



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA CIVIL  
INFRAESTRUTURA E GERÊNCIA VIÁRIA**

**FERNANDA SOARES DE SOUZA OLIVEIRA**

**DIAGNÓSTICO E BANCO DE DADOS DAS PROPRIEDADES  
GEOTÉCNICAS DA DUPLICAÇÃO DO LOTE 4 DA  
BR-470/SC COM AUXÍLIO DE UM SIG**

**Florianópolis  
2015**



**FERNANDA SOARES DE SOUZA OLIVEIRA**

**DIAGNÓSTICO E BANCO DE DADOS DAS PROPRIEDADES  
GEOTÉCNICAS DA DUPLICAÇÃO DO LOTE 4 DA  
BR-470/SC COM AUXÍLIO DE UM SIG**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do  
título de Mestre em Engenharia  
Civil

Orientador:  
Rafael Augusto dos Reis Higashi,  
Dr.

**Florianópolis  
2015**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária  
da  
Universidade Federal de Santa Catarina

Oliveira, Fernanda

DIAGNÓSTICO E BANCO DE DADOS DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS  
DA DUPLICAÇÃO DO LOTE 4 DA BR-470/SC COM AUXÍLIO DE UM SIG/  
Fernanda Oliveira ; orientador, Rafael Higashi -  
Florianópolis, SC, 2015.  
139 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Mapeamento Geotécnico. 3.  
Perfis do Solo. 4. Ensaios geotécnicos de laboratório. 5.  
Ensaios geotécnicos de campo. I. Higashi, Rafael. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

FERNANDA SOARES DE SOUZA OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO E BANCO DE DADOS DAS PROPRIEDADES  
GEOTÉCNICAS DA DUPLICAÇÃO DO LOTE 4 DA BR-  
470/SC COM AUXÍLIO DE UM SIG**

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Florianópolis, 03 de dezembro de 2015.

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do PPGEC-UFSC

---

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr. - UFSC  
(Orientador)

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. - UFSC

---

Prof. Orlando Martini de Oliveira, Dr. - UFSC

---

Prof<sup>a</sup>. Regina Davison Dias, Dr. - UFRGS

---

Prof<sup>a</sup>. Glaci Trevisan Santos, Dr. - UFSC



Dedico ao meu marido,  
Alexandre, ao meu filho,  
Bernardo, à minha mãe,  
Rita e à minha sogra,  
Marli.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil desta universidade, pela oportunidade de realização do mestrado. Também, aos Professores deste Programa, em especial ao Professor Orientador Rafael Augusto dos Reis Higashi pelos conhecimentos transmitidos.

Aos demais membros da comissão examinadora desta dissertação, obrigada pela atenção.

Aos colegas do Laboratório de Mapeamento Geotécnico e do Laboratório de Mecânica dos Solos da Engenharia civil, pelo suporte técnico, companheirismo e amizade.

Ao departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT, e à empresa Prosul Projetos Supervisão e Planejamento Ltda. pelo fornecimento dos dados dos ensaios de campo e laboratório da BR-470.

Agradeço também a compreensão das pessoas que abdiquei atenção no período de composição dessa dissertação. E, por fim, agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento desse mestrado.



## RESUMO

O estudo desenvolvido nesta dissertação tem por objetivo a estruturação de um banco de dados geotécnico espacial de características mecânicas dos solos do lote 4 da rodovia BR-470/SC. Este lote compreende 15,4Km e interliga as cidades de Blumenau e Indaial. Com relação ao local de análise dessa pesquisa, adotou-se um buffer de 3Km em relação ao trecho analisado, o que constituiu na área de estudo. Foi dada ênfase na elaboração de um banco de dados em SIG onde os ensaios de campo e os de laboratório foram analisados nesse ambiente. Os ensaios de laboratório permitiram caracterizar as unidades pedológicas, geológicas e geotécnicas. Por intermédio dos ensaios de campo (SPT, SM, DPL e SCA) foram traçados perfis estratigráficos do solo, observando características como o impenetrável, nível de água e alteração da resistência do material com a profundidade. Elaborou-se mapas temáticos: modelo digital de elevação, mapa de declividade, mapa geotécnico preliminar e mapa geotécnico refinado. Foram realizadas tradagens de 12 pontos para classificar o solo como residual ou sedimentar e, assim, auxiliar a elaboração do mapa geotécnico refinado. Como resultado final tem-se a caracterização, através da análise estatística, de cada universo geotécnico. Com o mapa geotécnico refinado, elaborou-se um mapa de uso do solo, que apresenta as áreas com potencial para o emprego como jazida de corpo de aterro e os locais com possibilidade de solo mole. Com os ensaios de laboratório foram caracterizados os locais de jazida, e com os ensaios de campo (SPT e SM) confirmou-se a região dos solos moles.

**Palavras-chave:** mapeamento geotécnico, perfil do solo, ensaios de laboratório, ensaios de campo



## **ABSTRACT**

The study developed in this dissertation aims to structure a spatial geotechnical database of mechanical characteristics of soils from Lot 4 of BR-470/SC highway. This lot comprises 15.4 km and connects the cities of Blumenau and Indaial. Regarding the place of analysis of this research, was adopted a buffer of 3km in relation to the analyzed segment, which constituted the study area. It was emphasized the elaboration of a database in GIS, where the field and laboratory tests were analyzed. Laboratory tests allowed to characterize the pedological, geological and geotechnical units. Through field tests (SPT, SM, DPL and SCA) were drawn stratigraphic profiles of the soils, noting characteristics such as the impenetrable, water level and the alteration of material's strength with depth. Thematic maps were elaborated: slope map, preliminary geotechnical map and refined geotechnical map. There were performed 12 borehole points to classify the soil as residual or sedimentary and thus, help the development of the refined geotechnical map. As final result there is the characterization, by the statistical analysis of each geotechnical universe. With the refined geotechnical map, was elaborated a map of soil use, which shows the areas with potential for use as landfill body deposit and the locations with the possibility of soft ground. With the laboratory tests, were characterized the places of deposit, and with the field tests (SPT and SM) was confirmed the region of soft soil.

Key-words: geotechnical mapping, soil profile, laboratory tests, field tests.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil de solo residual de decomposição de gnaisses .....	29
Figura 2 – Perfis do Solo - esquema.....	32
Figura 3 – Perfis do Solo – Exemplo Prático.....	32
Figura 4 – Mapa Pedológico de Santa Catarina.....	34
Figura 5 – Uma aplicação do SIG .....	38
Figura 6 – Exemplo de dados vetoriais do SIG.....	40
Figura 7 – Exemplo de Tabela de Atributos do SIG.....	40
Figura 8 – Exemplo de estrutura matricial .....	41
Figura 9 – Exemplo de criação de unidades geotécnicas a partir de unidades geológicas e litológicas.....	46
Figura 10 – Simbologia das unidades geotécnicas segundo Davison Dias (1995).....	46
Figura 11 – Execução do ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) .....	50
Figura 12 – Exemplo de resultado do ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) .....	52
Figura 13 – Fluxograma de execução da pesquisa.....	53
Figura 14 – Delimitação da área de estudo.....	54
Figura 15 – Sondagem com penetrômetro dinâmico leve com circulação de água.....	56
Figura 16 – Exemplo da manipulação dos dados de laboratório (CBR do furo 479A).....	58
Figura 17 – Quadro resumo dos resultados de ensaio (furo 479A).....	59
Figura 18 – Porcentagem das sondagens realizadas em campo .....	60
Figura 19 – Estudo esquemático da Unidade “A” .....	61
Figura 20 – Localização dos pontos de ensaios de laboratório .....	62
Figura 21 – Localização dos pontos onde foram executados ensaios campo.....	63
Figura 22 – Furos de tradagem para conferência do mapa geotécnico .....	65
Figura 23 – Tradagem e coleta de material para classificação.....	66
Figura 24 – Esquema para elaboração do Mapa Geotécnico Refinado.....	68
Figura 25 – Croqui de Localização da área de estudo .....	71
Figura 26 – Localização do Lote 4 da BR-470-SC .....	72
Figura 27 – Distribuição da população em Santa Catarina.....	73
Figura 28 – Mapa Pedológico.....	74
Figura 29 – Percentual das áreas das unidades pedológicas.....	74
Figura 30 – Mapa Geológico .....	76
Figura 31 – Percentual de áreas das unidades geológicas.....	77
Figura 32 – Mapa Litológico .....	79
Figura 33 – Percentual de áreas das unidades litológicas.....	79
Figura 34 – Mapa com as curvas de nível do Lote 4 da BR-470/SC.....	80
Figura 35 – Modelo Digital de Elevação do Lote 4 da BR-470/SC.....	82
Figura 36 – Mapa de Declividade com as porcentagens do Lote 4 da BR-470/SC .....	82
Figura 37 – Mapa geotécnico preliminar do lote 4 da BR-470/SC .....	83
Figura 38 – Percentual de área das unidades geotécnicas preliminares.....	83
Figura 39 – Mapa geotécnico refinado .....	86
Figura 40 – Quantidades das unidades mapa geotécnico refinado.....	86
Figura 41 – Mapa de identificação de jazidas e locais de solo mole.....	88
Figura 42 – Percentual de solo mole e resistente com base nos ensaios de SPT+SM.....	89
Figura 43 – Resultados dos ensaios de CBR.....	90

Figura 44 – Percentual de uso do material com base no ensaio de CBR ....	91
Figura 45 – Resultados dos ensaios de expansão.....	92
Figura 46 – Percentual de uso do material com base no ensaio de expansão	92
Figura 47 –Relação entre CBR e expansão.....	93
Figura 48 – Resultados dos ensaios de peso específico aparente máximo ..	94
Figura 49 – Resultados dos ensaios de umidade natural.....	95
Figura 50 – Resultados dos ensaios de umidade ótima da compactação ....	95
Figura 51 – Comparação entre o teor de umidade natural e a umidade ótima .....	96
Figura 52 – Porcentual da relação entre as umidades natural e ótima.....	96
Figura 53 – Resultados dos ensaios de IG.....	98
Figura 54 – Percentual da qualidade da capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento.....	98
Figura 55 – Resultados dos ensaios de porcentagem de pedregulho .....	99
Figura 56 – Resultados dos ensaios de porcentagem de areia.....	100
Figura 57 – Resultados dos ensaios de porcentagem de argila+silte.....	100
Figura 58 – Percentual de pedregulho, areia e argila + silte .....	101
Figura 59 – Valores característicos das unidades pedológicas .....	104
Figura 60 – Valores característicos das unidades geológicas .....	106
Figura 61 – Valores característicos das unidades geotécnicas .....	109
Figura 62 – Localização dos Perfis Estratigráficos do Solo .....	110
Figura 63 – Perfil AA.....	111
Figura 64 – Perfil BB .....	112
Figura 65 – Perfil CC .....	113
Figura 66 – Perfil DD .....	114
Figura 67 – Perfil EE .....	115
Figura 68 – Perfil FF .....	116
Figura 69 – Perfil GG .....	117
Figura 70 – Perfil HH .....	118
Figura 71 – Perfil II.....	119
Figura 72 – Perfil JJ .....	120
Figura 73 – Perfil KK .....	121
Figura 74 – Perfil LL .....	122
Figura 75 – Perfil MM .....	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantidades de furos de sondagem .....	36
Tabela 2 –Principais metodologias de mapeamento geotécnico, segundo Kopezinski (2000). .....	44
Tabela 3 – Simbologia simplificada das classes pedológicas .....	47
Tabela 4 – Geologia Simplificada .....	48
Tabela 5 – Normas de ensaios de laboratório.....	55
Tabela 6 – Normas de ensaios de campo .....	56
Tabela 7 – Exemplo da manipulação de dados de laboratório (CBR do furo 479A).....	58
Tabela 8 – Sondagens realizadas em campo .....	60
Tabela 9 – Unidades inconsistentes do mapa geotécnico preliminar .....	64
Tabela 10 – Descrição das unidades do mapa geotécnico preliminar .....	84
Tabela 11 – Classificação dos furos de conferência.....	84
Tabela 12 – Descrição das unidades do mapa geotécnico refinado .....	85
Tabela 13 – Percentagem das áreas dos mapas geotécnico preliminar e refinado .....	87
Tabela 14 – Percentagem da qualidade da capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento.....	97
Tabela 15 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Cambissolo .....	102
Tabela 16 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Gleissolo .....	103
Tabela 17 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Podzólico Vermelho Amarelo .....	103
Tabela 18 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Depósitos Colúvio-Aluvionares .....	105
Tabela 19 – Análise estatística dos resultados obtidos na Unidade Granulítica de Santa Catarina .....	105
Tabela 20 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Asq ...	107
Tabela 21 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Cgl.....	107
Tabela 22 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade GHsq	108
Tabela 23 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade PVgl..	108



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

### Abreviaturas

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Asq	Solos aluviais substrato sedimentos quaternários
BD	Banco de dados
C	Cambissolo
CBR	Índice Suporte Califórnia
Cgl	Cambissolo substrato granito
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPL	ensaio penetrômetro dinâmico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
GH	Gleissolo
g	granito
gl	granulito
GHsq	Gleissolo com substrato
GPS	<i>Global Position System</i>
HRB	<i>Highway Research Board</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IS	instrução de serviço
ISC	Índice Suporte Califórnia
MCT	Miniatura Compactado Tropical
MDE	Modelo Digital de Elevação
NA	Nível d'água
NDPL	Número de golpes do ensaio DPL
NSPT	Número de golpes do ensaio SPT
PVgl	Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granulito
PVg	Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granito
PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
PVL	Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico
PVLgn	Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico substrato gnaisse
SHP	Shapefile
SC	Santa Catarina
SCA	ensaio penetrômetro dinâmico com circulação d'água
SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SM	sondagem mista
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPT	sondagem a percussão
sq	sedimentos quaternários
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

UTM *Universal Transverse Mercator*

**Alfabeto Latino**

<i>WL</i>	Limite de liquidez .....	[adimensional]
<i>WP</i>	Limite de plasticidade .....	[adimensional]
<i>w<sub>nat</sub></i>	Umidade natural do solo .....	[%]
<i>w<sub>ótima</sub></i>	Umidade ótima do solo .....	[%]
<i>z</i>	Espessura do solo .....	[m]

**Alfabeto Grego**

$\gamma_{dm\acute{a}x}$	Densidade máxima.....	[KN/m <sup>3</sup> ]
-------------------------	-----------------------	----------------------

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	24
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	25
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>26</b>
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS .....	26
2.1.1	SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO AASHTO (HRB).....	26
2.1.2	SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SUCS) .....	27
2.1.3	CLASSIFICAÇÃO MCT.....	27
2.1.4	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A ORIGEM DO SOLO .....	28
2.1.5	CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA.....	31
2.2	ESTUDO GEOTÉCNICO EM RODOVIAS.....	35
2.3	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	37
2.3.1	APLICAÇÕES DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)...	38
2.3.2	CONCEITOS UTILIZADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	39
2.3.3	BANCO DE DADOS EM SIG .....	41
2.4	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	42
2.4.1	METODOLOGIA DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PROPOSTA POR ZUQUETTE (1987).....	44
2.4.2	METODOLOGIA DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PROPOSTA POR DAVISON DIAS (1995) .....	45
2.5	BANCO DE DADOS GEOTÉCNICOS .....	48
2.6	ENSAIO PENETRÓMETRO DINÂMICO LEVE .....	50
<b>3</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>53</b>
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES .....	54
3.1.1	AQUISIÇÃO DE MAPAS.....	54
3.1.2	ENSAIOS GEOTÉCNICOS.....	55
3.2	MANIPULAÇÃO DOS DADOS .....	57
3.2.1	INSERÇÃO DOS DADOS EM SIG.....	57
3.2.2	TABELAS DE ATRIBUTO EM SIG .....	61
3.2.3	DADOS VETORIAIS .....	61
3.2.4	BANCO DE DADOS .....	62
3.2.5	PERFIS DE SONDAGEM .....	64
3.3	AJUSTE DO MAPA GEOTÉCNICO .....	64
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DO BANCO DE DADOS.....	69
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>71</b>
4.1	LOCALIZAÇÃO .....	71
4.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA REGIÃO .....	72
4.2.1	DENSIDADE DEMOGRÁFICA DA REGIÃO.....	72
4.2.2	PEDOLOGIA.....	73
4.2.3	GEOLOGIA .....	76
4.2.4	RELEVO .....	80
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>81</b>

5.1	MAPEAMENTO DIGITAL DO RELEVO .....	81
5.2	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR.....	83
5.3	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO REFINADO .....	85
5.4	MAPA COM IDENTIFICAÇÃO DE JAZIDAS E LOCAIS DE SOLO MOLE .....	87
5.5	MAPAS COM BASE NOS DADOS DE LABORATÓRIO .....	89
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE LABORATÓRIO.....	101
5.6.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA COM BASE NAS UNIDADES PEDOLÓGICAS ..	101
5.6.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA COM BASE NO MAPA GEOLÓGICO .....	104
5.6.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA COM BASE NO MAPA GEOTÉCNICO .....	106
5.7	ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE PERFIS GEOTÉCNICOS COM BASE EM ENSAIOS DE CAMPO .....	109
5.7.1	PERFIS GEOTÉCNICOS GERADOS PARA A UNIDADE PVGL .....	124
5.7.2	PERFIS DA UNIDADE GHSQ .....	126
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>128</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	128
6.2	RECOMENDAÇÕES .....	130
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>131</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Um dos principais aspectos da globalização é a intensa circulação de mercadorias e de pessoas. Assim, o desenvolvimento de um país ou região encontra-se necessariamente atrelado ao seu sistema de transporte.

