrófico típico – EMBRAPA, 1999)	74
4.4.1.4 Unidade Charrua – Ch (Litólicos Eutrófico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Litólico eutrófico chernossólico – EMBRAPA, 1999).....	74
4.4.1.5 Unidade Jacinto Machado – JM (Cambissol Eutrófico Médio - EMBRAPA, 1973 ou Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico – EMBRAPA, 1999)	75
4.4.1.6 Unidade Rocinha – Ro (Cambissol Hístico/Álico Argilosa – EMBRAPA, 1973 ou Cambissolo Hístico aluminoso típico – EMBRAPA, 1999)	76
4.4.2 Solos da Planície.....	76
4.4.2.1 Unidade Osório – Os (Podzólico Vermelho-Amarelo Abrúptico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Quartzarênico órtico típico – EMBRAPA, 1999).....	77
4.4.2.2 Unidade Itapoã – Ip (Podzólico Vermelho-Amarelo Abrúptico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, EMBRAPA, 1999).....	78
4.4.2.3 Unidade Araranguá – Ar (Areias quartzosas Distrófico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Quartzarênico órtico típico – EMBRAPA, 1999)	78
4.4.2.4 Unidade Curumim – Cur (Areias quartzosas Distrófico Arenosa – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Quartzarênico hidromórfico típico – EMBRAPA, 1999)	79
4.4.2.5 Unidade Jundiá – J (Glei Húmico Distrófico Argilosa – EMBRAPA, 1973 ou Gleissolo Melânico distrófico típico – EMBRAPA, 1999).....	80
4.4.2.6 Unidade Itapeva – It (Glei Húmico Eutrófico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Gleissolo Melânico eutrófico típico EMBRAPA, 1999).....	80
4.4.2.7 Unidade Gravatal – Gv (Glei Pouco Húmico Distrófico Argilosa – EMBRAPA, 1973 ou Organossolo Tiomórfico Sápico térricos – EMBRAPA, 1999)	81
4.4.2.8 Unidade Meleiro – Me (Orgânico Distrófico Turfosa – EMBRAPA, 1973 ou Gleissolo Háplico Tb distrófico típico – EMBRAPA, 1999)	82
3.4.3 Pedologia da área de estudo associada à Geologia.....	82
5 RESULTADOS	84
5.1 Reunião, interpretação e tratamento dos dados digitais do meio-físico	84
5.1.1 Dados de Geologia em SIG	84
5.1.2 Dados de Pedologia em SIG.....	88
5.1.3 Modelo Numérico do Terreno	93
5.2 Mapeamento Geotécnico	96

5.2.1	Mapeamento Geotécnico Generalizado.....	96
5.2.2	Mapeamento Geotécnico em Detalhe.....	98
5.3	Dados Geotécnicos e Ambientais do entorno da BR-101 em ambiente SIG	102
5.3.1	Sondagens SPT incorporadas aos mapas geotécnicos	103
5.3.2	Dados de caracterização geotécnica das principais jazidas de solos utilizados na duplicação da rodovia	104
5.3.3	Caracterização da região: rodovias secundárias, limites municipais e área urbana..	104
5.3.4	Representação tridimensional da distribuição dos solos e do substrato geológico ..	105
5.3.5	Representação dos dados de sondagens SPT nas planícies deltaicas	110
5.3.5.1	Representação do Rio Maquiné	110
5.3.5.2	Representação do Rio Três Forquilhas	113
5.3.5.3	Representação do Rio Cardoso	115
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	117
6.1	principais conclusões.....	117
6.2	PERSPECTIVAS FUTURAS	121
	REFERÊNCIAS	122
	ANEXO 01 – DESCRIÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS	127

Listas de Ilustrações

Figura 2.1: Sistema arquitetônico de um SIG (modificado de Câmara <i>et al.</i> , 1996).	23
Figura 2.2: Representação vetorial e matricial de um mapa temático (fonte: ESRI, 2007).	26
Figura 2.3: Elementos de representação vetorial e raster (fonte:ESRI, 2007).	26
Figura 2.4: Exemplo de representação de planos de informações: layers (fonte: ESRI, 2007).	27
Figura 2.5: Exemplo de MNT gerado a partir de dados de altimetria (fonte: ESRI, 2007).	28
Figura 2.6: Esquema de execução de ensaios SPT (Schnaid, 2000).	31
Figura 2.7: Ilustração do perfil e principais horizontes genéticos de um solo (modificado de Giasson <i>et al.</i> , 2006).	34
Figura 2.8: Metodologia de mapeamento geotécnico segundo Davison Dias (1995) (modificado de Bastos <i>et al.</i> , 2006).	47
Figura 3.1: Fluxograma representando o método de trabalho.	52
Figura 3.2: Esquema metodológico do mapeamento geotécnico aplicado a obras rodoviárias (modificado de Bastos <i>et al.</i> , 2006).	53
Figura 3.3: Esquema ilustrando etapas na aplicação da metodologia LAMGEO de mapeamento geotécnico.	53
Figura 4.1: Localização da área de estudo (modificado de DNIT, 2007).	59
Figura 4.2: Perfil típico da unidade Ciríaco (Streck <i>et al.</i> , 2002).	73
Figura 4.3: Perfil típico da unidade Charrua (Streck <i>et al.</i> , 2002).	75
Figura 4.4: Perfil típico da unidade Jacinto Machado (FEE, 1979).	76
Figura 4.5: Perfil típico da unidade Osório (Streck <i>et al.</i> , 2002).	77
Figura 4.6: Perfil típico da unidade Itapoã (Streck <i>et al.</i> , 2002).	78
Figura 4.7: Perfil típico da unidade Curumim (Streck <i>et al.</i> , 2002).	79
Figura 4.8: Perfil típico da unidade Jundiáí (FEE, 1979).	80
Figura 4.9: Perfil típico da unidade Itapeva (FEE, 1979).	81
Figura 4.10: Topossequência típica – Seção à 4km antes de Terra de Areia, sentido Osório- Torres.	83
Figura 5.1: Mapa Geológico Detalhado obtido em ambiente de SIG.	86
Figura 5.2: Mapa Geológico Generalizado obtido em ambiente de SIG.	87
Figura 5.3: Mapa Pedológico Detalhado obtido em ambiente de SIG.	91
Figura 5.4: Mapa Pedológico Generalizado obtido em ambiente de SIG.	92
Figura 5.5: Modelo Numérico do Terreno da foz do rio Maquiné (em planta).	94
Figura 5.6: Imagem capturada de parte do MNT da região da foz do rio Maquiné (vista oblíqua do norte).	95
Figura 5.7: Mapa Geotécnico Generalizado obtido em ambiente de SIG.	97
Figura 5.6: Mapa Geotécnico Detalhado obtido em ambiente de SIG.	99
Figura 5.7: Visualização do acesso ao banco de dados em ambiente de SIG.	103
Figura 5.8: Dados geotécnicos das principais jazidas utilizadas na obra.	104
Figura 5.9: Detalhe do Mapa Geotécnico Detalhado.	105
Figura 5.10: Corte no km 7 + 025 – representação dos solos PVA sobre os depósitos arenosos.	107
Figura 5.11: Corte no km 12 + 925 – solos de brunizens sobre material rochoso e solos PVA sobre depósitos de planície.	107
Figura 5.12: Corte no km 39+500 – solos litólicos e brunizens sobre material rochoso e solos gleis sobre depósitos de planície.	108
Figura 5.13: Corte no km 47 + 135 – solos de PVA sobre material rochoso e depósitos marinhos/eólicos e de planície e solos gleis nas áreas de menor cota.	108

Figura 5.14: Corte no Morro do Túnel, lado para o Rio Maquine.	109
Figura 5.15: Corte no Morro do Túnel, lado sul do morro.....	110
Figura 5.16: Visão geral do delta do Rio Maquine – Linha em branco: linha de sondagem (Google Earth, 2007).	111
Figura 5.17: Localização dos dados de sondagens SPT e dos tipos de solos do delta do Rio Maquiné.....	111
Figura 5.18: Representação do subsolo do delta do Rio Maquiné.	112
Figura 5.19: Visão geral do Rio Três Forquilhas. (Google Earth, 2007).	113
Figura 5.20: Localização dos dados de sondagens SPT e dos tipos de solos do Rio Três Forquilhas.	114
Figura 5.21: Representação do subsolo do Rio Três Forquilhas.	114
Figura 5.22: Visão geral do delta do Rio Cardoso (Google Earth, 2007).	115
Figura 5.23: Localização dos dados de sondagens SPT e dos tipos de solos do delta do Rio Cardoso.....	116
Figura 5.24: Representação do subsolo do delta do Rio Cardoso.	116

Listas de Tabelas

Tabela 2.1: Diferenças nas possibilidades entre a cartografia tradicional e aquela utilizando SIG (adaptado de Câmara <i>et al.</i> ,1996).	25
Tabela 2.2: Relação entre unidades pedológicas e peculiaridades geotécnicas (Nogami e Villibor, 1995).	39
Tabela 4.1: Principais características dos lotes da rodovia BR101/RS (modificado de DNIT, 2007).	60
Tabela 4.2: Síntese da geologia na área de estudo.	71
Tabela 4.3: Relação entre unidades geológicas e unidades de mapeamento de solos (adaptado de FEE, 1979).	83
Tabela 5.1: Caracterização das unidades geológicas do Mapa Geológico Detalhado.	85
Tabela 5.2: Caracterização das unidades geológicas do Mapa Geológico Generalizado.....	88
Tabela 5.3: Caracterização das unidades geológicas do Mapa Pedológico Detalhado.	89
Tabela 5.3 (Continuação): Caracterização das unidades geológicas do Mapa Pedológico Detalhado.....	90
Tabela 5.4: Caracterização das unidades pedológicas do Mapa Pedológico Digital Generalizado.....	93
Tabela 5.5: Distribuição das unidades geotécnicas do Mapa Geotécnico Generalizado.	98
Tabela 5.6: Distribuição das unidades geotécnicas do Mapa Geotécnico Detalhado.	100
Tabela 5.6 (Continuação): Distribuição das unidades geotécnicas do Mapa Geotécnico Detalhado.....	101

Lista de Abreviaturas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CAD: *Computer Aided Design*

CECO: Centro de Estudos Costeiros Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CTC: capacidade de troca de cátions

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes

EESC: Escola de Engenharia de São Carlos

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESRI: *Environmental Systems Research Institute*

FEE: Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul

FURG: Fundação Universidade Federal do Rio Grande

GPS: Sistemas de Posicionamento Global

IBGE: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

LAMGEO: Laboratório de Mapeamento Geotécnico e Comportamento de Grandes Áreas

MCT: Miniatura, Compactado, Tropical

MNT: Modelo Numérico do Terreno

MO: Matéria Orgânica

SBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SGBD: Sistema Gerenciador de um Banco de Dados

SIG: Sistema de Informações Geográficas

SPT: *Standard Penetration Test*

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

UnB: Universidade de Brasília

USP: Universidade de São Paulo

UTM: *Universal Transverse Mercator*

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Para uma boa prática de engenharia é indispensável o conhecimento das características do meio físico, independente da forma de uso e ocupação do mesmo. As características geotécnicas de um local têm grande influência no planejamento do uso ou estudo de implantação de novos empreendimentos, tais como: loteamentos, conjuntos habitacionais, rodovias e outras obras. A implantação de uma rodovia, por ser uma obra linear e por ser muitas vezes muito extensa e de elevado custo, depende, sobretudo de um adequado planejamento geotécnico.

O emprego de metodologias para investigações geotécnicas preliminares de solos para diversas obras tem sido uma necessidade cada vez mais premente, uma vez que o mercado está mais exigente quanto ao controle de qualidade e custos das obras. No entanto, as metodologias convencionais para obras viárias têm apresentado problemas na caracterização dos solos e previsão de acidentes e imprevistos geotécnicos.

Medina (1999) relata a importância do interesse pela compreensão do cenário físico na sua interação com as obras de engenharia, em especial estradas e pavimentação: “o Engenheiro Geotécnico Rodoviário lida com extensões lineares de dezenas de quilômetros, de modo que a descrição da geologia e da fisiografia de um corredor sinuoso pode abranger várias províncias geológicas”.

Os órgãos rodoviários nacionais (DNER, 1996) estabelecem amostragens com espaçamento uniforme e pré-fixado, independente da região, e o emprego de ensaios de caracterização geotécnica clássica com análise granulométrica e limites de Atterberg. Segundo Godoy *et al.* (2002), no que se refere ao espaçamento uniforme de amostragens, constata-se que é inapropriado, visto que ocorrências homogêneas dos solos podem ser detalhadas

desnecessariamente e outras, heterogêneas, serem insuficientemente amostradas. Em relação aos ensaios propostos, o autor ainda expõe o quanto estes são inadequados para a caracterização dos principais tipos de solos que ocorrem em regiões de clima tropical, em particular solos lateríticos e saprolíticos.

Frente a isso, o mapeamento geotécnico assume um papel relevante, auxiliando diretamente na definição de unidades geotécnicas (ou áreas físicas de solos de comportamento geotécnico semelhante), o que permite um melhor estabelecimento de diretrizes para a execução dos projetos. Em uma obra rodoviária, a cartografia geotécnica serve como ferramenta para a caracterização geral do meio físico, permitindo o estabelecimento de critérios mais seguros para a amostragem dos materiais. Também auxilia na avaliação preliminar qualitativa do comportamento mecânico dos solos, para a previsão de riscos ambientais e na identificação dos impactos potenciais das obras. Com isto, o mapeamento permite a adequação do projeto às condicionantes impostas pelo meio físico.

A proposta de mapeamento geotécnico utilizada nesta dissertação é baseada em fundamentos de Pedologia associados à interpretação da geologia, o que proporciona uma estimativa dos tipos de solos e substrato geológico que serão solicitados num problema de engenharia, levando em conta a origem e a gênese diferenciada dos diferentes perfis (Davison Dias, 1995). Os levantamentos pedológicos fornecem uma descrição dos horizontes mais superficiais. Fazendo-se o cruzamento destas informações com as informações geológicas, pode-se obter uma caracterização completa do perfil geotécnico, associando os horizontes superficiais com o substrato rochoso e os diversos solos de alteração.

O emprego de técnicas de geoprocessamento para a integração de dados na estimativa de unidades geotécnicas torna o processo mais ágil e eficiente. Esses novos recursos constituem, sobretudo, instrumentos poderosos para a implementação de metodologias inovadoras que visam à formulação de diagnósticos e a tomada de decisões sobre o meio físico.

O uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) facilita a manipulação e a integração de dados geotécnicos georreferenciados. Além de propiciar a geração de mapas temáticos, um SIG oportuniza que o banco de dados associado seja consultado, permitindo a avaliação dos dados numa relação direta com a sua localização e a correlação espacial com outros dados.

1.2 OBJETIVOS

Neste trabalho o objetivo é apresentar os métodos e os resultados obtidos no mapeamento das unidades geotécnicas das áreas adjacentes à obra de duplicação da BR101, trecho compreendido entre os municípios de Osório e Torres no estado do Rio Grande do Sul.

Destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o meio físico da área de abrangência da obra de duplicação da rodovia (geologia, solos, relevo, clima, hidrografia, entre outros);
- Definir unidades geotécnicas aplicando a metodologia de Davison Dias (1995);
- Gerar um Modelo Numérico do Terreno (MNT) a partir das Cartas do Exército;
- Criar um banco de dados em ambiente de SIG com todas as informações geotécnicas levantadas, no caso, dados de sondagens do tipo *Standard Penetration Test* (SPT), obtidas ao longo do traçado da rodovia. Em função destes dados, observar e identificar a espessura das camadas de solos, os tipos de solos encontrados e a profundidade do nível d'água, para as unidades geotécnicas mapeadas onde a rodovia as interpõe.
- Complementar o banco de dados geotécnicos com dados referentes ao projeto geométrico da duplicação da rodovia, fotos aéreas e fotos dos perfis de solo das principais unidades mapeadas.
- Com base no mapeamento geotécnico e do SIG, tratar da identificação, localização e caracterização de potenciais jazidas de materiais para aterro, base e sub-base da rodovia, de áreas onde a rodovia passa por solos moles e de áreas afetadas por solos do tipo talus e colúvios;
- Com base no mapeamento geotécnico representar em blocos diagramas e os principais solos e substratos geológicos que interceptam o eixo da rodovia e com base nos dados de sondagens SPT representar os substratos encontrados nas principais várzeas dos rios.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho é dividido em seis Capítulos e um Anexo. No Capítulo 1 faz-se uma menção geral ao trabalho, destacando os objetivos e a justificativa da pesquisa. No Capítulo 2 apresentam-se os métodos tradicionalmente empregados na obtenção no mapeamento geotécnico, o uso de ferramentas de geoprocessamento para a realização deste mapeamento e de um banco de dados geotécnicos, um breve relato do ensaio de SPT e de conceitos de Pedologia aplicados, no caso em particular, em geotecnia de obras rodoviárias.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia adotada para a realização do mapeamento geotécnico e o método empregado na confecção do banco de dados em ambiente de SIG. No Capítulo 4 são descritos os principais condicionantes ambientais da área de estudo, contendo uma descrição detalhada da geomorfologia, da geologia e da pedologia do local.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos e a análise dos mesmos com o mapeamento das unidades geotécnicas e na confecção do banco de dados proposto. Para finalizar, no Capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões sobre o trabalho e indicação de continuidade da pesquisa. O Anexo 1 descreve as unidades geotécnicas obtidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados temas pertinentes ao trabalho proposto: Sistema de Informações Geográficas (SIG), Pedologia aplicada à Engenharia, sondagens SPT e mapeamento geotécnico.

2.1 SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

2.1.1 Definição de Geoprocessamento e SIG

A coleta de informações sobre o meio físico e a sua representação, para o planejamento das mais diversas atividades, sempre foi de grande importância para as civilizações, desde os tempos mais remotos. Até recentemente isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, o que dificultava análises que combinassem diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento da tecnologia da informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, permitindo o desenvolvimento do Geoprocessamento.

Segundo Câmara (1994), o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Estas técnicas têm influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia e Engenharia na análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional, sem falar na área de Geografia Humana, em aplicações na saúde, em socioeconomia, entre outras. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, tornando ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Conforme Valente (1999), Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias capazes de realizar a coleta, o processamento e a manipulação de informações espaciais. A obtenção de dados pode ser realizada por meio de técnicas de sensoriamento remoto orbital ou sub-orbital,

cadastramentos urbanos ou rurais, mapas temáticos ou levantamentos topográficos. O armazenamento, o processamento e a manipulação das informações georreferenciadas são operações que podem ser processadas no computador por meio de Sistemas CAD (*Computer Aided Design*), Sistemas de Processamento de Imagens Digitais e Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

Já Carvalho *et al.* (2000) definem Geoprocessamento como termo bastante amplo, onde engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, em programas computacionais. Dentre essas tecnologias destacam-se o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação e tarefas cartográficas, a utilização de Sistema de Posicionamento Global – GPS e os Sistemas de Informações Geográficas.

Os termos Sistemas de Informações Geográficas, ou Sistemas de Informações Georreferenciadas, ou ainda Sistemas de Informações Geoespaciais, abreviadamente SIG, se referem a um conjunto de sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e que permitem o acesso a informações alfanuméricas e de localização espacial. Estes sistemas oferecem ao usuário (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão global dos dados referentes ao meio analisado, estudando a inter-relação entre eles e a base que é fundamentalmente única e comum: a localização geográfica.

Não existe um conceito único que defina SIG, todas as definições encontradas na literatura retratam a multiplicidade de usos e conceitos desta tecnologia. Isto se deve à utilização dos SIG pelas mais diversas áreas científicas ou domínios da atividade humana (recursos naturais, planejamento urbano, agricultura, geografia, informática, etc.), direcionando a utilização interdisciplinar destes. Em virtude disto, os conceitos de SIG variam de acordo com a área ou o domínio para o qual é utilizado.

Destacam-se neste trabalho duas definições de SIG de diferentes autores. Teixeira *et al.* (1995) descreve os SIG como um “conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas, perfeitamente interligados, de forma a tornar possível a coleta, armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação”. Por fim, Cowen (1988) diz que SIG é um “sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas”.

Câmara *et al.* (1996) identificaram as seguintes principais possibilidades dos SIG:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

A Figura 2.1 indica o relacionamento hierárquico entre os componentes de um SIG. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

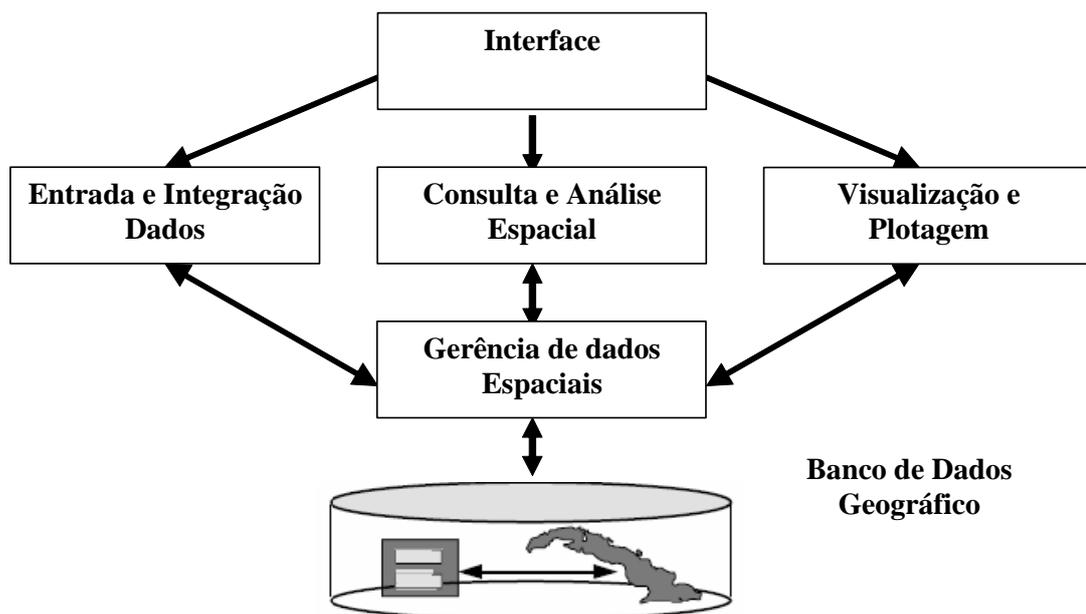


Figura 2.1: Sistema arquitetônico de um SIG (modificado de Câmara *et al.*, 1996).

No que se refere às utilidades de um SIG, pode-se resumir três grandes usos:

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;

- como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Devido à sua versatilidade, os SIG comportam diferentes tipos de dados e aplicações, em várias áreas do conhecimento, são exemplos: a otimização de tráfego, o controle cadastral, o gerenciamento de serviços de utilidade pública, demografia, cartografia, administração de recursos naturais, monitoramento costeiro, controle de epidemias, planejamento urbano, entre outros.

O número de *softwares* de SIG disponíveis no mercado atualmente é amplo. A escolha por um programa depende da necessidade do usuário e da capacidade de cada programa. Os programas estão sendo continuamente adaptados às necessidades dos usuários. Nos últimos anos, os SIG têm se tornado mais “amigáveis” entre si, mesmo abrangendo funções cada vez mais sofisticadas. Atualmente, muitos já possuem várias ferramentas cartográficas de interpolações e de estimativas, além de edições e compatibilidade com as mais diversas extensões de arquivos. Igualmente, ainda permitem que se possam fazer programações em diversas linguagens para a realização de operações em três dimensões (3D) e outras funções específicas.

Deve-se destacar que, com a crescente divulgação do uso de *softwares* de SIG, surgiu uma visão errônea dos sistemas de CAD cartográficos. Estes frequentemente suscitam em seus usuários a expectativa de capacidade de análise espacial, além daquela que eles possuem como sistemas automáticos de desenho de mapas (Cowen, 1998). A diferença entre um SIG e um CAD consiste basicamente no fato de que o último é um instrumento de desenho digital e não um sistema de processamento de informação espacial. Um CAD possui funções que permitem a representação precisa de linhas e formas, podendo ser utilizado na digitalização de mapas e cartas, no entanto, apresenta restrições no que diz respeito à atribuição de outras informações às entidades espaciais. Não obstante, os sistemas CAD podem ser utilizados em conjunto com os SIG.

A razão principal da relação interdisciplinar entre a Cartografia e Geoprocessamento é o espaço geográfico. Cartografia preocupa-se em apresentar um modelo de representação de dados para os processos que ocorrem no espaço geográfico. Uma razão histórica que reforça o vínculo entre a Cartografia e Geoprocessamento é a precedência das iniciativas de automação da produção cartográfica em relação aos esforços iniciais de concepção e

construção das ferramentas de SIG. A Tabela 2.1 apresenta uma comparação entre a cartografia utilizando SIG e a tradicional.

Tabela 2.1: Diferenças nas possibilidades entre a cartografia tradicional e aquela utilizando SIG (adaptado de Câmara *et al.*,1996).

Cartografia tradicional	Cartografia usando SIG
Cartas limitadas a aspectos gráficos (ex.: papel)	Cartas com recursos multimeios (ex.: meio digital, CDs...)
Imagem estática	Imagem dinâmica
Documento único	Múltiplos documentos interligados
Carta destinada a um grande público	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 a leitura	Carta utilizada para a comunicação interativa
Carta produzida por cartógrafo	Carta produzida por cartógrafo e especialista em SIG

2.1.2 Conceitos utilizados em ambiente de SIG

Os dados geográficos normalmente procedem de uma grande variedade de fontes, necessitando de diferentes formas de representação para serem armazenados no computador. Há dois modos de representação de dados espaciais utilizados em Geoprocessamento, especialmente num SIG: o formato vetorial e o formato raster ou matricial. A Figura 2.2 apresenta a diferenciação dos formatos (a) e a visualização dos formatos num único plano de informação (b).

Na feição vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível, em geral, através da digitalização de mapas ou até mesmo da confecção de documentos em formato raster de informações analógicas. A representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador interprete a que elemento ou objeto pertence determinada célula. Em ambas as formas de representação, qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é generalizado a três formas básicas: pontos, linhas, áreas ou polígonos (Figura 2.3).

Num SIG, os dados espaciais tanto no formato matricial, quanto no formato vetorial, são armazenados na forma de camadas ou layers, denominados planos de informações, os quais contém, de modo georreferenciado, todos os dados referentes a um determinado tema, ou seja, retratam separadamente um aspecto particular da realidade. A Figura 2.4 exemplifica os planos de informações gerados a partir da realidade, no caso, layers de consumidores, construções e rede de água.

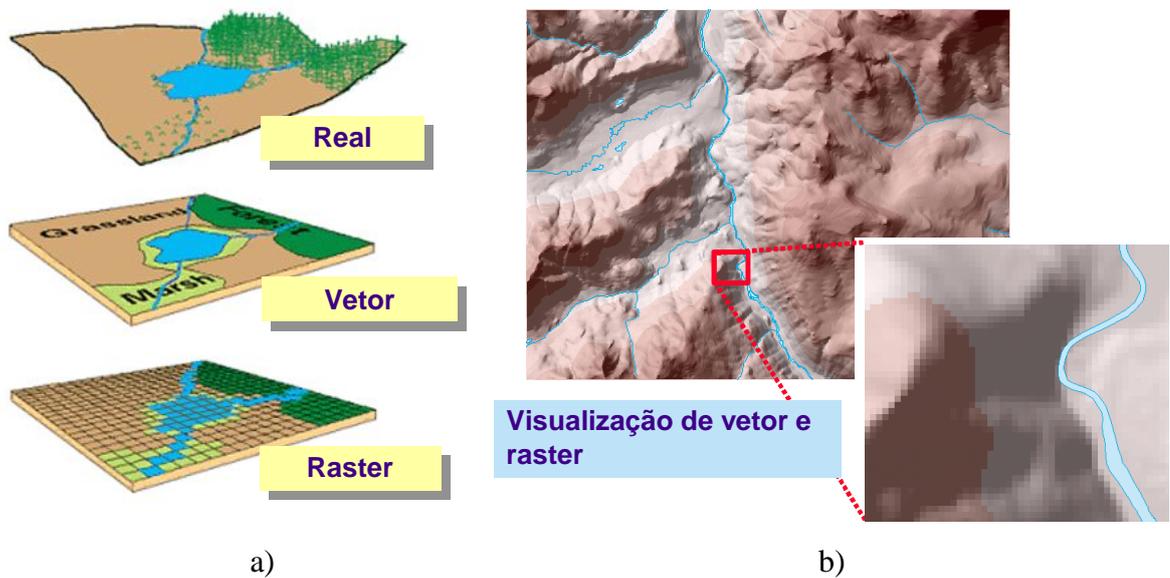


Figura 2.2: Representação vetorial e matricial de um mapa temático (fonte: ESRI, 2007).

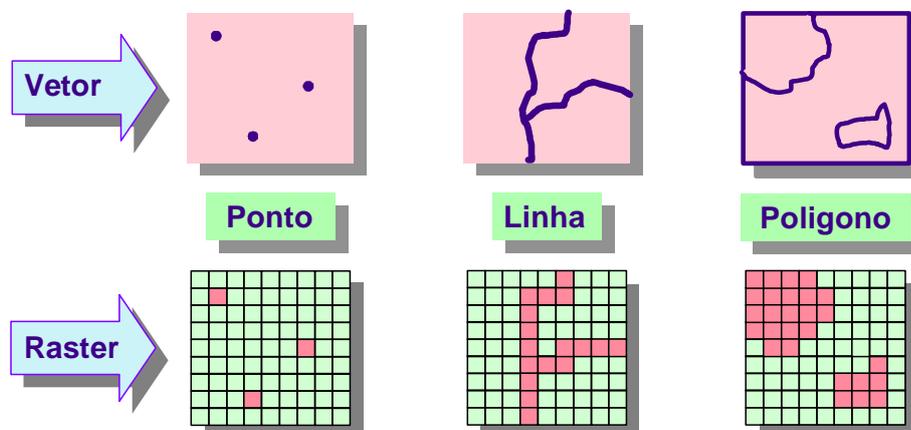


Figura 2.3: Elementos de representação vetorial e raster (fonte:ESRI, 2007).

Um banco de dados pode ser considerado como um conjunto de informações que estão relacionadas a um tópico ou propósito particular. Tanto os dados vetoriais, quanto os dados matriciais, acrescidos de dados não-espaciais (alfanuméricos ou gráficos) podem ser armazenados em um Sistema Gerenciador de um Banco de Dados (SGBD). Um SGBD não é nada mais do que um sistema computadorizado de arquivamento de registros eletrônicos, que se comparado com os arquivos tradicionais de papel, apresentam em princípio duas grandes vantagens: redução do espaço físico de armazenagens de dados e aumento significativo da velocidade quando se deseja acessar uma informação.

Date (1985) cita outras vantagens do uso de um SGBD: maior compactação dos dados, tarefas mecânicas mais bem executadas por máquinas e disposição de informações precisas e atualizadas a qualquer tempo.

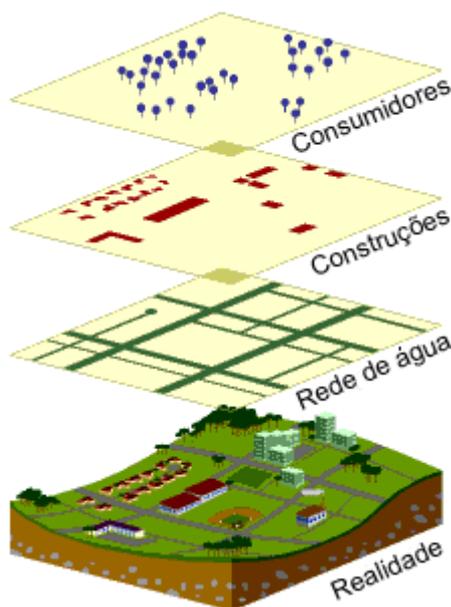


Figura 2.4: Exemplo de representação de planos de informações: layers (fonte: ESRI, 2007).

O termo Modelo Numérico de Terreno (ou MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo. Logo, um MNT é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de

uma região da superfície terrestre. Um exemplo de MNT gerado a partir de dados de altimetria é apresentado na Figura 2.5.

Entre os usos de modelos numéricos de terreno, pode-se citar (Burrough, 1986 *apud* Câmara *et al.*, 1996):

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade para apoio à análise de geomorfologia e susceptibilidade à erosão dos terrenos;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional de relevo (em combinação com outras variáveis).

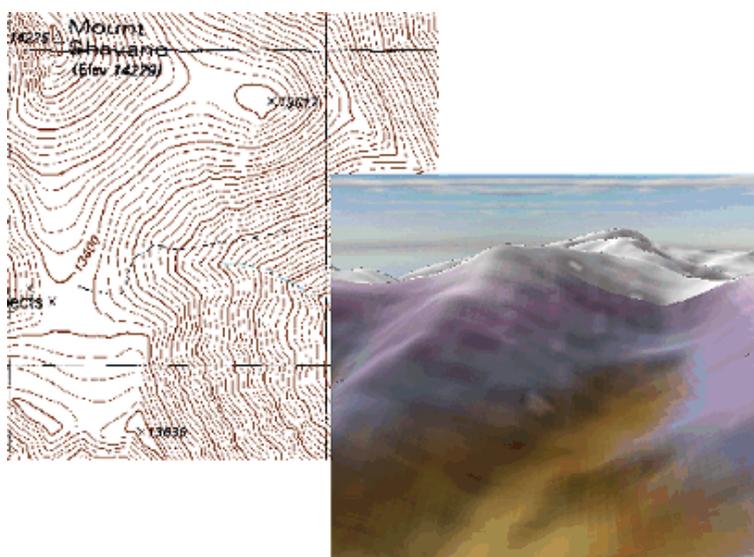


Figura 2.5: Exemplo de MNT gerado a partir de dados de altimetria (fonte: ESRI, 2007).

2.1.3 SIG no Mapeamento Geotécnico

Conforme os SIG vão evoluindo em capacidade de manipular dados espaciais georreferenciados, tornando-se cada vez mais eficientes na manipulação de ferramentas cartográficas, o seu uso se torna mais abrangente. Portanto, os SIG podem estar em todas as

atividades que envolvam coleta e análise de dados sobre a superfície da Terra. Com o mapeamento geotécnico não seria diferente, os SIG têm permitido o fácil operação e análise de dados do meio físico, definidores e delimitantes de unidades geotécnicas. Eis alguns exemplos recentes no sul do País:

- Valente (1999) elaborou o mapeamento geotécnico do município de Porto Alegre utilizando ferramentas de sistemas CAD e também apresentou um banco de dados geotécnicos em SIG para a cidade de Porto Alegre-RS.
- Higashi (2002) elaborou um SIG de dados geotécnicos, constituído de um mapa geotécnico associado a perfis típicos de solos e resultados em tabelas e gráficos de ensaios geotécnicos de campo e de laboratório. Os dados utilizados foram obtidos em pesquisas de dissertações, teses e trabalhos relacionados às localidades do norte do estado do Rio Grande do Sul.
- Higashi *et al.* (2001) apresentam uma análise do subsolo do estado de Santa Catarina visando a implantação de rodovias. Para tal estudo o autor utilizou o mapeamento geotécnico e um banco de dados geotécnicos em ambiente SIG. Com isto pôde analisar as unidades geotécnicas com vista à aptidão dos solos para a pavimentação.
- Augusto Filho *et al.* (2002) discutem as vantagens do uso de um SIG no gerenciamento de passivo ambiental na malha rodoviária sobre a responsabilidade da Concessionária de Rodovias do Oeste de São Paulo, VIAOESTE. Utilizando ações específicas dentro de um SIG, com linguagem de programação, foi criada uma interface de fácil acesso aos dados geológicos, geotécnicos, rodoviários, entre outros. Esta interface possibilitou o acesso de usuários comuns aos dados, sem que estes necessitem de conhecimentos específicos de SIG.
- Folle (2002) utilizou as ferramentas de Geoprocessamento para cadastrar e analisar geoestatisticamente 141 furos de sondagens SPT para o município de Passo Fundo-RS. Com esta análise a autora pôde gerar, como produto, mapas de valores de resistência à penetração N_{SPT} e suas respectivas incertezas.

- Dassoler (2002) mapeou as unidades geotécnicas dos solos da área urbana do município de Novo Hamburgo/RS. A estas unidades associou um banco de dados geotécnico, que tem como principais temas: resistência à penetração, nível freático, descrição do solo e unidade geotécnica, baseados nos dados de sondagens SPT.
- Higashi (2006) avaliou os vetores de crescimento urbano da cidade de Tubarão-SC, indicando as melhores áreas de crescimento conforme as características geotécnicas obtidas através da análise das unidades de mapeamento geotécnico para o município e do gerenciamento de um banco de dados geotécnicos (com dados de ensaios SPT, ensaios laboratoriais e fotos de campo).
- Bastos *et al.* (2007) apresentaram o mapeamento geotécnico da Planície Costeira Sul do estado do Rio Grande do Sul realizado com técnicas de Geoprocessamento. Além do mapeamento foi confeccionado um banco de dados, contendo dados das unidades geotécnicas e também dados de ensaios de campo e laboratório produzidos por mais de 20 anos de pesquisa na Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

2.2 ENSAIOS DE CAMPO - SPT

Segundo o manual de pavimentação do DNER (1996) um dos ensaios indicados para a caracterização geotécnica ao longo da rodovia a ser construída é o ensaio de campo *Standard Penetration Test* (SPT). O SPT é reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo, permitindo a indicação da densidade de solos granulares, da consistência de solos coesivos e mesmo da coerência de rochas brandas (Schnaid, 2000).

O ensaio SPT objetiva a medida de resistência dinâmica “ N_{SPT} ” oferecida pelo solo à cravação de um amostrador durante uma sondagem de simples reconhecimento. O furo de sondagem é executado por tradoagem e circulação de água utilizando um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. As diferentes camadas de solo são descritas durante o processo de perfuração. Amostras representativas do solo são coletadas a cada metro de

profundidade por meio de um amostrador padrão. A Figura 2.6 ilustra o esquema de execução deste ensaio.

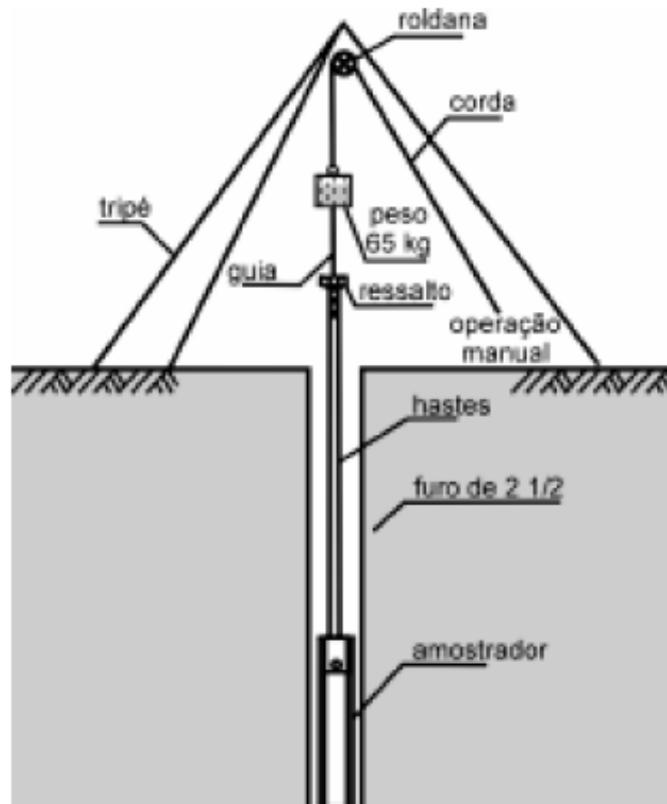


Figura 2.6: Esquema de execução de ensaios SPT (Schnaid, 2000).

A resistência dinâmica “ N_{SPT} ” é obtida pela cravação do amostrador padrão Raymond-Terzaghi no fundo do furo escavado (revestido ou não), usando um peso de 65 kg de massa, caindo de uma altura de 75 cm. Seu valor é obtido pelo número de golpes necessários à penetração dos últimos 30 cm, trecho este conhecido como “*testing drive*”. O número de golpes necessário à penetração dos primeiros 15 cm, trecho chamado de “*seating drive*”, não é levado em consideração na interpretação dos resultados (Lobo, 2005). A execução deste ensaio é normalizada no Brasil segundo a NBR-6484/2001.