No Brasil, razões históricas e econômicas convergiram para consolidar o sistema rodoviário, que responde por 65% da movimentação de cargas e de 90% da movimentação de pessoas (CNT – Confederação Nacional do Transporte, 2013).

Apesar da relevância desta modalidade de transporte no país, a reduzida extensão da malha rodoviária apresenta-se aliada a problemas relacionados à má qualidade, ou até mesmo, à ausência de serviços de manutenção das vias.

Ainda segundo a pesquisa CNT de rodovias 2013, apenas 11,8% da malha rodoviária brasileira é pavimentada e, dentre as rodovias federais, 89,9% são formadas de pistas simples.

Outro dado que chama a atenção na pesquisa faz referência ao estado geral da malha rodoviária. Da extensão avaliada, 63,8% apresentam alguma deficiência no pavimento, na sinalização ou na geometria, tendo ocorrido uma piora em relação ao ano anterior. Em relação ao pavimento das vias, apenas 34,9% foi considerado perfeito, o que ressalta a ausência de manutenção.

O pavimento asfáltico flexível, o mais empregado no país, é composto pela camada de reforço do subleito, base, sub-base e revestimento de concreto asfáltico. O estudo prévio dos materiais que irão compor essas camadas é de suma importância para um bom desempenho do conjunto.

Caso o material indicado para a construção da rodovia não seja bem analisado e dimensionado poderá ocorrer, em curto prazo, defeitos no pavimento, como aparecimento de trilhas de roda, adensamento irregular do aterro e até a ruptura do mesmo.

Portanto, é essencial o estudo prévio desses materiais por meio de ensaios de campo e de laboratório para

garantir a durabilidade de projeto da rodovia. Neste contexto, essa dissertação tem como base o estudo do solo para realização do projeto de duplicação da rodovia BR-470 entre os municípios de Navegantes e Indaial, no estado de Santa Catarina.

O projeto de duplicação da rodovia BR-470/SC possui uma extensão de 73,18Km em uma região densamente ocupada e que apresenta elevado fluxo de veículos, sendo o estudo da mesma muito importante para o estado de Santa Catarina.

A duplicação da BR-470/SC auxiliará a ligação da rodovia BR-101 com município de Navegantes, facilitando a movimentação de pessoas e bens gerados pelo porto de Itajaí e aeroporto de Navegantes.

Além das características associadas a logística, um fato importante que ocorreu no ano de 2008 merece ser mencionado. Houve uma precipitação elevada em Santa Catarina no mês de novembro, acarretando enchentes e deslizamentos em diversos municípios. A região da rodovia BR-470/SC no segmento entre a BR-101 e o município de Gaspar apresentou 4 Km de inundação e várias instabilidades de encosta, o que também corrobora para a importância da criação de um banco de dados geotécnicos nessa região.

## **1.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa possui como objetivo geral a estruturação de um banco de dados geotécnico espacial de características mecânicas dos solos do lote 4 da rodovia BR-470/SC tendo como base um mapa geotécnico.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Estruturar um banco de dados em SIG com os dados obtidos dos ensaios de laboratório e campo do projeto do lote 4 da BR-470/SC;
- Elaborar mapas temáticos da região de estudo (MDE, mapa de declividade e mapa geotécnico);

- Gerar mapas com o uso do solo (demarcando áreas com solo mole e regiões dos solos de melhor qualidade, para jazida);
- Estabelecer as características do solo nas unidades pedológicas, geológicas e geotécnicas por meio de análise estatística dos ensaios de laboratório;
- Analisar o solo através de perfis traçados com os ensaios de campo.

## **1.2 Organização do trabalho**

O presente trabalho está organizado em seis capítulos.

O capítulo 01 apresenta descrição geral do tema a ser desenvolvido.

As revisões bibliográficas sobre o material e método encontram-se no capítulo 02.

O capítulo 03 expõe a metodologia do trabalho desenvolvido com os ensaios obtidos do projeto e elaboração dos mapas temáticos.

A área de estudo é apresentada no capítulo 04, com suas características pedológicas e geológicas.

O capítulo 05 apresenta os resultados obtidos dessa pesquisa.

E finalmente, o capítulo 06 apresenta as conclusões e recomendações dessa dissertação.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para que fosse possível atingir o objetivo final desta pesquisa, foi necessário levantamento de trabalhos e pesquisas associados ao tema, como a classificação dos solos, estudo geotécnico em rodovias, sistema de informação geográfica (SIG), banco de dados e mapeamento geotécnico.

### **2.1 Classificação dos solos**

A engenharia classifica em grupos e subgrupos solos diferentes, mas com propriedades e comportamentos similares. A classificação é uma forma muito prática utilizada para a identificação e caracterização dos solos (DAS, 2011).

Há inúmeros métodos de classificação de solos, sendo alguns em função da sua origem, outros da estrutura, da evolução, da presença de matéria orgânica, entre outros. A seguir serão apresentadas cinco formas de classificação do solo. Sendo que as classificações geotécnicas, que consideram os parâmetros dos solos, são a HRB, SUCS e MCT.

#### **2.1.1 Sistema de Classificação AASHTO (HRB)**

Segundo Das (2011) o sistema da AASHTO de classificação do solo (HRB) foi desenvolvido em 1929 com o sistema da Administração de Estradas Públicas dos EUA.

Nesse sistema, os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função da sua granulometria e plasticidade.

Caputo (1991) classifica os “solos granulares” nos grupos A-1, A-2, e A-3, e os “solos finos”, nos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, três dos quais divididos em subgrupos.

Para Das (2011), os solos classificados como A-1, A-2 e A-3 são materiais que 35% das partículas, ou menos, passam pela Peneira Nº 200. Os solos com mais de 35% passando pela peneira Nº200 são classificados como A-4, A-5, A-6 e A-7. Esse sistema de classificação tem como

base o tamanho dos grãos, a plasticidade e a presença de seixos e agregados no solo.

Muitos estudos foram realizados utilizando como base a classificação HRB, como a pesquisa de Dias (2007) sobre solos tropicais para uso em pavimentação e Santos (2006) no estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas nos solos tropicais, ambas do município de São Carlos. Andrade (2005) utilizou essa classificação na cidade de Uberlândia, no seu estudo sobre o mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG.

### 2.1.2 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

Das (2011) cita que a forma original desse sistema foi desenvolvida por Casagrande em 1942 para usos dos trabalhos de construção de aeroportos sob responsabilidade da Army Corps of Engineers durante a segunda guerra mundial.

Os solos são classificados em duas grandes categorias (DAS, 2011):

1. Solos de grãos grossos que têm a natureza de pedregulho e areia com menos de 50% passando pela peneira N° 200. Os símbolos do grupo iniciam com G, ou S, representando, respectivamente, pedregulho ou solo pedregulhoso e areia ou solo arenoso;

2. Solos de grãos finos são constituídos de 50% ou mais passando pela peneira N° 200. Os símbolos de grupo iniciam com a letra O, que representa siltes e argilas orgânicos. O símbolo Pt é utilizado para turfa, terra preta (muck) e outros solos altamente orgânicos.

Franco (2012) utilizou como base essa classificação na sua pesquisa sobre a classificação geotécnica dos solos da Bacia do Rio Almada no estado da Bahia

### 2.1.3 Classificação MCT

A metodologia MCT - Miniatura Compactado Tropical, foi desenvolvida por Nogami e Villibor a partir de 1972, quando Nogami adaptou pela primeira vez o ensaio de CBR

em um procedimento de mini-CBR. Com esses estudos foi elaborada uma classificação voltada para solos tropicais, o qual classifica os solos em comportamento lateríticos e não lateríticos (NOGAMI e VILIBOR, 1995).

Ressalta-se que esta classificação foi elaborada especialmente para solos tropicais, diferentemente das classificações tradicionais (HRB e SUCS), que foram elaboradas em países de clima temperado e podem não apresentar resultados satisfatórios em solos tropicais.

Silva *et al.* (2010) correlacionou as classificações HRB, MCT e SUCS de 12 amostras de uma rodovia não pavimentada VCS 346 em Viçosa no estado de Minas Gerais. Concluiu-se que as classificações HRB e SUCS apresentam críticas no sistema rodoviário brasileiro, por se basearem apenas na granulometria e limites de Atterberg, enquanto que a classificação MCT investiga propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos.

Muitos estudos foram desenvolvidos com o uso da classificação MCT, podendo destacar os trabalhos apresentados por Higashi (2006), Reginatto (2013) e Sbroglia (2015) no estado de Santa Catarina, Marangon (2004) no estado do Rio de Janeiro, Chuquipiondo (2007) em Minas Gerais e Bonini (2005) em São Paulo.

#### 2.1.4 Classificação quanto a origem do solo

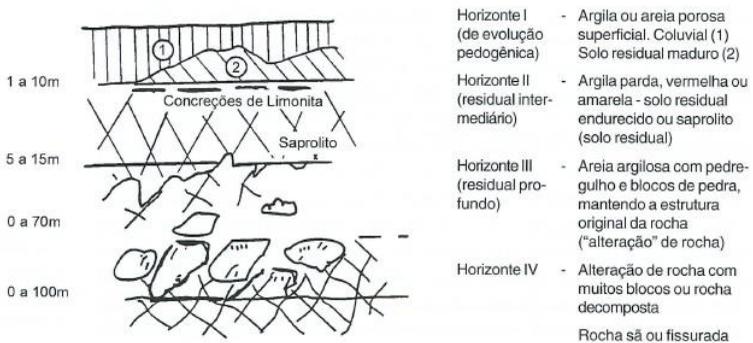
A classificação que tem como base a origem do solo, que pode ser solo residual ou solo sedimentar.

Solos residuais são os de decomposição de rochas que se encontram no próprio local de formação. Para a sua formação é necessário que a velocidade de decomposição da rocha seja superior a velocidade de remoção por agentes externos. A velocidade de decomposição depende de diversos fatores: temperatura, quantidade e periodicidade das chuvas e vegetação da área em questão. O Brasil está localizado em sua maior parte em região tropical e estas regiões tendem a sofrer degradações mais rápidas da rocha, por isso as maiores ocorrências de solos residuais estão nessas regiões.

Os autores Salomão e Antunes (1998) enfatizam que a natureza desses solos (composição mineralógica e granulométrica, estrutura e espessura) depende do clima, relevo, tempo e tipo de rocha de origem.

Pinto (2006) afirma que os solos residuais apresentam horizontes com grau de intemperização decrescente. O mesmo autor cita as transições gradativas na Figura 1 apresentada por Vargas (1981).

Figura 1 - Perfil de solo residual de decomposição de gnaiss



Fonte: VARGAS (1981) apud PINTO (2006)

A identificação da rocha de origem (rocha-mãe) é fundamental para detectar as características e composição física dos solos residuais. Solos residuais de basalto são predominantemente argilosos, os de gnaiss são siltosos e os do granito apresentam teores aproximadamente iguais de areia média, silte e argila (PINTO, 2006). Os solos residuais geralmente são heterogêneos, visto a heterogeneidade da rocha-mãe.

Os solos sedimentares são como aqueles que foram transportados. As características desse material são variáveis e influenciadas pela velocidade, distância e tipo de agente transportador que as moveram.

Os solos formados por ação da gravidade dão origem a solos coluvionares. Estes coluviões constituem em depósito pouco espessos, compostos por mistura de solo e blocos de rocha pequenos, sendo normalmente

encontrados recobrando encostas de serras. Estes materiais têm como característica importante sua baixa resistência ao cisalhamento, sendo frequentemente envolvidos pela maioria dos escorregamentos das encostas dessas regiões (SALOMÃO e ANTUNES, 1998).

Aluviões são solos resultantes do carreamento pela água. Sua constituição depende da velocidade das águas no momento de deposição.

Os aluviões podem ser arenosos ou argilosos, os muito argilosos são comum nas várzeas quaternárias dos córregos e rios. Há ocorrência, inclusive, de camadas sobrepostas de granulometria bem distintas, devida as diversas épocas e regimes de deposição. Salomão e Antunes (1998) afirmam que esses solos estão associados a ambientes fluviais e estão depositados nos fundos e nas margens de lagoas e lagos.

O transporte pelo vento dá origem aos solos eólicos. O transporte eólico provoca atrito entre as partículas, e por isso as mesmas sofrem um arredondamento (PINTO, 2006).

Os solos moles, segundo Massad (2010), são solos sedimentares com baixa resistência à penetração (valores SPT não superiores a 4 golpes), em que a fração de argila fornece características de solo coesivo e compressível. São, em geral, argilas moles ou areias argilosas fofas, de composição recente, ou seja, formadas durante o Quaternário.

Massad (2010) afirma que é muito comum o solo sedimentar apresentar elevada quantidade de húmus e matéria orgânica absorvida pelas partículas de solo, acarretando-lhe uma cor escura e um cheiro característico.

Os solos orgânicos são os que contêm uma quantidade significativa de matéria oriunda de decomposição de origem vegetal ou animal, em vários estágios de decomposição. Geralmente são argilas ou areias finas. Os solos orgânicos são de fácil identificação por ter cor escura e odor característico.

Os solos orgânicos geralmente são problemáticos por serem muito compressíveis. Eles são encontrados em depósitos litorâneos, várzeas e rios, apresentam espessuras variadas, geralmente camadas de 2 a 10m de

espessura. Por sua característica orgânica, apresenta elevados índices de vazios, e por serem de sedimentação recente, normalmente adensados, possuem baixa capacidade de suporte e considerável compressibilidade.

### 2.1.5 Classificação Pedológica

A pedologia é a ciência que estuda a origem, classificação e distribuição de solos na superfície da terra.

A classificação pedológica utilizada no Brasil possui como origem a evolução do antigo sistema americano (IBGE, 2007).

Essa metodologia considera características morfológicas do solo como a transição entre horizontes, profundidade e espessura dos horizontes, cor do solo (como base nas cartas das cores de Munssel), granulometria e textura das partículas do solo, estrutura das partículas, e consistência do material (IBGE, 2007).

O solo costuma ser dividido em perfis característicos que são os horizontes diferenciados segundo o grau de alteração e madurecimento dos seus materiais constituintes.

Os perfis dos solos podem ser divididos simplificada e em horizontes A, B e C, conforme o grau de pedogênese que apresentam e as características geológicas do material de origem (ABITANTE, 1997). Um perfil esquemático encontra-se na Figura 2 e um exemplo prático na Figura 3.

Figura 2 – Perfis do Solo - esquema



Fonte: NAVARRO (2013)

Figura 3 – Perfis do Solo – Exemplo Prático



Fonte: MAFRA JÚNIOR (2007)

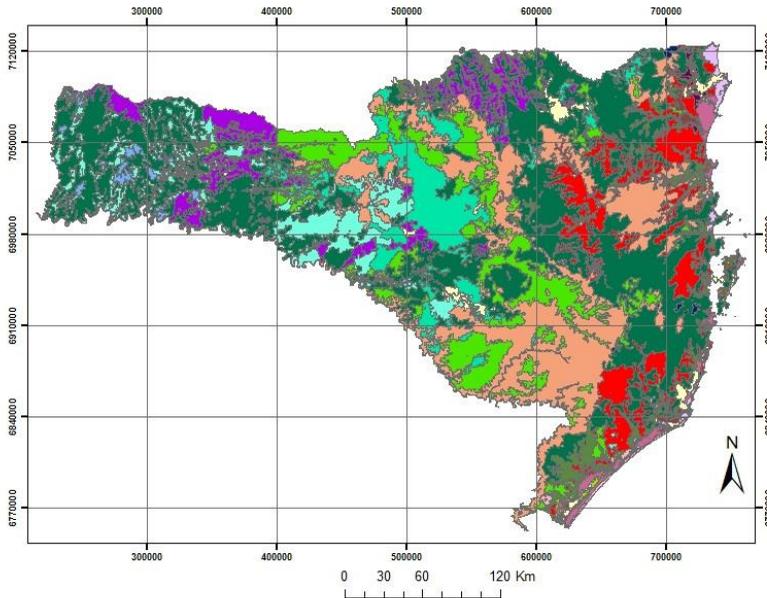
Oliveira (1992) descreve os horizontes e camadas principais do solo da seguinte forma:

- O – É uma camada orgânica superficial, formada em condições de drenagem desimpedida que ocasiona o acúmulo de material essencialmente vegetal, depositado na superfície dos solos minerais. É encontrado em solos sob mata, visto que consiste em mata morta de acumulação de restos orgânicos não incorporados ao solo mineral, integrada geralmente por folhas, galhos e ramos, podendo haver fragmentos pouco ou semi-decompostos.
- H – Trata-se de um horizonte orgânico, superficial ou não, formado por acúmulo de resíduos vegetais depositados com presença de água muito prolongada ou permanente. Tem origem em materiais de várzeas alagadiças, como banhados e brejos, sendo as turfas exemplo de material dessa natureza.
- A – É um horizonte mineral superficial ou subjacente a camada O ou H, de maior atividade biológica e muito associado à matéria mineral.
- B – É um horizonte mineral, subsuperficial, situado sob horizonte A, originado por transformações acentuadas do material originário ou ganho de constituintes minerais / orgânicos oriundos dos horizontes suprajacentes. Situa-se a salvo dos mais intensos processamentos biológicos, portanto, é dotado de características relevantes de mudanças em relação ao material de origem. Em solos mais evoluídos, as mudanças produzidas pelos processos pedogenéticos são bastante drásticas. Trata-se de um horizonte com propriedades pedogenéticas mais estáveis, uma vez que encontra-se numa posição mais protegida e menos vulnerável às ações humanas.
- C – É um horizonte ou camada mineral de material inconsolidado sob o horizonte A e B, pouco afetado pelos processos pedogenéticos, permanecendo com muitas características litológicas. O material pode ser oriundo da mesma natureza que os horizontes A e B,

mas não é uma regra. Denomina-se como horizonte C a alteração inicial das rochas de origem.

Em Santa Catarina as classes pedológicas mais encontradas são os Cambissolos, Argilossolos, Neossolos, Latossolos, Nitossolos, Gleissolos e Solos Indiscriminados de Mangue (Figura 4).

Figura 4 – Mapa Pedológico de Santa Catarina



#### Legenda

	AFLORAMENTOS ROCHOSOS		LATOSSOLO VERMELHO
	ARGILOSOLOS VERMELHO		NEOSSOLO FLUVICO
	ARGILOSOLOS VERMELHO-AMARELO		NEOSSOLO LITOLICO
	CAMBISSOLO HAPLICO		NEOSSOLO QUARTZARENICO
	CAMBISSOLO HUMICO		NITOSSOLO HAPLICO
	DUNAS E AREIAS DAS PRAIAS		NITOSSOLO VERMELHO
	ESPODOSSOLO CARBICO		ORGANOSSOLO HAPLICO
	GLEISSOLO HAPLICO		ORGANOSSOLO MESICO
	LATOSSOLO BRUNO		SOLOS INDISCRIMINADOS DE MANGUE

Fonte: EMBRAPA (2005)

## **2.2 Estudo Geotécnico em Rodovias**

Segundo o Manual de Implantação Básica do DNIT de 2010, os estudos geotécnicos objetivam:

- Identificação e determinação de características geomorfológicas do solo para o subleito da rodovia. A classificação desses materiais fornecerá subsídios para a execução do projeto de terraplenagem, drenagem subterrânea e dimensionamento do pavimento.
- Elaboração de uma programação de sondagem e investigações. Definido o traçado do eixo da rodovia no projeto básico geométrico, devem ser realizados estudos dos materiais componentes dos cortes e do subleito.

Com os perfis de reconhecimento geológico há informações sobre a homogeneidade dos solos encontrados, sua formação e predominância de suas características físicas ao longo da rodovia.

A Instrução de Serviço IS-206, das Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários do DNIT do ano de 2005, diz que os materiais a serem movimentados na terraplenagem e os materiais do subleito deverão ser caracterizados geotecnicamente, através da realização de investigações de tipos e quantidades suficientes a serem definidas no plano de sondagens.

As sondagens e coleta de amostras dos cortes e subleitos deverão contemplar, no mínimo:

a) Realização de sondagens ao longo dos segmentos de corte, incluindo horizontes subjacentes ao greide de terraplenagem previsto para fins de orientação na elaboração dos projetos de pavimentação, geotécnico/terraplenagem e drenagem profunda;

b) Furos de sondagem com espaçamentos variáveis em segmentos de corte, máximo de 150m respeitando o número mínimo de furos de sondagens segundo a Tabela 1.

Tabela 1- Quantidades de furos de sondagem

<b>Extensão do Corte</b>	<b>Número mínimo de sondagens</b>
Até 120m	1 furo
120 a 200m	2 furos
200 a 300m	3 furos
300 a 400m	4 furos
Superior a 400m	1 furo a cada 150m

Fonte: Adaptado DNIT (2005)

No que se refere aos ensaios de laboratório a IS-206 indica realizar os seguintes ensaios:

- Análise Granulométrica por peneiramento simples;
- Análise por sedimentação em amostras representativas dos grupos de solos existentes com características geológico- geotécnica similares;
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Ensaio de compactação de no mínimo 5 pontos;
- Ensaios ISC de todos os pontos.

No estudo dos locais que servirão de empréstimos de material para a execução do aterro, deverão ser realizados ensaios de caracterização (granulometria, WL e WP), índices físicos, compactação e Índice de Suporte Califórnia.

Em áreas de empréstimos concentrados deverão ser realizados no mínimo 5 furos de sondagem. Para caixas de empréstimo maiores que 10.000m<sup>2</sup> deverá ser realizado um reticulado com malha de 50m de lado e espaçamento máximo de 70m entre os furos. Para empréstimos laterais os ensaios de compactação e ISC deverão ser feitos de 200 em 200m.

A IS-206 indica os seguintes ensaios para o estudo das pedreiras para uso da pavimentação:

- Abrasão Los Angeles;
- Adesividade;
- Durabilidade;
- Ensaios de lâmina (para rochas basálticas);
- Difração de Raio X (para rochas basálticas);
- Índice de Forma.

O estudo da fundação dos aterros é muito importante, e quando houver dúvida da capacidade de suporte dos terrenos de fundação dos aterros há necessidade de executar os seguintes procedimentos:

- Coleta de amostras por meio do amostrador Shelby;
- Execução das sondagens SPT;
- Determinação da espessura das camadas;
- Determinação da umidade natural;
- Determinação da massa específica aparente;
- Determinação da massa específica real dos grãos;
- Determinação da Granulometria;
- Limite de liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Resistência à compressão simples;
- Adensamento;
- Triaxial rápido.

Tendo em vista todos estes tipos de levantamento, a massa de dados gerada em um projeto rodoviário é significativa, sendo necessário uma forma de gerenciamento que associe os dados de ensaios geotécnicos com informações acerca de sua localização espacial.

### **2.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

Nas últimas décadas verificou-se um aumento considerável na obtenção, armazenamento e análise de dados que, somado a uma maior acessibilidade à informação proporcionada por sistemas computacionais cada vez mais simples e baratos, muito tem contribuído para auxiliar nas tomadas de decisão em diversos setores da atividade humana.

Pina e Santos (2000) afirmam que o geoprocessamento é um termo amplo que abrange diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos utilizando programas computacionais.

Para Ferreira (2006) o SIG é um tipo especial de sistema de informações armazenadas em bases de dados computacionais, e pode oferecer dois significados distintos. Um deles é encontrado em sua aplicação real e inclui dados, equipamentos, programas computacionais, recursos

humanos e métodos necessários para solucionar um problema, como pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Uma aplicação do SIG



Fonte: Ferreira (2006)

### 2.3.1 Aplicações do Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Com raízes na cartografia digital, a tecnologia do SIG apresentou um acelerado desenvolvimento nos últimos anos, tendo se tornado uma ferramenta de rotina para a visualização e a análise da informação espacial.

Ferreira (2006) afirma que são praticamente infindáveis as possibilidades de aplicações de um SIG, uma vez que todas as atividades humanas podem ser georreferenciadas. Ao integrar operações convencionais de bases de dados à possibilidade de seleção e busca de informações, ao mesmo tempo em que permite a visualização e análises oferecidas pelos mapas, os SIGs tornam-se instrumentos importantes para a compreensão de ocorrência de eventos, predição e simulação de situações, planejamento estratégico, propiciando subsídios para a tomada de decisões (CARVALHO, PINA e SANTOS, 2000).

O SIG é utilizado em diversas áreas, como exemplo de utilização citado por Ferreira (2006), com a denominada

agricultura de precisão que envolve a utilização de mapas e imagens detalhadas para planejar o plantio, a aplicação de insumos bem como o planejamento, a análise e a previsão da colheita. O mesmo autor também aponta o uso do SIG na extração sustentável de madeiras no setor florestal. Carvalho, Pina e Santos (2000) apontam a importância do uso de SIG em diferentes aspectos na área da saúde e Justus (2012) estuda a utilização do SIG para o monitoramento de alguns parâmetros físico-químicos das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio São Pedro em Faxinal, no Paraná.

O SIG é uma ferramenta importante no campo do mapeamento geotécnico, permitindo gerar mapas temáticos, modelagem do terreno e cadastramento de informações oriundas dos ensaios analisados na área de estudo.

### 2.3.2 Conceitos utilizados em Sistema de Informações Geográficas

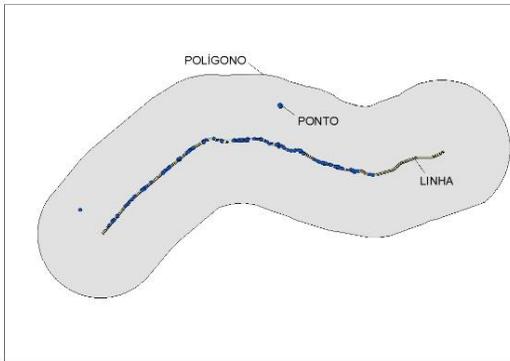
Os conceitos básicos utilizados por um SIG são apresentados a seguir.

#### **a) Dados vetoriais**

São elementos muito utilizados em estudos de engenharia. Eles são representados na forma de ponto (um par ordenado de coordenadas espaciais), linha (conjunto de pontos conectados) ou polígono (área delimitada por linhas interconectadas).

Para um projeto de rodovia, citam-se como exemplo de dados em forma de ponto os furos de sondagem realizados na região. O traçado da rodovia é catalogado com uma linha, e a área de estudo refere-se a um polígono, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Exemplo de dados vetoriais do SIG



## b) Tabela de atributos

A tabela de atributos é elaborada com as informações de cada dado vetorial, seja ele ponto, linha ou polígono. Nela podem ser inseridas diversas características desses elementos, inserindo colunas à tabela. Na Figura 7 é apresentado um exemplo desta tabela, com características referentes a dados vetoriais em formato de pontos.

Figura 7 – Exemplo de Tabela de Atributos do SIG

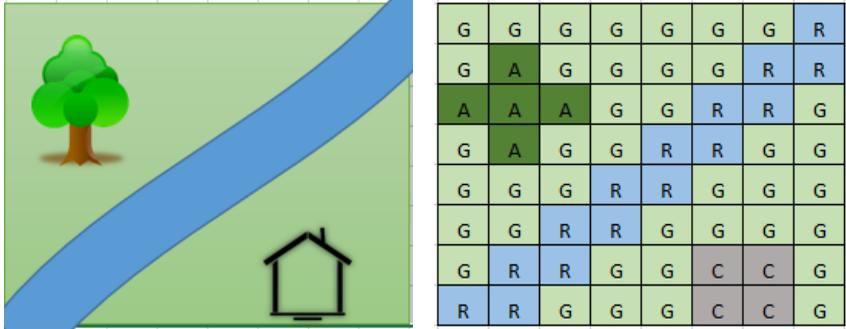
Nome	CBR médio	EXPM	IG médio	h cam méd	h otim med	dens med
FJ3-8	28	0,1	0	9,1	9,9	1,868
FJ4-2	48	0,1	0	5,7	9,4	1,997
FJ4-3	26	0,1	0	8,7	9,1	2,041
F471	15,1	0,2	11	24,9	25,5	1,496
F474	17,5	0,2	0	15	13,1	1,881
F500	23,5	0,2	0	11,2	10,2	1,93
FJ3-3	15,3	0,2	0	11,8	12,3	1,564
FJ3-17	12,2	0,2	2	18,4	17,2	1,684
FJ3-12	19,3	0,2	0,5	12,4	12,5	1,85
F472	14	0,3	3	29	15,4	1,764
F486	13	0,3	0	22,9	18,7	1,645

## c) Dados matriciais

Miranda (2005) assemelha os dados matriciais a um tabuleiro de xadrez ou algo com grade regular de células. E a cada célula atribui-se um código referente ao atributo estudado, como pode ser observado na Figura 8, com exemplo do mundo real (a) e sua referida estrutura matricial (b). Quanto maior a quantidade de pontos, maior a resolução e melhor a qualidade da imagem.

Mafera Júnior (2007) define como dados matriciais a representação gráfica do mundo real por meio de pixels ou células, geralmente quadradas, que são definidos pelas suas posições em relação às colunas e linhas de uma malha. Exemplos de dados raster são matrizes de elevação, classes de uso do solo e dados geológicos.

Figura 8 – Exemplo de estrutura matricial



a) Mundo real

b) Estrutura matricial

Nota: A: árvore; G: grama; R: Rio; C: casa.

### 2.3.3 Banco de dados em SIG

Um importante componente de um SIG é sua base de dados. Valente (2000) define um banco de dados como um conjunto de informações que estão relacionadas a um tópico ou propósito específico. O conceito é ampliado pelo autor ao citar Healey (1991) afirmando que um banco de dados:

“É um conjunto de arquivos ou tabelas com informações armazenadas de forma a permitir a manipulação das inter-relações existentes entre os diferentes conjuntos de dados”.

Soares (2011) destaca a importância dos bancos de dados eletrônicos como instrumentos de gestão valiosos no armazenamento e tratamento de informações, que podem vir a ser utilizados em diversas áreas. O autor assinala, entretanto, que os bancos de dados geotécnicos têm sido

pouco utilizados na gestão urbana de municípios brasileiros.

A necessidade de precisão nos registros da localização dos pontos é essencial, para que os dados organizados, armazenados e conectados a um SIG tenham maior aproveitamento.

O banco de dados em SIG está sendo implementado por diversos países. Na Coreia, foi elaborado um mapa para o Sistema de Transporte, a partir de uma área-teste, por meio de um sistema que uniu imagens de vídeos e mapas digitais de rodovias (KIM, PYEON e EO, 2000, *APUD* SOARES, 2011).

Entre as experiências realizadas no Brasil destaca a cidade de Curitiba onde utilizaram SIG e integraram informações pertinentes para o mapeamento do subsolo, com o objetivo de orientar o planejamento do uso do espaço subterrâneo (TALAMINI NETO, 2001).

Um banco de dados digital integrado a um SIG possibilita o armazenamento e a rápida exploração de parâmetros e informações de interesse da Geotecnia.

## **2.4 Mapeamento Geotécnico**

A utilização do mapeamento geotécnico é aplicada há alguns anos em todo o mundo, tendo o marco inicial em 1919 com Método Moldenhawer.

Zuquette e Pejon (1995) definem o mapeamento geotécnico como um instrumento importante para obter e apresentar informações e dados do meio físico, com o objetivo principal de definir e planejar a melhor forma do uso do território.

Davison (1995) define o mapeamento geotécnico como um instrumento que permite limitar áreas com características homogêneas do solo. Posteriormente, na mesma linha de análise, Higashi (2006) descreve o mapeamento geotécnico como uma metodologia que permite a previsão do comportamento dos solos de uma determinada área definida por um polígono (que são as unidades geotécnicas). No produto gerado, em forma de mapa, são apresentadas informações geomecânicas do solo

local, que podem auxiliar nos projetos de engenharia e ambientais.

O mapeamento geotécnico possui diversas funções, como a construção de obras civis, planejamento territorial, análise das condições de risco, estudos de impacto ambiental e gestão dos recursos hídricos.

Alguns métodos de mapeamento Geotécnico são resumidamente apresentados em Kopezinski (2000). Tratam-se de metodologias mundiais de mapeamento geotécnico, suas mais variadas escalas e a finalidade no planejamento de diferentes utilizações, porém, tendo como principal alvo o planejamento urbano e regional (Tabela 2).

Para Zuquette e Amaral Jr. (2007) uma das principais características do mapeamento geotécnico é a prevenção de situações de risco oriundas de eventos naturais ou antrópicos.

Ao longo dos anos diversas metodologias de mapeamento geotécnico vêm sendo desenvolvidas e aplicadas para determinar o comportamento geomecânico dos solos. No Brasil as duas principais metodologias são as do Zuquette (1987) e de Davison Dias (1995).

Segundo May, Dlala e Chenini (2010), na Tunísia foi utilizado, numa área piloto, o mapeamento geotécnico para definição do uso racional do solo. Definiu-se 4 zonas segundo o potencial de enchentes e deslizamentos. Foi utilizado para isto o mapa geológico e litológico, a topografia local, o estudo do nível de água, o mapa de declividade, de suscetibilidade a de inundações. Todos os mapas foram manipulados utilizando o SIG, no qual foi gerado, como resultado, o mapa de aptidão para a construção da área de estudo.

Tabela 2 –Principais metodologias de mapeamento geotécnico, segundo Kopezinski (2000).

<b>Metodologia</b>	<b>Escala</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Utilização</b>
IAEG (Internacional)	<1:100.000 >1:10.000	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
Francesa	Regional Local <1:100.000 >1:2.000	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
PUCE (Austrália)	Qualquer <1:2.500.000 >1:2.500	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Britânica (inglesa)	>1:10.000 <1:2.500	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
Russa	<1:100.000.000 >500.000	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Hinojosa e Leon	<1:1.000.000 >500.000	Específica	Planejamento e projeto de estradas
ZERMOS	>1:50.000	Específica	Movimento de massa (planejamento)
Espanhola	>1:200.000 <1:2.000	Específica Regional	Planejamento regional e territorial
USA (Kiefer)	Regional e local	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Canadá	Regional e local	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional

#### 2.4.1 Metodologia de Mapeamento Geotécnico proposta por Zuquette (1987)

A metodologia de Zuquette (1987) é baseada nos formatos do relevo (“*landforms*”). Consiste no levantamento e análise de informações existentes, reconhecimento dos atributos e identificação das unidades homogêneas. Por meio de fotografias aéreas e idas a campo identifica-se unidades de solos que apresentam uniformidade em função das feições de relevo. Que analisadas com a litologia existente e os materiais inconsistentes gera um mapa de *landforms* e um mapa com as condições geotécnicas da região.

Abreu (2007) afirma que o principal conceito dessa metodologia é o de atributo. A autora, citando Zuquette (1987), define atributo como sendo:

“O elemento básico, a ser colocado e operado sobre um documento cartográfico como informação que representa parte dos componentes do meio, por exemplo litologia, declividade, uso do solo e distribuição da vegetação”.

Este método prevê a quantificação desses atributos em todas as escalas de trabalho e propõe a quantidade de amostragem para a investigação dos atributos (ZUQUETTE, 1993).