As vantagens deste ensaio com relação aos demais são: simplicidade do equipamento, baixo custo e obtenção de um valor numérico relacionado a propriedades do solo que pode ser empregado em correntes correlações empíricas de projeto. Por não ser alvo deste estudo, não

fora descrito nessa dissertação detalhes maiores do equipamento e do procedimento deste ensaio, que podem ser vistos nas publicações de Odebrecht (2003) e Schnaid (2000).

2.3 PEDOLOGIA NA GEOTECNIA

2.3.1 Definições em Pedologia

A Pedologia (ciência que estuda a gênese dos solos ou pedogênese) aborda a origem e o desenvolvimento dos solos, suas relações com o meio ambiente atual e a influência de características herdadas do passado no seu comportamento. Esta ciência auxilia no conhecimento da distribuição dos solos na paisagem e, também, permite que se conheçam quais os processos que levaram o solo à sua condição atual (Giasson *et al.*, 2006).

Existem várias definições para o termo solo, entretanto, dentro da Pedologia a definição difundida, chamada de conceito pedológico de solo, é de que o solo é um corpo natural, tridimensional, com características próprias e ocupando uma seção definida da paisagem. As características próprias de cada solo são analisadas, descritas e representadas no perfil do solo, que é a seção vertical que se estende da superfície até o material que lhe deu origem e com dimensão lateral suficiente para que se possa observar a variação das características (Figura 2.7).

Na transformação de um material original em um solo, ocorrem modificações morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas. Estas modificações resultam da atuação do intemperismo e dos processos de formação do solo, também denominados processos pedogenéticos. A ação dos processos pedogenéticos é condicionada pelos fatores ambientais denominados de fatores pedogenéticos (ou fatores de formação dos solos), que compreendem o material de origem, o clima, o relevo, os organismos vivos, além do tempo de atuação dos processos pedogenéticos.

Observando o perfil de um solo (em um corte de estrada ou na parede de uma trincheira) verifica-se que ele apresenta uma sucessão de seções horizontais mais ou menos paralelas à superfície, diferenciadas entre si pela espessura, cor, distribuição e arranjo das partículas sólidas e poros, e pela distribuição de raízes. Estas seções, diferenciadas por processos pedogenéticos, denominam-se horizontes do solo.

O desenvolvimento dos horizontes do solo é um processo dinâmico. Num primeiro estágio, pela alteração da rocha, forma-se uma camada de material mineral não consolidado (regolito), composta por partículas de diversos tamanhos, denominada material de origem do solo. Sobre este material desenvolvem-se plantas e outros organismos vivos (bactérias, fungos, actinomicetos e animais superiores) que incorporam material orgânico ao mesmo. Este enriquecimento orgânico resulta na formação de um horizonte superficial mineral, escurecido, denominado horizonte A. Em alguns locais, sobre este horizonte A ocorre deposição de resíduos vegetais e/ou animais, mais ou menos decompostos, originando um horizonte orgânico que em condições de boa drenagem é denominado de horizonte O e em condições de má drenagem, de horizonte H.

Em alguns solos, as partículas mais finas encontradas no horizonte A, constituídas por micelas coloidais orgânicas ou minerais, podem ser translocadas em profundidade pela ação da água que se infiltra no perfil do solo. Em solos onde há eluviação muito intensa forma-se uma seção horizontal de cores claras com menor concentração de partículas finas (argila), abaixo do horizonte A. Esta seção é denominada horizonte E.

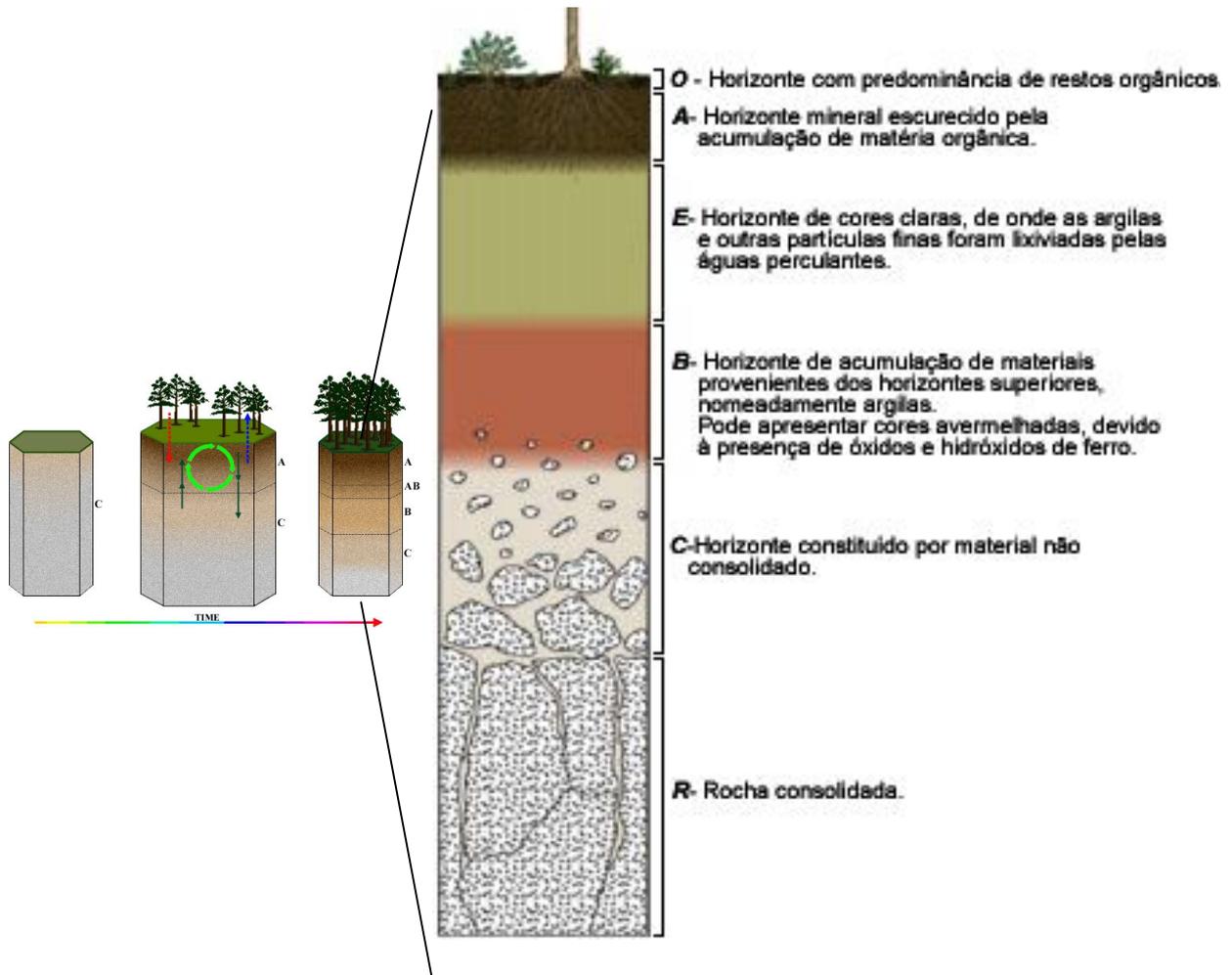


Figura 2.7: Ilustração do perfil e principais horizontes genéticos de um solo (modificado de Giasson *et al.*, 2006).

Abaixo do horizonte A e/ou E, pode se formar um horizonte mineral pobre em material orgânico e enriquecido em argila, denominado horizonte B. A argila do horizonte B pode ser formada “in situ” ou pode ser proveniente do horizonte A. Este acúmulo de argila proveniente de horizontes superiores denomina-se iluviação.

Abaixo do horizonte B pode ocorrer uma seção horizontal de material mineral não consolidado, parcialmente alterado, onde as características dos horizontes A e B estão ausentes. Esta parte do perfil é denominada horizonte C, podendo ou não corresponder ao material de origem do solo.

Cabe destacar que a seqüência de horizontes exemplificada acima pode ser diferente, conforme diferenças no material de origem do perfil e no tipo e intensidade dos processos pedogenéticos atuantes.

Os horizontes O ou H, A, E, B e C são os horizontes genéticos principais de um perfil de solo, pois refletem a atuação dos processos que podem ocorrer nos diversos estágios de desenvolvimento do mesmo (Figura 2.7).

O - Horizonte orgânico situado sobre horizonte mineral superficial formado por resíduos vegetais, folhas, talos, ramos, etc..., decompostos ou não, acumulados em condições de boa drenagem. Ocorre principalmente sob vegetação florestal.

H - Horizonte orgânico superficial ou não, formado pela acumulação de resíduos orgânicos em condições hidromórficas. Os resíduos orgânicos apresentam estágios de decomposição variados. Ocorre principalmente em ambiente paludal.

A - Horizonte superficial mineral, que pode estar sob horizontes ou camada O ou H, e que apresenta coloração escurecida pelo enriquecimento com material orgânico humificado.

E - Horizonte mineral que ocorre sob o horizonte A, e que apresenta máxima eluviação de argilas, óxidos ou matéria orgânica, pelo que apresenta textura mais arenosa e coloração mais clara que os horizontes subjacentes.

B - Horizonte mineral formado sob um A ou E, por intensa alteração do material de origem com formação de argilominerais, com ou sem produção de óxidos e em conjunção ou não com iluviação de argilominerais, óxidos e matéria orgânica.

C - Horizonte mineral inconsolidado pouco ou não afetado pela ação de organismos e que pode ou não corresponder ao material de origem do solo. Pode corresponder ao material transportado em alteração ou ao material resultante do intemperismo “in situ” da rocha subjacente.

O substrato rochoso contínuo ou praticamente contínuo pouco fendilhado, que corresponde à rocha sã ou, quando já alterada, ao material suficientemente coeso, não cortável com a pá, que ocorre abaixo do horizonte C, não é considerado horizonte, e sim camada, sendo designada por R.

A variação das características morfológicas entre dois horizontes poucas vezes se dá abruptamente. Normalmente as características de dois horizontes principais transicionam de um para o outro em diferentes graus de nitidez, podendo resultar entre eles horizontes nos quais as características de ambos se fundem em proporções variáveis, designados como

horizontes de transição miscigenados. Os horizontes de transição miscigenados são representados pela junção das letras dos horizontes principais entre os quais estão situados, por exemplo, AB ou BA, onde o primeiro apresenta maior semelhança com o horizonte A mas possui características do B, e o segundo apresenta maior semelhança com o B mas possui características do A.

Também podem ocorrer horizontes de transição mesclados, onde ocorrem partes identificáveis, mas misturadas, dos horizontes principais adjacentes, por exemplo, o A/E, que deveria ser classificado como A, exceto pela inclusão de áreas dentro do horizonte, que constituem menos de 50% do volume, com características de E.

Para o engenheiro geotécnico, muitas vezes, os dados dos horizontes superficiais O, H, A e até mesmo o E, encontrados nos relatórios que acompanham os levantamentos de solos, possuem pequena importância. Isto se deve ao fato de que estes horizontes, em geral, apresentam camadas de pouca espessura e em obras geotécnicas frequentemente são removidos, ou de que seu comportamento geomecânico não apresenta grande influência nos projetos. No entanto, os horizontes B e C são de extrema importância, pois estes indicam características essenciais como: presença do substrato rochoso e/ou solos saprolíticos próximos à superfície, de solos com horizonte laterítico (como o latossólico), potencialmente utilizáveis como material de empréstimo para a pavimentação de baixo custo e outras obras de terra, de solos com alta concentração de minerais argilosos expansivos e de solos com presença de argila de consistência mole nos horizontes superficiais, com baixa capacidade de suporte.

2.3.2 Princípios no levantamento de unidades de solos

O levantamento de solos consiste na identificação e no mapeamento dos solos de uma área, na análise e interpretação dos dados referentes às suas características, na sua classificação conforme um sistema taxonômico e na confecção de um relatório que compreende um texto descritivo e um mapa de solos (Giasson *et al.*, 2006). Estes levantamentos de solos são efetuados com base na observação e estudo dos solos no terreno, constituindo a forma mais efetiva para avaliar os recursos de solos de uma área ou região. O mapeamento de solos é executado com base no modelo solo-paisagem, isto é, mudanças em um ou mais dos fatores de formação do solo permitem localizar com precisão os limites entre solos diferentes.

O objetivo essencial do levantamento de solos é disponibilizar informações sobre as características e a distribuição dos solos de uma área. No mapeamento de solos são utilizados alguns conceitos e definições cuja noção é essencial para o entendimento dos textos e mapas de solos:

- Unidade taxonômica: corresponde a uma classe de solo de um determinado nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SBCS (Embrapa, 1999).
- Unidade de mapeamento: é a representação gráfica da ocorrência e da distribuição geográfica das unidades taxonômicas no mapa. As unidades de mapeamento mostram no mapa a localização, a extensão, o arranjo e a disposição das unidades taxonômicas no terreno. As unidades de mapeamento podem ser formadas por uma ou mais unidades taxonômicas. Quando formada por uma única unidade taxonômica dominante tem-se uma unidade de mapeamento simples. Quando a unidade de mapeamento é constituída por duas ou mais unidades taxonômicas, tem-se uma unidade de mapeamento combinada. Nestas unidades de mapeamento também ocorrem inclusões e variações, que indicam ocorrências restritas e localizadas de unidades taxonômicas diferentes (inclusões) ou com determinadas características diferenciadas (variações) daquelas que definem a unidade de mapeamento em questão.

Em resumo, o mapa de solos é constituído de unidades de mapeamento que representam a localização, a extensão, o arranjo e a disposição das unidades taxonômicas no terreno. Para a realização de um mapeamento de solos o requisito essencial é a disponibilidade e uso de materiais cartográficos que sirvam como mapa base, por exemplo, aerofotografias, cartas topográficas, etc., o emprego de técnicas de foto-interpretção e análise de imagens orbitais e também atividades de campo de identificação e descrição de perfis de solos.

Os mapas baseados em observações de campo são chamados de mapas autênticos e aqueles somente em informações obtidas de outros mapas são denominados de mapas compilados.

2.3.3 Vantagens e desvantagens do uso da Pedologia na Geotecnia Rodoviária

Com as informações obtidas na interpretação de levantamentos pedológicos, pode-se ter uma estimativa dos tipos de solos que serão solicitados em uma dada obra de Engenharia Civil. Conforme Salomão e Antunes (1998), a análise do solo do ponto de vista da Pedologia, em especial nas obras geotécnicas, ampliam as perspectivas das abordagens da Geologia de Engenharia sobre o meio físico. Em estudos de obras civis, em especial na área rodoviária, as informações da Pedologia podem ser úteis para a concepção do traçado mais viável e a previsão de fenômenos geológico-geotécnicos.

Conforme Abitante *et al.* (1998), os estudos geotécnicos em rodovias são executados, em sua grande maioria, conforme as metodologias tradicionais, que possuem visão pontual e obtêm parâmetros a partir do material destruído de sua estrutura original. Essa prática contrapõe-se à característica de grande dimensão linear da quase totalidade das obras rodoviárias, além da necessidade de métodos que forneçam parâmetros de análise mais adequados aos solos do território brasileiro, afetados pela gênese de clima tropical e subtropical.

Estudos geotécnicos rodoviários, principalmente em nível de anteprojeto, têm-se baseado historicamente em estudos geológicos e na experiência pessoal dos técnicos envolvidos no projeto. Esses estudos, se realizados com a utilização de mapas geotécnicos, obtidos a partir de integradas informações pedológicas e geológicas, possibilitam a correlação de características geomecânicas dos solos com sua gênese. As informações pedológicas fornecem um indexador mais confiável para a organização e troca de conhecimento de regiões distintas. Desta forma, o meio rodoviário vem cada vez mais descobrindo esta importante ferramenta que, além de cartograficamente mais evoluída, possibilita um maior entendimento, entre outros, da influência da estrutura do solo no seu desempenho geomecânico (Marangon e Motta, 2001).

A classificação dos solos conforme a Pedologia fundamenta-se em informações muito mais amplas do que nos “índices” utilizados nas classificações geotécnicas tradicionais, como granulometria e limites de Atterberg. Abitante (1997) expõe que o estudo da pedogênese nos solos tropicais e subtropicais orienta e corrige os erros decorrentes da utilização dos sistemas tradicionais de estudo e classificação, possibilitando ainda a utilização de materiais até então pouco aceitos, como opção em pavimentos rodoviários, em especial naqueles destinados ao baixo volume de tráfego.

A Pedologia é uma poderosa ferramenta para a caracterização do meio físico, que conseqüentemente vêm contribuir com muitas informações de interesse do Engenheiro Geotécnico em aplicações diversas. Sendo bem entendidas as características dos solos e relacionando-as à sua gênese obtém-se uma significativa economia de tempo, trabalho e de recursos. Segundo Marangon e Motta (2001), a Pedologia tem indicado ser extremamente interessante e válida ao ser utilizada nas etapas iniciais de pesquisa e estudos de viabilidade, assim como na elaboração de anteprojetos. Traz economia considerável seja no que se refere a custo ou tempo de investigação despendido para a efetiva obtenção de sucesso do empreendimento de Engenharia.

Conforme Nogami e Villibor (1995), os relatórios que acompanham os mapas pedológicos contêm dados mais detalhados apenas na parte mais superficial da ocorrência dos solos. Entretanto, nestas condições, dados sobre camadas adjacentes, tanto de natureza saprolítica como transportada, são geralmente pouco expressivos, havendo então a necessidade de recorrer a informações de natureza geológica. Segundo os autores, existem vários trabalhos internacionais utilizando a interpretação de mapas de solos, porém, estes não abordam os solos tropicais ocorrentes no Brasil. Conseqüentemente há uma deficiência de metodologias brasileiras que interpretem estes solos com base nos dados pedológicos.

A Tabela 2.2 apresenta algumas relações entre unidades pedológicas e peculiaridades geotécnicas destas unidades, conforme Nogami e Villibor (1995).

Tabela 2.2: Relação entre unidades pedológicas e peculiaridades geotécnicas (Nogami e Villibor, 1995).

Unidades Pedológicas (Embrapa, 1963)	Peculiaridades (Geotecnia)
Lateritas hidromórficas	Pedregulho laterítico com nível d'água
Areias quartzosas	Areias finas, praticamente sem finos
Vertissolos	Argilas expansivas e muito plásticas
Solos litólicos	Rocha aflorante ou a pequena profundidade
Solos aluviais	Areias e argilas, água pouco profunda
Solos concrecionários	Pedregulhos lateríticos

2.4 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

2.4.1 Generalidades

A importância de se obter das informações que representem com fidelidade o meio físico para fins de Engenharia, tema discutido desde a metade do século passado, vem assumindo atualmente um papel de maior destaque. Uma das principais questões atuais é relativa ao instrumento que melhor representaria o meio físico e as suas variações, tanto aos componentes quanto em relação ao espaço tridimensional. Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), a solução desta questão se deu em 1913 com o surgimento de documentos gráficos que constituem as primeiras cartas geotécnicas. Desde então as técnicas para a obtenção destes documentos vêm sendo aprimoradas.

Os termos mapa e carta referem-se aos documentos cartográficos que reúnem as informações pertinentes a um ou mais aspectos do meio ambiente (meio físico, meio biótico e meio antrópico) e que são utilizados pelos usuários para as mais diversas finalidades. Dentro das várias áreas da cartografia, a Geotecnia vem se destacando pelo mapeamento geotécnico. Estes mapas são aplicados, em diferentes escalas, em obras de engenharia, planejamentos urbano, territorial e ambiental, desenvolvimento, conservação e gestão do ambiente e na avaliação de eventos perigosos e de riscos associados.

Segundo a *IAEG* (1976), um mapa geotécnico é um tipo de mapa que fornece uma representação geral de todos aqueles componentes de um ambiente geológico de significância para o planejamento do solo e para projetos, construções e manutenções, quando aplicados à Engenharia Civil e de Minas.

De acordo com Davison Dias (1995), mapas geotécnicos são documentos cartográficos capazes de representar os perfis de solo cujo comportamento geotécnico, frente ao uso e ocupação, apresentam um comportamento similar.

Segundo Valente (1999), a cartografia geotécnica, à medida que engloba cada vez mais aspectos multidisciplinares, pode ser entendida como procedimentos necessários à obtenção e à representação gráfica de aspectos do meio físico baseadas em estudos geológicos, pedológicos, geomorfológicos e geotécnicos, visando o estabelecimento de diretrizes para uso do solo, estudos ambientais e projetos de Engenharia. Bastos e Alves (1998) também afirmam que os mapas geotécnicos constituem um importante subsídio às mais variadas

aplicações: planejamento do uso e ocupação do solo urbano, estudos ambientais (destinação de resíduos e escolha de áreas de preservação), projetos de prospecção do subsolo, soluções técnicas em anteprojetos de obras civis (escolha do tipo de estrutura de fundações, viabilidade de cortes e escavações, condições de drenagem dos terrenos), prospecção de jazidas de material para a construção civil e infra-estrutura viária.

Duas correntes de trabalho têm exercido grande influência na cartografia geotécnica brasileira: a de língua francesa e a dos países de língua inglesa, fato que deu origem às denominações cartografia geotécnica e mapeamento geotécnico, respectivamente, que muitas vezes são usados indistintamente. No entanto, segundo Zuquette e Gandolfi (2004), além de terem origem etimológica diversa, diferenciam-se mapa de carta quanto ao uso. Para os autores, mapa é somente o registro de dados obtidos de um determinado aspecto do ambiente em questão, sem interpretação dos mesmos. Já a carta refere-se a um documento cartográfico com o registro dos dados, as interpretações obtidas e as associações dos dados contidos nos mapas. Para estes autores, o termo mapeamento geotécnico refere-se a um conjunto de ações voltadas à elaboração de mapas e cartas de conteúdo relativo à Geotecnia, e pode ser entendido como um processo que tem por finalidade básica levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, representando adequadamente a variabilidade dos mesmos.

Independentemente de como são entendidas as definições sobre mapeamento geotécnico, o que se observa é que o mesmo tem sido utilizado em vários países e com diferentes metodologias em função das suas realidades geográficas e da grande variedade de tipos de solos, sendo que, em cada caso, sua utilidade tem sido comprovada.

2.4.2 Metodologias de Mapeamento Geotécnico

Segundo Bastos (2005), especialmente após a segunda guerra, foi na Europa que a cartografia geotécnica teve um grande avanço. Antes desse conflito alguns trabalhos se destacaram como a exposição técnica da construção de Leipzig na Alemanha, em 1913, onde foram apresentados os planos de construção de cidades alemãs; um pouco depois, nas décadas de 20 e 30, na Rússia, as investigações geotécnicas de caráter regional resultaram no primeiro mapa geotécnico do país.

Zuquette e Gandolfi (2004) apresentam uma descrição das principais metodologias internacionais de mapeamento geotécnico adotadas ao longo das últimas décadas.

No Brasil a cartografia geotécnica iniciou pelos trabalhos nos anos de 1956-1966 do professor Haberlehner na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mas foi na década de 80, com o engajamento de universidades e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/SP), que ocorreu o maior impulso na área (Zuquette e Gandolfi, 2004).

Significativas contribuições no mapeamento geotécnico brasileiro têm sido desenvolvidas através dos anos pelas seguintes entidades: Instituto de Geologia da UFRJ, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), Universidade de Brasília (UnB), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) e Escola de Engenharia da UFRGS. As metodologias desenvolvidas nas duas últimas, sintetizadas por Zuquette (1987) e Davison Dias (1995), respectivamente, constituem metodologias de amplo destaque no âmbito nacional.

2.4.2.1 Metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Zuquette (1987)

Desenvolvida na Escola de Engenharia de São Carlos e conhecida como metodologia de Zuquette, este método propõe um mapeamento geotécnico para as condições brasileiras baseado em “*landforms*”, ou seja, em feições do relevo. A aplicação da metodologia inicia com a definição das qualidades pertinentes aos componentes do meio físico para caracterizá-lo, identificando o que chamam de unidades homogêneas. Os principais atributos levantados sobre o meio físico são: tipo e espessura de materiais (inconsolidado ou rochoso), profundidade do lençol freático, declividade, permeabilidade e drenagem, áreas de inundação, forma e comprimento das encostas e todos os parâmetros relacionados com fatores de ocupação. Para tal fim, utilizam-se mapas topográficos, geomorfológicos, fotografias aéreas e dados obtidos em sondagens, em trincheiras, de penetrômetros portáteis e de ensaios de laboratório. A definição dos atributos fica relacionada com a finalidade e a escala do trabalho, dependendo delas a eficiência e a qualidade do mapeamento. Cabe destacar, no entanto, o custo elevado de amostragens e dos ensaios para a obtenção de propriedades como permeabilidade, compressibilidade, expansibilidade e resistência do solo para o propósito em vista.

Depois de identificadas as unidades homogêneas, que são unidades com as mesmas características geotécnicas, estas são associadas aos materiais inconsolidados e à litologia existente. Utilizando um Sistema de Informações Geográficas, é gerado um mapa de “*landforms*”. Segundo o autor, para a definição das unidades geotécnicas, devem ser

seguidas as seguintes etapas: levantamento e análise de informações já produzidas, reconhecimento dos atributos e identificação das unidades homogêneas. Os mapas resultantes devem apresentar preferencialmente escalas entre 1:50.000 e 1:10.000 para áreas urbanas e são apresentados de três formas, conforme IAEG (1936):

- Mapas de condições geotécnicas gerais: retratam todos os atributos, caracterizam o meio físico, sem separar áreas similares ou indicar potenciais e limitações;
- Mapa de zoneamento geotécnico geral: apresentam as condições do meio físico através do zoneamento de áreas similares, segundo os atributos considerados, porém sem considerar qualquer finalidade específica;
- Mapa de zoneamento geotécnico específico ou carta de aptidão: a região é zoneada segundo condições geotécnicas que afetam uma única finalidade.

Uma grande quantidade de trabalhos tem sido produzidos nacionalmente utilizando esta metodologia, dentre os quais podemos citar alguns:

- Kopezinski e Zuquette (1998) apresentam a aplicação de uma proposta de procedimentos metodológicos de mapeamento geotécnico na escala 1:5.000, em uma área degradada por mineração de bauxita, areias e britas, com cerca de 10 km². Os principais documentos produzidos são cartas derivadas e interpretativas, como as de *landforms*, declividade e materiais inconsolidados. A quantificação das mudanças das *landforms*, devido aos processos pedogenéticos de evolução dos solos, são avaliadas através de comparação de MNT para as 3 épocas distintas (1971, 1981 e 1997 - períodos anterior, exploração e recuperação da área de mineração).
- Rodrigues e Pejon (1998) destacaram em seu trabalho a importância dos *landforms* na elaboração das Cartas de Susceptibilidade aos Movimentos de Massa na região de Águas de Lindóia/SP. Os principais procedimentos adotados foram: avaliação da forma dos terrenos por foto-interpretação e a delimitação das Unidades de Terreno denominadas *landforms*. A definição de *landforms* permitiu aos profissionais uma análise da dinâmica atual com os

mecanismos dos processos em estudo e assim definir pesos que realmente reflitam a susceptibilidade de cada área.

- Gomes e Rodrigues (1998) apresentam a caracterização geotécnica de materiais inconsolidados, com base no mapeamento geotécnico da área de expansão urbana da região sudeste do município de Campinas-SP, na escala 1:25.000. Foram definidas 20 unidades geotécnicas de materiais inconsolidados e cada unidade é representada por um perfil típico de alteração contendo informações como espessura, textura, índices físicos e comportamento geotécnico. Destaca-se, ainda neste trabalho, a utilização da classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) para separar os materiais inconsolidados em duas grandes classes: solos de comportamento laterítico (L) e de comportamento não laterítico (N).
- Lima e Gandolfi (2000) utilizaram a metodologia de Zuquette (1987) para a realização do mapeamento geotécnico e para obter a carta de susceptibilidade à erosão por escoamento concentrado, na porção média da bacia hidrográfica do Rio Capivari-SP, juntamente com a análise morfométrica da rede de drenagem da bacia. Em ambos os casos, utilizaram-se técnicas de geoprocessamento (SIG), tanto para a elaboração da carta quanto para o estudo e avaliação dos parâmetros adotados. Os resultados mostraram que os procedimentos aplicados e os produtos cartográficos gerados forneceram uma grande quantidade de informações sobre o meio físico, suas potencialidades e problemas, tendo grande aplicabilidade para o planejamento do processo de ocupação de sistemas delimitados a partir de bacias hidrográficas.
- Liporaci e Röhm (2004) apresentam os mapas geológicos e pedológicos da bacia do Rio Monjolinho, para a cidade de São Carlos (SP), na escala 1:10.000, produzidos conforme a metodologia de Zuquette com base nas *landforms* delimitadas a partir de fotografias aéreas da região de estudo. Este trabalho serviu de base para a elaboração do Plano Diretor da cidade de São Carlos/SP, contribuindo especialmente nos estudos de planejamento urbano e territorial.

2.4.2.2 Metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Davison Dias (1995)

A metodologia para mapeamento geotécnico desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS é destinada ao mapeamento de grandes áreas em solos tropicais, e foi denominada de Metodologia para Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, conforme Davison Dias (1987, 1989, 1995 e 1996). É baseada em estudos de escritório e confirmada com trabalhos de campo. Tem como produto final um único documento cartográfico com a estimativa de unidades homogêneas sob o ponto de vista geotécnico, onde os mapas litológicos, oriundo de mapas geológicos, e pedológicos são utilizados para a definição de unidades geotécnicas formadas por solos com comportamento geomecânico similar.

Como subsídio a sua metodologia, Davison Dias (1996) apresenta as vantagens do uso de Pedologia na Geotecnia. Segundo a autora, por meio de levantamentos pedológicos, pode-se ter uma estimativa dos tipos de solos que serão solicitados num problema de engenharia. Têm-se indicações da saturação do solo, da profundidade do lençol freático, da macroestrutura, da presença de minerais expansivos, das características de drenagem, da textura, das características de plasticidade, da presença de horizonte C residual próximo à superfície, da ocorrência de solos porosos permeáveis, entre outras.

Dentre as principais vantagens apontadas para o uso dos levantamentos pedológicos na metodologia proposta destacam-se:

- Servem de complemento dos levantamentos geológicos. Principalmente onde ocorrem camadas espessas de solos acima do substrato rochoso consolidado ou parcialmente intemperizado;
- Utilizando-se levantamentos de solos, podem-se obter descrições das características físicas, químicas e morfológicas dos solos pelo uso de métodos padronizados;
- As classificações pedológicas associadas às geológicas funcionam como identificadores das unidades geotécnicas.

Segundo a metodologia, as unidades geotécnicas são estimadas pela sobreposição dos mapas pedológicos e geológicos existentes e identificadas através da simbologia “XYZxyz”, onde as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica do perfil dominante,

caracterizando os horizontes A e B, enquanto as letras minúsculas xyz representam o substrato geológico, caracterizando os horizontes C, RA, R (Figura 2.8).

Valente (1999) destaca, dentre as vantagens da metodologia da UFRGS, a utilização de levantamentos existentes sobre a região e realizados por áreas conexas à Geotecnia, como a Pedologia e a Geologia. Por meio de levantamentos pedológicos são caracterizados os materiais superficiais, enquanto os estudos geológicos identificam e caracterizam os horizontes e camadas mais profundos. Por outro lado, as unidades geotécnicas estimadas pela superposição dessas informações, propiciam uma delimitação mais completa dos horizontes dos solos, o que não seria possível somente a partir de estudos pedológicos ou geológicos isoladamente.

Conforme Santos *et al.* (2001), os mapas geológicos geralmente não fornecem características dos solos residuais ou saprolíticos associados às diferentes litologias e até mesmo ignoram a existência do material de alteração. Nas regiões tropicais e subtropicais, entretanto, sua espessura pode ultrapassar 30 m e constitui material de jazida dos mais utilizados na construção de obras de terra para os mais variados fins. Nesses horizontes de solo, as propriedades dos minerais das rochas interferem no comportamento do produto final. Dessa forma, os conhecimentos de Geologia aplicados aos produtos de alteração dos minerais das rochas são de extrema importância nos estudos geotécnicos.

Depois de estimadas as unidades geotécnicas, é prevista a retirada de amostras para ensaios de laboratório dos diversos horizontes que constituem os diferentes perfis típicos de solo. É também prevista a realização de ensaios de campo simplificados para o conhecimento do comportamento geomecânico de perfis de solos. O mapa geotécnico é acompanhado de uma descrição dos perfis típicos existentes nas unidades, propiciando ao usuário uma estimativa do tipo de material a ser encontrado.

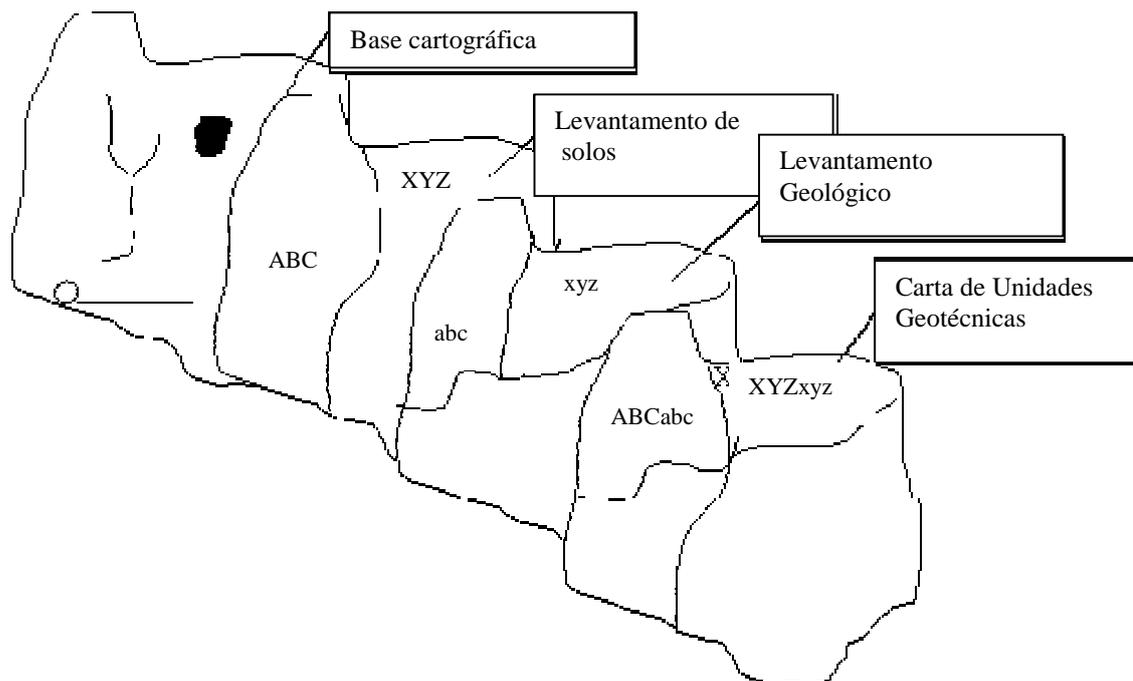


Figura 2.8: Metodologia de mapeamento geotécnico segundo Davison Dias (1995) (modificado de Bastos *et al.*, 2006).

Além dos trabalhos de Valente (1999), Higashi (2002 e 2006), Higashi *et al.* (2001), Dassoler (2002) e Bastos *et al.* (2007), citados no item 2.1.3, destacam-se ainda na aplicação da metodologia de Davison Dias (1995):

- Santos (1997) que utilizou a integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas com aplicação ao uso do solo em obras de engenharia consubstanciadas no Mapa Geotécnico do Município de Florianópolis. Para cada unidade geotécnica gerada foram indicados problemas quanto ao uso e ocupação dos solos, evidenciando a importância da consideração de condicionantes geotécnicas na prevenção de problemas de instabilidade de encostas, erosão, assoreamento, entre outros. As informações são consideradas extremamente importantes no que se refere ao planejamento urbano e à gestão territorial do município.
- Bastos (1991) apresentou um estudo do meio físico geotécnico do município de Porto Alegre visando à identificação e caracterização de unidades geotécnicas, formadas por associações de solos com características físico-morfológicas e origens semelhantes. As unidades geotécnicas foram definidas por um estudo

de escritório baseado em levantamentos geológicos, pedológicos, topográficos e geográficos e também com o auxílio de fotografias aéreas, acompanhado de uma investigação de campo com a amostragem de perfis das diferentes unidades estimadas. Para cada unidade gerada foi executada uma avaliação das características físicas (mineralogia, granulometria, plasticidade e índices físicos) e das propriedades geotécnicas (compressibilidade, colapsividade e resistência ao cisalhamento) dos solos dos principais horizontes de perfis típicos. São utilizados ensaios de caracterização, análises mineralógicas de rochas por lâminas delgadas, análises mineralógicas de argilas por meio de difratograma de raios X, ensaios de compressão confinada e ensaios de cisalhamento direto.

- Bastos *et al.* (2004) apresentam o mapeamento geotécnico para a área da abrangência do traçado da Rede de Gás Natural (Gasoduto Brasil-Bolívia) na região dos Aparados da Serra Geral, na divisa dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Foram definidas seis unidades geotécnicas com base em estudos pedológicos, geológicos e geotécnicos. O trabalho destaca a utilização deste mapeamento, juntamente com os dados de investigação laboratorial do comportamento mecânico dos principais materiais envolvidos, como subsídio as alternativas de projeto para a segurança do gasoduto.

2.4.3 Mapeamento Geotécnico Rodoviário

O emprego de metodologias de investigações geotécnicas preliminares de solos para diversas obras tem sido uma necessidade cada vez mais premente, uma vez que o mercado está mais exigente quanto ao controle de qualidade e custos das obras. No entanto, as metodologias convencionais para obras viárias têm apresentado problemas na caracterização dos solos, como é de conhecimento geral.

No manual de pavimentação do DNER (1996) os estudos geotécnicos compreendem o estudo do subleito e da ocorrência de materiais para pavimentação. O primeiro é feito com a conclusão da terraplanagem e tem como objetivo a caracterização das camadas de solos e o traçado dos perfis para o projeto do pavimento. O segundo estuda os materiais a serem usados nas camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, de acordo com o projeto.

No entanto, em nenhum momento é indicado o uso de um mapeamento geotécnico para a caracterização do meio físico.

A norma ainda utilizada (DNER, 1996) estabelece que as amostragens de solo com sondagem tipo SPT devem ser realizadas com espaçamento uniforme e pré-fixado, independente dos terrenos. Estabelecem também o emprego de ensaios clássicos de caracterização geotécnica como análise granulométrica e limites de Atterberg. Conforme Godoy *et al.* (2002) estes ensaios são inadequados para a caracterização dos principais tipos de solos que ocorrem em regiões de clima tropical. O autor destaca a economia da metodologia de obtenção de amostras de solo se baseadas no mapeamento geotécnico. A economia se deve ao fato de que há uma melhor indicação de quais tipos de solos deverão ser ensaiados, uma vez que constituirão parte integrante de aterros ou das camadas de pavimento e, descarta “a priori” os solos que terão problemas geotécnicos.

Segundo Abitante (1998), os estudos geotécnicos em rodovias ainda são executados, em sua grande maioria, com metodologias tradicionais, que possuem uma visão pontual e obtém parâmetros a partir do material destituído de sua estrutura original. Em seu trabalho baseado no mapeamento geotécnico, realizado na porção oeste do estado de Santa Catarina, mostrou que com a individualização dos solos da região de estudo em unidades geotécnicas obteve uma diminuição do coeficiente de variação dos resultados laboratoriais, permitindo uma melhor particularização do comportamento geomecânico de cada material.

Carvalho *et al.* (2000) destacam a importância da cartografia geotécnica como ferramenta para a previsão de riscos ambientais por meio de análise interativa dos parâmetros de interesse à caracterização do meio físico na área diretamente afetada pela implantação de uma obra rodoviária, a duplicação de um trecho da rodovia BR-070 no Distrito Federal. A cartografia permitiu a avaliação dos efeitos decorrentes das modificações no equilíbrio dos processos naturais e a identificação dos impactos potenciais das obras para adequação do projeto às características do meio ambiente.

Higashi *et al.* (2001) destacam que o mapeamento geotécnico, pela metodologia de Davison Dias (1995), fornece informações importantes para a implantação de um traçado rodoviário, tais como:

- Solos com caracteres hidromórficos – relacionado à capacidade de suporte de carga e drenagem: esta propriedade relata as condições que definiram a história de formação do solo. Nesta condição, o nível d'água apresenta-se bem próximo à superfície e, em função disto, é bastante comum a ocorrência de solos do tipo glei, que apresenta problemas de baixa capacidade de suporte e má drenagem.
- Presença do substrato rochoso próximo à superfície: podem representar jazidas de extração de agregados para a obra de pavimentação e/ou a necessidade de uso de explosivos na abertura do trecho.
- Solos com horizonte B profundo: nas áreas caracterizadas como latossolos, por exemplo, pode-se utilizar o horizonte B, que neste caso é bastante profundo, como material de empréstimo visando utilização nas camadas do pavimento e/ou aterro.
- Solos expansivos - solos que possuem horizontes vérticos ou horizonte C dotados de minerais expansivos: os solos que apresentam esta propriedade são, em geral, solos que ainda estão em estado de formação, influenciados pela sua mineralogia primária incipientemente alterada. Quando há presença dos chamados minerais verdes, originam-se argilas do grupo das esmectitas (2:1) (montmorilonitas, nontronitas) que têm caráter expansivo. Horizontes vérticos, presentes em Vertissolos, apresentam minerais expansivos (argilas 2:1) decorrentes do material de origem e de pedogênese específica e com isso mostram comportamento expansivo e baixa capacidade de suporte.

3 MÉTODOS DE PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os métodos utilizados na definição das unidades no mapeamento geotécnico da região de entorno a duplicação da BR 101 no trecho entre os municípios de Torres e Osório, no Rio Grande do Sul, assim como na elaboração do Sistema de Informações Geográficas (SIG) voltado ao armazenamento e gerenciamento de dados geotécnicos, de projeto rodoviário e informações do meio ambiente. A Figura 3.1 apresenta um fluxograma da metodologia adotada que é descrita a seguir.

3.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

A metodologia adotada para a obtenção das unidades geotécnicas para a área de estudo foi desenvolvida pelo LAMGEO-UFRGS/UFSC (Laboratório de Mapeamento Geotécnico e Comportamento de Grandes Áreas), publicada em Davison Dias (1995), apresentada no capítulo anterior como metodologia da UFRGS. Esta metodologia, largamente aplicada no sul do Brasil, baseia-se no cruzamento de dados geológicos e pedológicos para definição de unidades de mapeamento de solos com esperado comportamento geotécnico similar. O uso de ferramentas de geoprocessamento aperfeiçoa a aplicação desta metodologia no cruzamento dos dados e viabiliza uma base cartográfica própria para a implementação de um SIG destinado ao armazenamento e gerenciamento de informações geotécnicas. A Figura 3.2 esquematiza a metodologia do LAMGEO associada ao uso de ferramentas de geoprocessamento aplicada ao estudo de uma rodovia.

Deve-se destacar que os resultados da aplicação da metodologia do LAMGEO estão condicionados às peculiaridades do meio físico da área alvo de estudo, as quais são apresentadas no capítulo seguinte. Em função da complexidade de deposição dos substratos geológicos, e da nomenclatura adotada pela Geologia, foi feita uma simplificação da simbologia nos mapas geotécnicos, como apresentado no Capítulo 5. As várias etapas no

método de trabalho utilizadas na definição da carta de unidades geotécnicas estão ilustradas na Figura 3.3. Um breve relato destas etapas é apresentado a seguir.

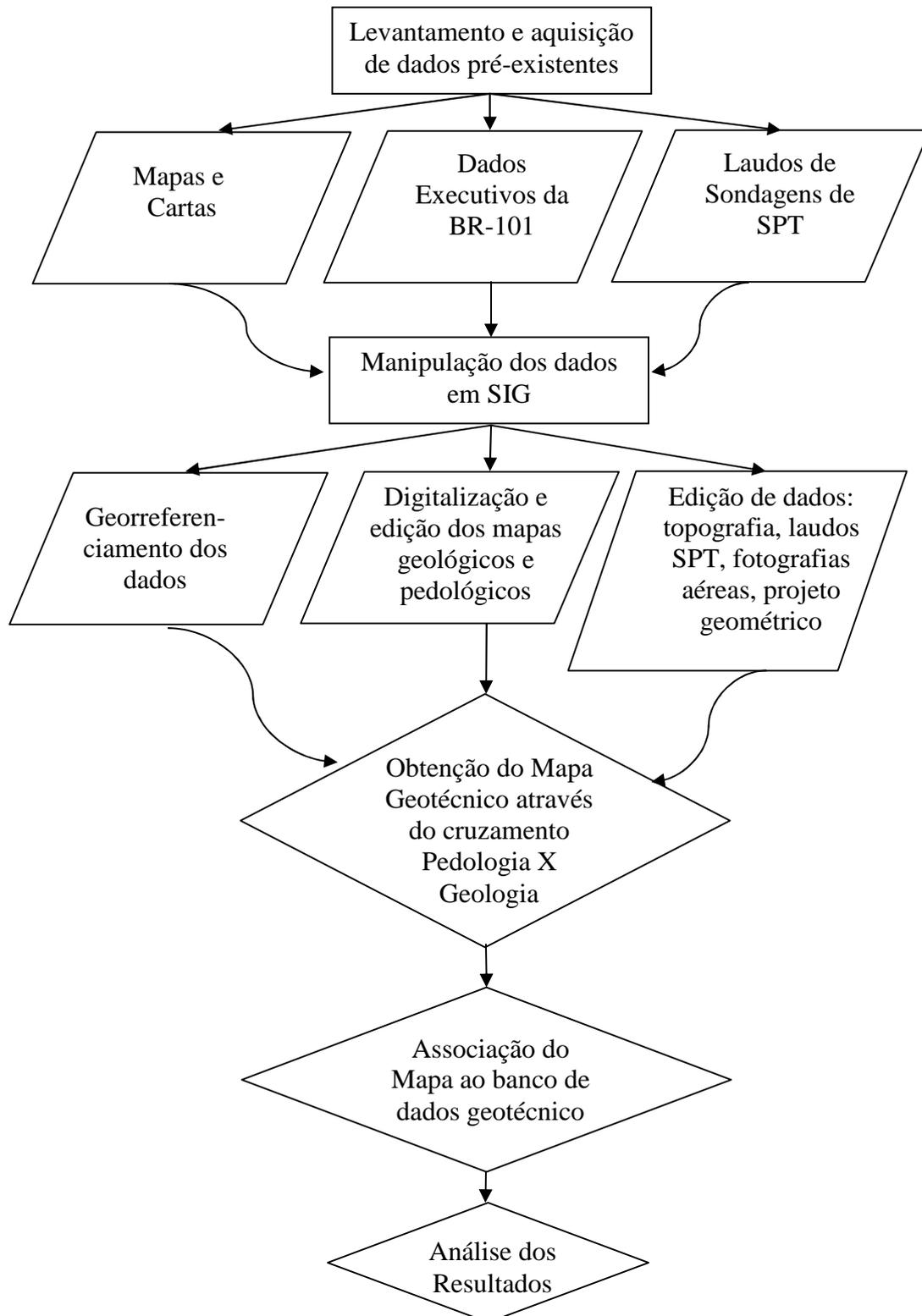


Figura 3.1: Fluxograma representando o método de trabalho.

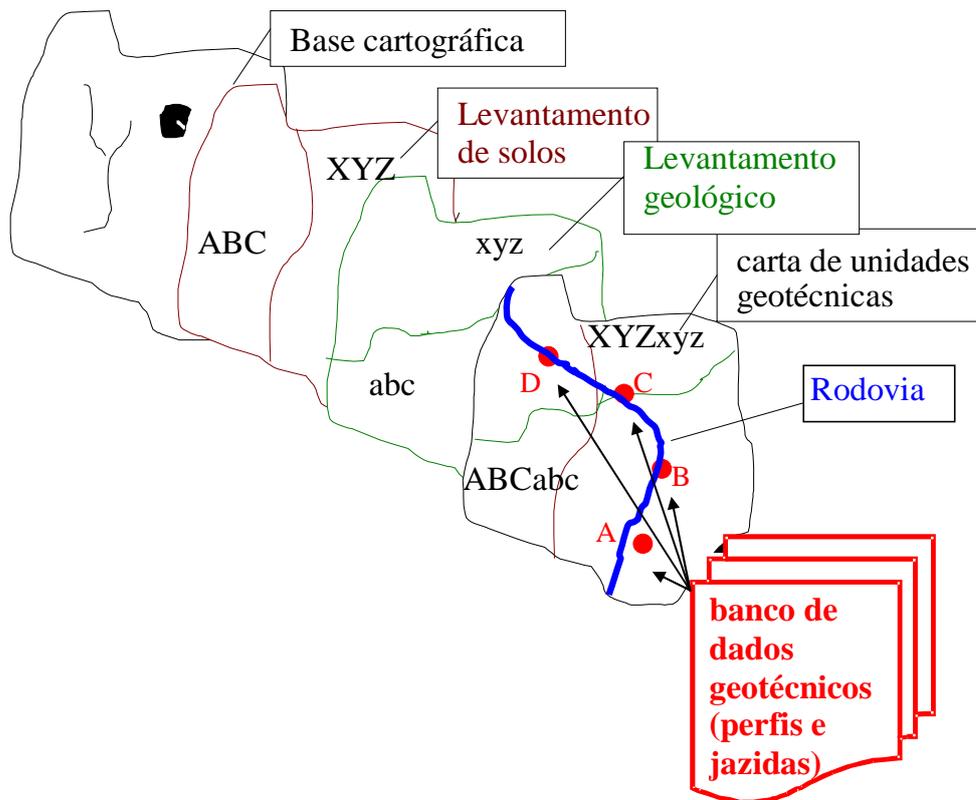


Figura 3.2: Esquema metodológico do mapeamento geotécnico aplicado a obras rodoviárias (modificado de Bastos *et al.*, 2006).

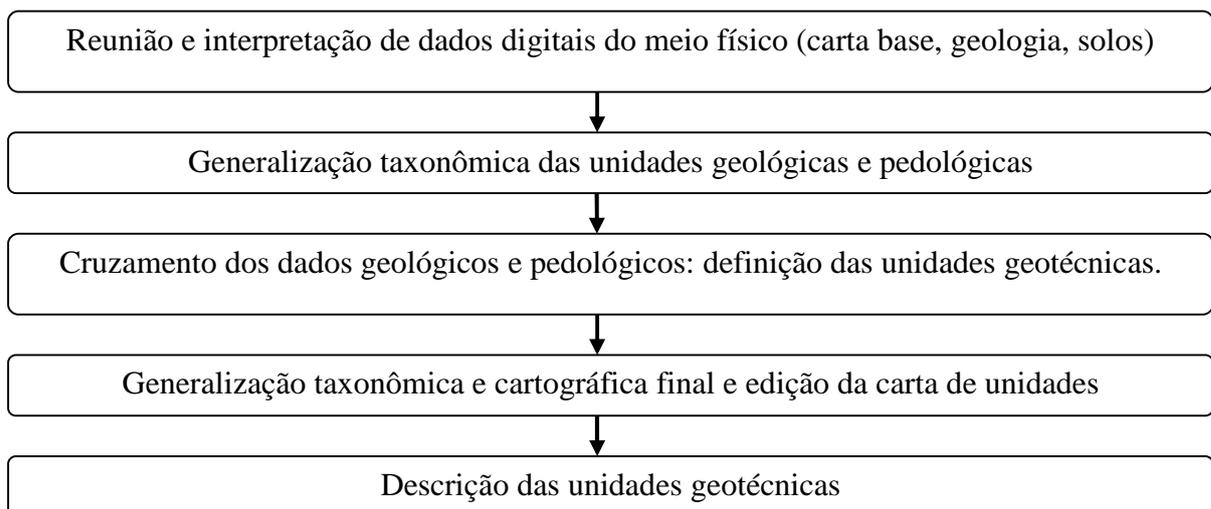


Figura 3.3: Esquema ilustrando etapas na aplicação da metodologia LAMGEO de mapeamento geotécnico.

3.1.1 Reunião, interpretação e tratamento dos dados digitais do meio-físico

Primeiramente foi definida uma base cartográfica digital para a área de estudo, assim como, foram reunidas informações sobre a geologia (litologia), a pedologia e de dados do empreendimento rodoviário na área de estudo. A base cartográfica adotada foi definida com base nas cartas geográficas do Exército e a partir delas foi possível o georreferenciamento dos demais dados. As Cartas do Exército que compõem a área de estudo são:

- Maquiné: SH-22-X-C-V-2;
- Três Cachoeiras: SH-22-X-C-III-3 e MI2956/3;
- Torres: SH-22-X-C-III-4 e MI2956/4;
- Tramandaí: SH-22-X-C-V-4 e MI2972/4;
- Osório: SH-22-X-C-V-3 e MI2972/3;
- Arroio Teixeira: SH-22-X-C-VI-1.

Estas cartas apresentam-se na escala de 1:50.000, publicadas em 1979 e 1980. As cartas foram fornecidas em formato digital pelo professor Elvio Giasson, da Escola de Agronomia da UFRGS e pelo professor Heinrich Hasenak do Centro de Ecologia da UFRGS, foram inseridos no programa ArcGis[®] 9.0 e georreferenciados. Com estes dados, foi composto o mosaico de cartas da região e a partir desta base foram digitalizadas as curvas de nível.

Os mapas de geologia da região utilizados neste estudo foram produzidos pelo Centro de Estudos Costeiros da UFRGS (CECO) para a Planície Costeira do RS, na escala de 1:100.000. Os três mapas geológicos que compõem a área de estudo são:

- Maquiné – Arroio Teixeira (CECO, 1995);
- Osório – Tramandaí (CECO, 1995);
- Três Cachoeiras – Torres (CECO, 1995).

Os mapas utilizados foram escandidos e georreferenciados usando o sistema de projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM), conforme as Cartas do Exército da região. As unidades geológicas foram digitalizadas sobre os mapas digitalizados utilizando o programa

ArcGis® 9.0. A digitalização destas unidades se deu em forma de linha no modo vetorial, em função da facilidade do programa em gerar polígonos a partir de um vetor de linhas.

Quanto ao mapa pedológico da região, foi utilizada a carta de solos do litoral norte do Rio Grande do Sul, publicada pela Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul (FEE), na escala de 1:100.000. Foram fornecidos os arquivos com os mapas em modo raster pelo professor Elvio Giasson, da Escola de Agronomia da UFRGS. A estes dados foram aplicados os mesmo método utilizado na digitalização das unidades geológicas descritos no parágrafo anterior.

Os dados do empreendimento rodoviário, como projeto geométrico, topografia no entorno da rodovia, ortofotografias, fotos aéreas, fotos diversas obtidas do trecho ao longo do período construtivo e os dados de sondagens, foram georreferenciados e implantados no banco de dados.

Utilizando o programa ArcGis® 9.0, pode-se produzir um Modelo Numérico do Terreno (MNT) a partir dos dados topográficos fornecidos pelo projeto, juntamente com os dados de curvas de nível obtidas com a digitalização das Cartas do Exército. O MNT gerado foi utilizado para representar o relevo encontrado na região.

Devido às diferenças nas bases cartográficas das cartas geológica e pedológica, editadas em meio digital, foram corrigidos os limites das unidades pedológicas em função das unidades geológicas, utilizando para tal fim um sistema de CAD. Após foram gerados os planos de informações geológicas e pedológicas no programa ArcGis® 9.0 em *layers* de polígonos.

Concluídas estas etapas cartográficas, foram interpretadas, sob o ponto de vista geotécnico, as características litológicas das unidades geológicas e as características físicas e morfológicas dos perfis das unidades pedológicas de solos.

3.1.2 Generalização taxonômica das unidades geológicas e pedológicas

A interpretação dos dados geológicos e pedológicos permitiu que fossem realizadas generalizações taxonômicas nas respectivas cartas, isto é, classes geológicas e pedológicas cuja diferenciação não apresentavam relevante significado geotécnico foram agrupadas.

3.1.3 Definição das unidades geotécnicas

Seguindo a metodologia do LAMGEO, o cruzamento das cartas geológica e pedológica foi realizado, utilizando para tal o programa ArcGis[®] 9.0. Cada unidade obtida foi analisada, e descrita com base nas informações dos mapas cruzados. Com base nos dados das sondagens também foram feitas interpretações do comportamento dos solos em campo, analisando o N_{SPT} .

Em seguida, comparou-se o mapa obtido com o MNT para a verificação das delimitações das unidades com o uso de ferramentas de geoprocessamento. Esta verificação foi visual, através da sobreposição do mapa geotécnico produzido com a delimitação obtida das feições de relevo, para a área e encosta. A partir destes procedimentos, foram definidas as unidades geotécnicas para a região de estudo, conforme apresentado no Capítulo 5.

3.1.4 Generalizações cartográfica e taxonômica e edição final da Carta de Unidades Geotécnicas

Conforme Streck *et al.* (2002), o nível de detalhe de um levantamento de solos de uma região depende da escala e do objetivo para o qual o levantamento foi produzido. Para a escala utilizada nesta dissertação, de 1:100.000, a área mínima mapeável considerada é de 40 hectares.

Para a edição final da Carta de Unidades Geotécnicas foram realizadas duas novas generalizações: (a) cartográfica - foi realizada uma supressão das unidades de diminuta representação espacial, com base no conceito de área mínima mapeável e (b) taxonômica - foram agrupadas as unidades taxonômicas quando sua diferenciação era dispensável sob o ponto de vista geotécnico. Esta segunda etapa, no entanto não foi significativa, já que com a análise de muitos dados sobre o comportamento dos solos, as diferenças entre as unidades previamente definidas acabaram sendo importantes na definição final das Unidades Geotécnicas.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DE UM SIG DE DADOS GEOTÉCNICOS

A Carta de Unidades Geotécnicas obtida serviu de base cartográfica para a construção de um Banco de Dados Geotécnicos, envolvendo os solos presentes nos terrenos ao longo da obra e

do seu entorno. Foram lançados nesta base, dados de investigações de perfis e de jazidas de solos, georreferenciados em campo com auxílio de um GPS (*Global Positioning System*) de navegação.

Para a confecção do banco de dados de sondagens SPT foram digitalizados 167 perfis de sondagens. Para que todos os dados das sondagens tivessem a mesma padronização os dados foram digitados em uma planilha modelo no programa Excel[®]. Em seguida foram produzidas arquivos de imagens no formato “jpg” da planilha modelo, sendo estas incorporadas ao banco de dados.

É importante ressaltar que, além de dados geotécnicos de sondagens SPT fornecidos pelas empresas responsáveis pela execução do projeto rodoviário, este banco de dados também é composto por dados de projeto geométrico da estrada, dados topográficos (curvas de nível), aerofotos, fotos aéreas oblíquas e fotos diversas obtidas do trecho ao longo do período construtivo de todo o trecho duplicado.

4 ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são descritos os principais dados relativos à área de estudo, como localização, importância econômica da rodovia, dados climáticos e ambientais da região. A seguir apresentam-se descrições da geomorfologia, da geologia e da pedologia da região, que são de grande importância para o desenvolvimento do mapeamento geotécnico proposto.

4.1 DESCRIÇÃO GERAL

A área de estudo desta dissertação de mestrado localiza-se no entorno da rodovia BR101 no trecho entre Torres e Osório no estado do Rio Grande do Sul, ao longo do trecho de duplicação da rodovia (Figura 4.1), tendo como limites para o mapeamento geotécnico uma faixa de dez quilômetros para cada lado, direito e esquerdo, do eixo da rodovia. Estes limites arbitrários foram adotados para permitir uma visão ampliada da área do empreendimento.

Esta obra de duplicação rodoviária tem uma extensão total de 88,5 km, no trecho entre Osório e Torres no estado do Rio Grande do Sul, gerando 4.000 empregos diretos e 15.000 empregos indiretos. No estado gaúcho esta obra atravessa sete municípios, abrangendo uma população de 350.000 habitantes. A duplicação da BR101/RS está dividida em quatro grandes lotes (Figura 4.1), que estão sendo executados pelas seguintes empresas: Construtora Triunfo, Queiroz Galvão e Consórcio Construcap/Modern Ferreira Guedes. A Tabela 4.1 apresenta as demarcações destes lotes e quantifica as obras de arte que estão sendo construídas em cada um, conforme DNIT (2007).

A BR101/RS, de Osório a Torres, desenvolve-se entre a Serra Geral e o mar, em região predominantemente plana a levemente ondulada, propícia à exploração agrícola e pecuária que lá é desenvolvida. A BR101/RS é de grande importância econômica para o sul, pois esta rodovia é a passagem para o transporte de longo curso entre o centro e o sul do país, agora ainda mais incrementado pelo crescente intercâmbio com os países integrantes do Mercosul.

Nos meses de verão a rodovia se constitui também em rota privilegiada no acesso às praias das costas catarinense e gaúcha, desempenhando papel relevante no desenvolvimento do turismo.

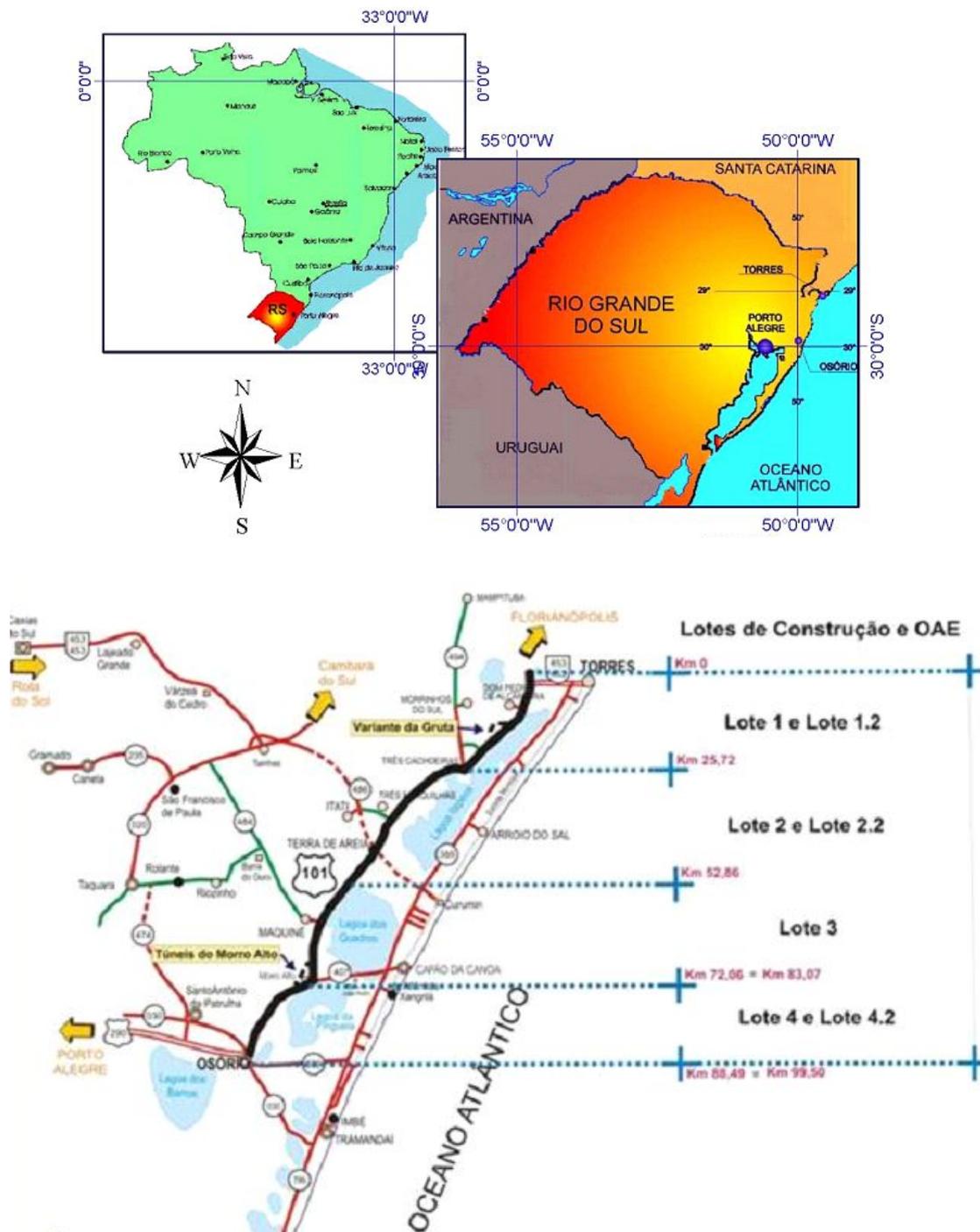


Figura 4.1: Localização da área de estudo (modificado de DNIT, 2007).

Tabela 4.1: Principais características dos lotes da rodovia BR101/RS (modificado de DNIT, 2007).

Lote	Trecho	Extensão	Obras de Arte					
			Pontes	Viadutos	PIP*	PIV**	Passarelas	Túneis
1	km 0 – km 25,72 Rio Mampituba – Três Cachoeiras	25,72 km	3	9	1	-	-	-
2	km 25,72 – km 52,86 Três Cachoeiras – Rio Sanga Funda	27,14 km	4	6	3	3	1	-
3	km 52,86 – km 72,06 Rio Sanga Funda – Interseção RS-407	19,20 km	3	5	-	-	-	2
4	km 72,06 – km 88,50 Interseção RS407 – Interseção BR290	16,44 km	-	2	-	-	4	-

* Passagens Inferiores de Pedestres. ** Passagens Inferiores de Veículos

Os principais benefícios resultantes da duplicação desta rodovia, conforme DNIT (2007), são:

- Redução do número de acidentes com ou sem vítimas e do custo operacional no trecho Divisa SC/RS – Osório/RS;
- Redução do tempo de viagem com seus efeitos positivos sobre a saúde (estresse dos usuários) e a logística de transportes;
- Aumento da segurança no tráfego e durabilidade dos veículos;
- Melhoria no fluxo e velocidade de tráfego com efeitos sobre a diminuição no consumo de combustível e menor emissão de poluentes atmosféricos;
- Aquecimento do comércio e da indústria, principalmente a turística nos balneários e estâncias serranas atravessados ou acessados através da BR101 SC/RS.

A BR101/RS insere-se integralmente na região litorânea do Rio Grande do Sul. A estrada se desenvolve entre o sopé das escarpas da Serra Geral e uma série de lagoas litorâneas da Planície Costeira, salientando-se as seguintes lagoas existentes na área de estudo: do Peixoto, Caconde, das Traíras, do Lessa, da Pinguela, do Palmital, Negra, do Ramalhete, dos Quadros, Boa Vista, do Itapeva, do Morro do Forno e do Jacaré. Esta situação geográfica entre as

montanhas e as lagoas faz com que a rodovia transponha sucessiva ou até simultaneamente, áreas de tálus, colúvios e solos moles, daí advindo os mais variados problemas geotécnicos peculiares a tais condições (DNER, 2001).

O clima regional é subtropical úmido, com temperatura amenizada pela proximidade do mar e das grandes massas de água interiores, constituídas pelas lagoas. A temperatura média anual é de 19,7°C, cabendo ao mês de fevereiro a mais elevada média (24,3°C), e ao mês de julho a mais baixa (15,1°C). A média anual da umidade relativa do ar é de 79%, onde as médias mensais variam de 75% (nov/dez) a 82% (março). A média anual de precipitação pluviométrica é de 1.653,7 mm, com 123 dias de chuva por ano, em média. A ocorrência de chuva se dá em todos os meses, com equilíbrio das quantidades precipitadas. Observa-se, contudo, dois períodos com maiores médias, que compreendem os meses de janeiro a março e de agosto a outubro (DNER, 2001). A incidência de ventos com elevada intensidade é um fator climático de relevância, predominando os dos quadrantes sudeste/nordeste, devido à ação da massa tropical atlântica, com velocidade média entre 3 m/s e 5 m/s.

As encostas naturais da Serra Geral apresentam intensa vegetação, remanescente da Mata Atlântica, e a presença de grandes plantações de bananeiras na parte inferior das encostas. Os cursos d'água da região integram a bacia do Atlântico Sul, denominada de sub-bacia 87 (inventário da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 1998). Todos os cursos d'água deságuam nas lagoas litorâneas, típicas da orla marítima, como as lagoas dos Quadros, do Itapeva, do Peixoto, do Ramalhete e da Pinguela. O regime torrencial é característico desses cursos d'água que, devido à incidência dos ravinamentos das encostas, resulta em grande quantidade de obras para passagem da água sob a estrada. Quanto à hidrografia na região há cinco rios de maior porte que são: Maquiné, Sanga Funda, Três Forquilhas, Cardoso e Mampituba.

4.2 GEOMORFOLOGIA

Duas grandes regiões geomorfológicas integram a Província Costeira do Rio Grande do Sul, a das Terras Altas e a das Terras Baixas (CECO, 1995). As Terras Altas agrupam o Escudo Sul-Rio-Grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto da Serra Geral. A Planície Costeira e Plataforma Continental constituem as Terras Baixas. Na área de estudo, a região

denominada Terras Altas é representada apenas pelo Planalto da Serra Geral e a região Terras Baixas pela Planície Costeira.

O Planalto da Serra Geral limita-se a leste diretamente com a Planície Costeira. O contato entre duas regiões ocorre através de um escarpamento abrupto, com desníveis de até 1.000 m, com um paredão rochoso de facetas triangulares. As formas de relevo desta região foram esculpidas especialmente capeando as rochas efusivas básicas que correspondem, geralmente, aos relevos mais condensados desta região geomorfológica. Em áreas mais restritas, os modelados de dissecação do relevo se desenvolvem em rochas efusivas ácidas, geralmente resultando em formas de relevo mais dissecadas. Outras vezes, posicionadas nas partes basais das vertentes escarpadas que ocorrem nas bordas desta região geomorfológica, as formas de relevo desenvolvem-se em arenitos da Formação Botucatu (IBGE, 1986).

A Planície Costeira no litoral norte gaúcho apresenta uma compartimentação geomorfológica que engloba a Barreira Múltipla Complexa que corresponde à faixa de terra que se estende entre o Planalto da Serra Geral e o Oceano Atlântico (CECO, 1995). Ela consiste de uma sucessão de terraços bastante aplainados, intercalados com depressões alongadas, ocupadas por lagunas, lagos e pântanos em diferentes estágios evolutivos. O conjunto é composto por três sistemas do tipo laguna/barreira adicionados à Planície Costeira no decorrer dos três últimos grandes ciclos de variação do nível do mar. Depósitos praias e eólicos transitórios se interdigitam com depósitos lagunares, lacustres, paludiais, fluviais e deltáicos. Esta seqüência de deposição foi em muitos casos retrabalhada ou erodida em eventos posteriores criando um complexo sistema de deposição de solos.

Segundo IBGE (1986), a Planície Costeira no litoral norte gaúcho pode ser dividida em duas regiões geomorfológicas: a Planície Costeira Interna e a Planície Costeira Externa. Na região de estudo encontra-se apenas a Planície Costeira Interna, que constitui uma área baixa, dominada por modelados esculpidos em depósitos de origem continental, ocorrendo em pequenos trechos os modelados derivados do remanejamento eólico, originando as dunas atuais. Esta região geomorfológica divide-se em duas unidades: a Planície Lagunar e a Planície Alúvio-Coluvionar.

A unidade geomorfológica da Planície Lagunar corresponde às grandes lagoas, topograficamente relacionadas com rochas mais antigas. As três principais lagoas são: dos Quadros, dos Barros e Itapeva. A Lagoa dos Quadros apresenta um formato transversal bem

estabelecido: inclinada próximo das margens e achatada no fundo. Ao sul e a noroeste aflora o arenito Botucatu, encontrando-se basaltos ao norte. As lagoas dos Barros e Itapeva são os grandes lagos bordejados por basalto da Serra Geral e arenito Botucatu.

A unidade geomorfológica da Planície Alúvio-Coluvionar corresponde à superfície reta, rampeada suavemente para leste, em alguns trechos descontínua, posicionada entre a Planície Lagunar a leste e o relevo da região geomorfológica do Planalto da Serra Geral. O seu posicionamento espacial possibilita enquadrá-la, do ponto de vista de origem da deposição, como área de transição entre influências continental e marinha. Nas áreas de influência continental predominam os modelados planos ou embaciados, resultantes da convergência de leques coluviais de espreadamento, cones de dejeção ou concentração de depósitos de enxurradas nas partes terminais de rampas de pedimentos, com características de interdigitação típicas. Ocorrem ainda formas de topo plano ou baixos tabuleiros. Esta unidade geomorfológica em termos de características de formações superficiais apresenta, na área de estudo, um material grosseiro, heterimétrico, misturado com finos, provenientes da área escarpada da Serra Geral.

4.3 GEOLOGIA

A geologia da área de influência da obra da BR101/RS pode ser analisada segundo as duas grandes unidades geomorfológicas: as encostas do Planalto da Serra Geral e a Planície Costeira.

4.3.1 Geologia das encostas do Planalto da Serra Geral

As encostas do Planalto Sul-Rio-Grandense são formadas por rochas sedimentares e derrames vulcânicos que integram o Grupo São Bento, o qual é constituído pelas formações Rosário do Sul, Botucatu e Serra Geral. No trecho da duplicação da BR101/RS em estudo ocorrem apenas as duas últimas formações.

4.3.3.1 Formação Botucatu (J_b)

A Formação Botucatu aflora no estado gaúcho de forma mais restrita do que os basaltos da Formação Serra Geral. Os arenitos eólicos desta formação ocorrem ao longo de uma faixa

leste-oeste, desde o município de Torres até Jaguari, onde infletem para o sul, estendendo-se em território brasileiro até Santana do Livramento (Shreder *et al.*, 2000).

Segundo Shreder *et al.* (2000), a idade da Formação Botucatu no estado é praticamente a idade dos derrames vulcânicos, tendo as dunas eólicas preservadas sido desenvolvidas no máximo algumas centenas de milhares de anos anteriormente ao vulcanismo da Formação Serra Geral. Portanto, no extremo sul da Bacia do Paraná, a Formação Botucatu tem cerca de 132 milhões de anos, correspondendo ao período Jurássico no Mesozóico.

A Formação Botucatu é constituída por arenitos quartzosos avermelhados que cobrem uma importante área nos municípios de Osório e Torres. São arenitos de granulometria variável entre fina e média, podendo mostrar-se feldspáticos (com microclínio e plagioclásio). Os feldspatos se alteram para argila caulinítica e esta, muitas vezes, está associada a óxido de ferro e sílica formando o material cimentante do arenito (IBGE, 1986). A estrutura principal do arenito Botucatu é a estratificação cruzada de grande porte característica de sua origem eólica.

As formas geomorfológicas mais comuns apresentadas pela Formação Botucatu são as cuestras e colinas arredondadas. As cuestras são dissimétricas, algo inclinada e interrompida pela erosão, formando um declive suave e reverso e um corte íngreme na chamada frente de cuestra. Colinas arredondadas ocorrem próximo ao rio Mampituba e às lagoas Jacaré e Itapeva, mantendo-se isoladas e circundadas por areias do Quaternário. Secundariamente, os arenitos silificados da Formação Botucatu podem dar origem a morros testemunhos e contribuir na formação dos relevos escalonados no contato dos derrames basálticos com o arenito.

Os perfis de solos formados sobre os arenitos podem ser da unidade dos Neossolos Litólicos ou apresentarem horizonte B textural e argila de atividade baixa (Argissolos da unidade Bom Retiro). Um caso especial, o qual não ocorre na região mapeada, são os Chernossolos com argilas de atividade alta da unidade Vila (FEE, 1979).

4.3.3.2 Formação Serra Geral (β)

No Rio Grande do Sul, mais da metade da área do estado é recoberta por um pacote vulcânica de derrames basálticos sobrepostos ou intercalados com unidades ácidas que constituem a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná (Roisenberg e Viero, 2000). Estes derrames vulcânicos recobrem discordantemente os arenitos da Formação Botucatu, constituindo

escarpas que correspondem ao limite interno da Planície Costeira, ao longo de todo o trecho entre as cidades de Torres a Osório.

Quanto à origem destas rochas vulcânicas, é admitida a ascensão e efusão de lavas através de fraturas de tensão de grande extensão relacionadas à derivação continental, formando derrames tabulares empilhados sub-horizontalmente, apresentando espessuras individuais bastante variáveis, entre 10 m e 60 m tipicamente. Uma outra característica marcante é a seqüência topográfica em escada, distinguindo os sucessivos derrames. Segundo Roisenberg e Viero (2000), dados geocronológicos precisos revelam que o pacote vulcânico da Bacia do Paraná foi gerado num período máximo de 138 a 128 milhões de anos.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral compreendem basaltos e riolitos, salientando-se que no trecho da duplicação ocorrem somente rochas basálticas. Os basaltos são constituídos essencialmente por plagioclásios e clinopiroxênios. Os basaltos inalterados apresentam cor preta ou cinza escura, e as rochas mais ácidas apresentam coloração cinzenta mais clara.

Conforme IBGE (1986), as feições estruturais típicas de derrames fissurais são observadas: zonas centrais com disjunção vertical, zonas de contato com disjunção horizontal e zonas vesiculares ou amigdalóides no topo. Nos derrames mais espessos, a zona central tem estrutura maciça, microcristalina, fraturada por juntas subverticais de contração, dividindo a rocha em colunas. Na porção superior o derrame apresenta vesículas e amígdalas alongadas horizontalmente, com maior porcentagem vítrea de rocha. As amígdalas são parcial ou inteiramente preenchidas por calcedônia, quartzo, calcita, zeolitas e nontronita. Tanto nas porções basais como no topo dos derrames ocorrem juntas horizontais, o que seria devido ao escoamento laminar da lava no interior dos derrames.

A forma de terreno desenvolvida nas rochas vulcânicas, predominante na área de estudo, são as escarpas marginais aos derrames. As escarpas marginais apresentam desníveis significativos, atingindo aproximadamente 1.000 m, como é o caso do vale do rio Três Forquilhas, sendo caracterizadas por escarpas escalonadas dos derrames. A parte inferior das escarpas marginais atinge o arenito Botucatu que está presente nas porções basais das encostas e as terras baixas dos sedimentos quaternários. Existem no trecho diversos morros testemunhos de rochas vulcânicas e arenitos preservados. Um dos agentes mais importantes pela dissecação e recuo das escarpas é a rede de drenagem, geralmente associada às linhas de

fraqueza e de orientação estrutural. Nas bacias dos rios Maquiné e Três Forquilhas observa-se o maior recuo da escarpa.

Rampas de colúvio são presentes e correspondem a superfícies de pequena inclinação situadas entre os depósitos planos aluviais e lagunares da Planície Costeira e os depósitos de talus que marcam o início dos declives mais íngremes das encostas.

Os produtos de intemperismo do basalto apresentam grande variação de comportamento e granulometria variando desde rochas alteradas até solos argilosos, com ou sem presença de matações imersos na massa, passando por solos de textura granular, muito utilizados como material de construção, conhecidos como “saibros”. Sobre os basaltos e outras rochas vulcânicas associadas, encontram-se solos com horizonte B textural e argila de atividade alta (Chernossolos da unidade de mapeamento Ciríaco), em associação com solos litólicos eutróficos (Neossolos Litólicos da unidade Charrua).

4.3.2 Geologia da Planície Costeira

O registro sedimentar do Quaternário no Rio Grande do Sul encontra-se preservado, na sua forma mais completa, na Bacia de Pelotas, uma bacia marginal aberta desenvolvida no extremo sul da margem continental brasileira. A porção mais superficial e proximal do pacote sedimentar da Bacia de Pelotas encontra-se exposta na Planície Costeira do Rio Grande do sul, uma área de terras baixas que, cobrindo cerca de 33.000 km², constitui a mais ampla planície litorânea do território brasileiro (Tomazelli e Villwock, 2000).