Essa amostragem tem como objetivo a investigação do perfil vertical e na caracterização dos materiais constituintes. Os ensaios geralmente realizados são de caracterização, como a granulometria, massa específica seca de campo e limites de Atterberg (ZUQUETTE, 1987).

Os trabalhos de mapeamento geotécnicos desenvolvidos, utilizando como base este método, caracterizam-se por apresentar mapas básicos fundamentais, mapas básicos opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas.

#### 2.4.2 Metodologia de mapeamento Geotécnico proposta por Davison Dias (1995)

Esta pesquisa utilizará a metodologia de Davison Dias (1995) para avaliar as características mecânicas dos solos que envolvem a BR-470.

Davison (1995) desenvolveu uma metodologia denominada de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas.

Essa metodologia é representada pela sobreposição dos mapas geológico, pedológico e topográfico, gerando um novo mapa denominado Mapa de Estimativa de Unidades Geotécnicas. Para cada unidade geotécnica a litologia define as características dos horizontes da rocha e sua alteração, a pedologia fornece informações do solo mais superficial e com a topografia realiza-se um refinamento do mapa, definindo com mais exatidão o polígono de cada unidade geotécnica (DAVISON DIAS, 1995).

A classificação da unidade geotécnica é nomeada com a simbologia: “ABCxyz”. As letras iniciais maiúsculas “ABC” correspondem à classificação pedológica e as

minúsculas “xyz”, representam a geologia (litologia) (DAVISON, 1995). A Tabela 9 e Tabela 10 apresentam um exemplo esquemático do cruzamento entre pedologia e litologia.

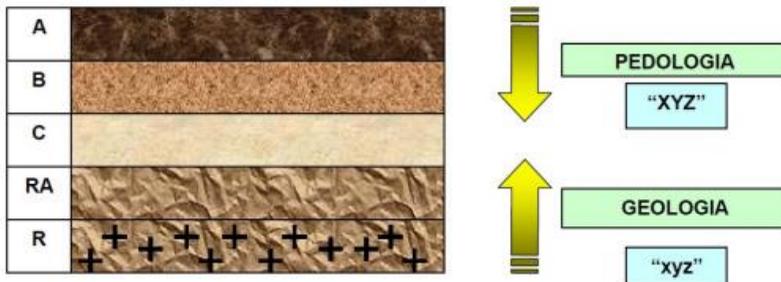
Figura 9 – Exemplo de criação de unidades geotécnicas a partir de unidades geológicas e litológicas.



PV - Podzólico Vermelho-Amarelo  
 C - Cambissolo  
 g - Granito  
 gl - Granulito  
 PV<sub>g</sub> - Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito  
 PV<sub>gl</sub> - Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granulito  
 C<sub>g</sub> - Cambissolo substrato granito  
 C<sub>gl</sub> - Cambissolo substrato granulito

Fonte: adaptado de HIGASHI (2006)

Figura 10 – Simbologia das unidades geotécnicas segundo Davison Dias (1995).



Fonte: HIGASHI (2002)

A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam as siglas da metodologia de Davison Dias (2001).

Tabela 3 – Simbologia simplificada das classes pedológicas

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
A	Aluviais	P	Podzóis Indiscriminados
AQ	Areia Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acidentado
B	Brunizém	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BV	Brunizém Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Câmbico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: DAVISON DIAS (2001)

Tabela 4 – Geologia Simplificada

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitóide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm1	Complexo metamórfico (*)	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

Nota: (1) Complexo formado por várias rochas metamórficas de difícil individualização

Fonte: DAVISON DIAS (2001)

Várias dissertações e teses adotaram esta metodologia de mapeamento geotécnico como base de suas pesquisas. Entre eles Pinheiro (1991), Bastos (1991), Abitante (1997), Santos (1997), Lima Jr. (1997), Valente (1999), Dassoler da Silva (2000), Higashi (2002), Higashi (2006), Reginatto (2013) e Christ (2014).

## 2.5 Banco de dados geotécnicos

O uso de um Banco de Dados na geotecnia pode ser considerado como uma ferramenta importante que auxilia no armazenamento, tratamento e integração das informações produzidas pelas atividades geotécnicas (ZUQUETTE e BASTOS, 2002).

O banco de dados pode ser originado de diversos ensaios geotécnicos de laboratório, de campo e, até mesmo,

de observações acerca de informações geradas em saídas a campo, como características táteis visuais.

É de suma importância organizar o banco de dados espacial em um Sistema de Informações Geográficas para organização e proporcionar uma maior confiabilidade do trabalho.

Para uma maior organização dos dados, estes devem estar divididos em topologias, sendo o ponto, linha ou polígono as formas mais usadas na Geotecnia.

Como exemplo de banco de dados geotécnico cita-se: os pontos para os ensaios geotécnicos realizados *in loco*, a linha para o traçado de uma rodovia e o polígono para o mapa geológico.

Os ensaios de campo mais utilizados no reconhecimento das características geomecânicas do subsolo são as sondagens SPT (Standard Penetration Test). Estes ensaios consistem em sondagens geomecânicas que possuem como objetivo reconhecer as variações verticais de resistência dos materiais inconsolidados do subsolo, a profundidade do nível d'água na época da perfuração e a profundidade do impenetrável.

No Brasil, observa-se que a prática de implantação de banco de dados de sondagens SPT ainda é incipiente, sobretudo devido ao fato da dificuldade de obtenção de dados do meio físico junto às empresas de sondagens, que não reconhecem a importância dessas informações para a comunidade científica. Na grande maioria dos casos, é comum a falta de identificação do local exato dos furos de sondagens executados (falta de referência geográfica) e até mesmo o abandono do acervo, pela empresa, após determinado período.

Além das sondagens SPT, existem ensaios de campo que estão sendo cada vez mais utilizados por empresas para acelerar o processo de investigação do subsolo. Estes ensaios também consistem na cravação de sondas e caracterizam-se, principalmente, pela sua velocidade de execução. São eles os ensaios de DCP (Dynamic Cone Penetration – Cone Africano) e DPL (Light Dynamic Penetration).

## 2.6 Ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve

O ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) é regido pela norma alemã DIN 4094. Trata-se de um ensaio de campo que fornece parâmetros de resistência dos solos com a variação da profundidade.

O DPL consiste em uma haste guia em que um peso batente com massa de 10Kg desloca-se em queda livre ao longo de uma altura padrão de 50cm, a Figura 11 ilustra esse ensaio.

O registro do número de golpes necessários à cravação de 10cm, define o índice penetrométrico padrão.

Figura 11 – Execução do ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL)



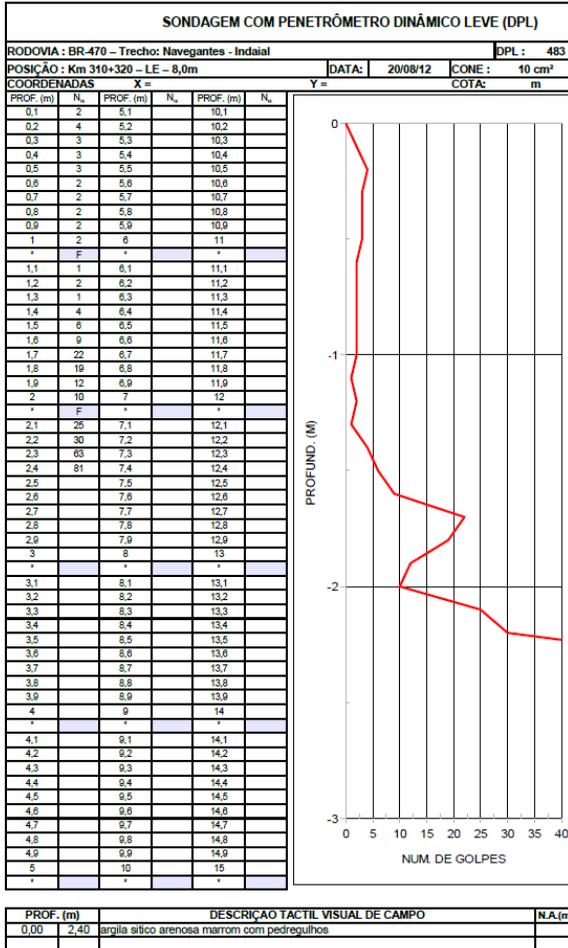
O DPL detecta estratigrafia, nível de água, e resistência do solo, conforme apresentado na Figura 12. Este ensaio é utilizado para fornecer parâmetros de cálculo para projetos de fundação, contenção, estabilidade de taludes, terraplenagem e pavimentação.

Nilsson (2009) apresenta o uso do DPL para análise da estabilidade do talude no município de São Paulo. Indica-se o uso deste equipamento em taludes mais

íngremes e de difícil acesso, cujos estudos geotécnicos tradicionais seriam complicados. A resistência ao cisalhamento entre a ponteira do DPL e o solo é obtida através do atrito lateral, mensurado por meio da rotação lenta do torquímetro. Com a granulometria das camadas determina-se o ângulo de atrito do material. Durante a cravação o DPL detecta-se a alteração de resistência entre as camadas, que junto com a interpretação da estratigrafia fornece uma ideia do peso do solo.

Nilsson e Cunha (2003) afirmam que as vantagens do DPL são inúmeras: o equipamento é pequeno, leve, não precisa de energia e nem de água no local do ensaio. Os autores correlacionam os equipamentos CPT e DPL. Nas variáveis comparadas dos dois equipamentos houve uma boa correspondência dos resultados, porém eles afirmam ser um estudo pontual que não deve ser universalmente aplicado.

Figura 12 – Exemplo de resultado do ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL)

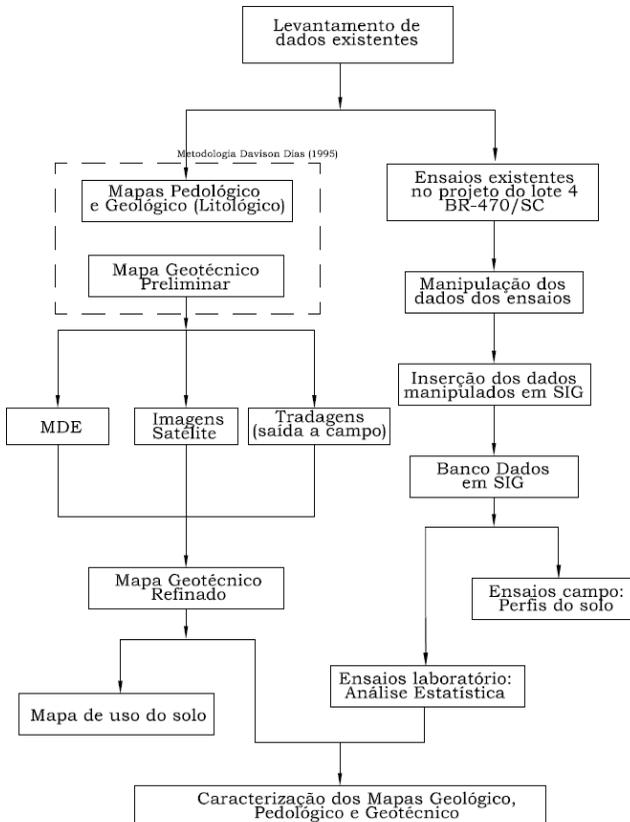


### 3 MÉTODO

O método utilizado nesta pesquisa envolveu a elaboração e manipulação de mapas e levantamento e cadastro dos dados existentes dos ensaios de campo e de laboratório do projeto rodoviário de duplicação do lote 4 da BR-470/SC. A posterior, com o objetivo de classificar as unidades geológicas, pedológicas e geotécnicas, foram realizadas análises estatísticas dos dados dos ensaios.

As atividades apresentadas nessa pesquisa seguem apresentadas na Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma de execução da pesquisa



### 3.1 Levantamento de dados existentes

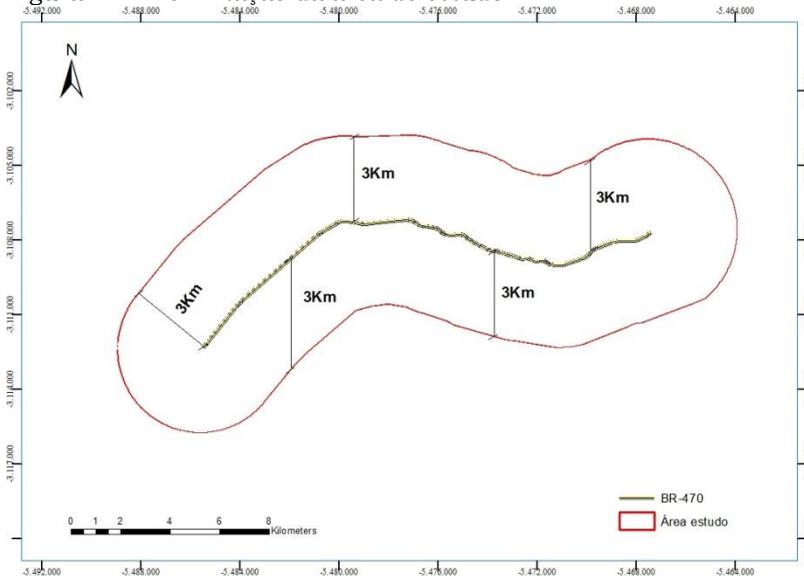
Essa etapa compreendeu a busca por dados existentes da área de estudo, como mapas e ensaios geotécnicos.

#### 3.1.1 Aquisição de mapas

Os mapas geológico e pedológico que serão apresentados no capítulo 4, itens 4.2.2 e 4.2.3, foram extraídos do material disponibilizado pelo IBGE (2003) em escala 1:100.000.

Para a definição da área de estudo, desenhou-se o traçado da rodovia no programa Arcgis 10.0 e considerou-se um offset (buffer) de 3Km para lado direito e 3Km para lado esquerdo como faixa de influência, conforme Figura 14. Utilizou-se essa área para a elaboração de todos os mapas, visto que essa faixa compreende os estudos de solo da rodovia e das jazidas.

Figura 14 – Delimitação da área de estudo



O mapa litológico foi obtido a partir da interpretação do mapa geológico, e corresponde à rocha predominante de cada unidade.

O mapa digital de elevação (MDE) foi gerado a partir do dado matricial disponibilizado pela SDS (foto ortoretificada).

O modelo geotécnico foi elaborado a partir da manipulação dos mapas pedológico e litológico. A metodologia utilizada para esta etapa foi a proposta por Davison Dias (1995) e modificada por Higashi (2006).

### 3.1.2 Ensaio Geotécnicos

Com os ensaios de laboratório foram obtidos valores de Índice Suporte Califórnia, expansão, densidade aparente seca máxima, limite de liquidez, índice de plasticidade, índice de grupo, teor de umidade natural, umidade ótima e granulometria.

Os resultados foram obtidos com base nas normas do Departamento Nacional de Transportes – DNIT, que estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Normas de ensaios de laboratório

<b>Norma</b>	<b>Ensaio</b>
DNER-ME 082/94	Determinação LL e IP
DNER-ME 080/94	Análise granulométrica por peneiramento de solos
DNER-ME 093/94	Determinação da densidade real dos solos
DNER-ME 162/94	Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas
DNIT 160/2012-ME	Determinação expansibilidade de solos

Os dados dos ensaios realizados em campo foram obtidos por intermédio de sondagem à percussão, sondagem mista, sondagem com penetrômetro dinâmico leve (DPL) e sondagem com penetrômetro dinâmico leve com circulação de água (SCA). As normas que guiam estes ensaios estão listadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Normas de ensaios de campo

<b>Norma</b>	<b>Ensaio</b>
DNER-PRO 102/9	Sondagem reconhecimento pelo método rotativo – SPT e SM
DIN 4094 (norma alemã)	Sondagem DPL

Pouco diferente do que é sugerido pela norma, a sondagem com penetrômetro dinâmico leve com circulação de água (SCA) foi utilizada nesta pesquisa para melhorar a determinação da resistência dos solos moles, visto que minimiza o atrito haste/solo do DPL convencional.

As hastes da SCA são constituídas de ferro galvanizado no diâmetro de 3/4", o revestimento possui 2" de diâmetro e a ponteira apresenta 15cm de comprimento e 4,5cm de diâmetro. O motor é similar ao da sondagem a percussão e a lavagem é realizada com lama bentonítica ou somente água, dependendo da granulometria e posição do nível d'água do solo. A Figura 15 ilustra o ensaio de DPL.

Figura 15 – Sondagem com penetrômetro dinâmico leve com circulação de água



a) Ponteira



b) Motor



c) Lavagem do furo

### **3.2 Manipulação dos dados**

Com os dados geotécnicos levantados, procedeu-se sua manipulação e criação do banco de dados em SIG, assim como a análise dos resultados obtidos.

#### **3.2.1 Inserção dos dados em SIG**

O lote 4 da BR-470/SC apresenta 148 pontos de coleta de amostras deformadas de campo e posterior ensaio em laboratório. Esses pontos correspondem aos cortes da rodovia e estudo de jazidas.

Para a definição de um padrão de comportamento mecânico realizou-se um tratamento estatístico, tendo como procedimento o cálculo da média, desvio padrão, coeficiente de variação e ponto mínimo e máximo de todas as variáveis de cada ponto de coleta. Os furos de sondagem possuem de 1 a 6 camadas de solo distintas, em uma média de 2 camadas para cada furo.