A Planície Costeira cresceu, durante o Quaternário, pelo desenvolvimento de um amplo sistema de leques aluviais, situado em sua parte mais interna próximo às áreas fontes, e do acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira. Cada barreira se instalou, provavelmente, nos máximos eventos transgressivos alcançados durante os maiores ciclos glácio-eustáticos do Quaternário. Estas barreiras foram responsáveis pela formação dos corpos lagunares característicos da região.

Com exceção do extremo norte do litoral junto a Torres, onde afloram arenitos da Formação Botucatu e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, a morfologia de praia arenosa baixa caracteriza a linha de costa do litoral gaúcho.

Os trabalhos mais recentes, realizados pelo CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS – CECO, 1995), resultaram em uma nova proposta de mapeamento geológico, com uma abordagem em termos de Fácies Sedimentares agrupadas em Sistemas Depositionais. Nesta ótica, as fácies sedimentares da Planície Costeira passaram a ser entendidas como produto de processos de acumulação desenvolvidos em ambientes pertencentes, basicamente, a dois sistemas deposicionais: sistema de leques aluviais e sistema tipo laguna-barreira. A natureza litológica de cada uma das fácies acumuladas nestes dois sistemas deposicionais é determinada, por um lado, pelos processos internos, específicos de cada sistema e, por outro, pelos processos externos representados pelas variações climáticas e pelas flutuações do nível do mar durante o Quaternário (Tomazelli e Villwock, 2000).

Na área de estudo, traçado da atual BR101/RS no trecho Torres – Osório, encontram-se representantes dos seguintes sistemas deposicionais: Subsistema de leques aluviais alimentados pelo Planalto; Sistema Laguna-Barreira III e Sistema Lagunar IV.

4.3.2.1 Subsistema de leques aluviais alimentados pelo Planalto (Q₄)

O subsistema de leques aluviais associado às encostas do Planalto da Serra Geral ocupa a parte interna da Planície Costeira na sua porção norte. As fontes de materiais são constituídas pelas rochas sedimentares e vulcânicas da Formação Serra Geral, de relevo acentuado, que atinge altitudes da ordem de 1.000 m. Como resultado, a fácies gerada é de natureza predominantemente lítica (fragmentos de rocha) e de granulometria mais grossa, refletindo um predomínio de processos deposicionais gravitacionais subaéreos sobre os subaquosos. Como produto destes processos gravitacionais, especialmente do fluxo de detritos, é comum a ocorrência de conglomerados suportados por uma matriz lamítica e que, não raro, envolve clastos de rochas sedimentares, principalmente arenitos da Formação Botucatu e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, com diâmetros equivalentes superiores a 1 m (Tomazelli e Villwock, 2000).

Estes depósitos grossos e imaturos iniciaram ainda no Terciário e evoluíram, ao longo do Quaternário, numa taxa controlada pelas oscilações climáticas que ocorreram nesse intervalo de tempo. Os mais importantes episódios deposicionais transcorreram nas fases climáticas mais áridas, quando o pouco desenvolvimento da cobertura vegetal favorecia a ocorrência, ao longo das encostas, de fluxo de detritos. Durante períodos climáticos mais úmidos, as formas originais de leques aluviais foram suavizadas, resultando, no final, na formação de rampas

que ficam bordejando as formações sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná. Estes episódios de fluxo de detritos continuam ocorrendo na região ainda hoje, sendo que alguns deles têm proporções desastrosas (Tomazelli e Villwock, 2000).

Na região de estudo, encontramos depósitos gravitacionais de encosta holocênicos do tipo tálus e colúvios. Litologicamente são formados por conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. Os perfis de solos formados sobre estes depósitos gravitacionais são Chernossolos da unidade Ciríaco e Cambissolos da unidade Jacinto Machado.

4.3.2.2 Sistema Laguna-Barreira III (Qbd₃ e Qbc₃)

A partir do sistema de leques aluviais no contato com as terras altas do Planalto acima descrito, a Planície Costeira progradou para leste através da coalescência lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira”. Cada um destes sistemas registra um pico de transgressão do mar, seguida de um evento regressivo.

Na área de estudo, no trecho Torres-Osório da BR101, observa-se a ocorrência de feições deposicionais do Sistema Laguna-Barreira III (ou simplesmente Barreira III), encontrando-se estas apoiadas na base da escarpa da Serra Geral onde, inclusive, se interdigitam com tálus e outros depósitos de encosta pertencentes ao Sistema de Leques Aluviais descrito no item anterior. Tal fato indica que no pico transgressivo relativo à Barreira III a linha de costa atingia diretamente a escarpa da Serra Geral.

Estudos detalhados das estruturas sedimentares mostraram que a Barreira III é constituída por fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostas numa sucessão vertical, claramente indicativa de um processo de sucessão praial regressivo datado do Pleistoceno (Tomazelli e Villwock, 2000). Foi observado também que o nível maior de tubos fósseis corresponde a um nível do mar cerca de 8 m acima do atual.

Na área de estudo tem-se a ocorrência de depósitos marinhos praias (Qbc₃), constituídos por areias quartzosas finas, claras, bem selecionadas com estratificações bem desenvolvidas. Sobre elas se formam predominantemente perfis pedologicamente classificados como Argissolos da Unidade Osório.

Os depósitos eólicos de dunas litorâneas (Qbd₃), constituídos por areias quartzosas, finas a médias, castanho-avermelhadas, bem arredondadas e selecionadas, apresentam, em geral, uma coloração mais avermelhada e um aspecto maciço, tendo sido sujeitas a processos de pedogênese que levam à formação de perfis de Argissolos da unidade Itapoã. Algumas vezes estes depósitos apresentam-se bioturbados por raízes e, comumente, intercalam níveis centimétricos de paleossolos. Em vários locais ao longo da Barreira III a remoção da cobertura vegetal (por processos naturais ou antrópicos) possibilitou a reativação dos processos eólicos. Estas areias, reativadas pelo vento dominante (proveniente de NE), migram no sentido SW, em geral sob a forma de dunas parabólicas.

As características gerais dos sedimentos da Barreira III permitem correlacioná-los aos depósitos arenosos marinhos descritos em outras partes do litoral brasileiro e relacionados com a chamada Transgressão Cananéia. Datações atribuíram a estes depósitos uma idade de cerca de 120 mil anos (Tomazelli e Villwock, 2000).

4.3.2.3 Sistema Lagunar IV (Qp₄, Qf₄, Qd₄, Qc, Qbc₄ e Qbd₄)

O espaço de retrobarreira, situado entre a Barreira IV e os sedimentos pleistocênicos da Barreira III supra citados, foi ocupado durante o pico transgressivo holocênico, por grandes corpos lagunares que evoluíram para um complexo de ambientes deposicionais, acompanhando a posterior regressão da barreira.

Na região de interesse neste trabalho, estudos mostraram que o sistema é constituído por um conjunto complexo de ambientes e sub-ambientes deposicionais que incluem corpos aquosos costeiros (lagoas), sistemas aluviais (rios meandantes e canais), sistemas deltáicos (deltas flúvio-lagunares) e sistemas paludais (pântanos, alagadiços e turfeiras) (Tomazelli e Villwock, 2000).

Especificamente no traçado atual da BR101/RS, observam-se depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial (Qp₄), formados por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas; depósitos de planície e canal fluvial (Qf₄), constituídos por depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares siltico-argilosos com restos vegetais; depósitos deltaícos atuais construídos por rios nos corpos lagunares atuais (Qd₄), formados por areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais e por fim depósitos de cristas de praias lagunares (Qc), constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Sobre estes depósitos

são formados perfis de solos hidromórficos pouco desenvolvidos. A Tabela 4.2 apresenta uma síntese da geologia da região.

As estruturas sedimentares mostraram que a Barreira IV é constituída por fácies arenosas de origem praial e eólicas, dispostas numa sucessão vertical, claramente indicativa de um processo de sucessão praial regressivo datado do Holoceno (Tomazelli e Villwock, 2000). Na área de estudo tem-se a ocorrência de depósitos marinhos praias (Qbc_4), constituídos por areias quartzosas finas, claras, bem selecionadas com estratificações bem desenvolvidas. Sobre elas se formam predominantemente perfis pedologicamente classificados como Argissolos da Unidade Osório e Dunas. Os depósitos eólicos de dunas litorâneas (Qbd_4), são constituídos por areias quartzosas, finas a médias, bem arredondadas e selecionadas, reativadas pelo vento dominante (proveniente de NE), migram no sentido SW, em geral sob a forma de dunas parabólicas.

Tabela 4.2: Síntese da geologia na área de estudo.

IDADE		FORMAÇÃO/ SISTEMA DEPOSICIONAL	FÁCIES SEDIMENTAR	LITOLOGIA
Cenozóico- Quaternário 120 mil anos	Holoceno	Subsistema de leques aluviais alimentados pelo Planalto	Ql ₄ - Depósitos gravitacionais de encosta gradando para sistemas de leques aluviais e canais anastomosados	Conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados
			Sistema Lagunar IV	Qp ₄ - Depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial
		Qf ₄ - Depósitos de planície e canal fluvial		Depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares siltico-argilosos com restos vegetais
		Qbd ₄ - Depósitos deltaicos atuais construídos por rios nos corpos lagunares atuais	Areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais	
	Pleistoceno	Sistema Laguna-Barreira III	Qbc ₄ - Depósitos de cristas de praias lagunares	Areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas
			Qbd ₃ – Depósitos eólicos de dunas litorâneas	Areias quartzosas, finas a médias, castanho-avermelhadas, bem arredondadas e selecionadas
			Qbc ₃ – Depósitos marinhos praias	Areias quartzosas finas, claras, bem selecionadas
Mesozóico – Cretáceo 138 a 128 milhões de anos		β – Basaltos da Formação Serra Geral		Rochas vulcânicas toleíticas na forma de derrames, diques e sills em massas contínuas ou em corpos isolados
Mesozóico – Jurássico 132 milhões de anos		Jb - Formação Botucatu		Arenitos feldspáticos endurecidos com ferrificações e silificações e estratificação eólica

4.4 PEDOLOGIA

As classes de solos presentes na área de estudo podem ser agrupadas em solos das encostas e solos da Planície Costeira. A descrição de cada unidade de solos apresentada a seguir é baseada na descrição das unidades de solos segundo FEE (1979). Destaca-se que cada unidade de solo com seu nome regional e classificação conforme EMBRAPA (1973) foi reclassificada pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, conforme EMBRAPA (1999). Por outro lado, embora a nova classificação da EMBRAPA (1999) tenha sido utilizada, a nomenclatura antiga (EMBRAPA, 1973) apresenta uma relação mais direta com o comportamento geotécnico e, por isto, foi também utilizada.

4.4.1 Solos de encosta

Os solos de encosta foram considerados aqueles desenvolvidos sobre materiais originados do intemperismo das rochas das Formações Serra Geral e Botucatu e também dos sedimentos gravitacionais e aluviais. As classes de solos de encosta encontrados na área são: Pituva, Ciríaco, Aratinga, Charrua, Jacinto Machado e Rocinha, descritos a seguir.

4.4.1.1 Unidade Pituva – P (Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico – EMBRAPA, 1973 ou Argiloso Latossolo Bruno distrófico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis profundos, em torno de 5 m, bem drenados, com relevo ondulado, com afloramento de rochas nas áreas mais declivosas, de textura argilosa, desenvolvidos de rochas basálticas da Formação Serra Geral. A seqüência de horizontes é A, B, C. Apresentam média capacidade de troca de cátions (CTC), valores baixos de bases trocáveis, saturação de bases muito baixa. Os teores de matéria orgânica (MO) são elevados, acima de 6,8% no horizonte superficial. São solos ácidos com pH inferior a 5,0.

A unidade ocorre em relevo ondulado, na encosta do Planalto, normalmente em áreas menos dissecadas e mais estáveis do que aquelas em que se encontram as unidades de mapeamento Ciríaco e Charrua. O potencial de erosão deste tipo de solo é considerada forte, devido ao relevo. A vegetação original é mata subtropical. Essa, no entanto, cedeu lugar em grande parte a cultivos de milho, cana-de-açúcar, mandioca, feijão, soja e outras culturas.

4.4.1.2 Unidade Ciríaco – C (Brunizem avermelhado Raso Argiloso – EMBRAPA, 1973 ou Chernossolo Argilúvico férrico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis medianamente profundos, em torno dos 3 metros, bem drenados, de coloração bruno avermelhado escuro e textura argilosa contendo fragmentos de rocha, desenvolvidos de basaltos e colúvios de basalto. A seqüência de horizontes é A, B e C. Apresentam alta CTC, valores altos de bases trocáveis ao longo de todo perfil, predominando o cálcio e o magnésio, e conseqüente alta saturação de bases (acima de 70%). Os teores de matéria orgânica são altos em superfície (maiores que 5%).

Ocorrem como inclusões nos perfis de solos da unidade Charrua e perfis da unidade Bom Retiro (na parte inferior das encostas onde ocorrem materiais de intemperismo do arenito Botucatu).

Ocupam um relevo forte ondulado a montanhoso, compreendido pelas encostas e pedimentos da Serra Geral e dos morros-testemunho da região litorânea, bem como dos vales em “V” dissecados pelos rios. A vegetação original é a mata subtropical alta em fase de desaparecimento pela acentuada colonização.

Os solos são muito susceptíveis à erosão hídrica em função do relevo acidentado. A Figura 4.2 mostra um perfil típico da unidade.



Figura 4.2: Perfil típico da unidade Ciríaco (Streck *et al.*, 2002).

4.4.1.3 Unidade Aratinga – At (Litólicos Distrófico/ Húmico/ Álico Argilosa - EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Litólico distrófico típico – EMBRAPA, 1999)

Esta unidade enquadra-se nos solos litólicos por apresentar a seqüência de horizontes A, C, R e por apresentar perfis pouco espessos. São unidades oriundas de Formação Serra Geral com relevo forte ondulado a montanhoso e apresentam-se bem drenados. Ocorrem como inclusões na unidade Rocinha, nos pequenos depósitos colúviais encontrados nos sedimentos.

Quanto às características químicas destacam-se a alta CTC devido à elevada concentração de matéria orgânica, em torno de 8,1% próximos a superfície, valores médios de bases trocáveis e valores baixíssimos de saturação de bases. São solos muito ácidos, com pH em torno de 4,1 no horizonte superficial.

Estes solos são desenvolvidos a partir de rochas basálticas da Formação Serra Geral. São encontrados nas áreas fortemente dissecadas na transição do planalto para a encosta. Como conseqüência, o relevo é forte ondulado a montanhoso, com abundância de rochas aflorando na superfície. Destaca-se a grande susceptibilidade a erosão hídrica em função do relevo. A vegetação predominante é a mata com Araucária Angustifolia.

4.4.1.4 Unidade Charrua – Ch (Litólicos Eutrófico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Litólico eutrófico chernossólico – EMBRAPA, 1999)

A unidade representa solos pouco desenvolvidos, rasos, bem drenados, pedregosos, com topografia acidentada, desenvolvidos de rochas basálticas da Formação Serra Geral. A seqüência de horizontes é A, R. Apresentam alta CTC e valores altos de bases trocáveis, determinando saturação de bases acima de 85%. Os teores de MO são elevados (acima de 8%).

A unidade ocorre em relevo forte ondulado a montanhoso, geralmente em encostas de vales profundos em “V”. A vegetação original é mata subtropical alta intensamente modificada e em vias de desaparecimento. Os processos erosivos verificados são muito fortes, favorecidos pela topografia montanhosa, sendo comuns deslizamentos por fluxo de detritos.

Encontram-se freqüentemente associados a solos da unidade Ciríaco e a afloramentos de rocha. A Figura 4.3 mostra um perfil típico da unidade.

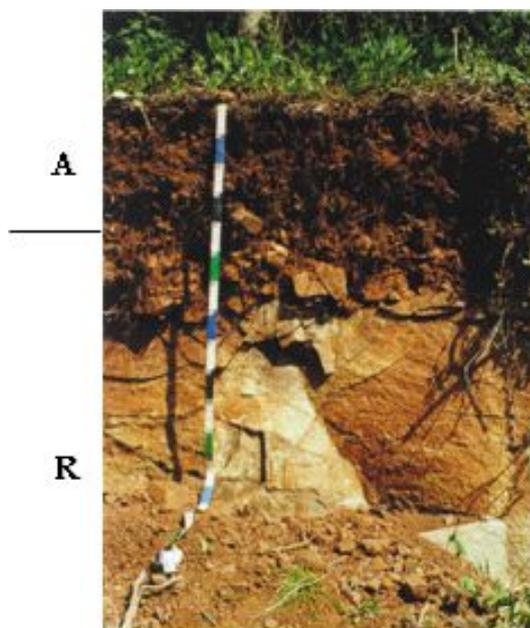


Figura 4.3: Perfil típico da unidade Charrua (Streck *et al.*, 2002).

4.4.1.5 Unidade Jacinto Machado – JM (Cambissol Eutrófico Médio - EMBRAPA, 1973 ou Cambissolo Háptico Ta eutrófico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis pouco profundos, bem drenados, de coloração bruno escuro a bruno, de textura média, desenvolvidos de sedimentos aluviais. A seqüência de horizontes é A, B e C com transições claras entre si. Apresentam alta CTC, valores elevados de bases trocáveis ao longo de todo perfil, predominando o cálcio e o magnésio com teores elevados de sódio e conseqüente alta saturação de bases (acima de 85%), aumentando com a profundidade. Os teores de matéria orgânica são medianos passando a baixos nas áreas muito cultivadas.

Ocorrem como inclusões na unidade de perfis da unidade Meleiro, nas áreas mal drenadas, e da unidade Bom Retiro onde o relevo se encontra mais acentuado. Ocupam um relevo suavemente ondulado nos vales em “U” dos rios que dissecam a Formação Serra Geral. A vegetação original é a mata atlântica em fase de desaparecimento em função da intensa agricultura praticada nestes solos. A Figura 4.4 mostra um perfil típico da unidade.



Figura 4.4: Perfil típico da unidade Jacinto Machado (FEE, 1979).

4.4.1.6 Unidade Rocinha – Ro (Cambissol Hístico/Álico Argilosa – EMBRAPA, 1973 ou Cambissolo Hístico alumínico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta as seguintes características: perfis profundos, cerca de 5 metros, de coloração preta a bruno amarelado, pouco porosos e moderadamente drenados. A seqüência de horizontes observado nesta unidade é A, B e C, apresentando altíssima CTC, conseqüência da elevada quantidade de matéria orgânica, acima de 8,0% no horizonte superficial, valores baixos de bases trocáveis e valores baixíssimos de saturação de bases (inferiores a 5% em todo o perfil). São solos com elevado nível de alumínio trocável em todo o perfil e baixo valor do pH, em torno de 4,5.

Estes solos podem ser encontrados em inclusões das unidades Silveira, nas regiões mais acidentadas, e Aratinga em áreas fortemente onduladas. O material de origem destes solos são os colúvios de rochas basálticas da Formação Serra Geral. Estes solos são desenvolvidos de rochas basálticas da Formação Serra Geral. A unidade situa-se em relevo ondulado, com encostas curtas e abruptas. Ocorre nos interflúvios planos e nos pedimentos em nível inferior às unidades Silveira e Aratinga. A vegetação original é constituída pelos campos de altitude e matas de araucária.

4.4.2 Solos da Planície

Os solos de planície foram considerados aqueles cujos substratos são deposições sedimentares ocorridas ao longo das diversas regressões e transgressões marinhas do Quaternário ou através

de deposições aluviais ao longo dos rios. As classes de solos presentes na área e pertencentes a este grupo são: Osório, Itapoã, Araranguá, Curumim, Jundiá, Itapeva, Meleiro e Gravatal.

4.4.2.1 Unidade Osório – Os (Podzólico Vermelho-Amarelo Abrúptico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Quartzarênico órtico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis pouco profundos, podzolizados, de coloração bruno, arenosos, porosos e bem drenados, desenvolvidos de sedimentos arenosos. A seqüência de horizontes é A, B e C, com transições claras e abruptas entre si. Apresentam CTC muito baixa e valores muito baixos de bases trocáveis na superfície, decrescendo com a profundidade, a saturação de bases é alta na superfície (70%), porém muito baixa nos horizontes subjacentes (menos de 20%). Os teores de matéria orgânica são nulos a muito baixos. São solos moderadamente ácidos com pH em torno de 5,5.

Estes solos encontram-se freqüentemente associados a perfis da unidade Araranguá em áreas de relevo plano, a perfis da unidade Meleiro nas depressões mal drenadas e da unidade Bom Retiro em áreas com relevo mais acentuado.

A unidade ocorre em duas fases de relevo: suavemente ondulado, quando ocorre isolado, e ondulado, quando ocorre em associação com a unidade Itapoã nas proximidades de Torres. A vegetação original é de campo. A Figura 4.5 mostra um perfil típico da unidade.

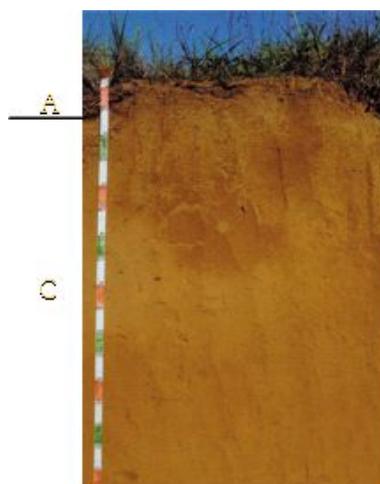


Figura 4.5: Perfil típico da unidade Osório (Streck *et al.*, 2002).

4.4.2.2 Unidade Itapoã – Ip (Podzólico Vermelho-Amarelo Abruptico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis profundos, podzolizados, de coloração clara na superfície passando a bruno avermelhado com a profundidade, arenosos e bem drenados, desenvolvidos de arenitos. A seqüência de horizontes é A, E, B e C, com transições difusa e abrupta entre si. Apresentam baixa CTC na superfície passando a mediana CTC no horizonte B, valores baixos de bases trocáveis e a saturação de bases média (50%), decrescente com a profundidade. Os teores de matéria orgânica são muito baixos. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 5,0. Estes solos encontram-se associados a perfis da unidade Santo Antônio da Patrulha.

A unidade ocorre em relevo suavemente ondulado a ondulado, com coxilhas convexas, formando depressões fechadas, onde ocorrem solos hidromórficos. A vegetação original é de campo pobre. Destaca-se que são solos arenosos muito suscetíveis à erosão. A Figura 4.6 mostra um perfil típico da unidade.

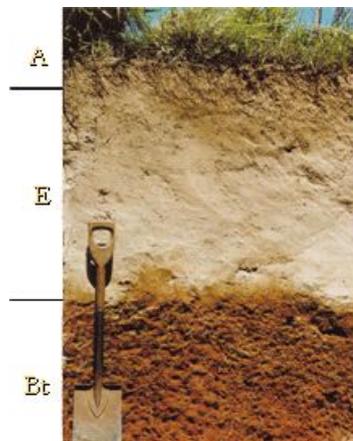


Figura 4.6: Perfil típico da unidade Itapoã (Streck *et al.*, 2002).

4.4.2.3 Unidade Araranguá – Ar (Areias quartzosas Distrófico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Quartzarênico órtico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis profundos, arenosos, excessivamente drenados e soltos, desenvolvidos de sedimentos eólicos, depositados sobre perfis pré-existent. A seqüência de horizontes é A, AC, C, com transições claras e graduais entre si. Apresentam mediana a baixa

CTC, teores baixos de bases trocáveis e saturação de bases baixa. Os teores de matéria orgânica são baixos. São solos ácidos com pH em torno de 5,0.

Estes solos encontram-se associados a perfis das unidades Meleiro e Jundiáí. O relevo de ocorrência é suavemente ondulado, em nível superior às unidades hidromórficas supra citadas. A unidade se localiza em várzeas mal drenadas com relevo plano. A vegetação original é a mata tropical atlântica. Devido à textura são solos suscetíveis à erosão, principalmente eólica.

4.4.2.4 Unidade Curumim – Cur (Areias quartzosas Distrófico Arenosa – EMBRAPA, 1973 ou Neossolo Quartzarênico hidromórfico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis pouco profundos, arenosos, mal drenados e soltos, desenvolvidos de sedimentos marinhos e eólicos. A seqüência de horizontes é A, AC e C, com transições claras entre si. Apresentam alta CTC devido à alta concentração de matéria orgânica no horizonte superficial, teores muito baixos de bases trocáveis e saturação de bases muito baixa. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 4,3 na superfície.

Estes solos encontram-se associados a perfis das unidades Itapeva, Mostardas e Dunas. O relevo é suavemente ondulado com pequenas depressões alongadas mal drenadas e pequenas elevações devido ao recobrimento arenoso eólico, formando um micro-relevo. A vegetação original é de campo com pouca cobertura. A erosão pode ocorrer ligeira na forma eólica. A Figura 4.7 mostra um perfil típico da unidade.

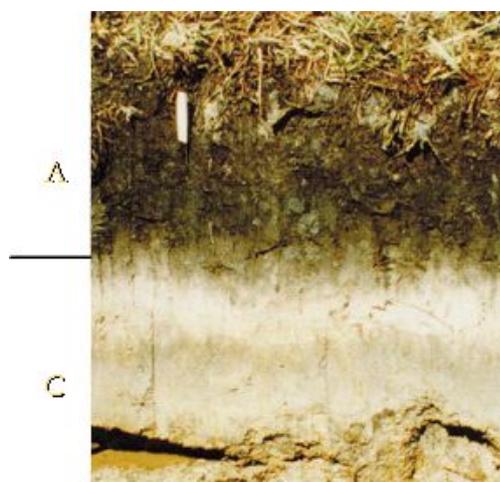


Figura 4.7: Perfil típico da unidade Curumim (Streck *et al.*, 2002).

4.4.2.5 Unidade Jundiaí – J (Glei Húmico Distrófico Argilosa – EMBRAPA, 1973 ou Gleissolo Melânico distrófico típico – EMBRAPA,1999)

A unidade apresenta perfis medianamente profundos, mal drenados, de coloração preta a cinzento escuro, argilosos, desenvolvidos de sedimentos aluviais. A seqüência de horizontes é A, Bg, Cg, com transições claras e abruptas entre si. Apresentam valores medianos e altos de CTC, diminuindo com a profundidade, teores muito baixos de bases trocáveis na superfície, aumentando com a profundidade, e saturação de bases muito baixa na superfície, aumentando com a profundidade. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 5,0.

Estes solos encontram-se associados a perfis das unidades Meleiro, Gravatal e Barros. O relevo da unidade é plano nas planícies de inundação de lagoas e rios. A vegetação é de mata remanescente. A Figura 4.8 mostra um perfil típico da unidade.



Figura 4.8: Perfil típico da unidade Jundiaí (FEE, 1979).

4.4.2.6 Unidade Itapeva – It (Glei Húmico Eutrófico Médio – EMBRAPA, 1973 ou Gleissolo Melânico eutrófico típico EMBRAPA,1999)

A unidade apresenta perfis medianamente profundos, mal drenados, de coloração escura nos horizontes A e C gleizado, são arenosos, desenvolvidos de sedimentos fluviais e lacustres recentes. A seqüência de horizontes é A, Cg, com transições claras e abruptas entre si. Apresentam valores altos CTC, decrescendo com a profundidade, teores altos de bases

trocáveis e saturação de bases alta (acima de 50%). Teor de matéria orgânica mediano na superfície. São solos fortemente ácidos, com pH em torno de 5,0 na superfície tendendo à neutralidade com a profundidade.

Estes solos encontram-se associados a perfis das unidades Jundiaí, Gravatal e Barros. A unidade se localiza em várzeas mal drenadas com relevo plano, sujeitas à inundação durante a maior parte do ano. A vegetação da unidade é caracterizada por campos. A Figura 4.9 mostra um perfil típico da unidade.



Figura 4.9: Perfil típico da unidade Itapeva (FEE, 1979).

4.4.2.7 Unidade Gravatal – Gv (Glei Pouco Húmico Distrófico Argilosa – EMBRAPA, 1973 ou Organossolo Tiomórfico Sáprico térricos – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis pouco profundos, formados pela deposição sucessiva de resíduos vegetais em ambiente alagado, constituindo turfeiras sobre sedimentos lacustres. O acúmulo de material orgânico, favorecido pelo ambiente redutor, permite a diferenciação de camadas com estágios diversos de decomposição e preservação de fibras vegetais. Apresentam alta CTC, valores altos de bases trocáveis aumentando com a profundidade e média saturação de bases decrescendo com a profundidade. Os teores de matéria orgânica são muito altos, acima de 20%. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 5,4 na superfície decrescendo para 3,2 com a profundidade.

Ocorrem como inclusões na unidade Meleiro, Jundiaí, Itapeva e Curumim. O material de origem desta unidade são os resíduos orgânicos depositados em ambiente alagadiço, sobre sedimentos finos lacustres e fluviais recentes do Quaternário. A unidade situa-se em áreas baixas, planas e alagadiças, em nível inferior às unidades Meleiro e Jundiaí, nas margens das lagoas sob processo de assoreamento. A vegetação original é de mata com abundância de figueiras, coqueiros, bromélias, ciperáceas, ipês, juncos e aguapés em fase de devastação.

4.4.2.8 Unidade Meleiro – Me (Orgânico Distrófico Turfosa – EMBRAPA, 1973 ou Gleissolo Háplico Tb distrófico típico – EMBRAPA, 1999)

A unidade apresenta perfis pouco profundos, mal drenados, de coloração cinzenta, argilosos, desenvolvidos de sedimentos aluviais. A seqüência de horizontes é A, Cg, com transições graduais entre si. Apresentam alta CTC, valores muito baixos de bases trocáveis aumentando com a profundidade e conseqüente baixa saturação de bases (cerca de 15%). Os teores de matéria orgânica são muito baixos. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 4,8.

Ocorrem como inclusões na unidade de perfis das unidades Jundiaí, Jacinto Machado e Gravatal. Ocupam um relevo plano nas planícies de inundação de lagoas e rios, estendendo-se até o pedimento dos morros das formações Botucatu e Serra Geral. A vegetação original é de mata hidrófila cedendo lugar a campos e áreas de cultivo.

3.4.3 Pedologia da área de estudo associada à Geologia.

A Tabela 4.3 apresenta uma síntese da pedologia encontrada na região, relacionando esta com a geologia apresentada neste trabalho. A Figura 4.10 mostra uma toposseqüência típica dos solos e substrato, em uma seção à 4 km antes de Terra de Areia pela BR101/RS sentido Osório - Torres.

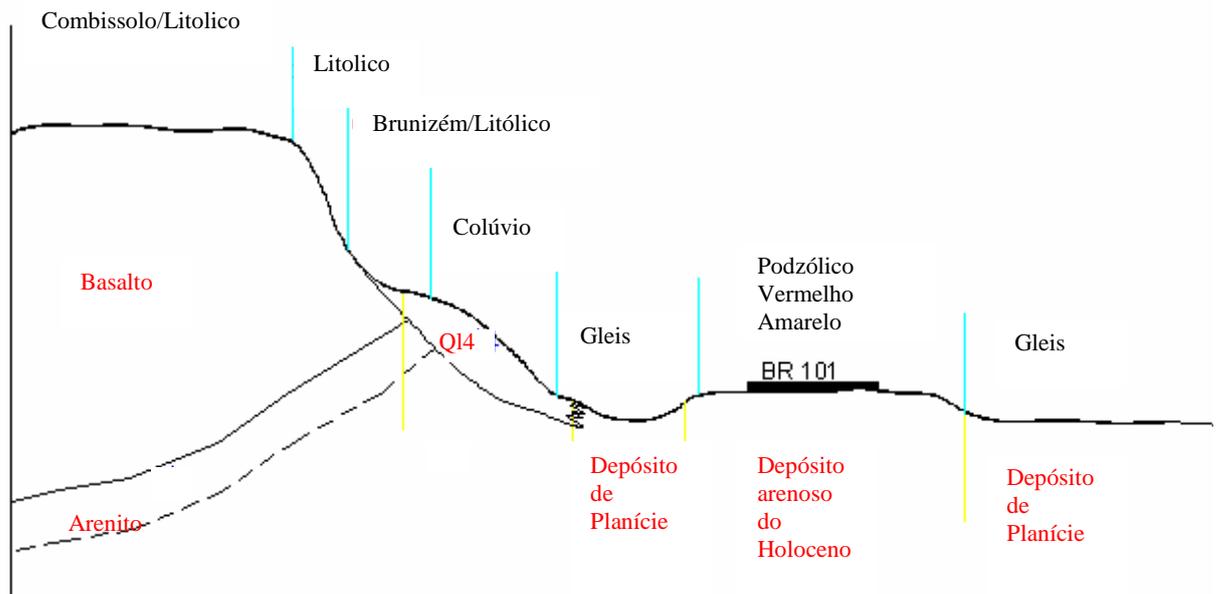


Figura 4.10: Topossequência típica – Seção à 4km antes de Terra de Areia, sentido Osório-Torres.

Tabela 4.3: Relação entre unidades geológicas e unidades de mapeamento de solos (adaptado de FEE, 1979).

Idade Geológica		Unidade geológica (CECO, 1995)	Material de origem	Unidade de mapeamento de solos (FEE, 1979)
Quaternário	Holoceno	Ql ₄	Cascalhos, matacões e argilas basálticas	Ciríaco
			Sedimentos finos e seixos rolados basálticos	Jacinto Machado, Meleiro
		Qp ₄	Areias quartzosas praias e palustres	Curumim
		Qd ₄	Areias e argilas lagunares	Itapeva
		Qf ₄	Areias, argilas e resíduos orgânicos lacustres	Meleiro, Jundiaí, Gravatal
	Pleistoceno	Qbd ₃	Areias quartzosas finas e médias avermelhadas, com matriz silto-argilosa eólica	Itapoã
		Qbc ₃	Areias quartzosas médias a finas, com pouco silte e argila e cimentos ferruginosos praias e marinhos	Osório, Araranguá
Cretáceo		Formação Serra Geral (β) e Arenito Botuatu (J _b)	Rochas vulcânicas (basaltos)	Charrua, Ciríaco, Rocinha, Aratinga, Pituva

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no levantamento, na digitalização e na obtenção do Mapeamento Geotécnico e do banco de dados geotécnicos associado a este mapa. Apresenta também análises e representações de dados do meio físico e dos solos encontrados baseados no mapa obtido e nos dados de sondagens na rodovia.

5.1 REUNIÃO, INTERPRETAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS DIGITAIS DO MEIO-FÍSICO

Neste item são apresentados os resultados do tratamento digital, aplicado aos dados pré-existentes, usando o programa computacional ArcGIS® 9.0.

5.1.1 Dados de Geologia em SIG

O mapa geológico em formato digital é imprescindível para se realizar o mapa geotécnico proposto, foi obtido a partir da transformação da informação do meio analógico (papel) para meio digital (raster) com o uso de um *scanner* de mesa. Em seguida, os dados foram georeferenciados, baseado nas informações das Cartas do Exército e, por último, a digitalização das unidades geológicas usando ferramentas de geoprocessamento. A Figura 5.1 apresenta o Mapa Geológico Detalhado em meio digital, onde foram mantidas todas as unidades geológicas existentes no mapa geológico do CECO em meio analógico. A Tabela 5.1 apresenta a descrição das unidades geológicas. Maiores detalhes, referentes às unidades mapeadas de geologia, estão descritos no Capítulo 4 de caracterização da Área de Estudo.

Em uma segunda etapa, a estes dados de geologia obtidos, aplicou-se uma generalização taxonômica, onde as unidades geológicas semelhantes sob o ponto de vista geotécnico foram

agrupadas, formando assim nova unidade geológica. A Figura 5.2 e a Tabela 5.2 apresentam o Mapa Geológico Generalizado e a descrição das novas unidades obtidas.

Em função da complexidade dos ambientes de deposição dos substratos geológicos, a nomenclatura geológica utilizada nos Mapas Geológicos é também bastante variada e complexa. Esta nomenclatura foi simplificada na geração dos Mapas Geotécnicos deste trabalho vinculado às denominações as principais características geotécnicas dos materiais, mantendo uma relativa simplicidade de entendimento para uso de engenheiros, planejadores e técnicos não especializados em geologia sedimentar.

Tabela 5.1: Caracterização das unidades geológicas do Mapa Geológico Detalhado.

Unidade Geológica			Descrição
Simbologia Adotada	Simbologia Geologia	Denominação	
pedim	Ql ₄	Depósitos de encostas.	Unidade formada pelos depósitos de encostas, que inclui depósitos de talos e leques aluviais antigos e atuais.
areias_rec	Qc	Depósitos praias atuais.	Unidade formada pelos depósitos arenosos de praia e cristas de praia lagunares atuais.
sedim_delt	Qd ₄	Depósitos deltáicos.	Unidade formada pelos depósitos deltáicos atuais construídos por rios nos corpos lagunares atuais.
sedim_plan	Qf ₄	Depósitos de planícies.	Unidade formada pelos depósitos de planície e canal fluvial
sedim_lag	Qp ₄	Depósitos lagunares.	Unidade formada pelos depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial.
areias_eolicas4	Qbd ₄	Depósitos eólicos do Holoceno	Unidade formada pelos depósitos eólicos de dunas litorâneas. Inclui retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos.
areias_marinhas4	Qbc ₄	Depósitos marinhos do Holoceno	Unidade formada pelos depósitos marinhos praias. Cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento.
areias_marinhas3	Qbd ₃	Depósitos marinhos do Pleistoceno	Unidade formada pelos depósitos marinhos de praias parcialmente retrabalhados pelo vento.
areias_eolicas3	Qbd ₃	Depósitos eólicos do Pleistoceno	Unidade formada pelos depósitos eólicos de dunas litorâneas.
bas	β	Rocha Basáltica	Unidade formada por rochas basálticas da Formação Serra Geral
aren	J _b	Arenito Botucatu	Unidade formada por arenitos da Formação Botucatu

Mapa Geológico Detalhado

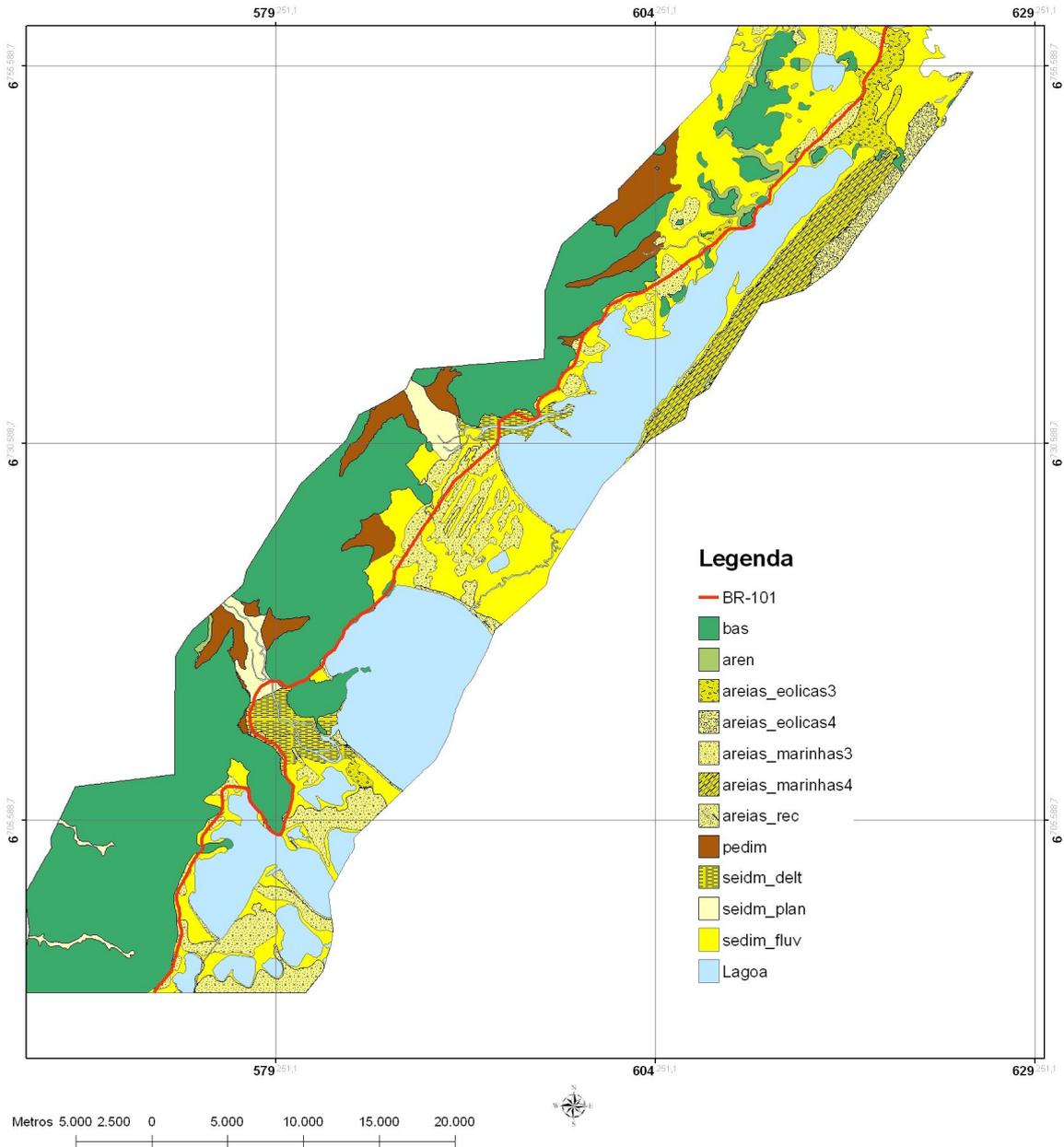


Figura 5.1: Mapa Geológico Detalhado obtido em ambiente de SIG.