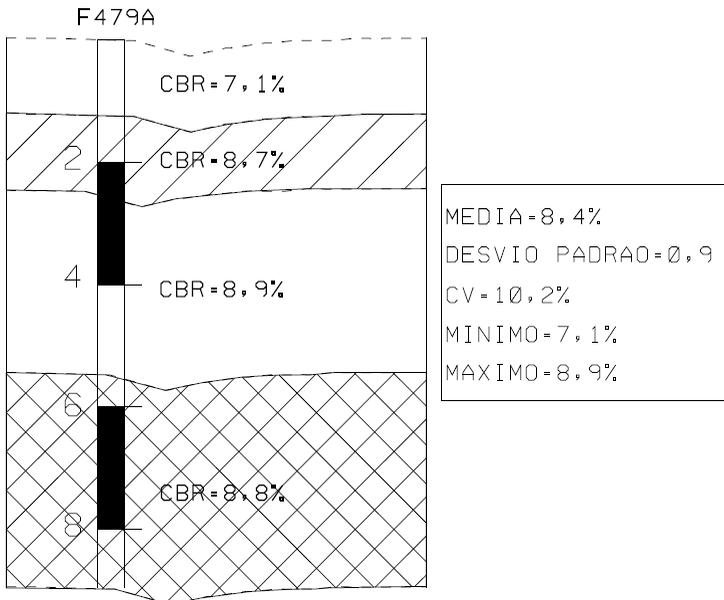
Inseriu-se a média de cada variável desses 148 pontos no programa Arcgis 10.0, formando um banco de dados geotécnicos georreferenciado em SIG.

A Tabela 7 e a Figura 16 apresentam um exemplo do resultado da manipulação dos dados de uma variável (o CBR) de uma sondagem (furo 479A). Neste furo encontrou-se 4 camadas distintas de solo. O dado de CBR inserido no banco de dados dessa pesquisa para o furo 479A foi valor do da média do CBR: 8,4%.

Tabela 7 – Exemplo da manipulação de dados de laboratório (CBR do furo 479A)

Furo 479A				
CBR 1ª Camada	CBR 2ª Camada	CBR 3ª Camada	CBR 4ª Camada	-
7,1	8,7	8,9	8,8	-
Média	Desvio Padrão	CV	Mínimo	Máximo
8,4	0,9	10,2%	7,1	8,9

Figura 16 – Exemplo da manipulação dos dados de laboratório (CBR do furo 479A)



Os resultados brutos dos ensaios de laboratório são apresentados na forma do “Quadro resumo dos resultados dos ensaios”, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Quadro resumo dos resultados de ensaio (furo 479A)

QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS							
RODOVIA: BR-470/SC		TRECHO: Navegantes – Divisa SC/RS		ESTUDO: Marginal 290		Nº DO SERVIÇO: 081-08	
SUB-TRECHO: Navegantes – Indaial		LABORATORISTA: Julio Pranger		DATA INÍCIO: 03/08/2011			
RASTREABILIDADE: PESO 02-00 P, SOQ, 11.06.03-16 ANEL 09-11, EXT, 03-6103-02, CRONÔMETRO 05-15				DATA TÉRMINO: 09/08/2011			
FURO		479 A	479 A	479 A	479 A	479 A	479 A
KM / ESTACA		291+960	291+960	291+960	291+960	291+960	291+960
CAMADA (m)		0,00-0,10	0,10-1,30	1,30-2,50	2,50-5,50	5,50-9,00	
POSIÇÃO EM RELAÇÃO AO EIXO		LD	LD	LD	LD	LD	
AFASTAMENTO DO EIXO (m)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO NAS PENEIRAS	2"					
		1"					
		3/8"	100,0	100,0	100,0	100,0	
		Nº 4	99,8	99,7	99,6	99,6	96,6
		Nº 10	98,8	95,9	93,9	93,9	93,8
		Nº 40	87,8	73,3	66,7	66,7	66,6
		Nº 200	73,2	64,3	54,9	55,0	
WL %			70,8	64,6	NP	NP	
WP %			32,6	25,0	NP	NP	
IG			20	15	4	4	
CLASSIFICAÇÃO H.R.B.			A-7-5	A-7-5	A-4	A-4	
EQUIVALENTE DE AREIA %							
CAMPO	MEAS (t/m³)						
	Umidade Natural (%)		15,9	32,7	25,9	25,8	
LABORATORIO	Energia (nº de golpes)		12	12	12	12	
	Umidade de Compac (%)		28,5	23,3	30,8	30,7	
	Densidade Real		1,390	1,479	1,552	1,555	
	Expansão (%)		2,3	2,0	1,9	1,8	
	CBR %		7,1	8,7	8,9	8,8	

Procedeu-se a manipulação de todos os dados disponíveis, conforme o exemplo citado na Tabela 6. Os dados inseridos nesse banco de dados em SIG foram:

- Média de CBR [%];
- Média da expansão [%];
- Média do índice de grupo (IG);
- Média da umidade natural [%];
- Média da umidade ótima [%];
- Média da densidade real [t/m<sup>3</sup>];

- Granulometria: média da porcentagem passante nas peneiras 2", 1", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°200; e,
- Granulometria: média da porcentagem de pedregulho, areia e argila+silte.

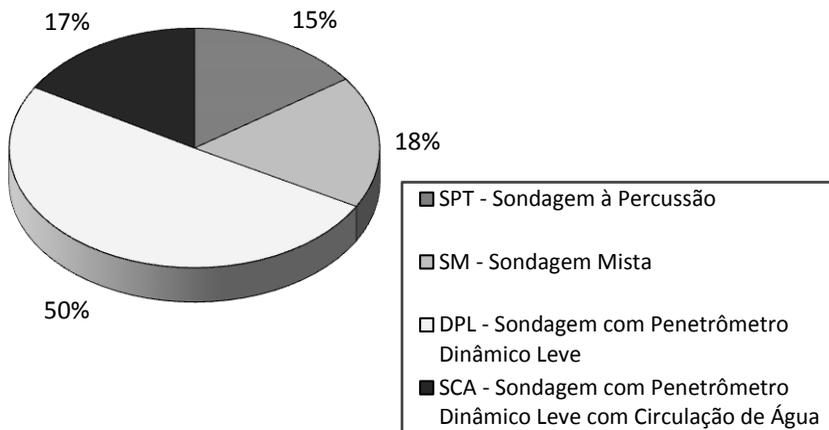
No ensaio de granulometria foi executado somente o peneiramento do solo, e devido esse fato, nos resultados surge a informação argila+silte nos valores percentuais.

No lote 4 da BR-470/SC existem 151 ensaios de campo, conforme Tabela 8 e Figura 18. Com estes ensaios foram elaborados cortes e perfis do solo.

Tabela 8 – Sondagens realizadas em campo

<b>Tipo de Sondagem</b>	<b>Quantidade ensaios</b>
Sondagem a Percussão (SPT)	23 ensaios
Sondagem Mista (SM)	27 ensaios
Sondagem com penetrômetro dinâmico leve (DPL)	76 ensaios
Sondagem com penetrômetro dinâmico leve com circulação de água (SCA)	25 ensaios

Figura 18 – Porcentagem das sondagens realizadas em campo

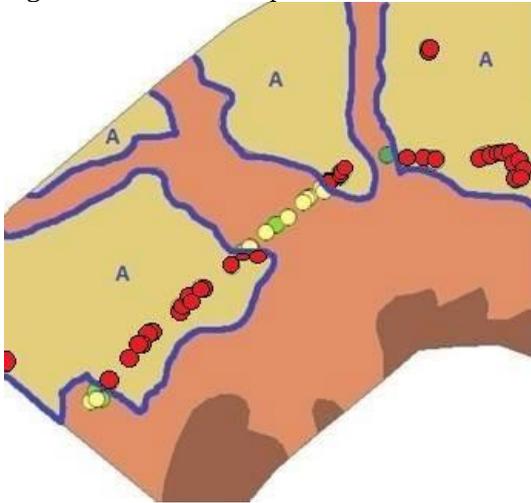


### 3.2.2 Tabelas de atributo em SIG

As tabelas foram elaboradas com todos os dados de campo e de laboratório em SIG. No lote 4 foram estipulados 299 pontos de estudo, sendo 148 pontos de coleta de amostras e ensaios de laboratório e 151 ensaios de campo.

Com os 148 dados de laboratório realizou-se a análise estatística das unidades estabelecidas pelos mapas pedológico, geológico e geotécnico. A Figura 19 demonstra a análise desses dados de uma unidade esquemática “A”, onde todos os ensaios compreendidos nessa unidade (em vermelho) foram analisados objetivando caracterizá-la.

Figura 19 – Estudo esquemático da Unidade “A”



### 3.2.3 Dados Vetoriais

O principal dado matricial adquirido por esta dissertação foi a foto aérea ortoretificada cedida pela SDS (Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável). A partir deste material foram gerados dados vetoriais, tais como as curvas de nível e Modelos Digitais do Terreno.

Com base nas curvas de nível e saídas a campo com tradagem, realizou-se o ajuste do mapa geotécnico preliminar, limitando as unidades geotécnicas com as curvas de nível, tal qual sugerido por Davison Dias (1995).

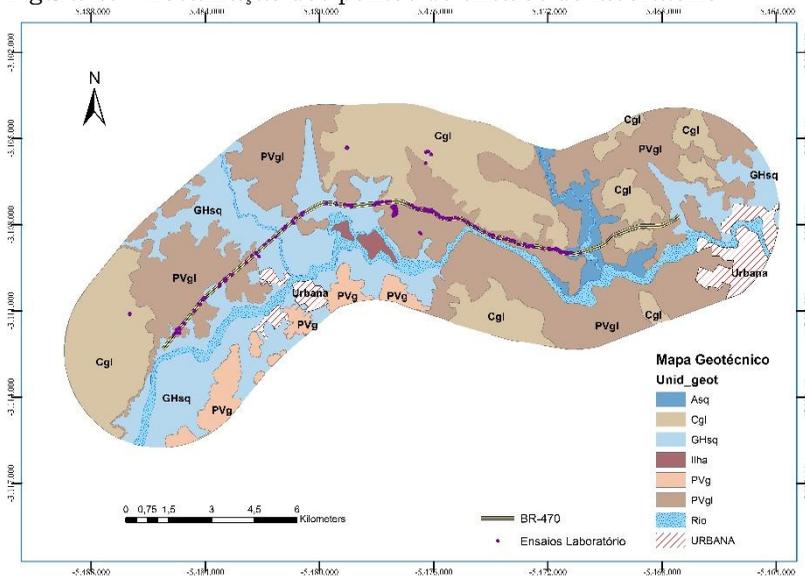
### 3.2.4 Banco de dados

Elaborou-se um banco de dados em SIG dos 299 pontos de estudo do lote 4 da BR-470/SC, sendo constituído de 148 furos com ensaios de laboratório e 151 furos de ensaios de campo, do lote 4 da BR-470/SC.

#### a) Ensaios de laboratório

Os pontos de coleta de material para realizar os ensaios de laboratório totalizaram 148. Estas sondagens foram inseridas em SIG, formando um banco de dados de 2.368 células com ensaios de laboratório, conforme a Figura 20. Este banco de dados está estruturado vinculando a cada ponto do mapa uma coleta de material, e seus respectivos ensaios de laboratório (uma coluna para a média de cada parâmetro).

Figura 20 – Localização dos pontos de ensaios de laboratório



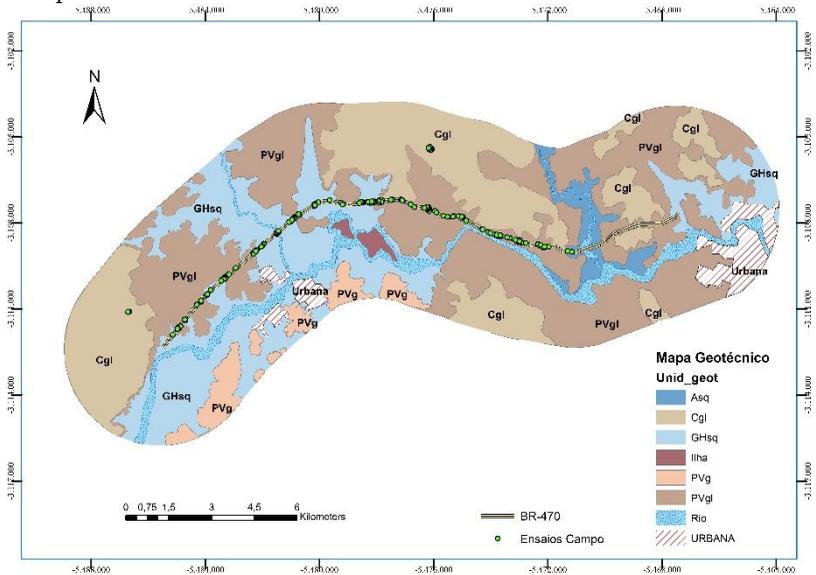
Nota: Unidades Geotécnicas. Asq – Aluviais de substrato sedimentares quaternários; Cgl – Cambissol de substrato granulito; GHsq – Gleissolo de substrato sedimentares quaternários; PVg – Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granulito; PVgl - Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granulito.

### b) Ensaios de Campo

No lote 4 foram obtidos 151 dados de ensaios de campo que compreendem os resultados dos ensaios de sondagem a percussão, sondagem mista, penetrômetro dinâmico e penetrômetro dinâmico com circulação de água. A Figura 21 apresenta a localização dos furos de sondagem.

Esses ensaios de campo forneceram parâmetros importantes do solo como variação da resistência das camadas com a profundidade, o valor do impenetrável e a posição do nível de água, posteriormente analisados no capítulo de resultados

Figura 21 – Localização dos pontos onde foram executados ensaios campo



Nota: Unidades Geotécnicas. Asq – Aluviais de substrato sedimentos quaternários; Cgl – Cambissol de substrato granulito; GHsq – Gleissolo de substrato sedimentos quaternários; PVg – Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito; PVgl - Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granulito.

### 3.2.5 Perfis de Sondagem

Com os dados de campo originados de ensaios SPT, foram interpretados 13 perfis geotécnicos com os tipos de solo da região.

### 3.3 Ajuste do mapa geotécnico

Elaborou-se o mapa geotécnico preliminar com a integração dos mapas litológico e pedológico. Neste processo surgiram unidades que foram consideradas inconsistentes e encontram-se listadas na Tabela 9. A escala pequena dos mapas pode ter gerado tais inconsistências.

Tabela 9 – Unidades inconsistentes do mapa geotécnico preliminar

<b>Sigla</b>	<b>Descrição da Unidade</b>
PVsq	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Sedimentos Quaternários
GHgl	Gleissolos de substrato Granulito
GHg	Gleissolos de substrato Granito
Csq	Cambissolo de substrato Sedimentos Quaternários

Consideram-se inconsistências do mapa geotécnico os solos cujo substrato não condiz com a classe pedológica, como o PVsq. Solos com a classe Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) devem possuir substrato de, no caso desse estudo, granulito (PVgl) ou de granito (PVg). O substrato sq (sedimentos quaternários) é característico das classes pedológicas, presentes nesse trabalho, Gleissolos e solos Aluvionares.

Alguns poucos estudos de mapeamento geotécnico, tal como apresentado por Higashi (2006), mostram a presença de unidades PVsq, ou até mesmo, de unidades Csq. Apesar disso, essas unidades tratam-se de solos coluvionares que passaram por processo de intemperismo

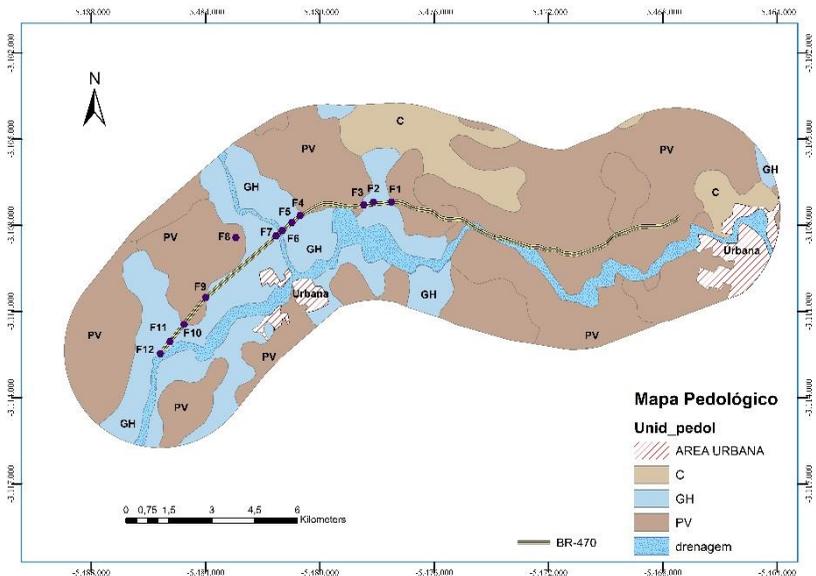
em seu local de deposição atual, gerando um horizonte “B” e, portanto, são solos diferentes dos encontrados por esta pesquisa.

Para verificar estas possíveis inconsistências realizou-se em campo tradagens com coleta de amostras, para posterior identificação do solo em sedimentar ou residual.

Como exemplo desta verificação em campo cita-se o procedimento para a unidade de Gleissolo, tendo como base o mapa pedológico, que apresenta 4 regiões de Gleissolo no traçado do lote 4. Em cada uma destas regiões tentou-se executar três tradagens, uma em cada extremidade do polígono e a terceira no centro da área, como ilustrado na Figura 22.

Totalizaram-se 12 furos de tradagem com coleta de amostra de material a uma profundidade média de 1,5m para conferência do Gleissolo, conforme a Figura 23.