Mapa Geológico Generalizado

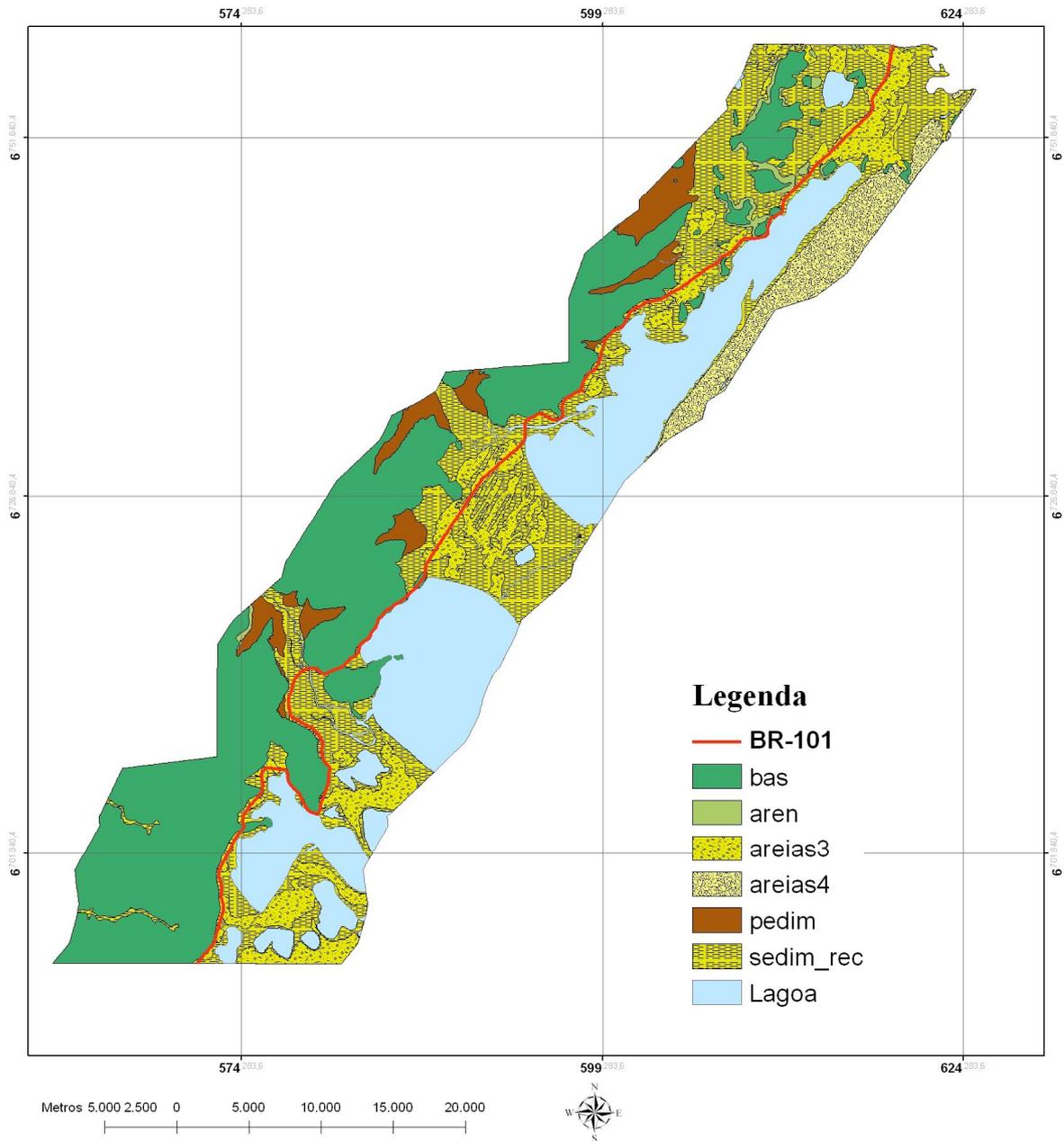


Figura 5.2: Mapa Geológico Generalizado obtido em ambiente de SIG.

Tabela 5.2: Caracterização das unidades geológicas do Mapa Geológico Generalizado.

Unidade Geológica			Descrição
Simbologia	Simbologia Geologia	Denominação	
pedim	Ql4	Depósitos de encostas	Unidade formada pelos depósitos de encostas. Incluindo ainda os depósitos de talos e leques aluviais antigos e atuais.
sedim_rec	Qc + Qd4 + Qf4 + Qp4	Depósitos lagunares, deltáicos e fluviais	Unidade formada pela fusão das unidades: depósitos arenosos de cristas de praias lagunares (Qc); depósitos deltáicos atuais constituídos por rios nos corpos lagunares atuais (Qd ₄); depósitos de planícies e canais fluviais (Qf ₄); depósitos lagunares associados aos depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial(Qp ₄).
areias4	Qbd4 +Qbc4	Depósitos eólicos e marinhos do Holoceno	Unidade formada pela fusão das unidades: Depósitos eólicos de dunas litorâneas que inclui retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos (Qbd ₄); Depósitos marinhos praias que exclui cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento (Qbc ₄).
areias3	Qbd3 + Qbd3	Depósitos eólicos, marinhos e praias de inter-marés do Pleistoceno	Unidade formada pela fusão das unidades: Depósitos marinhos de praias parcialmente retrabalhados pelo vento (Qbc ₃); Depósitos eólicos de dunas litorâneas (Qbd ₃); Depósitos praias inter-marés parcialmente recobertas por depósitos eólicos (Qbc ₃ e Qbd ₃).
bas	β	Rocha Basáltica	Unidade formada por rochas basálticas da Formação Serra Geral
aren	Jb	Arenito Botucatu	Unidade formada por arenitos da Formação Botucatu

5.1.2 Dados de Pedologia em SIG

Ao contrário dos dados de geologia, as informações de pedologia fornecidas já se encontravam em meio digital (raster). Estes dados foram georreferenciadas, conforme os subsídios da base cartográfica e, por fim, digitalizadas as unidades pedológicas.

A terminologia adotada para as diferentes classes de solos mapeados é regida no Brasil de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, publicado pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). A terminologia pedológica atual EMBRAPA (1999), define as classes de solos considerando características extremamente importantes sob o ponto de vista da agronomia que, no entanto, são pouco relevantes tendo em vista as características geotécnicas de um solo. Considerando que a metodologia adotada neste trabalho foi criada com base na nomenclatura de unidades pedológicas definida em EMBRAPA (1973), que o mapa base de pedologia utilizado neste trabalho apresenta classes de solos conforme aquela nomenclatura e que ela apresenta significado geotécnico, foi adotada a nomenclatura conforme EMBRAPA (1973).

Como mencionado na metodologia, os dados de pedologia sofreram generalizações taxonômicas, onde as unidades pedológicas semelhantes ponto de vista geotécnico foram agrupadas. A primeira generalização taxonômica resultou no Mapa Pedológico Detalhado apresentado na Figura 5.3, e as unidades obtidas detalhadas conforme a Tabela 5.3. Uma descrição detalhada referente às unidades pedológicas mapeadas de pedologia encontra-se no Capítulo 4 desta dissertação.

Devido ao grande número de classes pedológicas obtidas nesta primeira etapa, optou-se por fazer uma segunda generalização taxonômica nas unidades de solos. Nesta etapa, algumas unidades pedológicas compostas por associações de solos foram agrupadas, levando em consideração que as definições utilizadas no mapeamento pedológico, onde a primeira unidade citada contempla mais de 60% da área da unidade mapeada, optou-se então em adotar a classe de maior relevância. A Figura 5.4 e a Tabela 5.4 apresentam o Mapa Pedológico Generalizado e a descrição das unidades obtidas para este caso.

Tabela 5.3: Caracterização das unidades geológicas do Mapa Pedológico Detalhado.

Unidade Pedológica		Descrição
Simbologia	Denominação	
LB	Solo Laterítico	Unidade formada pelos solos Pituva (Latosolo Bruno). Principal característica: apresentam horizonte B laterítico.
BV	Solo Brunizem	Unidade formada pelos solos Ciriaco (Litólico Distrófico/Húmico/Álico Argiloso). Principal característica: solos acumulação de carbonato de cálcio nos horizontes superficiais em relevo forte ondulado.
BV/R	Solo Brunizem associado a Solo Litólico	Unidade formada pelos solos Ciriaco (Litólico Distrófico/Húmico/Álico Argiloso) associados aos solos Aratinga (Neossolo Litólico Distrófico) e Charrua (Neossolo Litólico Eutrófico). Principal característica: solos acumulação de carbonato de cálcio nos horizontes superficiais em relevo forte ondulado associados a solos litólicos oriundos de rocha basáltica.
C	Solo Coluvionar	Unidade formada pelos solos Rocinha (Cambissolo Hístico) e Jacinto Machado (Cambissolo Háplico). Principal característica: apresentam características coluvionares em relevo suave ondulado.

Tabela 5.3 (Continuação): Caracterização das unidades geológicas do Mapa Pedológico Detalhado.

Unidade Pedológica		Descrição
Simbologia	Denominação	
R	Solo Litólico	Unidade formada pelos solos Aratinga (Neossolo Litólico Distrófico) e Charrua (Neossolo Litólico Eutrófico). Principal característica: solos litólicos oriundos de rocha basáltica.
HAQ	Areias Quartzosas	Unidade formada pelos solos Araranguá (Neossolo Quartzarênico) e Curumim (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico). Principal característica: solos formados por areias quartzosas.
HAQ/HG	Areia Quartzosa associado a Glei	Unidade formada pelos solos Araranguá (Neossolo Quartzarênico) e Curumim (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico) associados aos solos Jundiaí (Gleissolo Melânico Distrófico), Itapeva (Gleissolo Melânico Eutrófico), Meleiro (Gleissolo Háptico) e Gravatal (Organossolo Tiomórfico). Principal característica: solos formados por areias quartzosas associados a solos aluvionares e hidromórficos.
PVA	Solo Podzólico Vermelho Amarelo	Unidade formada pelos solos Osório (Neossolo Quartzarênico Órtico) e Itapoã (Argissolo Vermelho Amarelo). Principal característica: solos formados pelos antigos Podzólicos Vermelho Amarelo.
DN	Duna	Dunas. Principal característica: areias quartzosas de origem eólica.
HG	Glei	Unidade formada pelos solos: Jundiaí (Gleissolo Melânico Distrófico), Itapeva (Gleissolo Melânico Eutrófico), Meleiro (Gleissolo Háptico) e Gravatal (Organossolo Tiomórfico). Principal Característica: solos aluvionares e hidromórficos.

Mapa Pedológico Detalhado

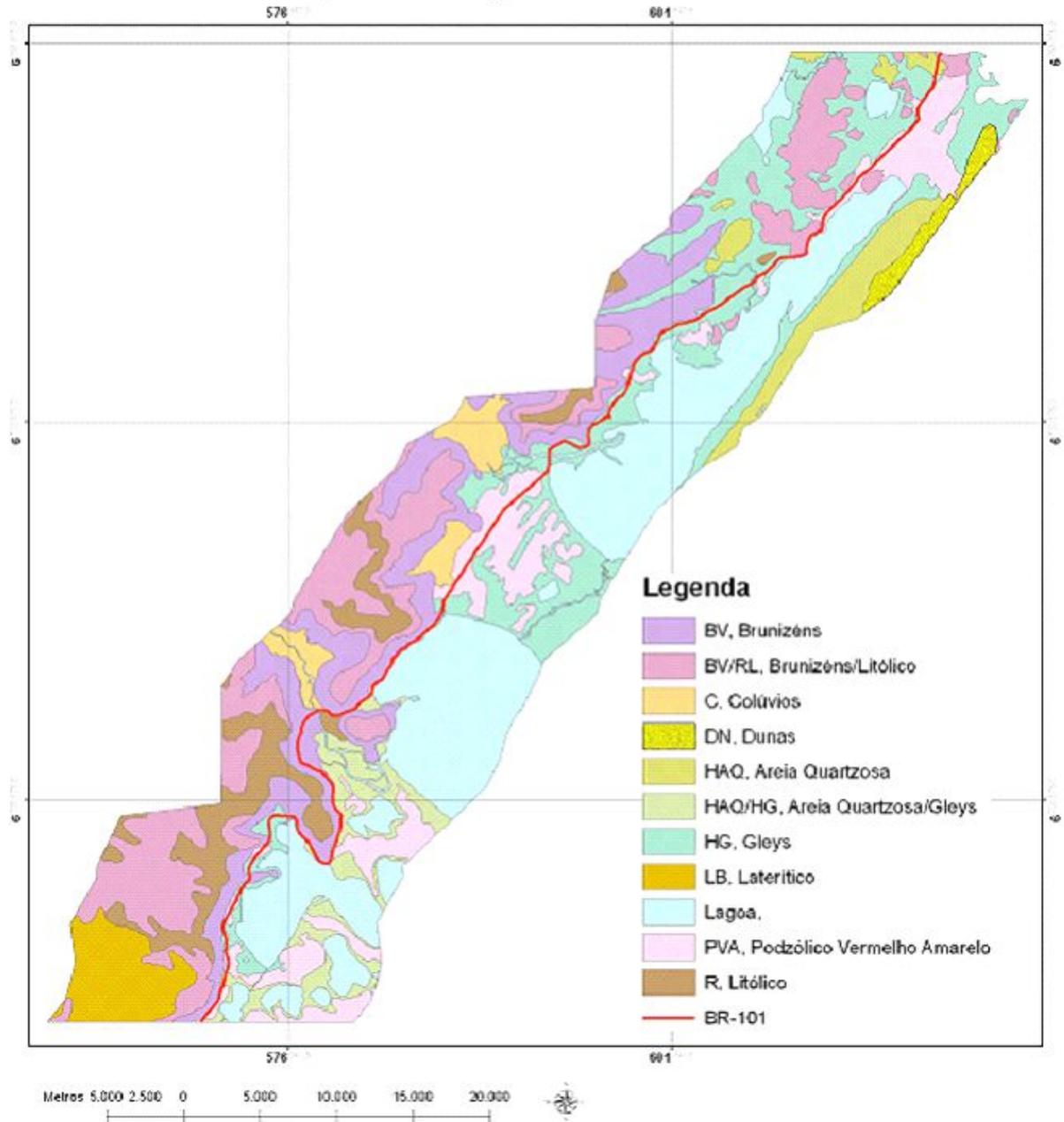


Figura 5.3: Mapa Pedológico Detalhado obtido em ambiente de SIG.

Mapa Pedológico Generalizado

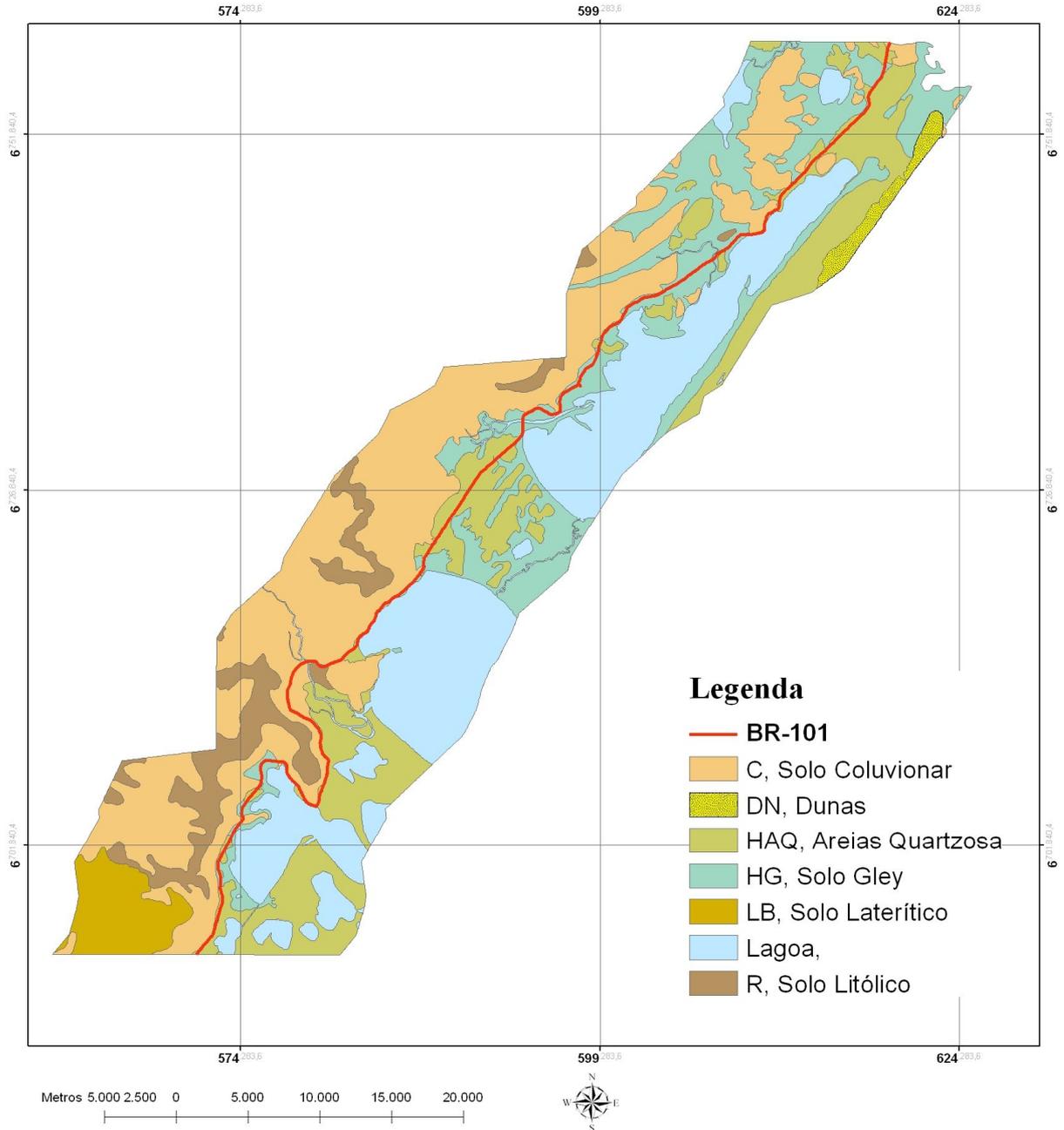


Figura 5.4: Mapa Pedológico Generalizado obtido em ambiente de SIG.

Tabela 5.4: Caracterização das unidades pedológicas do Mapa Pedológico Digital Generalizado.

Unidade Pedológica		Descrição
Simbologia	Denominação	
LB	Solo Laterítico	Unidade formada pelos solos Pituva (Latosolo Bruno). Principal característica: apresentam horizonte B laterítico.
C	Solo Coluvionar	Unidade formada pelos solos Ciriaco (Litólico Distrófico/Húmico/Álico Argiloso); Rocinha (Cambissolo Hístico) e Jacinto Machado (Cambissolo Háplico). Principal característica: apresentam horizonte B espesso e com características coluvionares.
R	Solo Litólico	Unidade formada pelos solos Aratinga (Neossolo Litólico Distrófico) e Charrua (Neossolo Litólico Eutrófico). Principal característica: Solos Litólicos oriundos de rocha basáltica.
HAQ	Areias Quartzosas	Unidade formada pelos solos Araranguá (Neossolo Quartzarênico); Curumim (Neossolo Quartzarênico Hidromórfico); Osório (Neossolo Quartzarênico Órtico) e Itapoã (Argissolo Vermelho Amarelo). Principal característica: solos formados por Areias Quartzosas e antigos Podzólicos Vermelho Amarelo.
DN	Duna	Dunas. Principal característica: areias quartzosas de origem eólica.
HG	Solo Glei	Unidade formada pelos solos: Jundiá (Gleissolo Melânico Distrófico), Itapeva (Gleissolo Melânico Eutrófico), Meleiro (Gleissolo Háplico) e Gravatal (Organossolo Tiomórfico). Principal característica: solos aluvionares e hidromórficos.

5.1.3 Modelo Numérico do Terreno

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) foi produzido a partir dos dados topográficos, fornecidos pelo projeto geométrico, juntamente com a digitalização das curvas de nível encontradas nas Cartas do Exército.

A geração de um MNT envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste. Neste caso, com a finalidade de se obter uma representação contínua do relevo a partir das curvas de nível, optou-se por uma estrutura de dados de malha triangular, para melhor visualização tridimensional. O arquivo vetorial de linha gerado com os dados das curvas de nível foi processado utilizando o programa ArcGis[®] 9.0 com a extensão 3D ArcScene, obtendo como produto final o MNT da região de estudo. Com a utilização desta extensão do *software*, pode-se navegar em três dimensões por entre feições do relevo e capturar imagens sob diversos ângulos de projeção. As Figuras 5.5 e 5.6 exibem o MNT

gerado, sendo que a última apresenta uma imagem da região da foz do rio Maquiné, dentro da região de estudo.

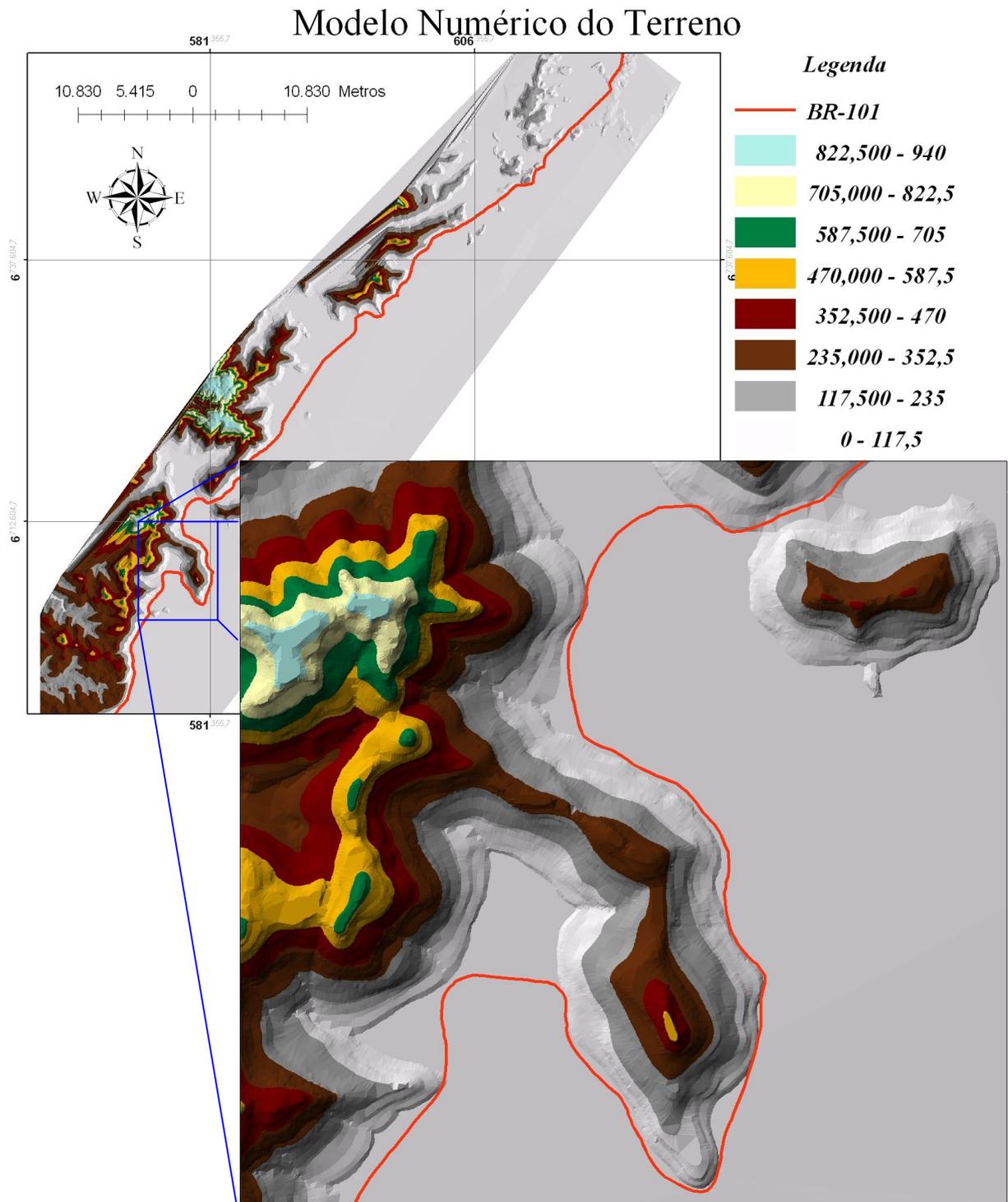


Figura 5.5: Modelo Numérico do Terreno da foz do rio Maquiné (em planta).

Através da análise e da delimitação das feições de relevo, ou seja, das mudanças de altitude e de declividade do terreno, delimitam-se e diferenciam-se os tipos de solos. Neste caso o MNT gerado foi utilizado para a verificação do mapa geotécnico obtido a partir da observação e delimitação das feições do relevo. Em função dos dados das curvas de nível, apresenta intervalos de altitude de 20m, só foi possível verificar o mapa nas áreas onde as mudanças nas feições de relevo ficaram mais nítidas como na encosta da Serra Geral. Nas áreas de planície como as mudanças nas feições de relevo são de pequena magnitude sendo necessária atenção redobrada em campo para verificação do mapa. Ao se sobrepor a delimitação das feições de relevo como os mapas geotécnicos verificou-se visualmente que estes apresentavam boa qualidade.

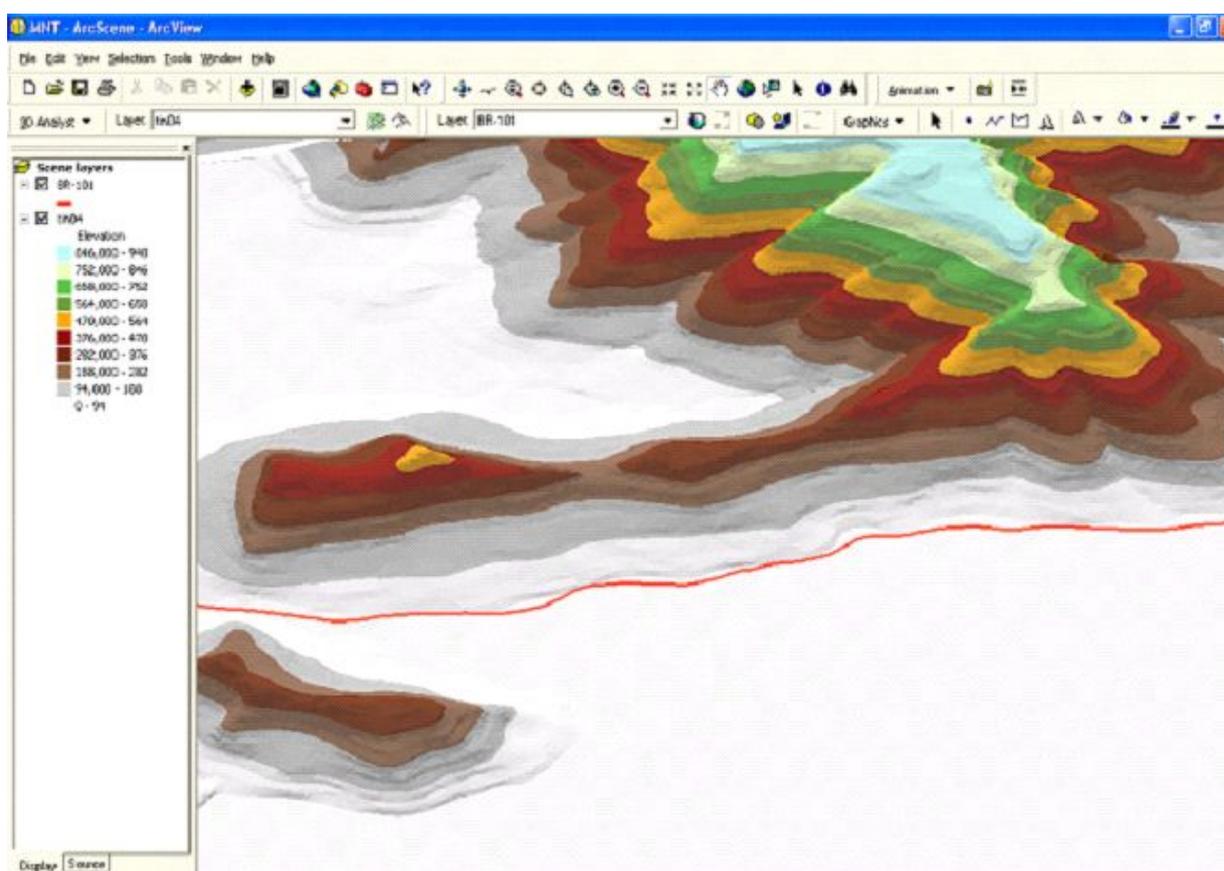


Figura 5.6: Imagem capturada de parte do MNT da região da foz do rio Maquiné (vista oblíqua do norte).

5.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Utilizando os processos descritos na metodologia de edição, cruzamentos e classificação das unidades geotécnicas foram obtidos dois mapas geotécnicos, denominados de Generalizado e detalhado. O primeiro foi obtido com o cruzamento dos dados do Mapa Geológico Generalizado versus o Mapa Pedológico Generalizado. A este mapa deu-se a denominação de Mapa Geotécnico Generalizado. Posteriormente, por razões discutidas no item 5.2.2 deste trabalho, foi elaborado outro mapa de unidades geotécnicas, mais detalhado que o anterior, denominado Mapa Geotécnico Detalhado, obtido a partir do cruzamento do Mapa Geológico Detalhado com o Mapa Pedológico Detalhado.

5.2.1 Mapeamento Geotécnico Generalizado

A Figura 5.7 apresenta o mapa sem escala gráfica apenas como ilustração do mapa. Nesta primeira versão foram obtidas 23 unidades geotécnicas, descritas nos itens a seguir. A Tabela 5.5 apresenta uma breve descrição e a distribuição percentual destas unidades na área de estudo. Os itens a seguir apresentam uma descrição das unidades obtidas. A descrição das unidades obtidas encontra-se no Anexo 01.

Mapa Geotécnico Generalizado

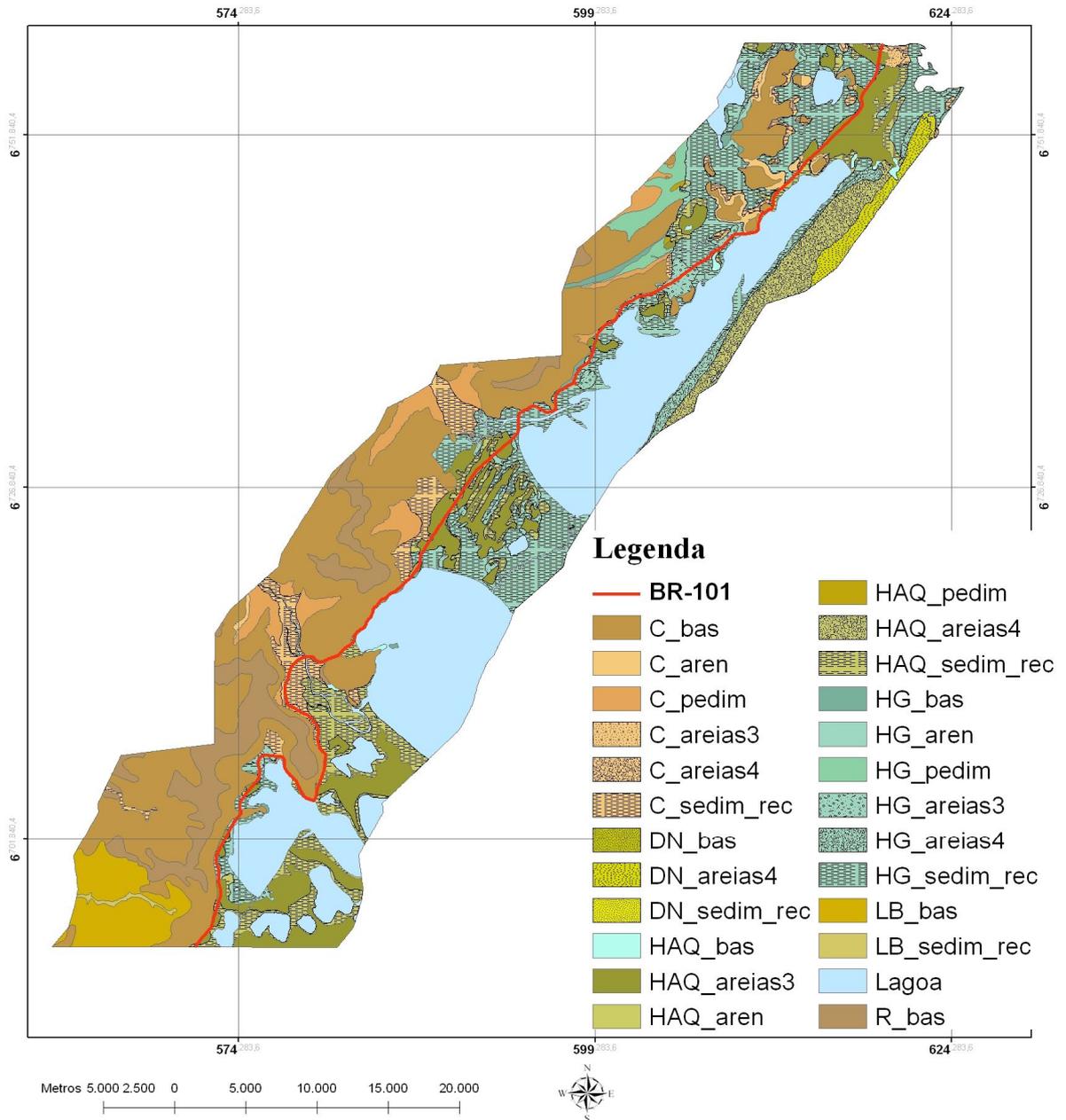


Figura 5.7: Mapa Geotécnico Generalizado obtido em ambiente de SIG.

Tabela 5.5: Distribuição das unidades geotécnicas do Mapa Geotécnico Generalizado.

Unidades Geotécnicas	Material superficial	Substrato	Área (%)
C_bas	Colúvios	Basalto	23,41
C_aren		Arenito Botucatu	0,71
C_areias3		Depósitos marinhos e eólicos	0,27
C_areias4		Depósitos marinhos e eólicos	0,01
C_sedim_rec		Depósitos deltaicos	3,51
C_pedim		Depósitos gravitac.	2,97
DN_bas		Dunas	Basalto
DN_areias4	Depósitos marinhos e eólicos		1,1
DN_sedim_rec	Depósitos deltaicos		0,07
HAQ_bas	Areias Quartzosas	Basalto	0,19
HAQ_aren		Arenito Botucatu	0,01
HAQ_areias3		Depósitos marinhos e eólicos	8,16
HAQ_areias4		Depósitos marinhos e eólicos	2,96
HAQ_sedim_rec		Depósitos deltaicos	5,96
HAQ_pedim		Depósitos gravitac.	0,05
HG_bas		Glei	Basalto
HG_aren	Arenito Botucatu		0,1
HG_areias3	Depósitos marinhos e eólicos		1,36
HG_areias4	Depósitos marinhos e eólicos		0,91
HG_sedim_rec	Depósitos deltaicos		12,89
LB_bas	Lateríticos		Basalto
LB_sedim_rec		Depósitos deltacos	0,16
R_bas	Litólicos	Basalto	5,92
-	Lagoas	Não verificado	25,24

5.2.2 Mapeamento Geotécnico em Detalhe

O Mapa Geotécnico Detalhado, obtido através do cruzamento do Mapa Geológico Detalhado com o Mapa Pedológico Detalhado, em escala de 1:100.000, foram obtidas 52 unidades geotécnicas, descritas nos itens a seguir. A Figura 5.6 apresenta este mapa sem escala gráfica, apenas como ilustração. A Tabela 5.6 apresenta uma breve descrição e a distribuição percentual destas unidades na área de estudo. A descrição das unidades obtidas encontra-se no Anexo 01.

Mapa Geotécnico Detalhado

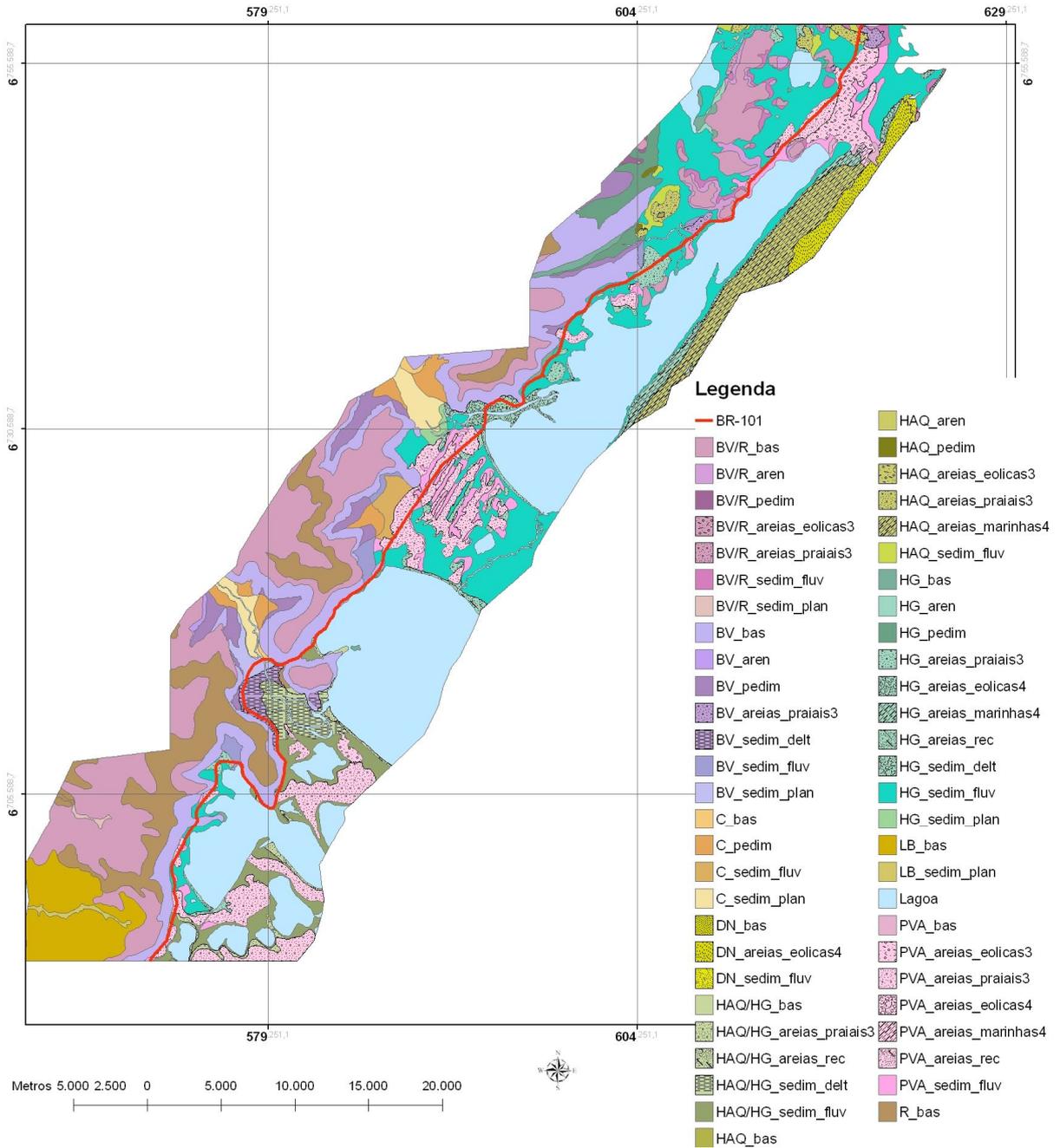


Figura 5.6: Mapa Geotécnico Detalhado obtido em ambiente de SIG.