Figura 22 – Furos de tradagem para conferência do mapa geotécnico



Nota: C – Cambissolo; GH - Gleissolo; PV – Podzólico Vermelho-Amarelo

Figura 23 – Tradagem e coleta de material para classificação



(a) Execução tradagem

(b) Análise tátil-visual em campo



(c) Furo tradagem

(d) Solo sedimentar e residual

De acordo com as amostras coletadas e com a análise do relevo da região, classificou-se o solo como residual ou sedimentar, auxiliando no primeiro ajuste dos polígonos do mapa geotécnico.

Com esta classificação, e com auxílio das curvas de nível e das imagens de satélite, foram ajustadas as áreas do mapa geotécnico.

Para este ajuste foram utilizadas as curvas de nível de 5 em 5m da Secretária de Estado do Desenvolvimento Sustentável (SDS) a imagem de satélite com seus respectivos perfis, o mapa de declividade do terreno e as idas a campo com as respectivas tradagens para

conferência de tipo de solo. A Figura 24 ilustra tal procedimento.

A análise de cada universo geotécnico começou com a sobreposição do mapa geotécnico preliminar e das curvas de nível, conforme Figura 24(a).

Nesta figura está apresentado um exemplo esquemático da definição da unidade geotécnica Cgl. Primeiramente, observou-se os locais onde as curvas de nível encontravam-se mais próximas entre si, ou seja, com o relevo mais montanhoso, como provável surgimento de Cambissolos.

Posteriormente, com a imagem de satélite, confirmou-se os locais de cursos d'água que não apareceram no mapa geotécnico preliminar, e os definiu através das curvas de nível no mapa refinado, como exemplificado na Figura 24(b) e (c).

A imagem de satélite auxiliou também na identificação de possíveis locais de ocorrência de Cambissolos, tendo como base a informação de elevação do terreno e a vegetação local (Figura 24d). Os referidos locais foram confirmados pelas regiões montanhosas do mapa de declividade, como mostrado na Figura 24(e).

Para a verificação final dessas áreas, traçou-se o perfil do terreno de cada região de estudo, como pode ser visto na Figura 24(f).

Após essa análise, foram redefinidas as unidades geotécnicas pelas curvas de nível, gerando o mapa geotécnico refinado, apresentado na Figura 24(g) e (h).

Figura 24 – Esquema para elaboração do Mapa Geotécnico Refinado



a) Mapa geotécnico preliminar e curva nível



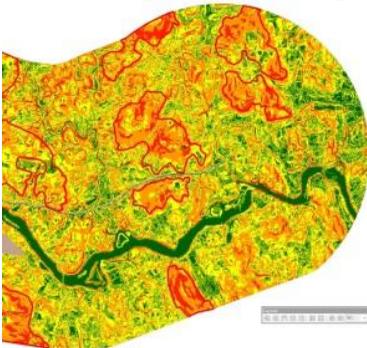
b) Análise de curso d'água



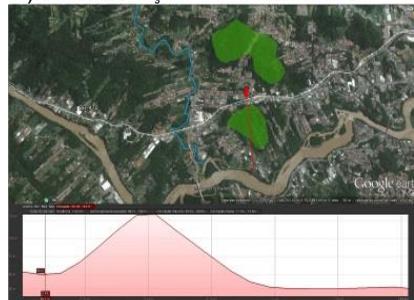
c) Delimitação do curso d'água



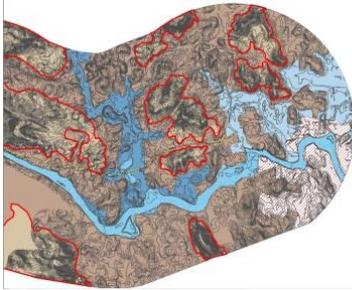
d) Identificação de Cambissolo



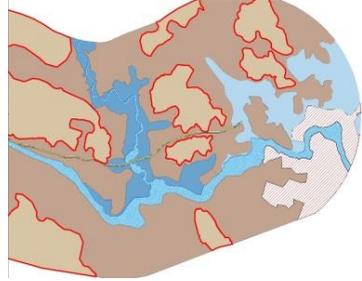
e) Identificação de Cambissolo no mapa de declividade



f) Definição do perfil na possível unidade de Cambissolo



g) Redefinição do Cambissolo pelas curvas de nível



h) Mapa geotécnico refinado na unidade Cambissolo

Repetiu-se esse método para a definição de todas as unidades geotécnicas, sendo estabelecidas cotas para definir os limites entre os universos geotécnicos. Para a definição dos limites de solo sedimentar e residual, também foram utilizados furos de tradagem executados em locais específicos.

### 3.4 Análise estatística do banco de dados

A partir da criação do banco de dados de ensaios de laboratório, foi realizada uma análise estatística desses resultados, sendo as análises divididas por polígonos das unidades geológica, pedológica e geotécnica, permitindo, assim, a caracterização de cada unidade.

Definiram-se os seguintes valores para cada parâmetro das unidades:

- Média;
- Desvio padrão;
- Coeficiente de variação;
- Máximo; e,
- Mínimo.

Antes de iniciar o cálculo estatístico formal, realizou-se uma revisão crítica dos dados. Os valores extremos foram analisados e verificados se são valores discrepantes, espúrios. Utilizou-se o teste t-student para remover esses valores, e foi considerado o intervalo de confiança de 95%,

conforme Montgomery e Runger (2012). Ressalta-se que devido a exclusão dos valores espúrios, o somatório das porcentagens de granulometria das unidades resulta em valor pouco inferior a 100%.

O método t-student, com a análise de valores espúrios, vem sendo utilizado na geotecnia visando diferentes aplicações, como pode ser observado no trabalho de Costa (2005), em que aplicou tal procedimento para a avaliação de ameaças e risco geotécnico aplicados à estabilidade de taludes.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 Localização

O trecho para o projeto de duplicação da rodovia BR-470/SC situa-se no nordeste do estado de Santa Catarina, entre os municípios de Navegantes e de Indaial. Localiza-se entre as latitudes 26°S e 27°S e longitudes 48°W e 50°W (fuso 22S) de Greenwich. O lote 4, área de estudo desse trabalho, compreende o trecho entre Blumenau e Indaial, conforme Figura 25.

Figura 25 – Croqui de Localização da área de estudo

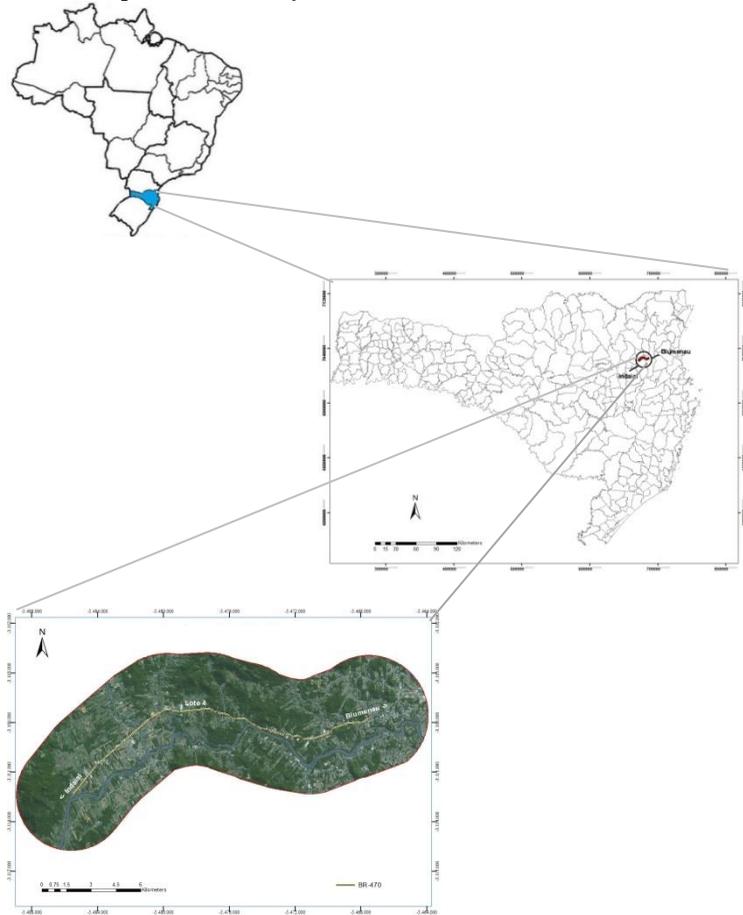
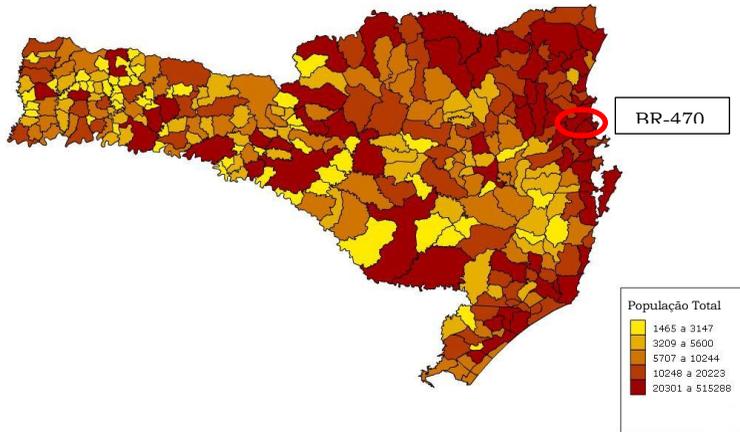




Figura 27 – Distribuição da população em Santa Catarina.



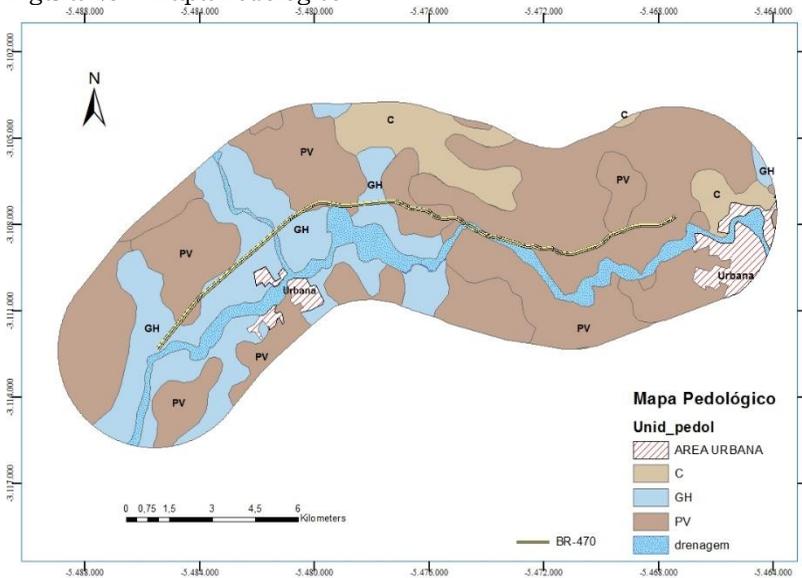
#### 4.2.2 Pedologia

Os solos presentes na área de estudo foram classificados de acordo com as unidades pedológicas definidas pela EMBRAPA (2006), onde três classes foram encontradas.

De acordo com o mapa pedológico apresentado na Figura 28 e os percentuais das unidades pedológicas apresentadas na Figura 29, o tipo de solo predominante na região de estudo é o Podzólico Vermelho-Amarelo (60%), seguido pelo Gleissolo (21%) e Cambissolo (8%).

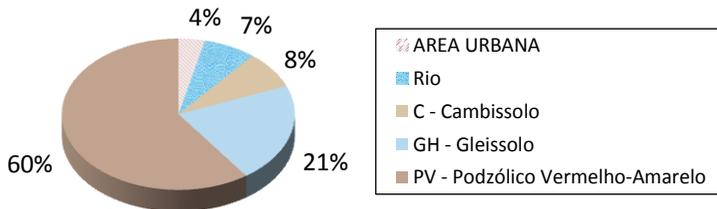
Segundo a classificação brasileira dos solos da EMBRAPA (2006), os Podzólicos Vermelho-Amarelos são denominados em primeiro nível categórico como Argilossolos, os Cambissolos na classificação em primeiro nível como Cambissolos, e o Gleissolos na classificação de primeiro nível como Gleissolos.

Figura 28 – Mapa Pedológico



Nota: C – Cambissolo; GH - Gleissolo; PV – Podzólico Vermelho-Amarelo

Figura 29 – Percentual das áreas das unidades pedológicas



Os Argilossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando o horizonte B textural com argila de atividade baixa imediatamente abaixo do horizonte A ou E. Este tipo de solo caracteriza-se pela textura média a muito argilosa e possuem horizontes subjacentes com ou sem incremento argiloso em diferentes profundidades. A drenagem varia entre forte ou não drenado, sendo as cores normalmente avermelhadas e amareladas e raramente brunada ou acinzentada.

Os Argilossolos Vermelho-Amarelos são solos que apresentam cores vermelho-amareladas ou amarelo-avermelhadas devido a sua condição de solo bem drenada.

Os Cambissolos são, segundo a Embrapa (2006), solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte hístico com espessura inferior a 40cm.

Oliveira (1992) afirma que a textura dos Cambissolos varia desde franco-arenosa até muito argilosa, sendo as texturas médias a argilosas mais encontradas. Os teores de silte são, em geral, relativamente elevados.

Os Cambissolos são derivados dos mais diversos materiais de origem e encontrados sob condições climáticas variadas. Em decorrência, são constatados solos álicos, distróficos, eutróficos, com carbonatos ou carbonáticos, textura média até muito argilosa, desde muito até imperfeitamente drenados, rasos, pouco profundos e profundos, podendo ter atividade de argila desde muito baixa até alta.

Existem Cambissolos de coloração bastante diversas e a diferenciação de horizontes é em geral modesta, somente tornando-se mais acentuada quando o horizonte A for húmico ou proeminente (OLIVEIRA, 1992).

São encontrados em todas as regiões do Brasil, em locais de relevo plano até montanhoso, ocorrendo principalmente em regiões serranas e montanhosas, compondo muitas vezes solos pedregosos, cascalhentos e até rochosos (IBGE, 2003).

Gleissolo são solos constituídos por material mineral com horizonte glei imediatamente abaixo do horizonte A, ou de horizonte hístico com menos de 40cm de espessura; ou horizonte glei começando dentro de 50cm da superfície do solo; não apresentam horizonte plíntico ou vértico, acima do horizonte glei ou coincidente com este, nem horizonte B textural com mudança textural abrupta coincidente com horizonte glei, nem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei.

São formados principalmente por sedimentos, estratificados ou não, que quando recentes, geralmente desenvolvem-se próximo aos cursos d'água e em materiais

colúvio aluviais em condições hidromórficas. São também encontrados em relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos e, em materiais residuais, podem se formar em depressões, baixadas. Estes solos encontram-se saturados (permanente ou periodicamente), apresentando más condições de drenagem. Caracterizam-se pela intensa gleização, implicando nas cores de solo acinzentada, azulada ou esverdeada.

### 4.2.3 Geologia

De acordo com o mapa geológico apresentado na Figura 30, e os percentuais das unidades geológicas apresentadas na Figura 31, a região pesquisada encontra-se assentada principalmente sobre a Unidade Granulítica de Santa Catarina (60%). Há também a presença das formações geológicas: depósitos colúvio-aluvionares (31%), granitóides (5%) e Complexo Barra Velha (4%).

Figura 30 – Mapa Geológico

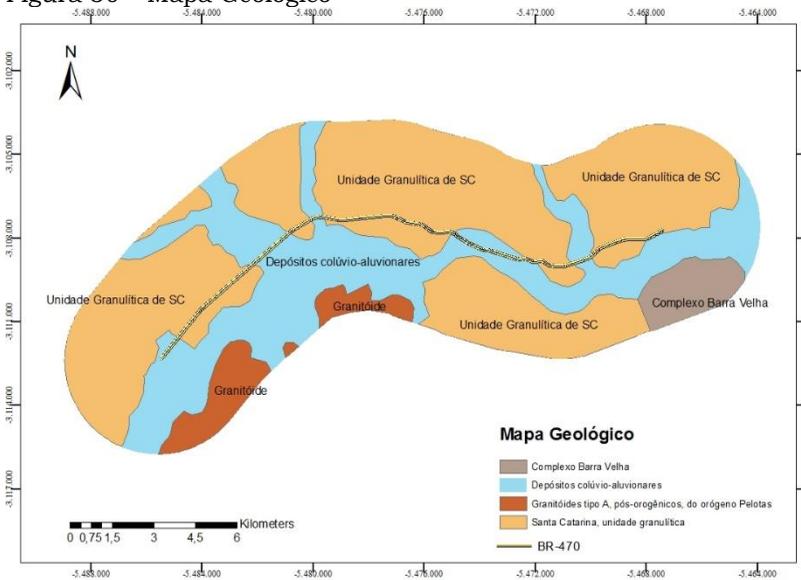
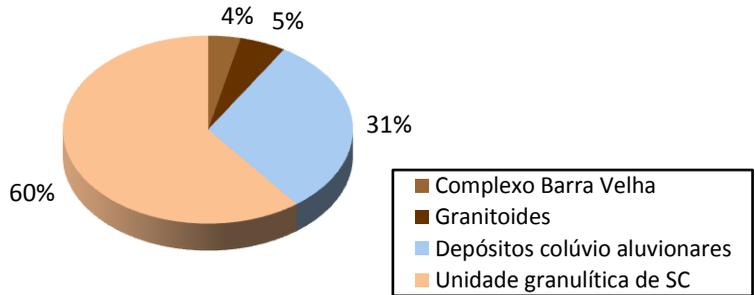


Figura 31 – Percentual de áreas das unidades geológicas



- Unidade Granulítica de Santa Catarina

Essa unidade possui mais de 90% da área exposta constituída por gnaisses granulíticos, que se definem como rochas marcadamente bandeadas, de composição quartzo-feldspática, e minerais principais piroxênio e hornblenda. A cor cinza com tonalidades esverdeadas e azuladas são as principais características mesoscópicas. São observados corpos de rochas quartzíticos, gnaisses calcicossilicatadas, anortositos, milonitos-gnaisses granulíticos e metaultramáfitos (TEIXEIRA, 1993).