Tabela 5.6: Distribuição das unidades geotécnicas do Mapa Geotécnico Detalhado.

Unidades Geotécnicas	Material Superficial	Substrato	% Área	
BV/R_bas	Brunizem associados à Solos Litólicos	Basalto	14,07	
BV/R_aren		Arenito Botucatu	0,63	
BV/R_areias_praiais3		Depósitos marinhos	0,09	
BV/R_areias_eolicas4		Depósitos eólicos	0,01	
BV/R_sedim_plan		Depósitos de planície	0,07	
BV/R_pedim		Depósitos de gravitacionais	0,05	
BV/R_sedim_lag		Depósitos fluviais	0,62	
BV_bas	Brunizem	Basalto	8,99	
BV_aren		Arenito Botucatu	0,07	
BV_areias_praiais3		Depósitos marinhos	0,04	
BV_sedim_delt		Depósitos deltaicos	0,45	
BV_sedim_plan		Depósitos de planície	0,31	
BV_pedim		Depósitos de gravitacionais	1,82	
BV_sedim_lag		Depósitos fluviais	0,53	
C_bas	Colúvios	Basalto	0,09	
C_sedim_plan		Depósitos de planície	1,05	
C_pedim		Depósitos de gravitacionais	1,07	
C_sedim_lag		Depósitos fluviais	0,44	
DN_bas	Dunas	Basalto	0	
DN_areias_eolicas4		Depósitos eólicos	1,09	
DN_sedim_lag		Depósitos fluviais	0,07	
HAQ/HG_bas	Areias Quartzosas associada à Gleis	Basalto	0,05	
HAQ/HG_areias_praiais3		Depósitos marinhos	0,22	
HAQ/HG_areias_rec		Depósitos arenoso recente	0,28	
HAQ/HG_sedim_delt		Depósitos deltaicos	0,93	
HAQ/HG_sedim_lag		Depósitos fluviais	2,22	
HAQ_bas	Areias Quartzosas	Basalto	0,01	
HAQ_aren		Arenito Botucatu	0,01	
HAQs_areias_praiais4		Depósitos marinhos	2,84	
HAQ_areias_praiais3		Depósitos marinhos	0,52	
HAQ_areias_eolicas3		Depósitos eólicos	0,03	
HAQ_areias_eolicas4		Depósitos eólicos	<0,01	
HAQ_pedim		Depósitos de gravitacionais	0,05	
HAQ_sedim_lag		Depósitos fluviais	0,37	
HG_bas		Gleis	Basalto	0,49
HG_aren			Arenito Botucatu	0,1
HGs_areias_praiais4	Depósitos marinhos		0,57	
HG_areias_praiais3	Depósitos marinhos		1,28	
HG_areias_eolicas4	Depósitos eólicos		0,34	

Tabela 5.6 (Continuação): Distribuição das unidades geotécnicas do Mapa Geotécnico Detalhado.

Unidades Geotécnicas	Material Superficial	Substrato	% Área
HG_areias_rec	Gleis	Depósitos arenoso recente	0,31
HG_sedim_delt		Depósitos deltaicos	0,59
HG_sedim_plan		Depósitos de planície	0,15
HG_pedim		Depósitos de gravitacionais	1,1
HG_sedim_lag		Depósitos fluviais	11,71
LB_bas	Lateríticos	Basalto	3,36
LB_sedim_plan		Depósitos de planície	0,16
PVAs_areias_praiais4	Podzólicos Vermelho Amarelo	Depósitos marinhos	0,07
PVA_areias_praiais3		Depósitos marinhos	6,02
PVA_areias_eolicas3		Depósitos eólicos	1,29
PVA_areias_rec		Depósitos arenoso recente	0,03
PVA_sedim_lag		Depósitos fluviais	2,06
R_bas	Litólicos	Basalto	5,86
-	Lagoa	Não verificado	24,96

Sob o ponto de vista cartográfico não há limitação quanto ao número de unidades, desde que respeitando o conceito de área mínima mapeadas, no entanto este mapa apresenta unidades mapeadas em excesso sob o ponto de vista geotécnico, pois se torna de difícil uso devido a grande quantidade de informação que nele contém. No entanto a obtenção deste mapa se deu em função das seguintes necessidades impostas pelo tipo de obra:

- Identificação de jazidas de solos que pudessem ser explorados para utilização como aterro, base e subleito da rodovia. Destacam-se que na região encontram-se solos hidromórficos, coluvionares, brunizens e os litólicos, não são propícios para a utilização como jazidas. Os solos hidromórficos por apresentarem baixa capacidade de suporte e lençol freático aflorante, os coluvionares e brunizens por apresentarem baixa capacidade de suporte quando são submetidos de variações de pressão, e os solos litólicos apresentam pouca espessura e estão dispostos em locais de difícil acesso. Já os demais solos, como por exemplo, os compostos por areias quartzosas apresentam restrições ambientais quanto em relação ao nível do lençol freático elevado e em função do ecossistema. Os solos Lateríticos, ideais neste caso são de difícil acesso e obtenção, próximos a

cidade de Osório e na escarpa da Serra Geral, o que onera a sua utilização na duplicação da rodovia. As unidades que podem ser utilizadas neste caso seriam os Podzólicos Vermelho Amarelo, desde que estejam acima, no mínimo 2 metros, do nível do lençol freático e substrato arenoso.

- Identificação de solos coluvionares e brunizens, que por apresentarem baixa capacidade de suporte, estes solos são muito susceptíveis a ruptura, isto faz com que sejam utilizadas estruturas de contenção especialmente no momento que sofrem um aumento ou alívio de pressões devido a carregamentos e descarregamentos em função da obra.
- Identificação de solos hidromórficos que apresentam o nível do lençol freático próximo à superfície ou aflorante e são compostos por argilas com alta compressibilidade. Estes solos apresentam grande deformabilidade devido ao adensamento e baixa capacidade de suporte. A estes solos devem ser empregadas técnicas que acelerem o adensamento e estruturas que possam ultrapassar esta camada de solos e garantir a resistência necessária para a construção de viadutos e aterros com elevado carregamento.

Com a utilização do programa ArcGis[®] 9.0 pode-se verificar, com a sobreposição do projeto geométrico da rodovia sobre o Mapa Geotécnico Detalhado, a interceptação das unidades em função da quilometragem adotada na rodovia. O Anexo 01 apresenta a descrição das unidades geotécnicas obtidas.

5.3 DADOS GEOTÉCNICOS E AMBIENTAIS DO ENTORNO DA BR-101 EM AMBIENTE SIG

Neste item são apresentados os principais dados geotécnicos obtidos e analisados que compõem o banco de dados. Além destes, o banco de dados possui os dados de projeto geométrico da obra, de caracterização da região de estudo como rodovias e vias secundárias, áreas urbanas e hidrografia da região.

5.3.1 Sondagens SPT incorporadas aos mapas geotécnicos

As sondagens do tipo SPT, obtidas em forma gráfica e tabelas (forma gráfica) foram introduzidas no programa Excel[®] com uso de uma rotina programada, o que permitiu que fossem confeccionados arquivos gráficos dos resultados, em formato “jpg”, para cada sondagem. Estas imagens foram vinculadas ao banco de dados por meio de um arquivo vetorial, do tipo ponto, onde cada ponto foi ilustrado e georreferenciado de acordo com a quilometragem da rodovia. Esta quilometragem foi visualizada através do projeto geométrico fornecido em meio digital (arquivo *dxf*) e exportado para o ambiente de SIG. Para cada ponto foi feito um “*hyperlink*”, associado a estes dados referentes à sondagem dos pontos. A Figura 5.7 apresenta uma imagem do acesso ao banco de dados confeccionado, o qual dispõe de 167 sondagens SPT da rodovia.

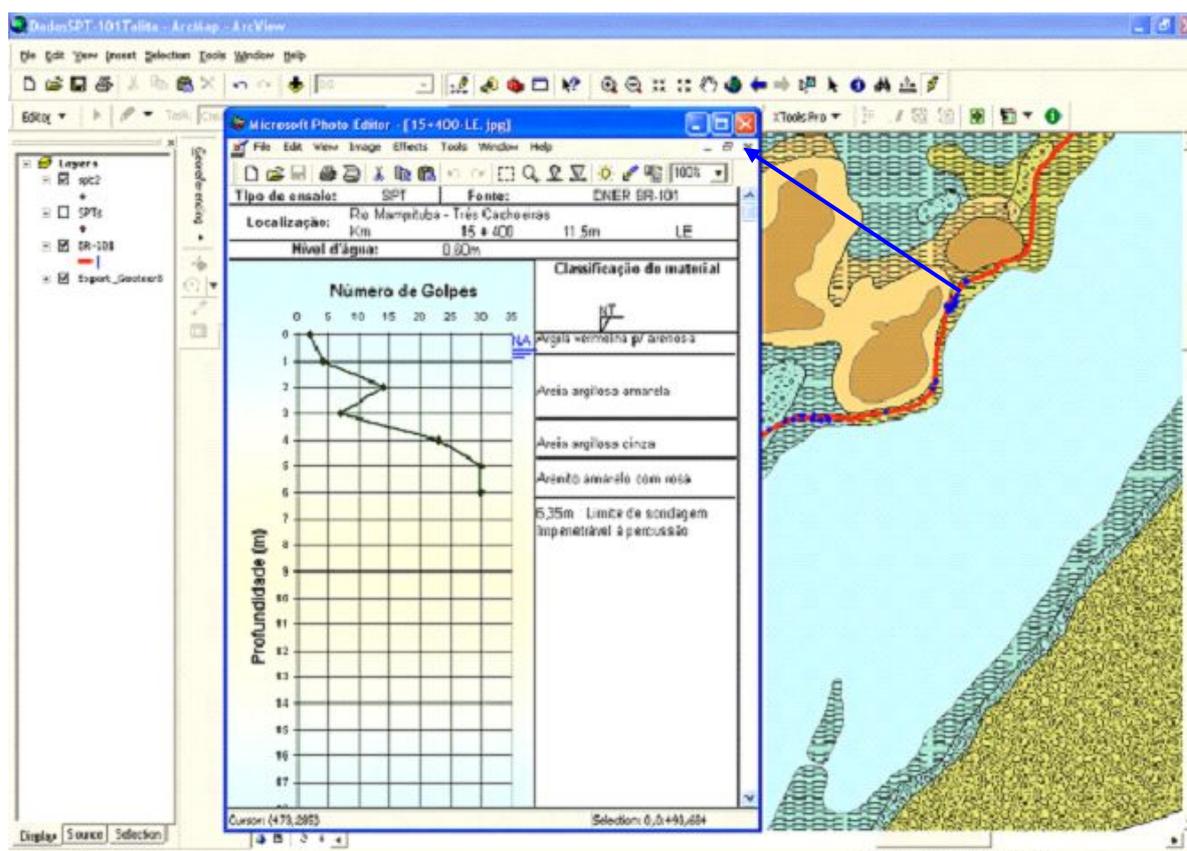


Figura 5.7: Visualização do acesso ao banco de dados em ambiente de SIG.

5.3.2 Dados de caracterização geotécnica das principais jazidas de solos utilizados na duplicação da rodovia

Os dados de caracterização geotécnica das principais jazidas de solos, utilizadas na duplicação da rodovia, utilizados desta dissertação, foram disponibilizados no banco de dados de maneira igual aos dados de sondagens SPT, conforme exhibe a Figura 5.8.

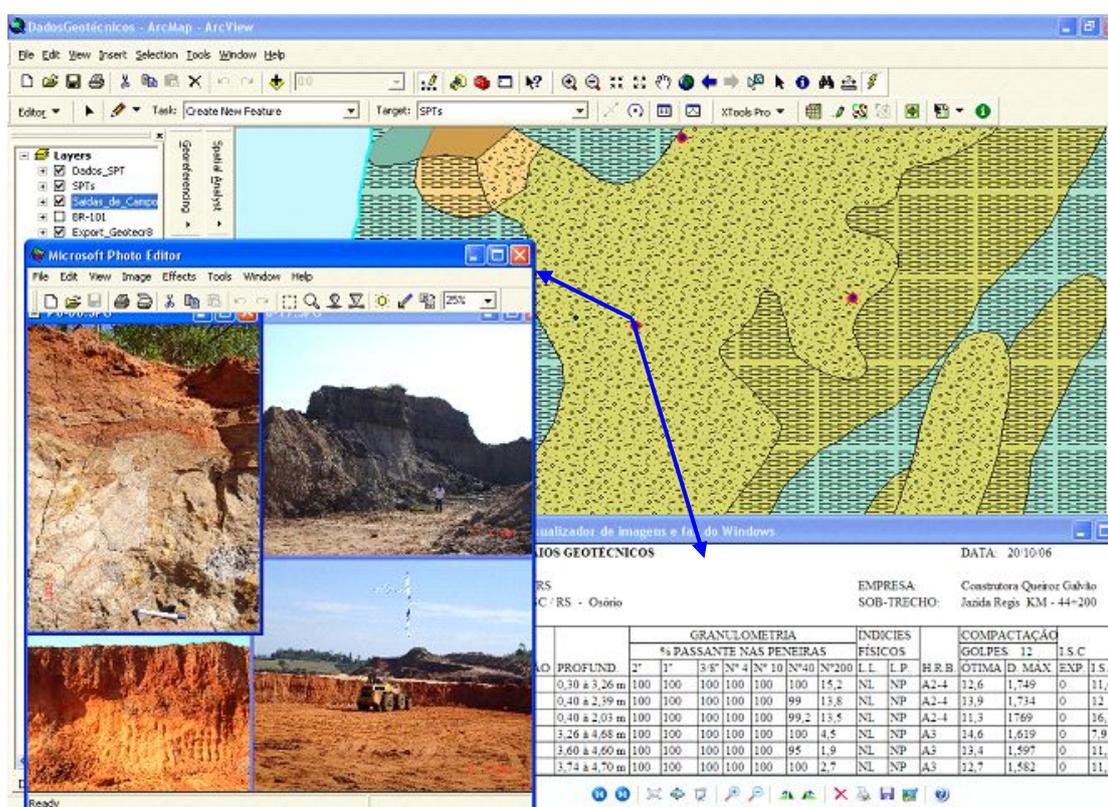


Figura 5.8: Dados geotécnicos das principais jazidas utilizadas na obra.

5.3.3 Caracterização da região: rodovias secundárias, limites municipais e área urbana

Com base nas Cartas do Exército utilizadas neste estudo digitalizaram-se os dados de rodovias e vias secundárias presentes na região de estudo, os limites municipais e de manchas urbanas, além dos dados de hidrografia (rios e arroios). A Figura 5.9 apresenta estes dados sobrepostos ao mapa geotécnico detalhado para o primeiro trecho da rodovia, próximo a cidade de Torres.

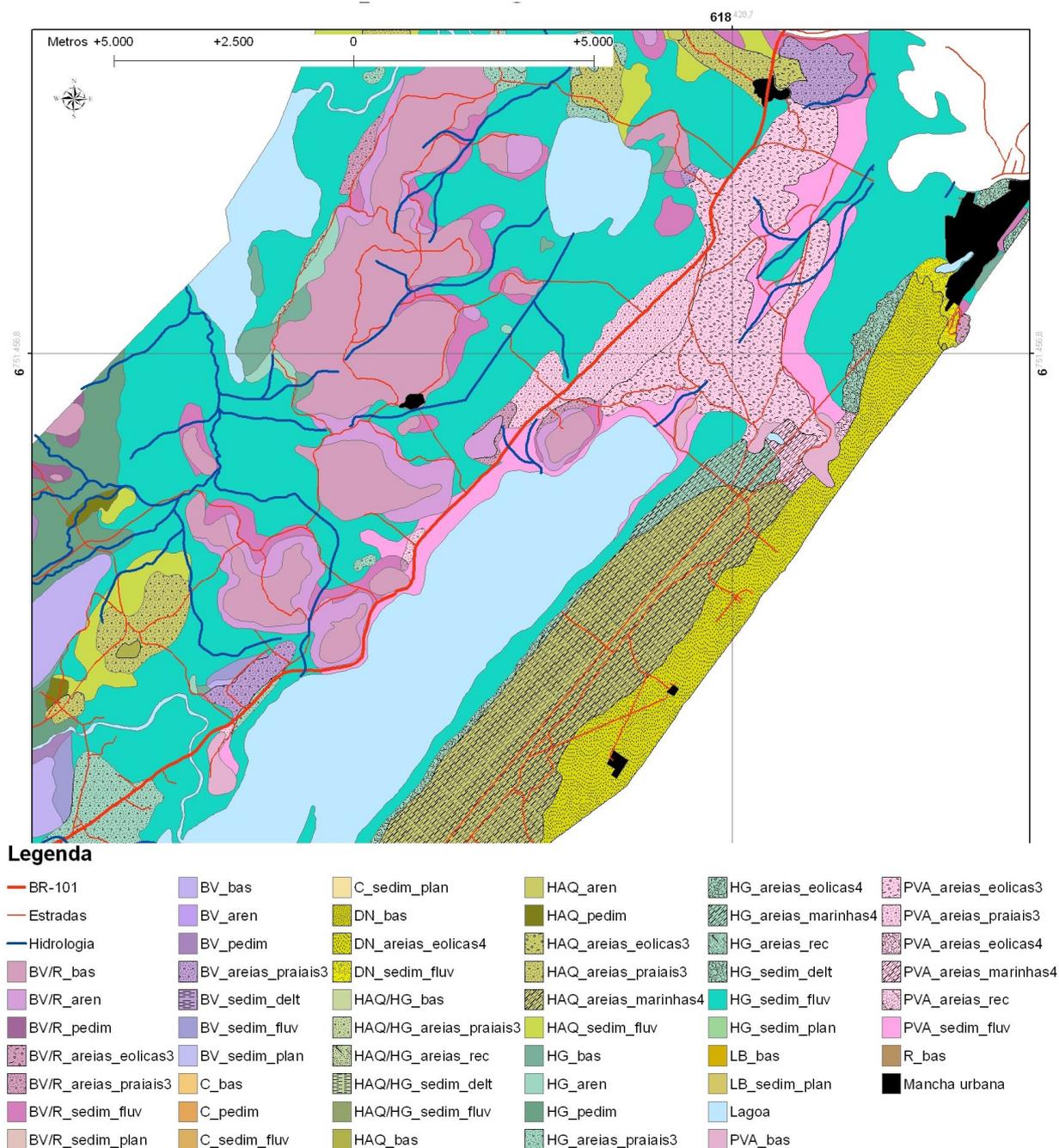


Figura 5.9: Detalhe do Mapa Geotécnico Detalhado.

5.3.4 Representação tridimensional da distribuição dos solos e do substrato geológico

Com base Mapa Geotécnico Detalhado foi feita a representação tridimensional de alguns cortes perpendiculares e ao longo da rodovia e áreas consideradas de interesse. Estes cortes transversais são apresentados nas Figuras 5.10 a 5.15.

A Figura 5.10 apresenta um corte feito perpendicularmente à rodovia no km 7 +025, próximo da cidade de Torres, onde existem as unidades PVA_areias_eólicas3, PVA_areias_praiais3 e HG_sedim_lag. Destacam-se nesta representação as unidades: PVA_areias_eólicas3, que é a principal unidade onde ocorram jazidas de solos utilizados como aterro pela obra de duplicação e a unidade PVA_areias_praiais3 por se tratar de um solo arenoso sobre um depósito argiloso pouco resistente por onde passa um trecho apreciável da rodovia.

A Figura 5.11 apresenta um corte feito perpendicularmente à rodovia no km 12 +925, em um dos morros testemunhos existentes no litoral norte do estado, onde são representados as unidades BV/R_bas, BV_aren e PVA_sedim_lag. Destacam-se nesta representação as unidades: BV/R_bas sobre o basalto no topo deste morro testemunho; e a unidade PVA_areias_praiais3 por se tratar de um solo arenoso sobre um depósito argiloso pouco resistente.

A Figura 5.12 apresenta um corte feito perpendicularmente à rodovia no km 39 +500, com as unidades: R_bas, BV/R_bas, BV_bas e HG_sedim_delt. Destacam-se nesta representação as unidades: BVb, que apresenta solos com características coluvionares, sendo que a rodovia tem grande parte do seu traçado no sopé desta unidade, necessitando de estruturas de contenção para os taludes de corte na obra; e a unidade HG_sedim_delt, por se tratar de um solo hidromórfico de pequena espessura sobre um depósito de argila mole com baixa capacidade de suporte.

A Figura 5.13 apresenta um corte feito perpendicularmente à rodovia no km 47+135, na cidade de Terra de Areia, com as unidades: PVA_aren, PVA_areias_praiais3 e HG_sedim_lag. Destacam-se nesta representação as unidades: PVA_areias_praiais3, presente nas cotas mais altas desta região e com boa capacidade de suporte e por se tratar de um solo arenoso sobre um depósito arenoso praiial; e a unidade HG_sedim_lag, constituída por solo argiloso, hidromórfico, sobre um depósito de argila mole.

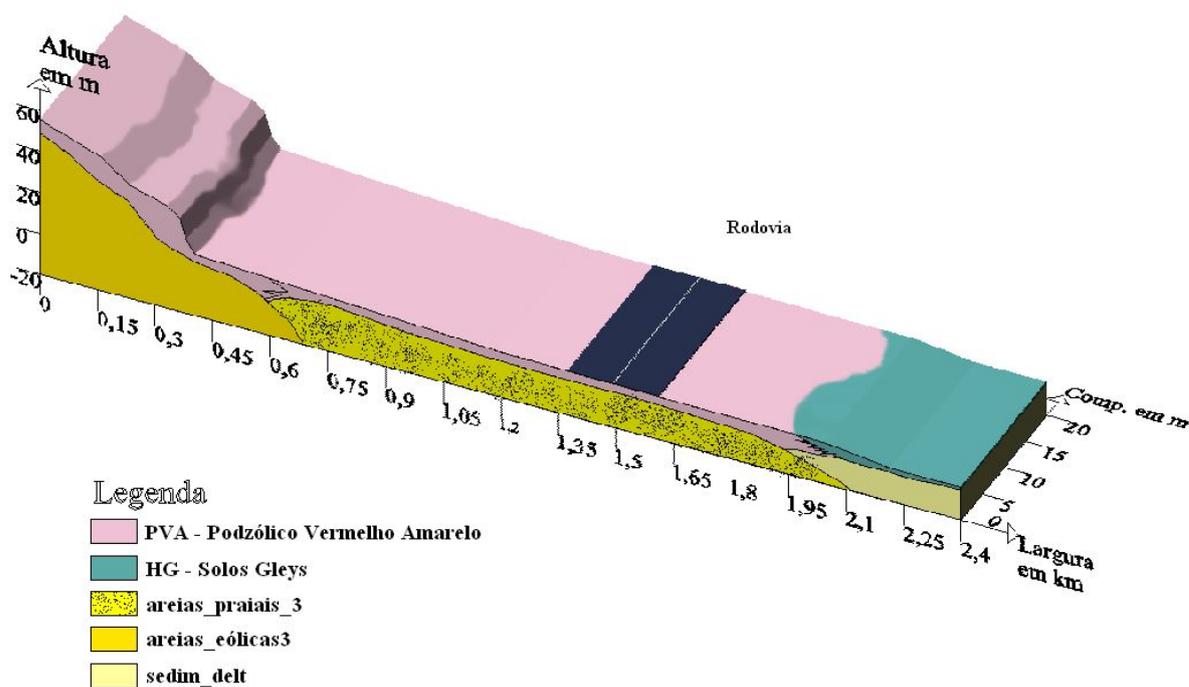


Figura 5.10: Corte no km 7 + 025 – representação dos solos PVA sobre os depósitos arenosos.

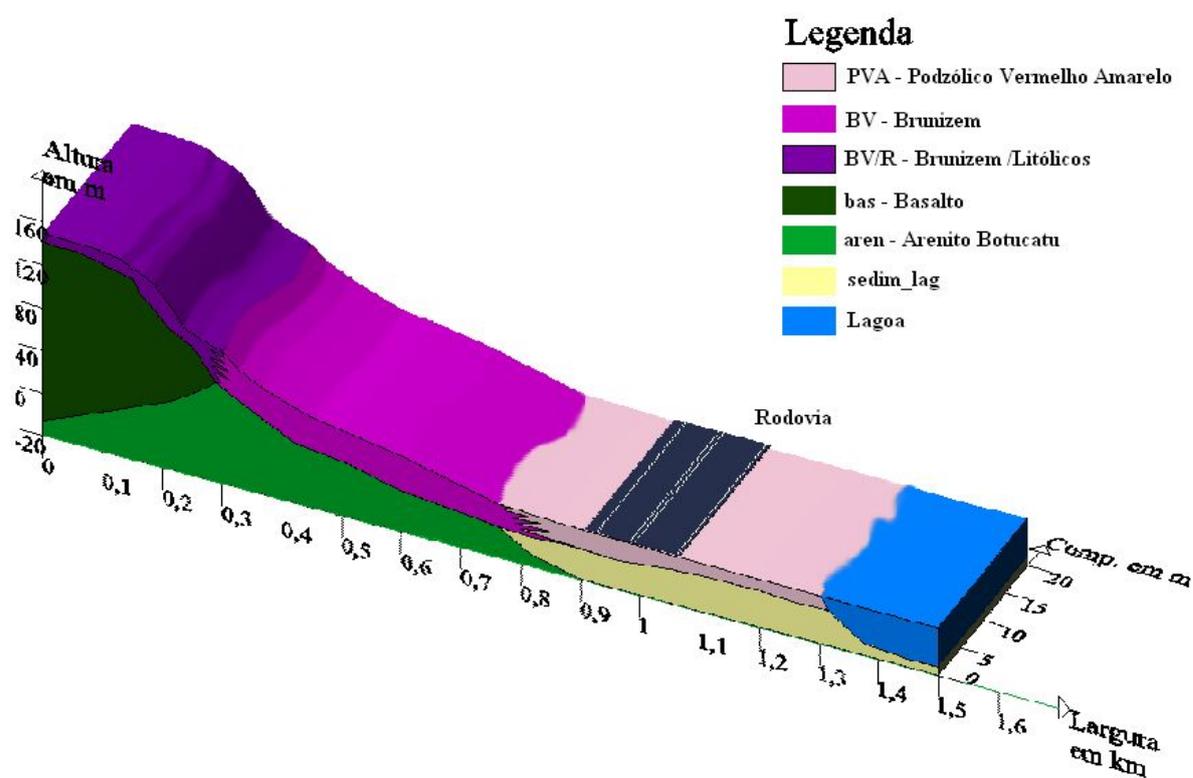


Figura 5.11: Corte no km 12 + 925 – solos de brunizem sobre material rochoso e solos PVA sobre depósitos de planície.

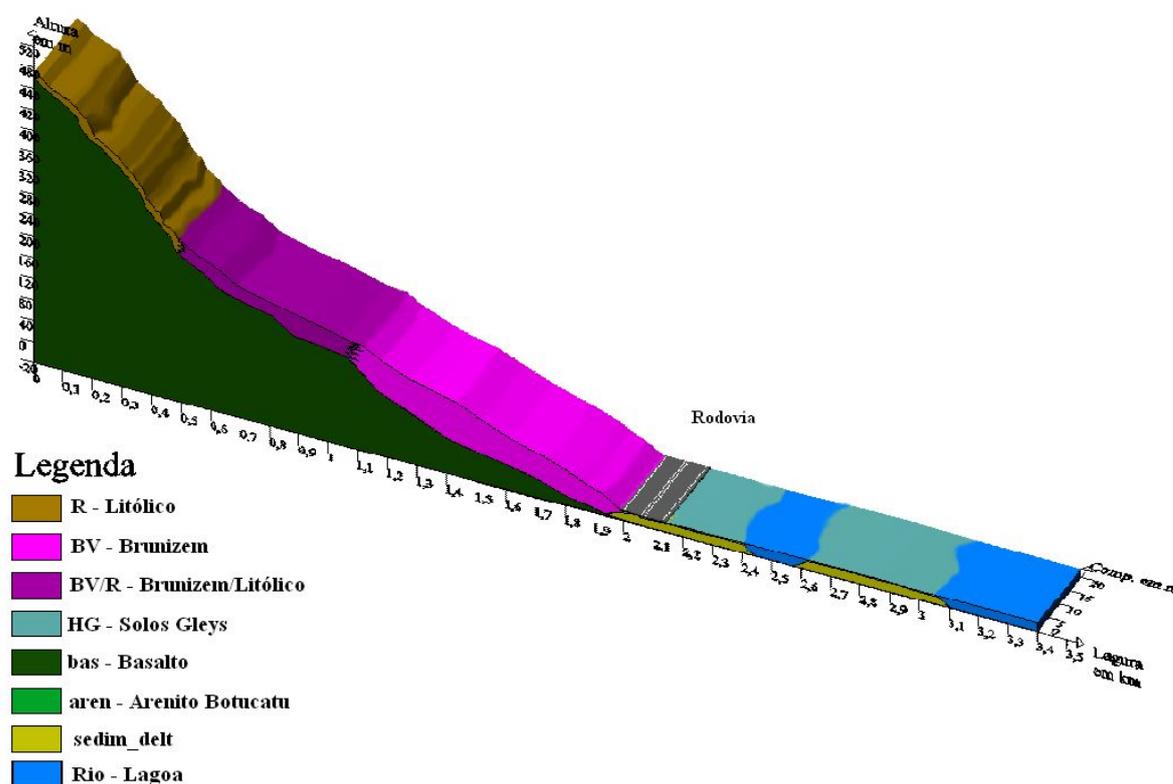


Figura 5.12: Corte no km 39+500 – solos litólicos e brunizem sobre material rochoso e solos gleys sobre depósitos de planície.

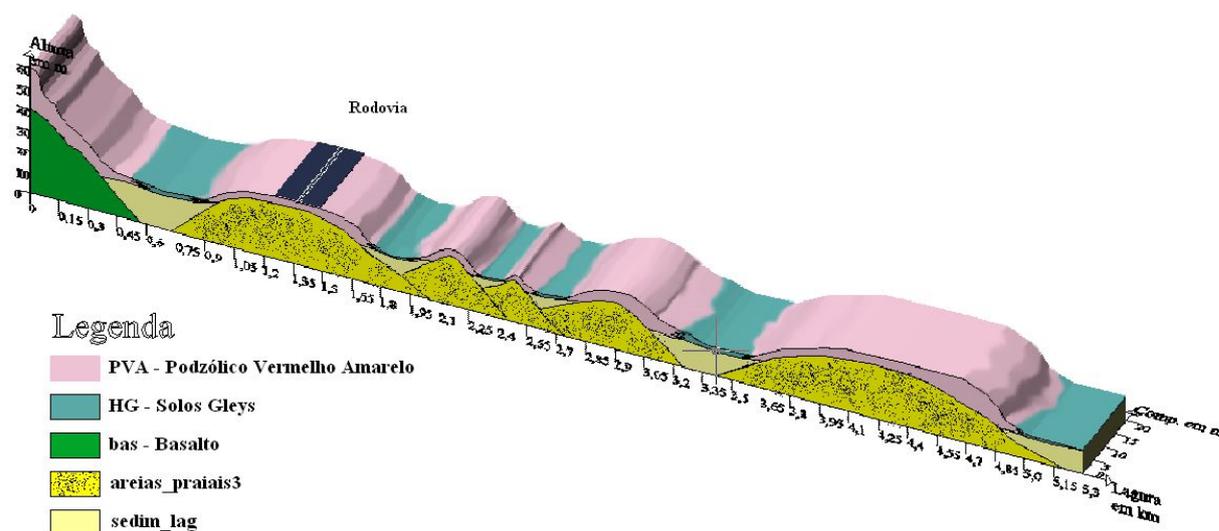


Figura 5.13: Corte no km 47 + 135 – solos de PVA sobre material rochoso e depósitos marinhos/eólicos e de planície e solos gleys nas áreas de menor cota.

A Figura 5.14 apresenta um corte feito perpendicularmente à rodovia antiga, voltado para a foz do Rio Maquiné e mostrando a encosta em que estão sendo construídos os túneis do km 63. Estão representadas as unidades: R_bas, BV_bas, BV_sedim_delt e HAQ/HG_sedim_lag. A unidade BV_sedim_delt representa um solo argiloso, oriundo de basalto, transportado por gravidade até a posição atual sobre um depósito de argila mole com muito baixa capacidade de suporte. A unidade HAQ/HG_sedim_lag são solos arenosos associados a solos hidromórficos sobre um depósito de argila mole também com muito baixa capacidade de suporte.

A Figura 5.15 apresenta o corte transversal da encosta onde estão sendo construídos os túneis do Morro Alto, emboque sul. Estão representadas as unidades: R_bas, BV_bas, BV_sedim_lag e HG_areias3. Destacam-se as unidades: BV_sedim_lag, que apresenta uma camada espessa de solo argiloso transportado por gravidade até sobre o depósito de argila mole ali localizado; e a unidade HG_areias3 que é um solo hidromórfico de má qualidade geotécnica sobre um depósito arenoso eólico que tem boas características de engenharia.

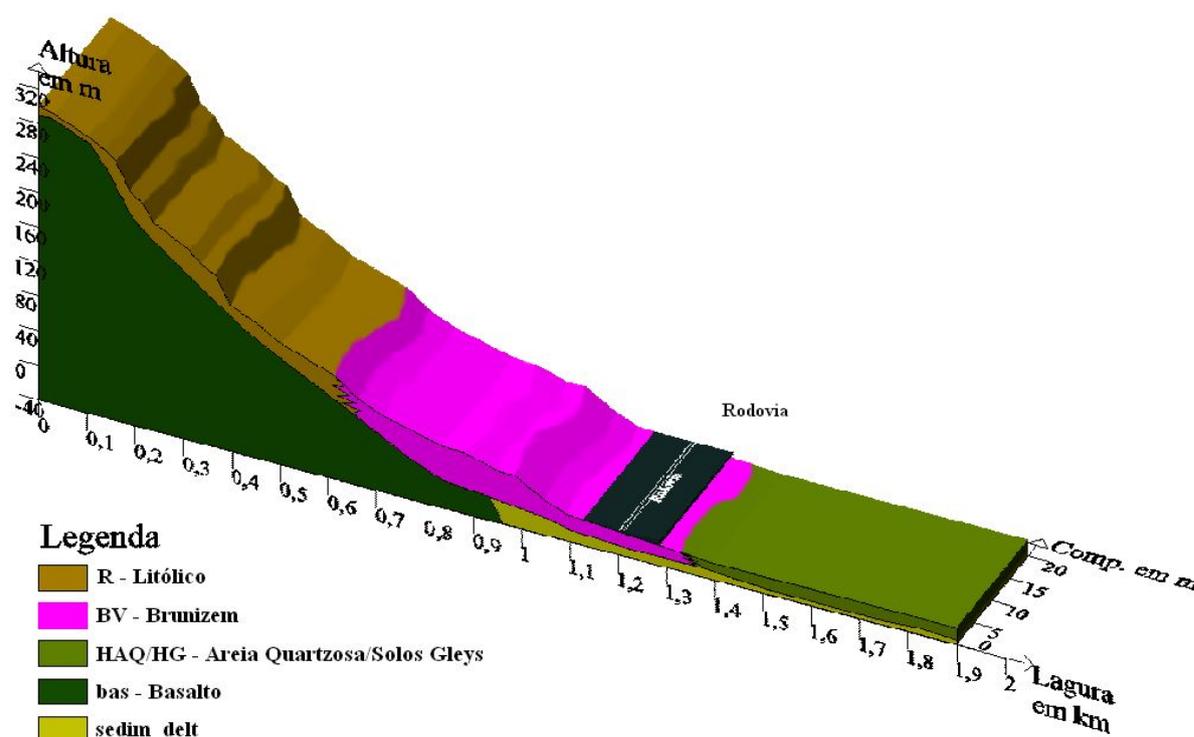


Figura 5.14: Corte no Morro do Túnel, lado para o Rio Maquine.

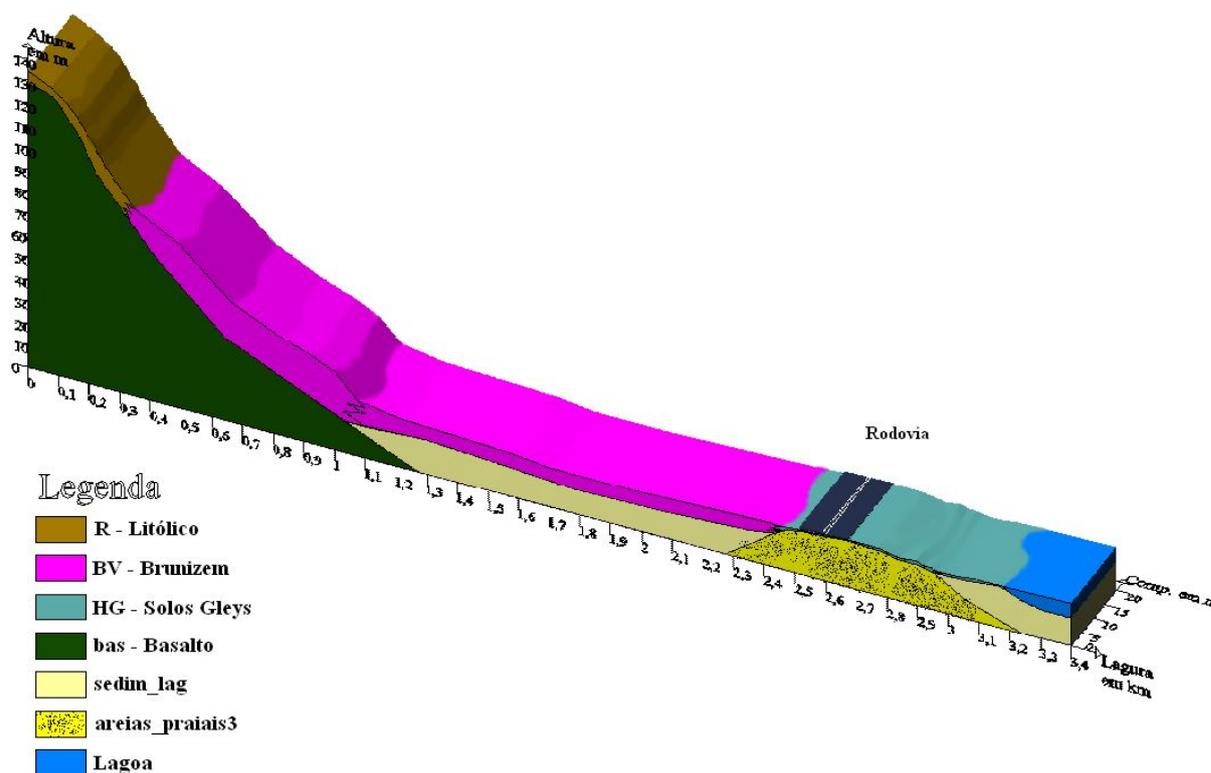


Figura 5.15: Corte no Morro do Túnel, lado sul do morro.