Seu ambiente de formação são as rochas metamórficas básicas, que foram levadas a grandes profundidades, sendo uma das unidades mais antigas do estado.

O relevo contém a existência de núcleos graníticos concordantes com o granulito e a forte perturbação tectônica a que foi submetida, resulta em um relevo fortemente a medianamente ondulado.

Os granulitos são constituídos mineralogicamente por plagioclácio de cálcicos a sódicos, piroxênio, anfibólio, biotita, podendo ter feldspato potássico e quartzo quando são submetidos a intemperização. No clima em Santa Catarina, somente o quartzo não irá se intemperizar e transformar-se em argila.

Portanto, o horizonte C do solo residual, tende apresentar uma granulometria variável entre silto argiloso, areno argiloso a argilo arenoso. Neste horizonte podem

ocorrer matacões, mas tendem a ser em pequena proporção e em pequeno tamanho. No horizonte B desses solos tende predominar solos argilo arenosos e argilo siltosos (TEIXEIRA, 1993).

- Granitóides

Os granitóides podem ter sido formados durante ou pós o orógenos de Pelotas.

Corpos granitóides sintectônicos (durante o tectonismo) são definidos como corpos granitóides de composição variando de granito, granodiorito, quartzo monzonito e quartzo diorito. Apresenta contatos gradativos ou por falha com o Complexo Brusque.

A Suíte granítica pós-tectônica está representada por corpos graníticos intrusivos tardi e pós-tectônicos, leucocráticos, homogêneos e isotropos, de composição variando de granítica a quartzo-monzonítica (SCHEIBE, 1986).

- Depósitos colúvio-aluvionares

Os depósitos colúvio-aluvionares são constituídos por sedimentos inconsolidados, com grande variação granulométrica, incluindo depósitos areno-argilosos e areno-siltico argilosos, com estratificação incipiente ou ausente, incluindo depósitos "in situ" (KAUL, 2002).

Estes depósitos englobam tanto os terraços arenosos antigos como os depósitos de pé de encosta e os aluviões subatuais. São constituídos, geralmente, por uma alternância de níveis ou lentes arenosas e argilosas, mal selecionadas, com a presença frequente de horizontes de seixos e calhaus, os quais tornam-se mais expressivos próximos às áreas fontes. A estratificação cruzada é frequente, bem como o acamadamento gradacional e estruturas de colapso (KAUL, 2002).

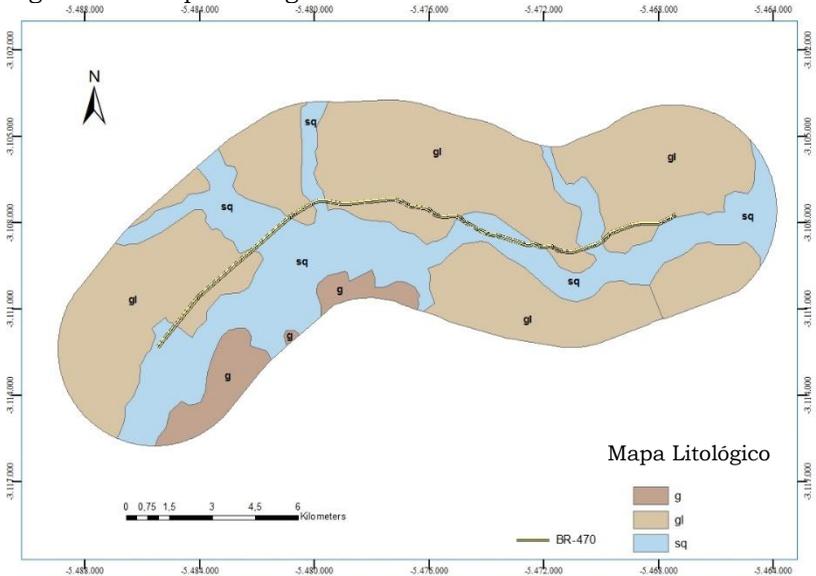
- Complexo Barra Velha

O Complexo Barra Velha, segundo DNPM (1986), apresenta injeção granítica e possui composição feldspática. Os tipos de rocha encontrados são metrautramafitos piroxeníticos, hornblenda piroxenicos, e anfibolíticos, em contatos gradacionais. As texturas magmáticas originais raramente são preservadas.

Com base nestas informações foi elaborado o mapa litológico (com a litologia predominante) para a área de estudo, representado na Figura 32.

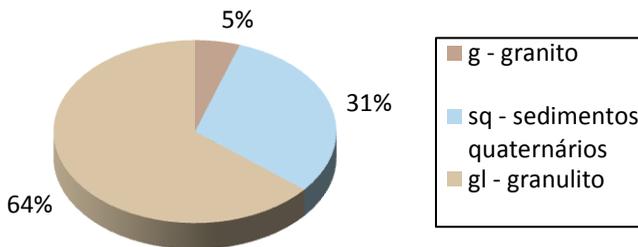
A Figura 33 demonstra que a maior parte do mapa litológico de lote 4 é formado por granulito (gl), seguido por sedimentos quaternários (sq) e granito (g).

Figura 32 – Mapa Litológico



Nota: g – granito; gl - granulito; sq – sedimento quaternário

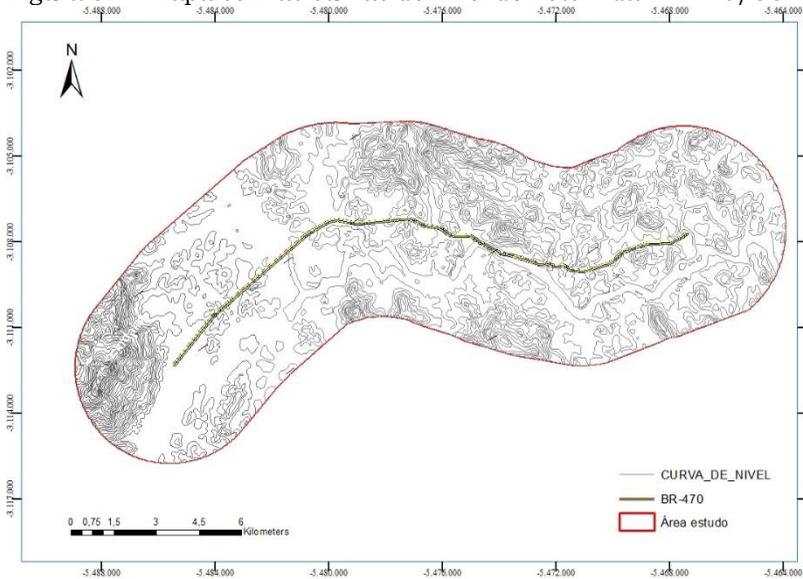
Figura 33 – Percentual de áreas das unidades litológicas



#### 4.2.4 Relevo

A região de estudo encontra-se, segundo as curvas de nível do IBGE, em uma região com relevo mais plano a ondulado, com a presença de algumas regiões montanhosas, conforme pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 – Mapa com as curvas de nível do Lote 4 da BR-470/SC



## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados são apresentados em subcapítulos divididos em: mapeamento digital do terreno, mapa geotécnico preliminar e mapa geotécnico refinado, mapa com uso do solo, mapas com base nos dados dos ensaios de laboratório, análise estatística dos ensaios de laboratório e na elaboração e análise de perfis geotécnicos com base em ensaios de campo.

### **5.1 Mapeamento digital do relevo**

A identificação de características do relevo foi realizada a partir das curvas de nível, o que resultou em um mapa de altimetria conforme a Figura 35.

O mapa ilustra que a altitude da área de estudo varia de 20 a 340m, sendo a maior parte em nível mais plano, com altitude de 20 a 100m.

O mapa de declividade ilustra a variabilidade espacial do parâmetro topográfico declividade, as classes de relevo utilizadas na elaboração desse mapa foram definidas de acordo com Embrapa (2006). Observa-se que na região de estudo a maior parte do relevo é classificada como plano, suavemente ondulado e ondulado, como pode ser visto no mapa de declividade (Figura 36).

Figura 35 – Modelo Digital de Elevação do Lote 4 da BR-470/SC

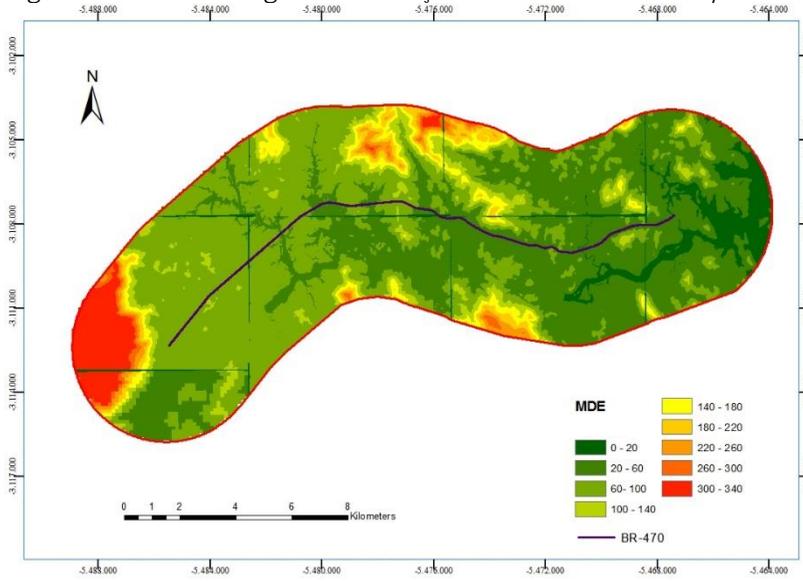
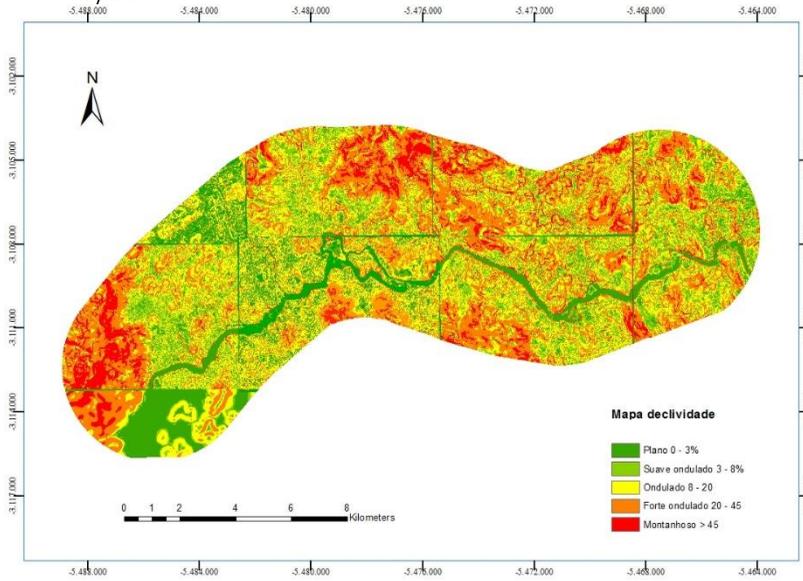


Figura 36 – Mapa de Declividade com as porcentagens do Lote 4 da BR-470/SC



## 5.2 Mapeamento geotécnico preliminar

Foram identificadas dez unidades geotécnicas no lote 4 da BR-470/SC, as quais são apresentadas na Figura 37, Figura 38 e Tabela 10.

Figura 37 – Mapa geotécnico preliminar do lote 4 da BR-470/SC

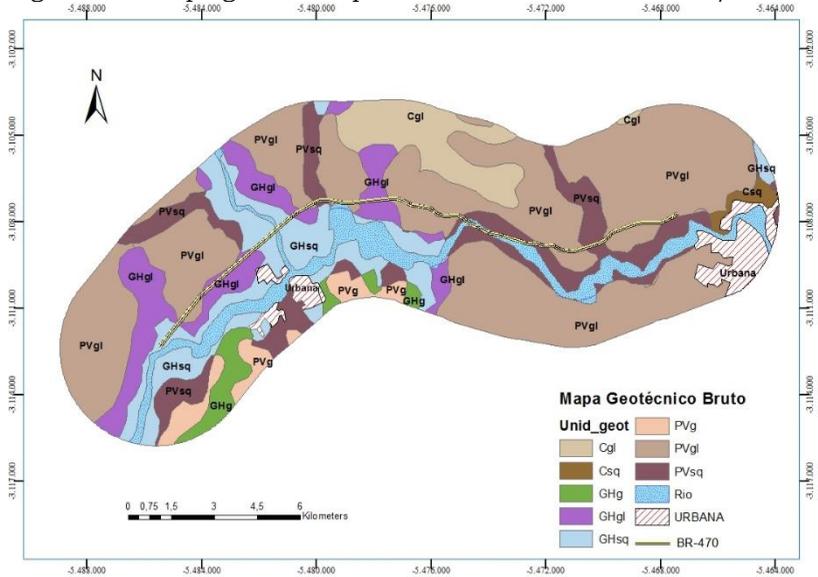


Figura 38 – Percentual de área das unidades geotécnicas preliminares

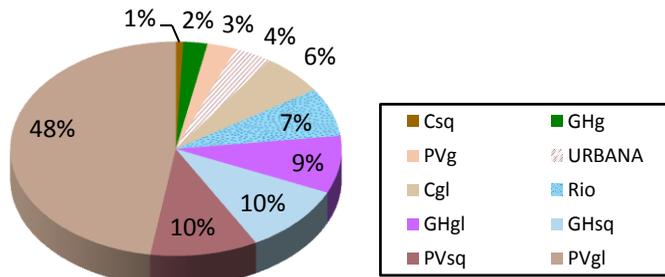


Tabela 10 – Descrição das unidades do mapa geotécnico preliminar

<b>Sigla</b>	<b>Descrição da unidade</b>
PVsq	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Sedimentos Quaternários
GHgl	Gleissolo de substrato Granulito
GHg	Gleissolo de substrato Granito
Csq	Cambissolo de substrato Sedimentos Quaternários
Agl	Aluvias de substrato Granulito
Asq	Aluviais de substrato Sedimentos Quaternários
Cgl	Cambissolo de substrato Granulito
GHsq	Gleissolo + Sedimentos Quaternários
PVg	Podzólico Vermelho-Amarelo + Granito
PVgl	Podzólico Vermelho-Amarelo + Granulito
Urbana	Área Urbana – Mancha Urbana

Este mapa geotécnico é considerado preliminar, uma vez que foi gerado a partir do simples cruzamento entre a pedologia e a litologia, o que pode ocasionar a geração de inconsistências em suas unidades.

Devido a este fato, foram executadas tradagens para verificação do solo, como descrito no item 3.3. A Tabela 11 demonstra alguns resultados destas tradagens e a classificação do solo encontrado.

Tabela 11 – Classificação dos furos de conferência

<b>Furo</b>	<b>Característica tátil visual</b>	<b>Furo</b>	<b>Característica tátil visual</b>
F-01	Residual	F-07	Sedimentar
F-02	Sedimentar	F-08	Sedimentar
F-03	Sedimentar	F-09	Sedimentar
F-04	Sedimentar	F-10	Sedimentar
F-05	Sedimentar	F-11	Sedimentar
F-06	Sedimentar	F-12	Sedimentar

Tendo como base as tradagens, curvas de nível e imagens de satélite, foi elaborado o mapa geotécnico

refinado, eliminando as inconsistências encontradas no mapa preliminar.

### 5.3 Mapeamento geotécnico refinado

As unidades do mapa geotécnico refinado encontram-se descritas na Tabela 12, e estão apresentadas na Figura 39, com seus respectivos percentuais na Figura 40

Com a Figura 40 observa-se que a maior parte da área de estudo apresenta solo PVgl (38%), Cgl (25%), e GHsq (21%), o que totalizam 84% da área de estudo.