5.3.5 Representação dos dados de sondagens SPT nas planícies deltaicas

5.3.5.1 Representação do Rio Maquiné

A Figura 5.16 apresenta uma visão geral da área, mostrando que a rodovia passa sobre o delta do Rio Maquiné, encaixado entre duas escarpas de basalto. Já a Figura 5.17 apresenta, em planta, os tipos de solos que são encontrados em um pequeno trecho da rodovia e a localização dos dados de sondagens SPT utilizados para confeccionar a Figura 5.18. Já essa última imagem, representa o subsolo logo abaixo do eixo da rodovia, conforme as descrições dos solos obtidas das sondagens. Nesta figura podemos observar toda a deposição de material feito pelo Rio Maquiné. Destaca-se a espessa camada argilosa presente, a qual necessitará de projeto de estruturas geotécnicas devido a sua baixa capacidade de suporte e alta compressibilidade.

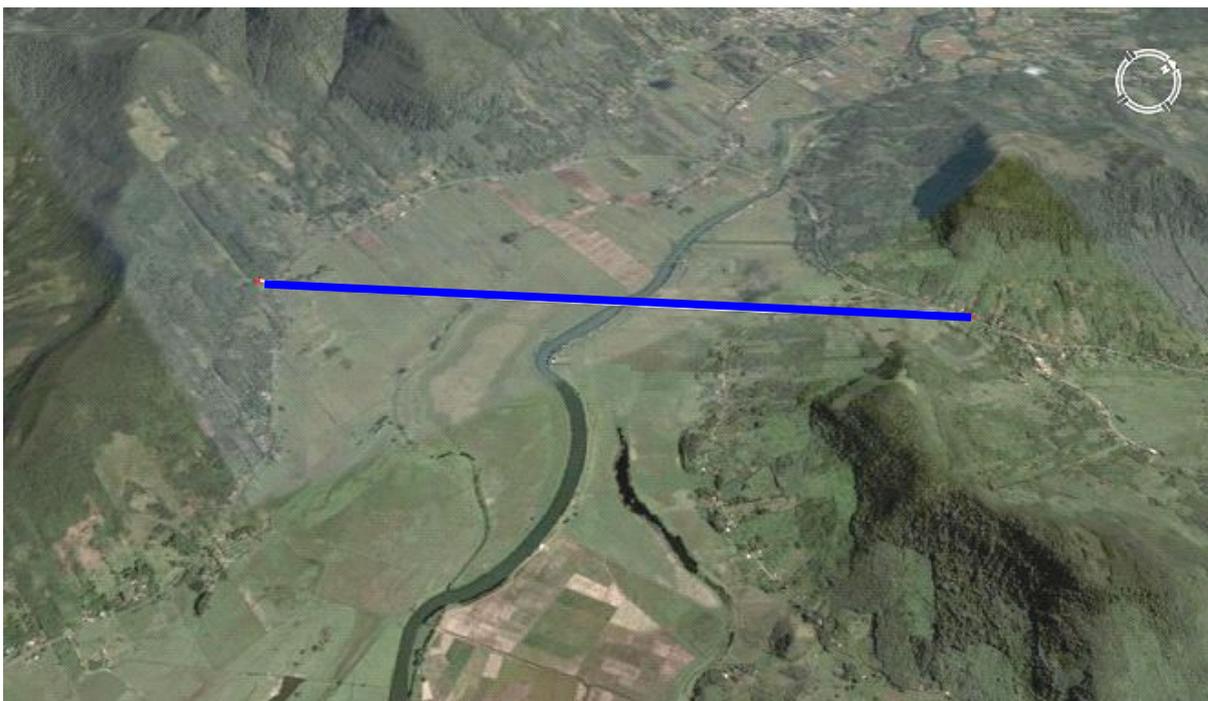


Figura 5.16: Visão geral do delta do Rio Maquine – Linha em branco: linha de sondagem (Google Earth, 2007).

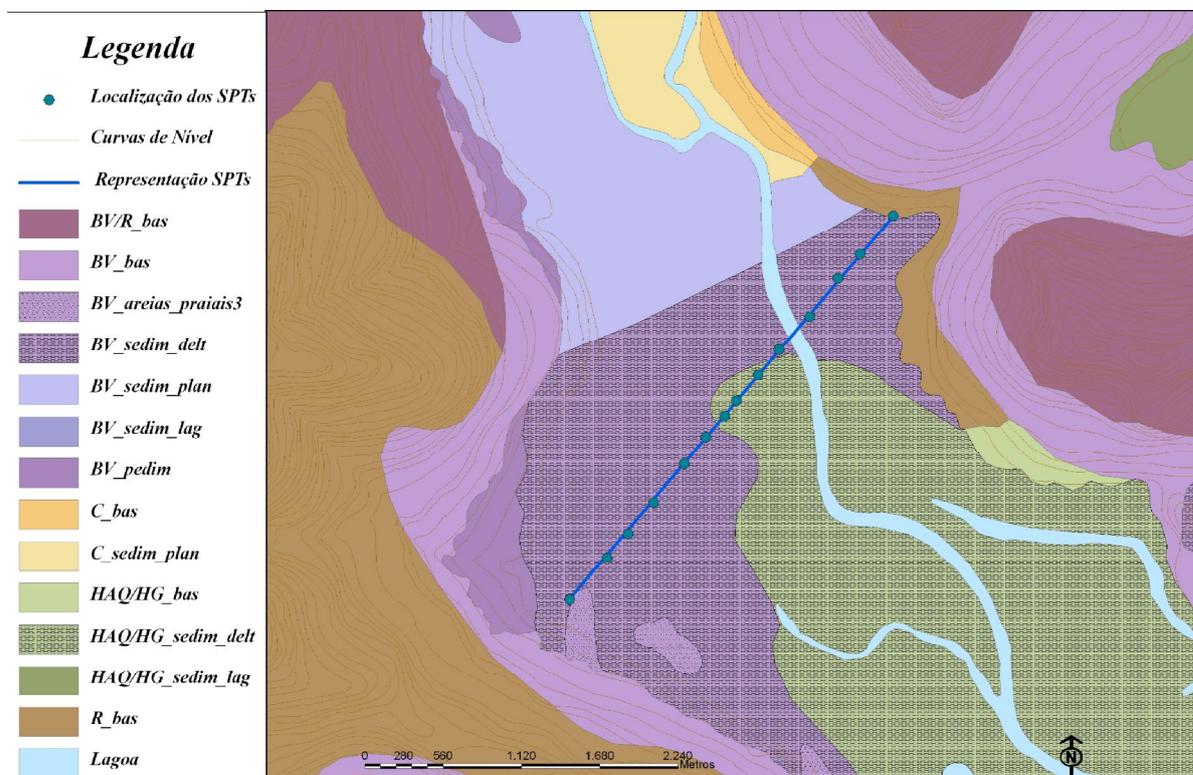


Figura 5.17: Localização dos dados de sondagens SPT e dos tipos de solos do delta do Rio Maquiné.

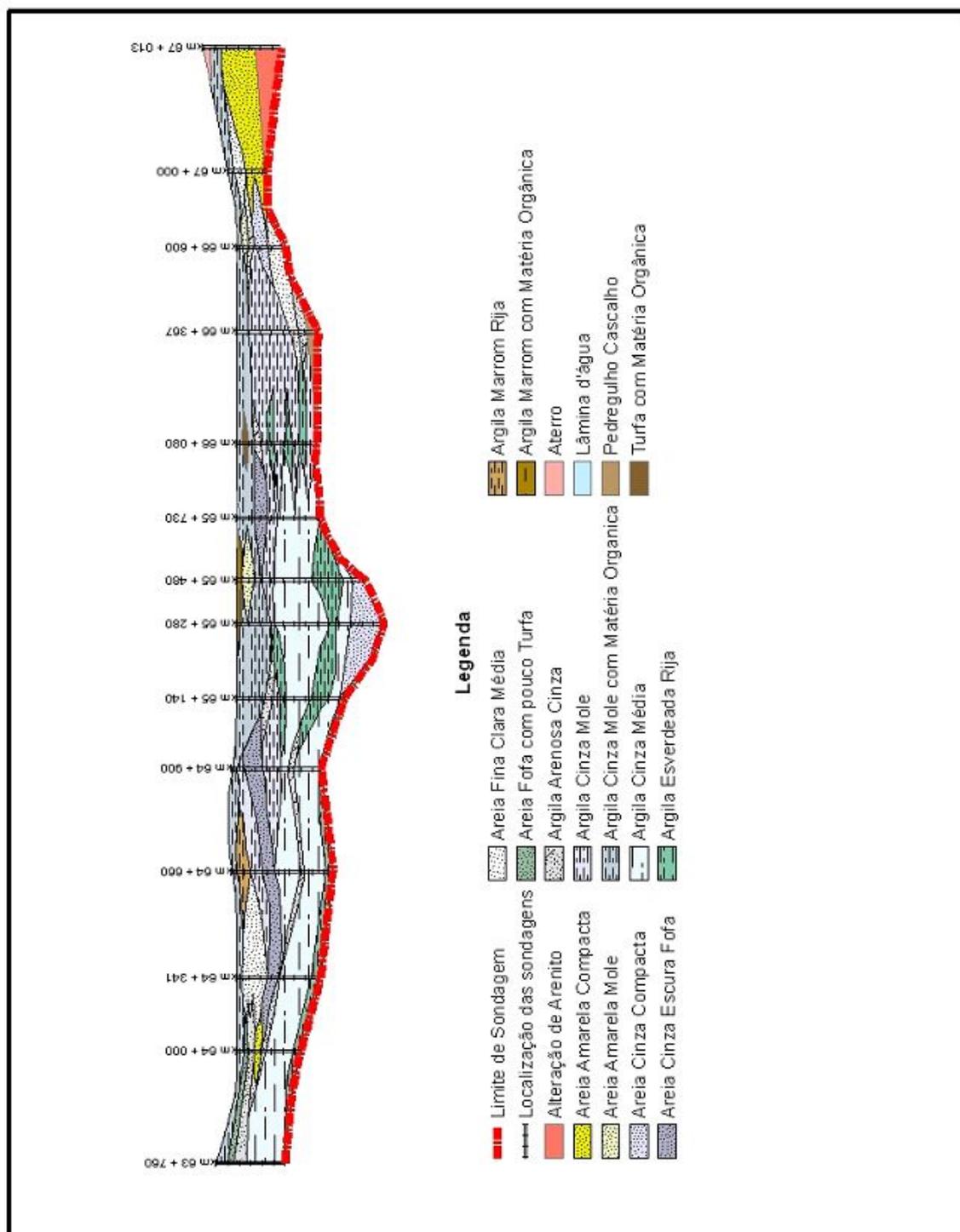


Figura 5.18: Representação do subsolo do delta do Rio Maquiné.

5.3.5.2 Representação do Rio Três Forquilhas

A Figura 5.19 apresenta uma visão geral da área, mostrando que a rodovia atravessa um depósito argiloso deltaico do Rio Três Forquilhas, neste caso praticamente paralelo a calha do rio atual. Já a Figura 5.20 apresenta, em planta os tipos de solos que são encontrados em um pequeno trecho da rodovia e a localização dos dados de sondagens SPT utilizados para confeccionar a Figura 5.21. Já esta última imagem, representa o subsolo logo abaixo do eixo da rodovia, conforme as descrições dos solos obtidas das sondagens. Esta figura apresenta as deposições feitas pelo delta do Rio Três Forquilhas, com uma camada argilosa de grande espessura e de coloração variada. Neste trecho, para a implantação da rodovia, devem ser projetadas estruturas geotécnicas que possam acelerar o adensamento deste tipo de solo.

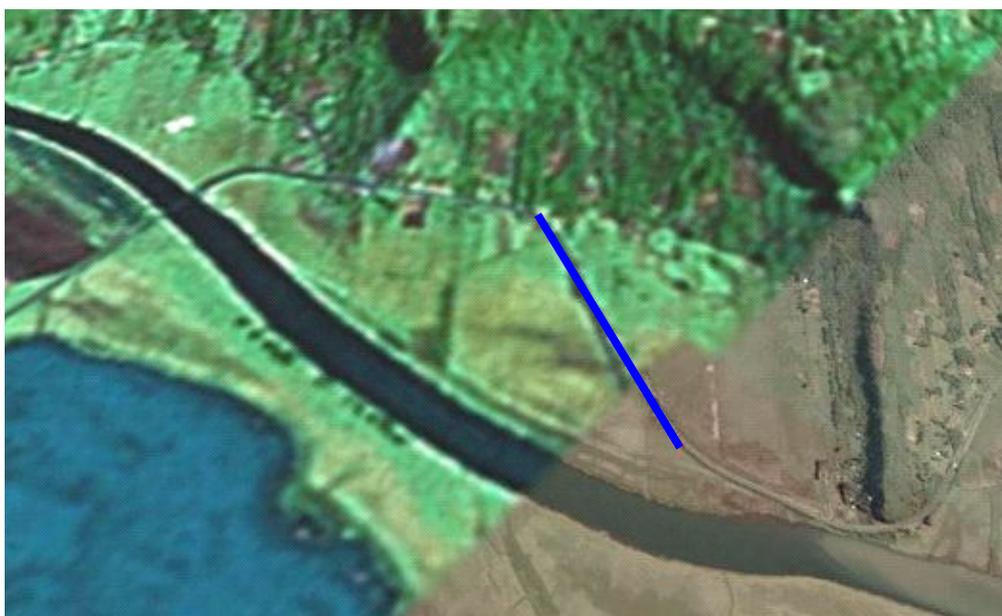


Figura 5.19: Visão geral do Rio Três Forquilhas. (Google Earth, 2007).

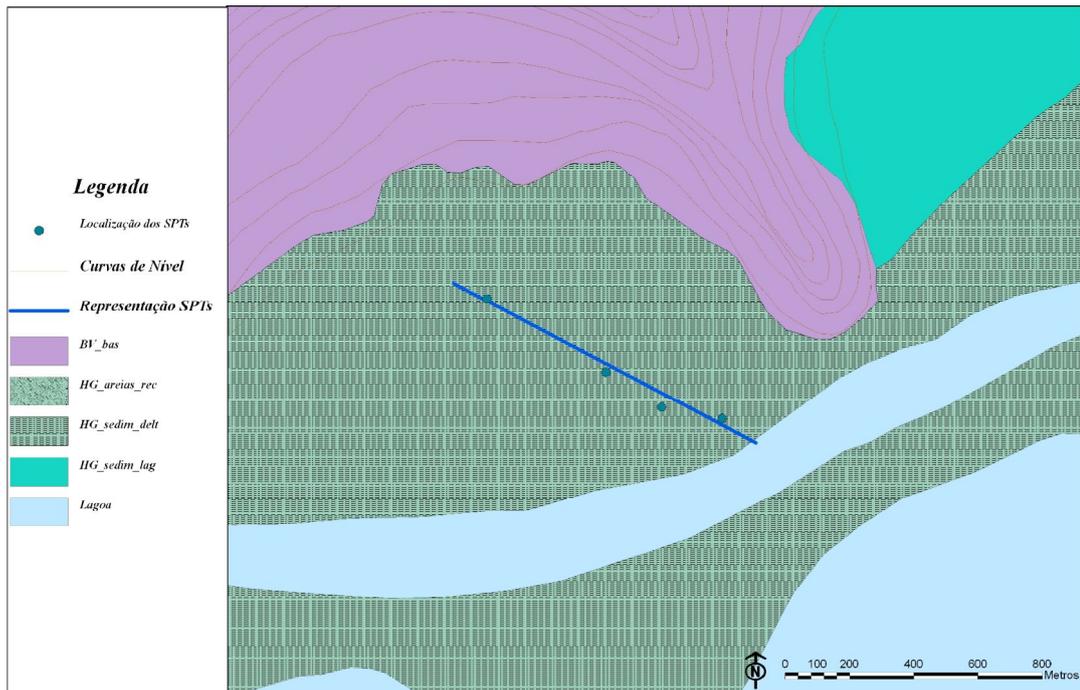


Figura 5.20: Localização dos dados de sondagens SPT e dos tipos de solos do Rio Três Forquilhas.

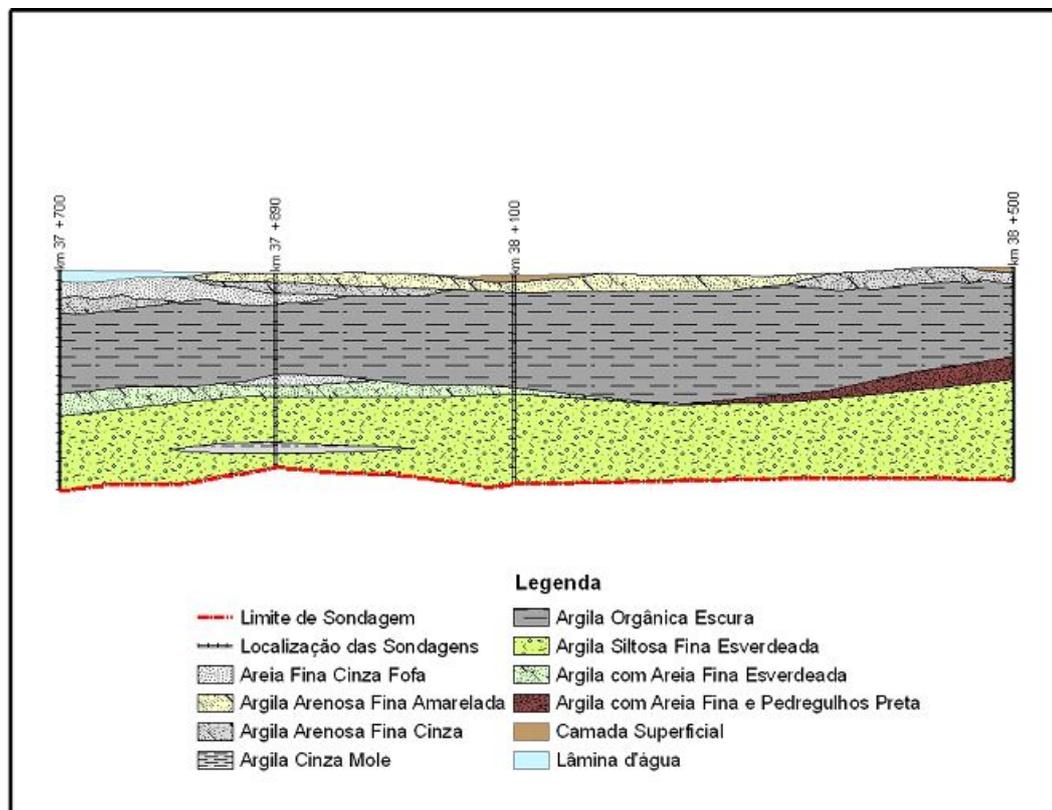


Figura 5.21: Representação do subsolo do Rio Três Forquilhas.

5.3.5.3 Representação do Rio Cardoso

A Figura 5.22 apresenta uma visão geral da área, mostrando que a rodovia passa sobre o delta do Rio Cardoso. Já a Figura 5.23 apresenta, em planta os tipos de solos que são encontrados em um pequeno trecho da rodovia e a localização dos dados de sondagens SPT utilizados para confeccionar a Figura 5.24 Já esta última figura, representa o subsolo logo abaixo do eixo da rodovia, conforme as descrições dos solos obtidas das sondagens. Nesta figura a esquerda ficam claras as deposições arenosas e argilosas, existentes no delta do Rio Cardoso, e as interações entre si, como também os solos arenosos transportados acima do substrato de Arenito Botucatu a direita.

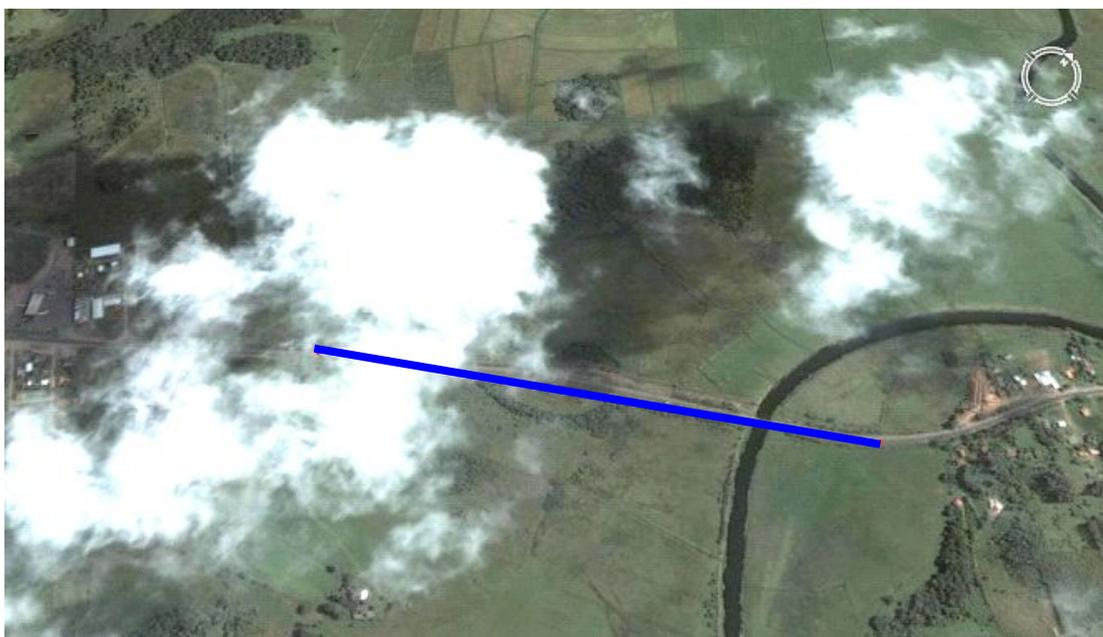


Figura 5.22: Visão geral do delta do Rio Cardoso (Google Earth, 2007).



Figura 5.23: Localização dos dados de sondagens SPT e dos tipos de solos do delta do Rio Cardoso.

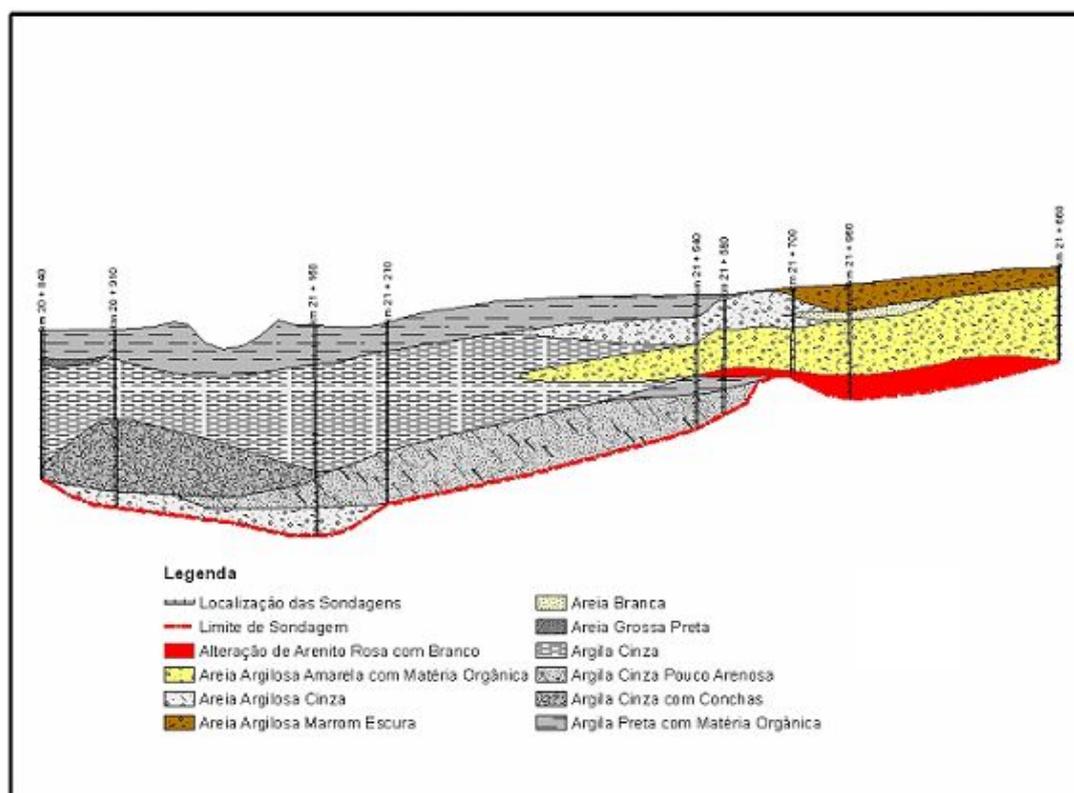


Figura 5.24: Representação do subsolo do delta do Rio Cardoso.

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas nesta dissertação e as perspectivas futuras de continuidade deste trabalho.

6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A região de estudo está situada entre a escarpa dos Aparados da Serra e o Litoral, abrangendo os municípios de Torres ao norte e Osório ao sul. A região apresenta uma grande variedade de materiais e complexidade de deposição, com inter-digitação entre materiais de encosta e materiais de deposição fluvio-marinha. Em face desta grande variedade de materiais na região, e considerando a abrangência possível em um trabalho de mestrado, a área de mapeamento foi limitada ao entorno do eixo da rodovia BR 101 Sul, tendo sido adotado 10km para cada lado do eixo.

Este trabalho de dissertação utilizou a metodologia de mapeamento proposta por Davison Dias (1995), que consiste na confecção dos mapas de unidades geotécnicas a partir do cruzamento e análise das informações contidas nos mapas geológicos e pedológicos. A grande vantagem desta metodologia está na grande redução do trabalho de identificação e delimitação em área dos diferentes tipos de solos presentes em uma região, já que muitos dos limites já foram mapeados pela Pedologia utilizando imagens de satélite, fotos aéreas, inspeções de campo com trincheiras e valas e análises físico-químicas para caracterização. A aplicação desta metodologia na área de estudo forneceu resultados bastante satisfatórios, comparando-se o mapeamento resultante com os dados de campo.

Os principais dados de entrada utilizados foram (a) os mapas de Geologia do litoral; (b) o mapa pedológico produzidos pela FEE; (c) os dados de topografia do terreno obtidos das Cartas do Exército; (d) os dados de sondagens SPT executados em locais específicos ao longo

da rodovia; (e) os dados de granulometria das principais jazidas de solos utilizadas na obra; (f) fotografias dos perfis de solos; (g) fotos aéreas da obra. Com a compilação destes dados no *software* de geoprocessamento ArcGis® 9.0, foi aplicada a metodologia de Davison Dias (1995) para a obtenção do mapeamento geotécnico e a confecção de um banco de dados.

Para a confecção do SIG, foram inicialmente reunidas informações geométricas do projeto da rodovia (cotas, curvas, obras de arte correntes e especiais), que estavam georreferenciadas e que serviram de referência básica para o lançamento das demais informações compiladas. As quatro Cartas do Exército que cobrem a região de estudo foram obtidas em forma de imagens (mapas escandidos), tendo sido georreferenciadas e digitalizadas, incorporando-se ao sistema as curvas de nível, drenagens, rodovias e estradas vicinais, delimitação das lagoas e limites municipais.

Os mapas geológicos da região de estudos (CECO, 1995) foram obtidos em forma impressa. Assim, foi necessário digitalizar os mapas para o meio digital com uso de um scanner de mesa, obtendo-se figuras com um mínimo de 50% de sobreposição para minimizar as distorções de borda. Todas as informações foram georreferenciadas e as unidades geológicas foram vetorizadas a seguir. Os mapas pedológicos da FEE (1979) já foram obtidos em formato digital, tendo sido georreferenciados e vetorizadas as unidades pedológicas.

Os mapas geológicos foram analisados com o objetivo de realizar uma generalização taxonômica, de forma que classes que apresentavam características geotécnicas semelhantes fossem agrupadas. Com isto foram obtidos dois mapas geológicos da região para uso nesta dissertação, assim denominados: Mapa Geológico Generalizado, com 6 classes de materiais e Mapa Geológico Detalhado, com 12 classes. O mesmo foi feito com os Mapas Pedológicos, tendo sido elaborado também dois mapas para uso desta dissertação: um Mapa Pedológico Generalizado, com 6 unidades de solos e o Mapa Pedológico Detalhado com 10 unidades.

Como os mapas geológicos e pedológicos foram obtidos por equipes de diferentes áreas, utilizando diferentes metodologias, era natural esperar algumas peculiaridades na definição dos limites das unidades, tanto pedológicas como geológicas. Por isto foi necessário verificar se unidades idênticas tinham a mesma delimitação, para evitar que fossem criadas pequenas áreas de classes geotécnicas inexistentes quando os mapas fossem cruzados. Esta verificação foi feita entre os dois mapas, inseridos no SIG já em formato vetorial, ajustando-se onde necessário.

Utilizando a metodologia de cruzamento de mapas de Davison Dias (1995), foi feito um primeiro cruzamento obtendo-se o Mapa Geotécnico Generalizado, que contém com 23 unidades geotécnicas de solos. Este mapa foi obtido através do cruzamento do Mapa Geológico Generalizado com o Mapa Pedológico Generalizado. A Tabela 5.5 e o Anexo 1 apresentam a descrição das classes mapeadas. A análise dos resultados obtidos neste mapa permitiu concluir que ele contém um número de classes condizente com a escala adotada, entretanto certas classes de solos que foram importantes para a obra não foram discretizadas, devido à generalização taxonômica aplicada aos mapas geológicos e pedológicos. Portanto, embora correto no sentido geral, faltou-lhe um detalhamento considerado importante.

Foi elaborado nessa dissertação um segundo mapa denominado Mapa Geotécnico Detalhado, contendo 52 unidades geotécnicas. Este mapa resultou do cruzamento do Mapa Geológico Detalhado com o Mapa Pedológico Detalhado. Devido à grande quantidade de classes ele é detalhado o suficiente para que sejam identificados grande parte dos materiais encontrados na obra, entretanto ele tem uso restrito devido ao nível de detalhe para a escala utilizada.

Foi criado um Modelo Numérico do Terreno (MNT) da área de estudo a partir das curvas de nível obtidas das Cartas do Exército digitalizadas, juntamente com as cotas obtidas do projeto da rodovia. A criação deste MNT serviu de complementação da metodologia utilizada, sendo utilizado na verificação do mapeamento geotécnico, a partir da análise e a delimitação das feições de relevo com o uso de ferramentas de geoprocessamento. Ao se sobrepor os mapas geotécnicos produzidos com a delimitação obtida no geoprocessamento verificou-se que nas áreas de encosta os principais limites das unidades ficaram coincidentes com a delimitação obtida, confirmando as técnicas utilizadas no mapeamento.

Neste trabalho foi confeccionado um banco de dados composto por informações geotécnicas de sondagens SPT e de caracterização geotécnica das principais jazidas de solos utilizadas na obra. As informações de sondagens SPT foram inseridas no programa Excel[®] e posteriormente transformadas em arquivos tipo “jpg” e associados a pontos de localização dentro do SIG. O banco de dados também apresenta outros dados como: fotos tiradas para a comprovação das unidades em visitas de campo, projeto geométrico e fotos aéreas da rodovia. A confecção e acesso a este banco é feita através do programa computacional ArcGis[®] 9.0, que oferece acesso ágil e fácil aos dados, permitindo assim a análise de todas as informações.

A partir da análise de todas as informações contidas no banco de dados e tendo como base o Mapa Geotécnico Detalhado, foram criadas representações tridimensionais de algumas seções transversais ao eixo da rodovia e representações gráficas dos substratos encontrados nas áreas de várzea dos principais rios que a rodovia atravessa.

Os cortes tridimensionais foram baseados no mapa geotécnico e delimitação da ocorrência dos solos e no MNT para a composição do relevo. As representações mostraram a localização das principais unidades mapeadas e o relevo característico das mesmas em relação à rodovia. Nestas representações ficou evidente que a rodovia, em grande parte de sua extensão, atravessa unidades geotécnicas de baixa capacidade de suporte. Fica também evidente que o traçado cruza ora por depósitos argilosos e arenosos, marinhos e eólicos, ora por solos transportados gravitacionalmente como colúvios. Isto exigiu um grande investimento em estruturas de contenção, obras de drenagem e controle de recalques e fundações profundas. Estas representações tri-dimensionais foram feitas com o intuito de salientar os tipos de solos que a rodovia atravessa ao longo do traçado, situado em área de transição entre a Planície Costeira e as escarpas da Serra Geral, com grande influência de transgressões e regressões marinhas.

As representações gráficas dos substratos da várzea dos principais rios da região de estudo foram obtidas com base nos dados de descrição dos solos de sondagens SPT e no mapa geotécnico. Na representação do estuário do Rio Maquiné, onde existe um grande trecho da rodovia assente sobre solos hidromórficos, foi possível observar a espessa camada argilosa de baixa capacidade de suporte depositada, interdigitada com material arenoso.

Os dois mapas geotécnicos obtidos identificam, descrevem e localizam os principais solos que compõem a região de estudos, desta forma servindo para estudos preliminares de uso do solo. Estes mapas podem ser utilizados para localização de potenciais jazidas de solos para uso em aterros ou materiais pétreos para produção de agregados. Eles servem para delimitar as áreas com presença de solos coluvionares, de solos hidromórficos e de depósitos de argilas moles, com as propriedades características a eles associados. Assim, estes mapas podem ser utilizados como subsídio para o planejamento rural e urbano das cidades ao longo da rodovia.

A metodologia utilizada resultou em um mapa de muito boa qualidade na identificação das classes de solos. Esta metodologia, associada ao uso de ferramentas de geoprocessamento,

permitiu a produção de mapas de muito boa qualidade gráfica, além de facilitar e agilizar o processo de análise das informações e confecção dos mapas.

6.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

A continuidade da pesquisa poderá ser orientada nos seguintes itens:

- Aumento da área mapeada em direção à linha de praia atual, abrangendo todos os municípios costeiros, de forma a que os mapas sejam possam ser mais amplamente utilizados como subsídio para o planejamento territorial.
- Aumento da escala do mapa em áreas urbanas, para planejamento urbano das cidades que ainda não dispõem de infra-estrutura necessária para a demanda turística.
- Ensaio de caracterização geotécnica, de resistência ao cisalhamento e de compressibilidade, de todas as unidades mapeadas, com atualização do banco de dados, com estes e outros dados de ensaios geotécnicos de laboratório e de campo.
- Desenvolvimento de uma metodologia que integre as propostas de Davison Dias (1995) e Zuquete (1987) para os casos em que os dados de Pedologia ou Geologia não estejam disponibilizados com a qualidade requerida e seja necessário utilizar os conceitos de *landforms* também utilizados pela Pedologia.

REFERÊNCIAS

ABITANTE, E. Proposta Metodológica de Mapeamento Geotécnico com Uso de Pedologia em Solos Tropicais Visando Obras Rodoviárias. Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis SC, 1997.

ABITANTE, E.; DAVISON DIAS, R.; TRICHÊS, G. Cartografia Geotécnica e Engenharia Rodoviária. In: 3º Simpósio Brasileiro de Engenharia Geotécnica. **Anais...** Florianópolis SC. Outubro 1998.

ANEEL. Atlas hidrológico do Brasil: versão 1.0. CD. 1998.

AUGUSTO FILHO, O.; AKIOSSI, A.; KERTZMAN, F. SIG Gerenciamento de Passivo Ambiental: um exemplo para empreendimento rodoviário. 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. **Anais...** Ouro Preto MG. Agosto, 2002.

BASTOS, C. A. B. Mapeamento e caracterização geomecânica das unidades geotécnicas de solos oriundos dos granitos, gnaisses e migmatitos de Porto Alegre. 1991. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 1991.

BASTOS, C. A. B.; ALVES, A. M.L. Mapeamento Geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica 2º Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, 1º, 1998, São Carlo, SP. p. 19-23 **Anais...** São Carlos, 1998.

BASTOS, C. A. B.; VALENTE, A. L. S.; STRIEDER, A; BUFFON, S. A.; STUMPF, L.; QUADROS, T. F. P.; BICA, A. V. B.; BRESSANI, L. A. Mapeamento Geotécnico como subsídio ao monitoramento e previsão de riscos geotécnicos e ambientais em obra de tubulação de gás natural. 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. **Anais...** São Carlos/SP, p 091-099, 2004.

BASTOS, C.A.B.; VALENTE, A.L.S.; MIRANDA, T.C. Mapeamento geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul com vistas a caracterização de solos para pavimentação, XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, ABMS. **Anais...** Curitiba/PR, 2006.

BASTOS, C. A. B.; MIRANDA T. C.; SHULER, A. R.; SCHMITT, L. A.; VESCONCELOS, S. M. de.. Mapeamento geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul In. 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. ABGE. **Anais...** Uberlândia/MG, 2007.

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

CÂMARA, G. Anatomia de um SIG. Fator GIS. Curitiba, n.4, p. 35-39, Jan/Mar, 1994.

CÂMARA, G; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C. M. B.; MAGALHÃES, G. C. Anatomia de Sistemas de Informações Geográfica. UNICAMP, Campinas. IX Escola de Computação, 1996. disponível em: <http://www.dpi.iep.br/geopro/livros/anatomia.pdf> Acesso em 15 de fevereiro de 2007.

CARVALHO, M.S.; DE PINA, M.F.; SANTOS, S. M. dos., Conceitos Básicos de Informação Geográfica Aplicados à saúde. Rede Interangencial de Informações para a Saúde (RIPSA). Brasília, Brasil, 122p, 2000.

CECO. **Mapas Geológicos: Folhas Maquine-Arroio Teixeira, Três Cachoeiras – Torres e Osório - Tramandaí.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Geociências, 1995.

CECO. Notas Técnicas. – N.1 (1978) 1995 – 45p. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Geociências, 1995.

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

DASSOLER da SILVA, D. Sistemas de Informação Geo-Referenciada na Análise Geotécnica da Área Urbana de Novo Hamburgo/RS. 2002. Dissertação (Mestrado 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, 2002.

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

DAVISON DIAS, R. Aplicação de Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão. Tese (Doutorado em Engenharia). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro/RJ, 1987.

DAVISON DIAS, R. Metodologia de Estudo do Comportamento Geotécnico dos Solos do Rio Grande do Sul, Visando a Cartografia. In. Colóquio de solos Tropicais e Subtropicais e suas aplicações em Engenharia Civil. **Anais...** Porto Alegre, p 228-247, 1989.

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

DAVISON DIAS, R. Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais. Revista do Instituto Geológico, São Paulo. V. específico. P 51-55, 1995.

DAVISON DIAS, R. Mapeamento Geotécnico da Região Metropolitana de Porto Alegre. In Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. In. 2º Encontro regional de Geotecnia e Meio Ambiente. **Anais...** São Carlos SP. p 71-78, 1996.

DAVISON DIAS, R.; SANTOS, G. T. Proposta de uma Metodologia de Estudo Geotécnico para Implantação de Rodovias, Estradas Rurais e Vicinais em solos brasileiros. In. 33º Reunião Anual de Pavimentação. **Anais...** Florianópolis SC, 2001.

DNER. Manual de pavimentação. DNER, 1996. Disponível em: www.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf. Acesso em 05 de março de 2007.

DNER. Projeto de duplicação BR-101/RS. Trecho divisa SC/RS a Osório. Projetado por Enecon S.A. 2001

DNIT. Duplicação da BR-101 Sul. Apresentação em PowerPoint, 2007.

EMBRAPA. *Manual de método de trabalho de campo*. São Paulo, 1973.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. CNPS. Serviço de Produção de Informação. Brasília/DF: EMBRAPA-SPI, 1999. 412p.

ESRI. *ESRI Training and Education*. disponível em: <http://training.esri.com/campus/library/index.cfm>, Acesso em 17 de abril de 2007

FEE. *Plano Integrado para o Desenvolvimento do Litoral Norte do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, FEE, 1979.

FOLLE D. O. Estudo Estatístico de Sondagens SPT para a Geração de Mapas Auxiliares em Obras de Engenharia. 2002. 199f. 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, 2002.

GIASSON, E.; VASCONCELLOS, A. I. Jr.; NASCIMENTO, P. C. do., Gênese e Classificação dos Solos. Curso Oferecido ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Faculdade de Agronomia/ UFRGS. Notas de Aula, 2006/1.

GODOY, H.; BERNUCCI, L. B.; SUZUKI, C. Y. Metodología de Investigación Geotécnica Preliminar para obras viárias. O caso de duplicação da Rodovia Raposo Tacavares de Cotia a São Roque – Estado de São Paulo. In. 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. **Anais...** Ouro Preto MG, 2002.

GOMES, R. L.; RODRIGUES, J. E. O Uso de Perfis de Intemperismo no Mapeamento Geotécnico de Materiais Inconsolidados - Aplicação no Município de Campinas – SP. In. 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. **Anais...** Florianópolis SC, 1998.

HIGASHI, R. R.; DAVISON DIAS, R.; MAFRA JR, C. dos S.; POTTMAYER, K. Análise do Subsolo do Estado de Santa Catarina Visando a Implantação de Rodovias. In. 33º Reunião Anual de Pavimentação. **Anais...** Florianópolis SC, 2001.

HIGASHI, R. R.; DAVISON DIAS, R. POTTMAYER, K.; MEIRELES, M. C. Utilização de um SIG nos Solos do Norte do Rio Grande do Sul Visando a Paviementação In. 33º Reunião Anual de Pavimentação. **Anais...** Florianópolis SC, 2001.

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

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

IBGE. Folha SH.22 Porto Alegre SH.21 Uruguaiana e SL.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso e potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais; v33, 796p, 1986.

KOPEZINSKI, I.; ZUQUETTE, L. V. Aplicação Da Técnica De Landforms Como Proposta De Mapeamento Geotécnico Para Avaliar Áreas Degradadas Por Mineração. In. 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. **Anais...** Florianópolis SC, 1998.

LIMA, A. M. M. de; GANDOLFI, N. Carta de Susceptibilidade à Erosão por Escoamento Concentrado, em Bacias Hidrográficas: Aplicação na Porção Média da Bacia do Rio Capivari-SP. . Revista Solos e Rochas, Volume 23. n°, dezembro 2000. P 51-55, 2000.

LIPORACI, S. R.; RÖHM, S. A. Mapas geológico e pedológico da bacia do Rio Monjolinho da escala 1:10.000, para a região da cidade de São Carlos (SP). Uma contribuição às novas diretrizes do plano diretor e à gestão ambiental. 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. **Anais...** São Carlos/SP, p 021-023, 2004.

LOBO, B. Método de Previsão de Capacidade de Carga de Estacas: Aplicação dos Conceitos de Energia do Ensaio SPT. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MEDINA, J. Um Engenheiro Geotécnico Face a Geologia. In: 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. **Anais...** ABGE. São Pedro/SP, 1999.

MORANGON, M. & MOTTA, L. M. G. da. Considerações Sobre a Utilização da Pedologia na Engenharia Geotécnica a partir de um Sistema de Classificação dos Solos In. 33º Reunião Anual de Pavimentação. **Anais...** Florianópolis SC, 2001.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de baixos custos com solos lateríticos*. São Paulo: Ed. Villibor, 240p, 1995.

ODEBRECHT, E. Medidas de Energia no Ensaio SPT. 2003. 230 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

RODRIGUES, B. B.; PEJON, O. A Importância dos *Landforms* na Elaboração das Cartas de Susceptibilidade aos Movimentos de Massa na região de Águas de Lindóia/SP. In. 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. **Anais...** Florianópolis SC, 1998.

ROISENBERG, A.; VIERO, A. P. O Vulcanismo da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS Porto Alegre, 2000.

SANTOS, T. G. Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao Uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia. 1997. 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, 1997.

SANTOS, T. G.; DAVISON DIAS, R.; MAFRA JR, C. dos S.; LEITE, F. dos C. Importância dos Levantamentos Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos nos Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias. In. 33º Reunião Anual de Pavimentação. **Anais...** Florianópolis SC, 2001.

SALOMÃO, F. X. T. & ANTUNES, F. S. Solos. In: Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE. **Anais...** São Paulo/SP. 587p, 1998.

SHERER, C. M. dos S.; FACCINI, U. F.; LAVINA, E. L. Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS Porto Alegre, 2000.

SCHNAID, F. Ensaio de Campo e suas Aplicações na Engenharia de Fundações. São Paulo: Oficina de Textos. 189p, 2000.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do, SHINEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002.

TEIXEIRA A. et al. Qual a Melhor Definição de SIG: Fator SIG. Curitiba, n. 11; p 20-24, 1995.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS Porto Alegre, 2000.

IEAG - UNESCO *Engineering Geological Maps. A Guide to their Preparation*. Paris: The Unesco, press, 79p, 1976.

VALENTE, A, L, S. Banco de Dados por Meio de Geoprocessamento para a 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, 1999.

ZUQUETTE, L. V. Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras. São Carlos, 1987, 673p. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1987.

ZUQUETTE, L. V. ; GANDOLFI, Nilson . Cartografia Geotécnica. Editora: Oficina de textos. v. 1. 500 p, 2004.

ANEXO 01 – DESCRIÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS

1. UNIDADES GEOTÉCNICAS DO MAPA GEOTÉCNICO GENERALIZADO

1.1 Unidade Cx (Colúvio sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica, formada pelos solos Ciríaco, Rocinha e Jacinto, ocupa 23,41% da área de estudo, em grande parte localizada nas encostas e pedimentos da Serra Geral, nos morros-testemunho da região litorânea, bem como dos vales de “V” dissecados pelos rios. Devido a esta geomorfologia, com relevo forte ondulado a montanhoso, estes solos são transportados por gravidade. São solos formados de intemperismo e pedogênese da rocha basáltica, muitas vezes associado a solos formados de Arenito Botucatu transportados. A vegetação original é a mata subtropical alta em fase de desaparecimento pela acentuada colonização.

Esta classe apresenta perfis de solo medianamente profundos a profundos, com boa drenagem, de coloração bruno avermelhado escuro a bruno amarelada, com textura média argilosa contendo fragmentos de rocha, desenvolvidos de basaltos e colúvios de basalto. A seqüência de horizontes observada é A, B e C apresentando altíssima CTC conseqüência da elevada quantidade de matéria orgânica, acima de 8,0% no horizonte superficial, valores variados de bases trocáveis ao longo de todo perfil, predominando o cálcio e o magnésio, e conseqüente alta saturação de bases (acima de 70%). Os teores de matéria orgânica são altos em superfície (maiores que 5%) diminuindo com a profundidade. Existem seis unidades de solos coluvionares classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade C_{bas}: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), constituída por vulcânicas toleíticas na forma de derrames, diques e sills em massas contínuas ou em corpos isolados;
- (ii) Unidade C_{aren}: têm como substrato geológico a formação Arenito Botucatu (Jb), a qual é formada por arenitos feldspáticos endurecidos com ferrificações e silificações e estratificação eólica. Esta unidade localiza-se em grande parte nos morros-testemunhos da região litorânea ao norte;
- (iii) Unidade C_{areias₃}: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas e marinhos praias (Qbcd₃) do Terciário, constituídos de areias

quartzosas, finas a médias, castanho-avermelhadas, bem arredondadas e selecionadas bem selecionadas. Nesta unidade o solo foi transportado por gravidade até a posição atual, não apresentando nenhuma característica pedogenética relacionada com o substrato. Esta unidade localiza-se em parte próxima a rodovia BR-101 na várzea do Maquiné e próxima aos morros-testemunhos do litoral norte do estado;

- (iv) Unidade C_areias₄: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas que inclui retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos (Qbd₄) com os depósitos marinhos praias que exclui cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento (Qbc₄), constituídos por areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais e areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Destaca-se também que nesta unidade o solo foi transportado por gravidade até a posição atual, não apresentando nenhuma relação com o substrato. Esta classe localiza-se somente em uma única unidade localizada ao sul a cidade de Torres, sendo este um solo remanescente de alguns basaltos nesta região;
- (v) Unidade C-sedim_rec: têm como substrato geológico os depósitos lagunares, fluviais e de retrabalhamento e os depósitos de planície. Esta formação geológica é composta por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas e depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares siltico-argilosos com restos vegetais. Aqui também o solo foi transportado por gravidade até a posição atual, não apresentando nenhuma característica pedogenética relacionada com este substrato. Esta unidade localiza-se no sopé dos morros da formação Serra Geral, próxima das várzeas dos rios Três Forquilhas e Maquiné, como também no sopé dos morros-testemunhos do litoral norte;
- (vi) Unidade C-pedim: têm como substrato geológico os depósitos gravitacionais, constituídos por conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. O solo foi transportado por gravidade até a posição atual, em processo claramente diferenciado dos depósitos inferiores. Esta unidade localiza-se no sopé dos

morros da formação Serra Geral, próxima das várzeas dos rios Três Forquilhas e Maquiné.

1.2 Unidade DNx (Dunas sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada areias quartzosas de origem eólica. Situa-se ao longo da faixa costeira e em torno de algumas lagoas. É constituída pela planície arenosa, formando a linha de praia, e principalmente por campos de dunas com feixes de restinga. Os campos de dunas apresentam altitudes de 10 a 25 metros com predominância de dunas transversais e algumas longitudinais. O deslocamento das dunas pelo vento é constante. Existem três unidades de dunas, classificados de acordo com o substrato, em:

- (i) Unidade DN_bas: têm como substrato geológico as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), constituída por rochas vulcânicas em corpos isolados que estão a dispostos próximo ao município de Torres. Nesta unidade as areias quartzosas foram transportadas pelo vento até a posição atual e o solo de superfície não apresenta nenhuma correlação com o substrato;
- (ii) Unidade DN_areias₄: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas que inclui retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos (Qbd₄) com os depósitos marinhos praias que exclui cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento (Qbc₄), constituídos por areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais e areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade apresenta uma única ocorrência ao longo da faixa litorânea ao sul da cidade de Torres;
- (iii) Unidade DN_sedim_rec: têm como substrato os depósitos lagunares, fluviais e de retrabalhamento e os depósitos de planície. Estes materiais são compostos por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas e depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares siltico-argilosos com restos vegetais. Esta unidade apresenta uma única ocorrência ao sul da cidade de Torres próxima ao litoral.

1.3 Unidade HAQx (Areias Quartzosas sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos Araranguá, Curumim; Osório e Itapoã. Esta unidade apresenta perfis de rasos a profundos, podzolizados, arenosos, drenados e soltos, de

coloração clara na superfície passando a bruno-avermelhado com a profundidade, desenvolvidos de sedimentos arenosos eólicos ou marinhos. A seqüência de horizontes é A, AC, C, com transições claras entre si. Apresentam mediana CTC, teores baixos de bases trocáveis e saturação de bases baixa diminuindo com a profundidade. Os teores de matéria orgânica são baixos. São solos ácidos com PH em torno de 5,0 na superfície.

O relevo é suavemente ondulado com pequenas depressões alongadas mal drenadas e pequenas elevações devido ao recobrimento arenoso eólico, formando um microrelevo com depressões fechadas, onde ocorrem solos hidromórficos. A vegetação original é a mata tropical atlântica, campo com pouca cobertura. Devido à textura são solos suscetíveis à erosão, principalmente eólica.

Existem seis unidades de areias quartzosas classificadas de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade HAQ_{bas}: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), ocorrendo próximas ao sul da Lagoa do Itapeva e ao norte nos morros-testemunhos mais abaulados;
- (ii) Unidade HAQ_{aren}: têm como substrato geológico a Formação Arenito Botucatu (Jb), apresenta uma única ocorrência próxima aos limites entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina;
- (iii) Unidade HAQ_{areias₃}: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas e marinhos praias (Qbcd₃) do Terciário, constituídos de areias quartzosas, finas a médias, castanho-avermelhadas, bem arredondadas e bem selecionadas. Esta unidade ocorre em três pontos distintos: o primeiro ao sul entre as lagoas, o segundo nas redondezas da cidade de Terra de Areia e o terceiro ao norte do mapa;
- (iv) Unidade HAQ_{areias₄}: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas que inclui retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos (Qbd₄) com os depósitos marinhos praias que exclui cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento (Qbc₄), constituídos por areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais e areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas;

- (v) Unidade HAQ_sedim_rec: esta unidade ocupa 5,96% da área total e tem como substrato geológico os depósitos lagunares, fluviais e de retrabalhamento e os depósitos de planície. Esta formação geológica é composta por areias síltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas e depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares síltico-argilosos com restos vegetais. Esta unidade ocorre em três pontos distintos: o primeiro ao sul entre as lagoas, o segundo nas redondezas da cidade de Terra de Areia intercalando-se com a unidade HAQ_areias₃ e um terceiro ao norte do mapa.
- (vi) Unidade HAQ_pedim: apresenta como substrato geológico os depósitos gravitacionais, constituídos por conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. Esta unidade ocorre somente ao norte do Rio Cardoso.

1.4 Unidade HGx (Gleisolo sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos: Jundiaí, Itapeva, Meleiro e Gravatal. Esta unidade apresenta perfis medianamente profundos, mal drenados, de coloração preta a cinzento escuro, argilosos, desenvolvidos de sedimentos aluviais, fluviais e lacustres recentes. A seqüência de horizontes é A, Cg, com transições claras e abruptas entre si. Apresentam valores medianos e altos de CTC, diminuindo com a profundidade, teores muito baixos de bases trocáveis na superfície, aumentando com a profundidade, e saturação de bases muito baixa na superfície, aumentando com a profundidade. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 5,0 tendendo à neutralidade com a profundidade.

A unidade se localiza em várzeas mal drenadas e nas planícies de inundação de lagoas e rios estendendo-se até o pedimento dos morros das formações Botucatu e Serra Geral. A vegetação original é de mata hidrófila cedendo lugar a campos e áreas de cultivo. Existem seis unidades de solos gleis classificadas, de acordo com o substrato, em:

- (i) Unidade HG_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), em cotas de menor altitude. Esta unidade ocorre em maior destaque no vale do Rio Cardoso e em alguns pontos ao longo da rodovia BR 101;

- (iii) Unidade HG_aren: substrato geológico é Formação Botucatu (Jb), a qual é formada por arenitos feldspáticos endurecidos com ferrificações e silificações e estratificação eólica. Esta unidade ocorre em maior destaque ao norte próximo da Lagoa do Morro do Forno;
- (iii) Unidade HG_areias₃: substrato geológico são os depósitos eólicos de dunas litorâneas e marinhos praias (Qbcd₃) do Terciário, constituídos de areias quartzosas, finas a médias, castanho-avermelhadas, bem arredondadas e bem selecionadas. Esta unidade ocorre em maior destaque próximo das unidades HAQ_areias₃ e HAQ_areias₄;
- (iv) Unidade HG_areias₄: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas que inclui retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos (Qbd₄) com os depósitos marinhos praias que exclui cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento (Qbc₄), constituídos por areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais e areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade ocorre ao longo de uma faixa acompanhando a unidade HAQ_areias₃ ao norte no mapa geotécnico;
- (v) Unidade HG_sedim_rec: esta unidade ocupa 12,89 % da área do estudo e têm como substrato geológico os depósitos lagunares, fluviais e de retrabalhamento e os depósitos de planície. Esta formação geológica é composta por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas e depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares siltico-argilosos com restos vegetais. Esta unidade ocorre ao longo de todo o mapa, acompanhando as áreas de cotas baixas próximas das lagoas e os depósitos deltaicos e de planície ao norte;
- (vi) Unidade HG_pedim: têm como substrato geológico os depósitos gravitacionais constituídos por conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. Esta unidade ocorre ao longo do vale do Rio Cardoso próxima a unidade C_pedim.

1.5 Unidade LBx (Lateríticos sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelo solo Pituva. Este solo apresenta perfis profundos, bem drenados, com relevo ondulado e afloramento de rochas nas áreas mais declivosas, de textura argilosa, desenvolvidos de rochas basálticas da Formação Serra Geral. A seqüência de horizontes é A, B, C. Apresentam média Capacidade de Troca de Cátions (CTC), valores baixos de bases trocáveis, saturação de bases muito baixa. Os teores de matéria orgânica (MO) são elevados, acima de 6,8% no horizonte superficial. São solos ácidos com pH inferior a 5,0. A unidade ocorre em relevo ondulado, na encosta do Planalto, normalmente em áreas menos dissecadas e mais estáveis. A vegetação original é mata subtropical. Esta, no entanto, cedeu lugar em grande parte a cultivos como milho, cana-de-açúcar, mandioca, feijão e outras culturas. Existem duas unidades de solos lateríticos que são classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade LB_bas: esta unidade tem como substrato geológico as rochas basálticas da Formação Serra Geral (B). Esta unidade apresenta uma única ocorrência próxima da cidade de Osório ao sul do mapa geotécnico;
- (ii) Unidade LB_sedim_rec: apresenta como substrato geológico os depósitos lagunares, fluviais e de retrabalhamento e os depósitos de planície. Esta Formação geológica é composta por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas e depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares siltico-argilosos com restos vegetais. Esta unidade apresenta uma única ocorrência, incluída dentro da unidade LB_bas.

1.6 Unidade Rx (Litólicos sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos Aratinga e Charrua, apresenta solos pouco desenvolvidos, rasos, bem drenados, pedregosos, com topografia acidentada, desenvolvidos de rochas basálticas da Formação Serra Geral. Enquadra-se nos solos litólicos por apresentar a seqüência de horizontes A, C, R ou somente A, R. Apresentam alta CTC e valores médios de bases trocáveis, determinando saturação de bases acima de 85%. Os teores de MO são elevados na superfície (acima de 8%). São encontrados nas áreas fortemente dissecadas na transição do planalto para a encosta. e geralmente em encostas de vales profundos em “V”.

Como conseqüência, o relevo é forte ondulado a montanhoso, com abundância de rochas aflorando na superfície. A vegetação original é mata subtropical alta intensamente modificada e em vias de desaparecimento. Existem duas unidades de solos litólicos, classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade R_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas e ocorre ao longo das escarpas mais íngremes da Formação Serra Geral, ocupando 5,92% da área de estudo.

2 UNIDADES GEOTÉCNICAS DO MAPA GEOTÉCNICO DETALHADO

2.1 Unidade BV/Rx (Brunizem associado a solos Litólicos sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos Ciríaco associado a solos Charrua e localiza-se na escarpa de Serra Geral, geralmente entre as unidades de solos Brunizens e Litólicos. Esta unidade, por se tratar de uma associação de dois solos, varia de perfis pouco desenvolvidos rasos a perfis desenvolvidos medianamente profundos. São bem drenados, em topografia acidentada, desenvolvidos de rochas basálticas e colúvios de basalto da Formação Serra Geral. A seqüência de horizontes é A, B e C ou A, C, R, ou ainda somente A e R. Apresentam alta CTC, valores médios a altos de bases trocáveis ao longo de todo perfil, alta saturação de bases (acima de 80%). Os teores de MO são elevados na superfície (acima de 8%). Existem oito unidades de solos Brunizens associados a Litólicos classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade BV/R_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), constituída por vulcânicas toleíticas na forma de derrames, diques e sills em massas contínuas ou em corpos isolados. Esta unidade ocorre 14,07% da área de estudo e ao longo de toda a escarpa da Serra e nos morros testemunhos que apresentam maior altitude no litoral norte;

- (ii) Unidade BV/R_aren: têm como substrato geológico a formação Arenito Botucatu (Jb), a qual é formada por arenitos feldspáticos endurecidos com ferrificações e silificações e estratificação eólica. Esta unidade localiza-se em sua grande maioria na parte inferior dos morros-testemunhos da região litorânea ao norte;
- (iii) Unidade BV/R_areias_praias₃: têm como substrato fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostas numa sucessão vertical claramente indicativa de um processo de sucessão praial regressivo do Terciário, constituído de areias quartzosas, finas, claras, e com estratificações bem desenvolvidas. Esta unidade é claramente constituída por solo transportado até a posição atual a partir do seu ponto de origem. Esta unidade localiza-se em alguns pontos na parte inferior dos morros-testemunhos do litoral norte estado;
- (v) Unidade BV/R_areias_eólicas₄: unidade formada pelos depósitos eólicos de dunas litorâneas, incluindo retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos do Quaternário, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Nesta unidade o solo foi transportado até a posição atual, pois este não apresenta nenhuma característica pedogenética de formação deste solo correlacionada com este substrato. Esta classe apresenta apenas uma ocorrência ao sul a cidade de Torres, sendo este um solo remanescente de alguns basaltos nesta região;
- (vi) Unidade BV/R_sedim_plan: têm como substrato geológico os depósitos de planície e canal fluvial Esta formação geológica é composta por depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares síltico-argilosos com restos de vegetais. Como acima, o solo superficial foi transportado por gravidade até a posição atual. Esta unidade apresenta uma única ocorrência, no vale de um pequeno curso de água, próximo da cidade de Osório;
- (viii) Unidade BV/R_sedim_lag: têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que neste caso é formado por areias síltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. O solo superficial

novamente foi transportado até a posição atual. Esta unidade localiza-se no sopé dos morros-testemunhos do litoral norte.

- (vii) Unidade BV/R_pedim: têm como substrato geológico depósitos gravitacionais de encosta, gradando para sistemas de leques aluviais e canais anastomosados. Esta formação geológica é composta por Conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. O solo superficial foi transportado por gravidade até a posição atual. Esta unidade localiza-se no sopé dos morros da formação Serra Geral, próxima ao rio Cardoso.

2.2 Unidade BVx (Brunizem sobre outros materiais)

Os Brunizens estão em grande parte localizados na parte inferior das encostas e pedimentos da Serra Geral e em alguns dos morros-testemunho da região litorânea. Estes solos são transportados por gravidade e estão associados ao relevo forte ondulado a montanhoso. São solos formados de intemperismo e pedogênese da rocha basáltica, muitas vezes associados a solos formados de Arenito Botucatu e transportados. A vegetação original é a mata subtropical alta em fase de desaparecimento pela acentuada colonização.

A unidade apresenta perfis medianamente profundos, bem drenados, de coloração bruno avermelhado escuro e textura argilosa contendo fragmentos de rocha, desenvolvidos de basaltos e colúvios de basalto. A seqüência de horizontes é A, B e C(?). Apresentam alta CTC, valores altos de bases trocáveis ao longo de todo perfil, predominando o cálcio e o magnésio, e conseqüente alta saturação de bases (acima de 70%). Os teores de matéria orgânica são altos em superfície (maiores que 5%). Existem oito unidades de solos coluvionares, classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade BV_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), constituída por vulcânicas toleíticas na forma de derrames, diques e sills em massas contínuas ou em corpos isolados. Ocorre geralmente ao longo do sopé da formação Serra Geral;
- (ii) Unidade BV_aren: têm como substrato geológico a formação Arenito Botucatu (Jb), a qual é formada por arenitos feldspáticos endurecidos com

ferrificações e silificações e estratificação eólica. Esta unidade localiza-se apenas no vale do rio Maquiné;

- (iii) Unidade BV_areias_praiais₃: têm como substrato geológico as fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostas numa sucessão vertical claramente indicativa de um processo de sucessão praial regressivo do Terciário, constituídos de areias quartzosas, finas, claras, e com estratificações bem desenvolvidas. Estes solos superficiais foram transportados até a posição atual. Esta unidade localiza-se na várzea do Rio Maquiné;
- (iv) Unidade BV_sedim_delt: têm como substrato geológico os depósitos deltaicos atuais constituídos por rios nos corpos lagunares atuais, constituídos por areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais. Estes solos superficiais foram claramente transportados até a posição atual. Esta unidade ocorre especialmente no delta do rio Maquiné;
- (v) Unidade BV-sedim_plan: têm como substrato geológico os depósitos de planície e canal fluvial. Esta formação geológica é composta por depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares siltico-argilosos com restos de vegetais. Os solos superficiais foram também transportados até a posição atual. Esta unidade ocorre especialmente no delta do rio Maquiné.
- (vi) Unidade BV_sedim_lag: têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que neste caso é formado por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Novamente houve transporte dos solos superficiais até esta posição. Esta unidade localiza-se no sopé das escarpas da Serra Geral.
- (vii) Unidade BV_pedim: têm como substrato geológico os depósitos gravitacionais de encosta gradando para sistemas de leques aluviais e canais anastomosados. Esta formação geológica é composta por Conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. Esta unidade localiza-se nos vales dos principais rios da região de estudo, Maquiné, Cardoso e Três Forquilhas.

2.3 Unidade Cx (Colúvio sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos Rocinha e Jacinto, sendo que o material de origem destes solos são as rochas basálticas da Formação Serra Geral. A unidade situa-se em relevo ondulado, com encostas curtas e abruptas. Ocorre nos interflúvios planos e nos pedimentos em nível inferior. A vegetação original é constituída pelos campos de altitude e matas de araucária. Devido a esta geomorfologia, com relevo forte ondulado a montanhoso, estes os solos são transportados por gravidade.

A unidade apresenta perfis pouco profundos, moderadamente a bem drenados, de coloração bruno amarelado a bruno escuro, de textura média, desenvolvida de sedimentos aluviais. A seqüência de horizontes é A, B e C. Apresentam alta CTC, conseqüência da elevada quantidade de matéria orgânica, acima de 8,0% no horizonte superficial. Existem quatro unidades de solos coluvionares, classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade C_{bas}: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), constituída por vulcânicas toleíticas na forma de derrames, diques e sills em massas contínuas ou em corpos isolados. Esta unidade ocorre no vale dos rios Maquiné e Três Forquilhas, no sopé da encosta da Serra Geral;
- (ii) Unidade C_{sedim_plan}: têm como substrato geológico os depósitos de planície e canal fluvial. Esta formação geológica é composta por depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares síltico-argilosos com restos de vegetais. Esta unidade ocorre especialmente nos vales dos rios Maquiné e Três Forquilhas e claramente um importante transporte esteve envolvido na sua formação;
- (iii) Unidade C_{sedim_lag}: têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que neste caso é formado por areias síltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Fica claro o transporte do material superficial. Esta unidade apresenta uma única ocorrência no sopé das escarpas da Serra Geral, próxima a cidade de Terra de Areia.

- (iv) Unidade C_pedim: têm como substrato geológico os depósitos gravitacionais de encosta gradando para sistemas de leques aluviais e canais anastomosados. Esta formação geológica é composta por Conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. Nesta unidade houve pelo menos 2 processos de transporte diferenciados de forma que os colúvios estejam no topo da sequência inferior. Esta unidade localiza-se no sopé dos morros da formação Serra Geral, nos vales dos rios Maquiné e Três Forquilhas;

2.4 Unidade DNx (Dunas sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada areias quartzosas de origem eólica. Situa-se ao longo da faixa costeira e em torno de algumas lagoas. É constituída pela planície arenosa, formando a linha de praia e principalmente, por campo de dunas com feixes de restinga. Os campos de dunas apresentam altitudes de 10 a 25 metros com predominância de dunas transversais e algumas longitudinais. O deslocamento das dunas pelo vento é constante. Existem três unidades de dunas, classificadas de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade DN_bas: têm como substrato geológico as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), constituída por corpos isolados próximo da cidade de Torres;
- (ii) Unidade DN_areias_marinhas₄: unidade formada pelos depósitos marinhos praias, formados por cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento. Quaternário, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade apresenta uma única ocorrência ao longo da faixa litorânea, ao sul da cidade de Torres;
- (iii) Unidade DN_sedim_lag: têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que são areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Esta unidade apresenta uma única ocorrência ao sul da cidade de Torres próxima ao litoral.

2.5 Unidade HAQ/HGx (Areias Quartzosas associada Gleis sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica, formada pelos solos Araranguá/Curumim associado a solos Junidaí/Itapeva/Meleiro/Gravatal, localizada na Planície Costeira, geralmente entre as unidades de solos Areias Quartzosas e Solos Gleis. A unidade apresenta perfis medianamente profundos, arenosos, drenados e soltos, desenvolvidos de sedimentos marinhos e eólicos associados a perfis medianamente profundos, mal drenados, de coloração preta a cinzento escuro, argilosos, desenvolvidos de sedimentos aluviais, fluviais e lacustres recentes.. A seqüência de horizontes é A, AC e C, com transições claras entre si, ou ainda a seqüência de horizontes pode ser A, Cg, com transições claras e abruptas entre si nas áreas de menor altitude. Apresentam de mediana a alta CTC, teores baixos de bases trocáveis e saturação de bases muito baixa. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 4,5 na superfície. Esta unidade localiza-se comumente em relevo é suavemente ondulado com pequenas depressões alongadas mal drenadas e pequenas elevações devido ao recobrimento arenoso eólico, formando um micro-relevo. A vegetação original é de campo com pouca cobertura. Existem cinco unidades de areias quartzosas associadas a solos gleis classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade HAQ/HG_bas: quanto ao substrato geológico esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), ocorrendo próximas a foz do rio Maquiné e a Lagoa Barros;
- (ii) Unidade HAQ/HG_areias_praiais₃: têm como substrato geológico é constituído por fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostas numa sucessão vertical claramente indicativa de um processo de sucessão praial regressivo do Terciário, constituídos de areias quartzosas, finas, claras, e com estratificações bem desenvolvidas. Esta unidade localiza-se ao sul do mapa geotécnico, próxima aos pequenos lagos;
- (iii) Unidade (HAQ/HG_areias_rec: têm como substrato geológico os depósitos de cristas de praias lagunares, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem. Esta unidade localiza-se nas bordas das lagoas ao sul do mapa;

- (iv) Unidade HAQ/HG_sedim_delt: têm como substrato geológico os depósitos deltaicos atuais construídos por rios nos corpos lagunares atuais, constituídos por areias siltico-argilosas, siltes e argilas com restos orgânicos vegetais. Esta unidade ocorre especialmente na várzea do rio Maquiné.
- (v) Unidade HAQ/HG_sedim_lag: têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que neste caso é formado por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Esta unidade corre próximos aos pequenos lagos ao sul deste mapa.

2.6 Unidade HAQx (Areias Quartzosas sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos Araranguá e Curumim. A unidade apresenta perfis medianamente profundos, arenosos, drenados e soltos, desenvolvidos de sedimentos marinhos e eólicos. A seqüência de horizontes é A, AC e C, com transições claras entre si. Apresentam de mediana a alta CTC, teores baixos de bases trocáveis e saturação de bases muito baixa. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 4,5 na superfície. Esta unidade localiza-se comumente em relevo suavemente ondulado com pequenas depressões alongadas mal drenadas e pequenas elevações devido ao recobrimento arenoso eólico, formando um micro-relevo. A vegetação original é de campo com pouca cobertura. Devido à textura são solos suscetíveis à erosão, principalmente eólica. Existem sete unidades de areias quartzosas, classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade HAQ_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B). Esta unidade apresenta uma única ocorrência próxima ao Rio Cardoso;
- (ii) Unidade HAQ_aren: tem como substrato geológico a Formação Arenito Botucatu (Jb) e existe uma única ocorrência próxima aos limites entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina;
- (iii) Unidade HAQ_areias_praiais₃: têm como substrato geológico as fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostas numa sucessão vertical indicativa de um processo de sucessão praial regressivo do Terciário, constituídos de areias quartzosas, finas, claras, e com

estratificações bem desenvolvidas. Esta unidade localiza-se próxima ao Rio Cardoso e ao limite entre o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina;

- (iv) Unidade HAQ_areias_eólicas₃: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas (Qbd₃), constituído por areias quartzosas, finas a médias, castanho-avermelhadas, bem arredondadas e selecionadas, apresentam, em geral, uma coloração mais avermelhada e um aspecto maciço. Esta unidade apresenta apenas uma ocorrência, localizadas próxima ao limite entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina;
- (v) Unidade HAQ_areias_marinhas₄: unidade formada pelos depósitos marinhos praias, formados por cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento. Quaternário, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade apresenta uma única ocorrência que, no entanto, representa 2,84% da área de estudo, e localiza-se ao longo da faixa litorânea entre a Lagoa do Itapeva e o mar;
- (vi) Unidade HAQ_pedim: apresenta como substrato geológico os depósitos gravitacionais, constituídos por conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. Esta unidade ocorre na planície do litoral norte, próximo ao Rio Cardoso;
- (v) Unidade HAQ_sedim_lag: têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que neste caso é formado por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Esta unidade ocorre na planície do litoral norte, próximo ao Rio Cardoso e na divisa dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

2.7 Unidade HGx (Gleisolo sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos: Jundiaí, Itapeva, Meleiro e Gravatal. Esta unidade apresenta perfis medianamente profundos, mal drenados, de coloração preta a cinzento escuro, argilosos, desenvolvidos de sedimentos aluviais, fluviais e lacustres recentes. A seqüência de horizontes é A, Cg, com transições claras e abruptas entre si. Apresentam valores medianos e altos de CTC, diminuindo com a profundidade, teores muito baixos de

bases trocáveis na superfície, aumentando com a profundidade, e saturação de bases muito baixa na superfície, aumentando com a profundidade. São solos fortemente ácidos com pH em torno de 5,0 tendendo à neutralidade com a profundidade.

Esta unidade se localiza e em várzeas mal drenadas e nas planícies de inundação de lagoas e rios estendendo-se até o pedimento dos morros das formações Botucatu e Serra Geral. A vegetação original é de mata hidrófila cedendo lugar a campos e áreas de cultivo. Existem dez unidades de solos gleis, classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade HG_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B), em cotas de menor altitude. Esta unidade ocorre em maior destaque no vale do Rio Cardoso e em alguns pontos ao longo da rodovia BR 101;
- (ii) Unidade HG_aren: o substrato é a Formação Arenito Botucatu (Jb), a qual é formada por arenitos feldspáticos endurecidos com ferrificações e silificações e estratificação eólica. Esta unidade ocorre em maior destaque ao norte, próximo da Lagoa do Morro do Forno;
- (iii) Unidade HG_areias_praiais₃: substrato constituído por fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostas numa sucessão vertical claramente indicativa de um processo de sucessão praial regressivo do Terciário, constituídos de areias quartzosas, finas, claras, e com estratificações bem desenvolvidas. Esta unidade, em geral, localiza-se próximo a cidade de Terra de Areia e próxima a divisa dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina;
- (iv) Unidade HG_areias_marinhas₄: unidade formada pelos depósitos marinhos praias, formados por cristas de praia parcialmente retrabalhados pelo vento. Quaternário, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade ocorre ao lado da unidade HAQ_areias_eólicas, nas áreas mais baixas;
- (v) Unidade HG_areias_eólicas₄: unidade formada pelos depósitos eólicos de dunas litorâneas, incluindo retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos do Quaternário, constituídos por areias quartzosas finas a muito

finas, bem selecionadas. Esta unidade ocorre em maior destaque próximo das unidades HG_areias_praiais4;

- (vi) Unidade HG_areias_rec: têm como substrato geológico os depósitos de cristas de praias lagunares, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade localiza-se nas bordas das lagoas Itapeva e Barros;
- (vii) Unidade HG_pedim: têm como substrato geológico, que neste caso é formado depósitos gravitacionais, constituídos por conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, fracamente consolidados. Esta unidade ocorre ao longo do vale do Rio Cardoso e próximo da escarpa da Serra Geral ao norte deste mapa;
- (viii) Unidade HG_sedim_lag: têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que neste caso é formado por areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Esta unidade ocorre em praticamente toda a planície, nas áreas de menor altitude.

2.8 Unidade LBx (Lateríticos sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelo solo Pituva. Esta apresenta perfis profundos, bem drenados, com relevo ondulado, com afloramento de rochas nas áreas mais declivosas, de textura argilosa, desenvolvidos de rochas basálticas da Formação Serra Geral. A seqüência de horizontes é A, B, C. Apresentam média Capacidade de Troca de Cátions (CTC), valores baixos de bases trocáveis, saturação de bases muito baixa. Os teores de matéria orgânica (MO) são elevados, acima de 6,8% no horizonte superficial. São solos ácidos com pH inferior a 5,0. A unidade ocorre em relevo ondulado, na encosta do Planalto, normalmente em áreas menos dissecadas e mais estáveis. A vegetação original é mata subtropical. Esta, no entanto, cedeu lugar em grande parte a cultivos de milho, cana-de-açúcar, mandioca, feijão e outras culturas. Existem duas unidades de solos lateríticos classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade LB_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas da formação Serra Geral Rochas (B) e apresenta uma única ocorrência próximo da cidade de Osório;

- (ii) Unidade LB_sedim_plan: têm como substrato geológico os depósitos de planície e canal fluvial. Esta formação geológica é composta por depósitos de cascalhos e areias com presença de corpos tabulares síltico-argilosos com restos de vegetais. Isto é um indicativo de transporte até a posição atual. Esta unidade apresenta uma única ocorrência, incluída dentro da unidade LB_b.

2.9 Unidade PVAx (Podzólico Vermelho Amarelo sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos Osório e Itapoã. A unidade apresenta perfis pouco profundos, podzolizados, de coloração clara na superfície passando a bruno avermelhado com a profundidade, arenosos, porosos e bem drenados, desenvolvidos de sedimentos arenosos e de arenitos. A seqüência de horizontes é A, B e C, com transições difusas a claras, e abruptas entre si. Apresentam baixa CTC na superfície passando a mediana CTC no horizonte B, a saturação de bases é alta na superfície (70%), porém muito baixa nos horizontes subjacentes. Os teores de matéria orgânica são nulos a muito baixos. São solos moderadamente ácidos com pH em torno de 5,5.

Estes solos encontram-se freqüentemente associados em áreas de relevo plano a suavemente ondulado com coxilhas convexas, formando depressões fechadas, onde ocorrem solos hidromórficos. A vegetação original é de campo pobre. Existem seis unidades de solos lateríticos, classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade PVA_areias_praiais₃: o substrato geológico é constituído por fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostas numa sucessão vertical claramente indicativa de um processo de sucessão praial regressivo do Terciário, constituídos de areias quartzosas, finas, claras, e com estratificações bem desenvolvidas. Esta unidade, localiza-se próximo a cidade de Terra de Areia, nas áreas de maior altitude na planície, também localiza-se nas áreas mais altas entre os lagos ao sul do mapa, além de uma importante área ao norte da Lagoa do Itapeva;
- (ii) Unidade PVA_areias_eólicas₃: têm como substrato geológico os depósitos eólicos de dunas litorâneas (Qbd3), constituído por areias quartzosas, finas a médias, castanho-avermelhadas, bem arredondadas e selecionadas, apresentam, em geral, uma coloração mais avermelhada e um aspecto maciço. Esta unidade

apresenta apenas duas ocorrências, a menor localizada ao sul da Lagoa Barros e ao norte da Lagoa Itapeva;

- (iii) Unidade PVA_areias_eólicas₄: unidade formada pelos depósitos eólicos de dunas litorâneas, incluindo retrabalhamento atual pelo vento de depósitos a mais antigos do Quaternário, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade ocorre ao sul da cidade de Torres;
- (v) Unidade PVA_areias_rec: têm como substrato geológico os depósitos de cristas de praias lagunares, constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas. Esta unidade apresenta uma única ocorrência localizada na foz do rio Maquiné;
- (vi) Unidade PVA_sedim_lag) têm como substrato geológico os depósitos lagunares associados a depósitos fluviais e de retrabalhamento fluvial, que neste caso é formado por areias síltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Esta unidade encontra-se sempre próximas da unidade PVA_areias_praiais₃ ao longo de toda a Planície Costeira.

2.10 Unidade Rx (Litólicos sobre outros materiais)

Esta unidade geotécnica é formada pelos solos Aratinga e Charrua, apresenta solos pouco desenvolvidos, rasos, bem drenados, pedregosos, com topografia acidentada, desenvolvidos de rochas basálticas da Formação Serra Geral. Enquadra-se nos solos litólicos por apresentar a seqüência de horizontes A, C, R ou somente A, R. Apresentam alta CTC e valores médios de bases trocáveis, determinando saturação de bases acima de 85%. Os teores de MO são elevados na superfície (acima de 8%). São encontrados nas áreas fortemente dissecadas na transição do planalto para a encosta. e geralmente em encostas de vales profundos em “V”. Como consequência, o relevo é forte ondulado a montanhoso, com abundância de rochas aflorando na superfície. A vegetação original é mata subtropical alta intensamente modificada e em vias de desaparecimento. Existem duas unidades de solos litólicos, classificados de acordo com o substrato em:

- (i) Unidade R_bas: esta unidade de solos está disposta sobre as rochas basálticas e ocorre ao longo das escarpas mais íngremes da Formação Serra Geral, ocupando 5,92% da área de estudo.