Tabela 12 – Descrição das unidades do mapa geotécnico refinado

<b>Sigla</b>	<b>Descrição da unidade</b>
Asq	Aluviais de substrato Sedimentos Quaternários
Cgl	Cambissolo de substrato Granulito
GHsq	Gleissolo + Sedimentos Quaternários
PVg	Podzólico Vermelho-Amarelo + Granito
PVgl	Podzólico Vermelho-Amarelo + Granulito
Urbana	Área Urbana – Mancha Urbana
Ilha	Ilhas
Rio	Rio

Figura 39 – Mapa geotécnico refinado

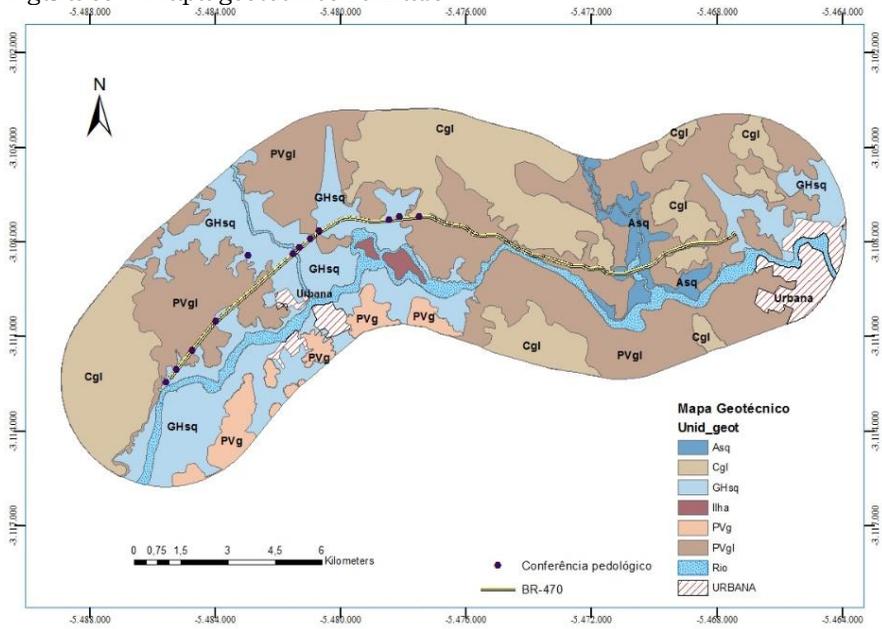
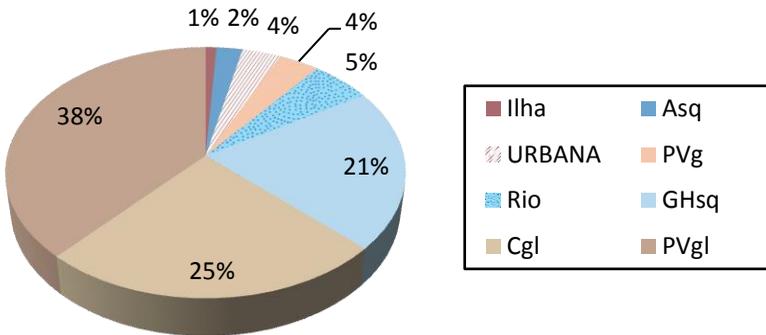


Figura 40 – Quantidades das unidades mapa geotécnico refinado



A mudança das porcentagens das áreas referentes às unidades dos mapas geotécnicos preliminar e refinado está apresenta na Tabela 13.

Um acréscimo de área significativo foi observado na unidade Cgl, que no mapa preliminar apresentava 6% da área e no mapa refinado 24%. A unidade GHsq apresentou um acréscimo de 10% em área no mapa refinado.

Apenas a unidade PVgl demonstrou uma redução representativa na porcentagem de sua área, que no mapa geotécnico preliminar passou de 48% para 38%, em relação ao mapa geotécnico refinado.

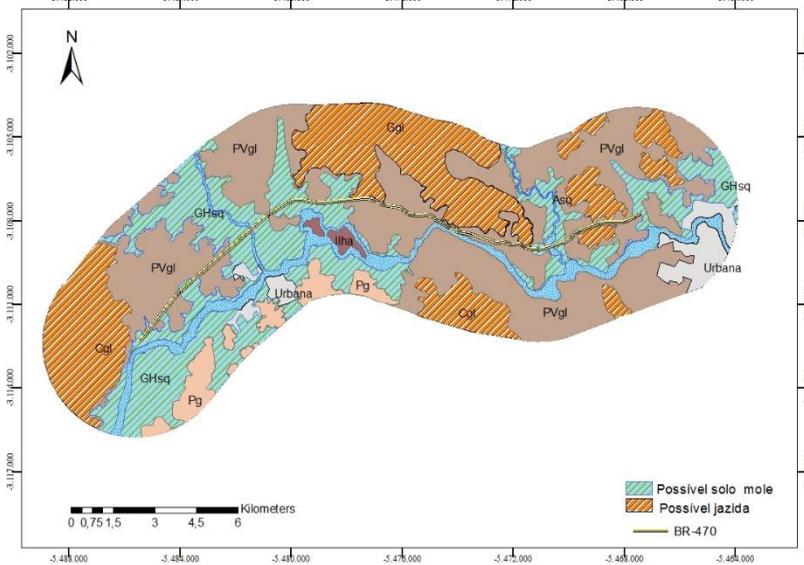
Tabela 13 – Porcentagem das áreas dos mapas geotécnico preliminar e refinado

<b>Unidade Geotécnica</b>	<b>Área no Mapa Preliminar [%]</b>	<b>Área no Mapa Refinado [%]</b>
Csq	1%	-
GHg	2%	-
PVg	3%	-
URBANA	4%	4%
Cgl	6%	24%
Rio	7%	6%
GHgl	9%	-
GHsq	10%	21%
PVsq	10%	-
PVgl	48%	38%
PVg	-	4%
Asq	-	2%
Ilha	-	1%

#### **5.4 Mapa com identificação de jazidas e locais de solo mole**

Com o mapa geotécnico refinado elaborou-se um mapa com os possíveis uso do material para o projeto dessa rodovia, identificando áreas com potencial de jazidas para corpo de aterro. Foram analisadas também áreas que podem apresentar solo mole, conforme a Figura 41.

Figura 41 – Mapa de identificação de jazidas e locais de solo mole



A região de Cambissolo com substrato em granulito (Cgl) apresenta solo de boa qualidade (CBR médio elevado e expansão média baixa) e terreno com maior declividade, portanto, trata-se de uma unidade em potencial para possíveis áreas de jazidas para execução de aterros.

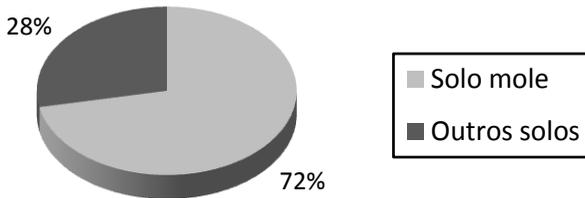
Em áreas de Gleissolo com substrato em sedimentos quaternários (GHsq) e de solos Aluviais com sedimentos quaternários (Asq) é possível que ocorra a presença de solos moles.

Para confirmar essa característica foram analisados todos os ensaios de campo presentes nos universos GHsq e Asq, tendo como base as informações extraídas de 27 sondagens mistas, 5 sondagens a percussão, 19 sondagens de penetrômetro e 9 sondagens de penetrômetro com circulação de água.

Para a definição de *solo mole*, utilizou-se a norma ABNT NBR6484 (2001) que define nas argilas e siltes argilosos o  $N_{SPT} < 2$  golpes como muito mole e  $N_{SPT}$  entre 3 e 5 golpes como mole. Os ensaios de campo realizados nessa região são compostos por 32 sondagens SPT + SM, sendo

que do total, 23 (72%) SPTs apresentaram solo mole ou muito mole e 9 (28%) apresentaram um solo mais resistente, conforme pode se observar no gráfico da Figura 42. Como não há uma norma que defina o número de golpes para classificação de solo mole do DPL e SCA, esses ensaios não foram utilizados nessa etapa.

Figura 42 – Percentual de solo mole e resistente com base nos ensaios de SPT+SM



## 5.5 Mapas com base nos dados de laboratório

Foram elaborados mapas com os resultados dos ensaios de laboratório de cada ponto de sondagem. Os dados inseridos foram as médias obtidas por um tratamento estatístico dos valores das camadas de cada ponto de sondagem.

A graduação das cores dos furos de sondagem indica o intervalo de valores de cada variável, conforme a legenda de cada mapa.

A Figura 43 e a Figura 45 demonstram os valores médios característicos do Índice Suporte Califórnia (CBR) e expansão, respectivamente.

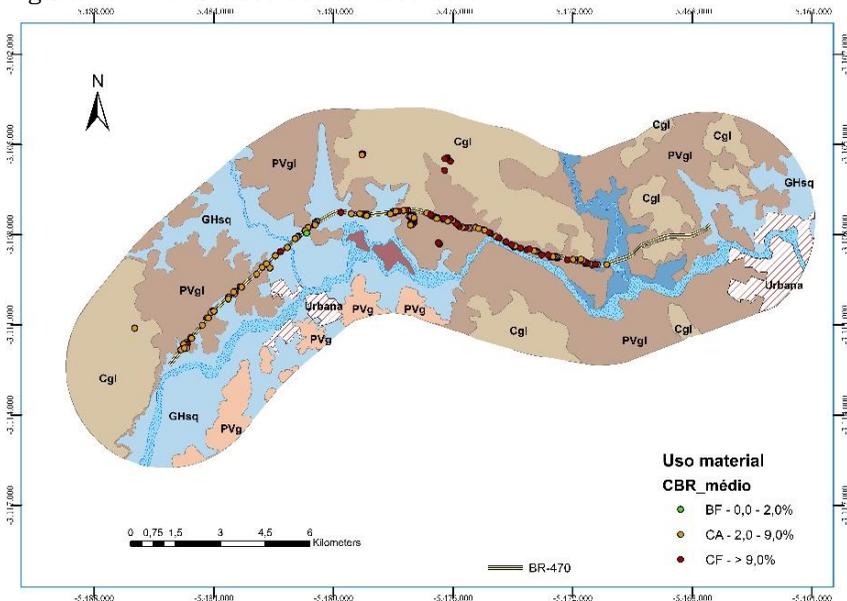
A divisão das classes desses ensaios foi realizada de acordo com sua utilidade na rodovia: camada final de terraplenagem, corpo de aterro e bota-fora do material.

Tendo como base a norma DNIT (108/2009 - ES) e o projeto de pavimentação, foram divididas classes de utilização do solo, baseadas nos resultados do ensaio de CBR. São elas:

- Camada final de terraplenagem (CF): CBR mínimo de 9%;
- Corpo de aterro (CA): CBR mínimo de 2% e máximo de 9%;
- Bota-fora (BF): CBR inferior a 2%.

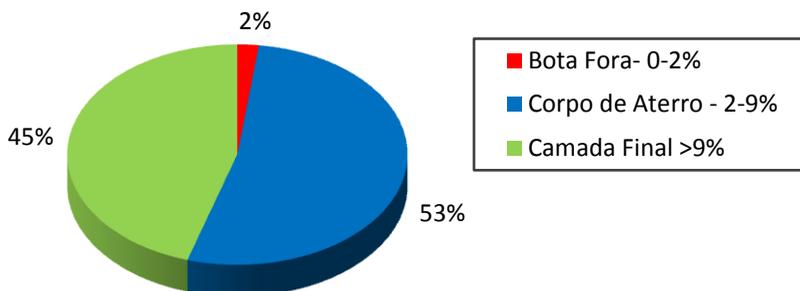
Na Figura 43 observa-se uma menor quantidade de furos na cor verde, correspondente ao material para bota-fora (2%), e maior quantidade de furos alaranjados, material para corpo de aterro (53%), seguido de pontos vermelhos, material para camada final de terraplenagem (45%). A Figura 44 apresenta o percentual de uso do material com base no ensaio de CBR.

Figura 43 – Resultados dos ensaios de CBR



Nota: BF – Bota-fora; CA - Corpo de Aterro; CF - Camada Final de Terraplenagem

Figura 44 – Percentual de uso do material com base no ensaio de CBR

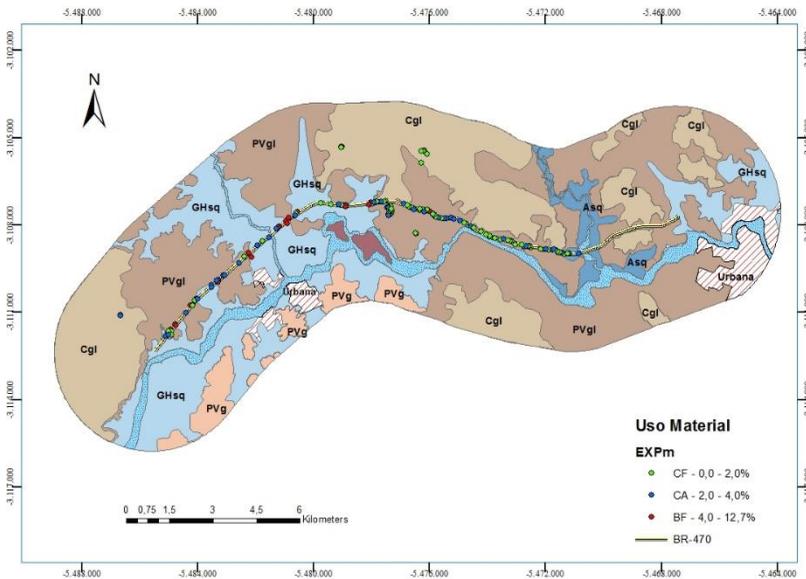


Na análise do ensaio de expansão considerou-se os limites estabelecidos pelo DNIT para divisão em classes da utilização do solo. São eles:

- Camada final de terraplenagem: expansão máxima de 2%;
- Corpo de aterro: expansão entre 2 e 4%;
- Bota-fora: expansão superior a 2%.

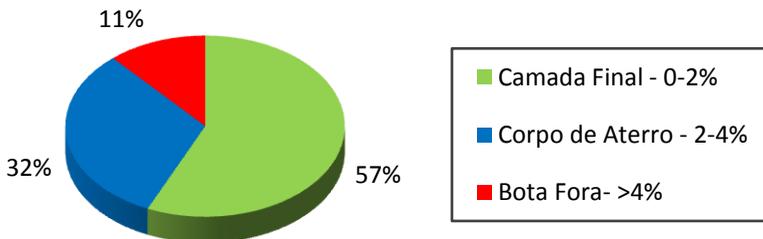
Na Figura 45 observa-se uma menor quantidade de furos na cor vermelha, de material para bota-fora (11%), e maior quantidade de furos em verde, que corresponde ao material para camada final de terraplenagem (57%), seguido de pontos azuis, material para corpo de aterro (32%). A Figura 46 apresenta o percentual de uso do material com base no ensaio de expansão.

Figura 45 – Resultados dos ensaios de expansão



Nota: BF – Bota-fora; CA - Corpo de Aterro; CF - Camada Final de Terraplenagem

Figura 46 – Percentual de uso do material com base no ensaio de expansão



A Figura 47 apresenta todos os resultados de CBR e expansão dos 148 ensaios realizados. Elaborou-se o gráfico com todos os 148 ensaios de laboratório (pontos de amostragem), organizados no eixo das abscissas do menor ao maior valor de expansão. Como esperado, essas duas

grandezas são inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor o valor da expansão, melhor a qualidade do material, e portanto, maior seu valor de CBR.

Figura 47 –Relação entre CBR e expansão

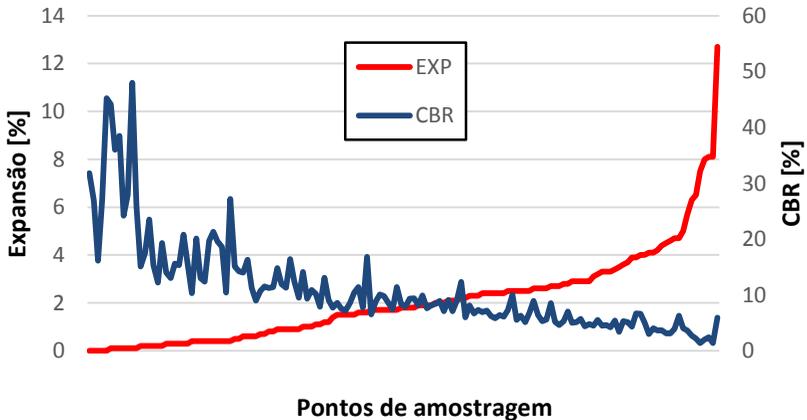
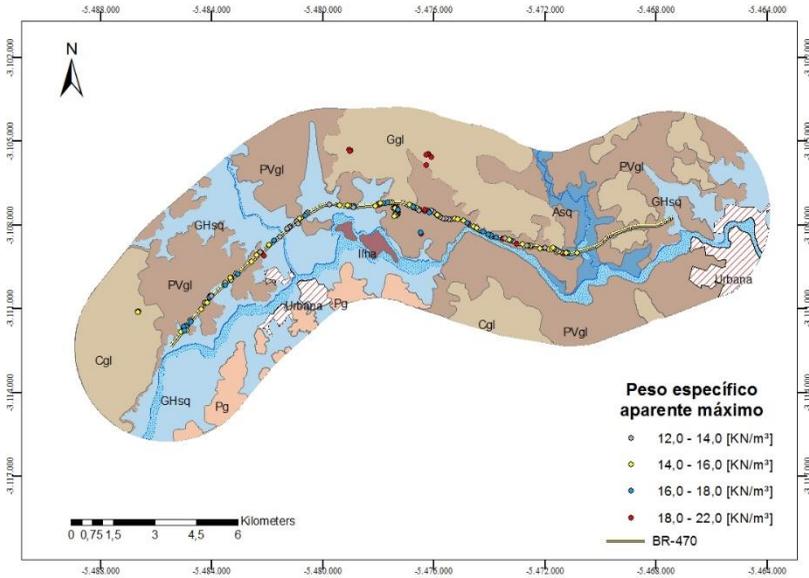


Figura 48 – Resultados dos ensaios de peso específico aparente máximo



A Figura 49 e Figura 50 apresentam os valores de teor de umidade natural e a umidade ótima obtida no ensaio de compactação. Observa-se que há certa correlação entre esses dois resultados. Os locais que apresentavam uma baixa umidade natural apresentaram também baixo teor de umidade ótima.

Observa-se uma correlação entre a granulometria e a umidade do material. Se o solo está não saturado, a quantidade de água presente em sua estrutura é em função de sua capacidade de reter água. Os solos mais argilosos apresentam umidade natural e umidade ótima maior. Enquanto os solos arenosos apresentam menores teores de umidade e valores maiores de densidade, conforme observado na unidade Cgl.

Figura 49 – Resultados dos ensaios de umidade natural

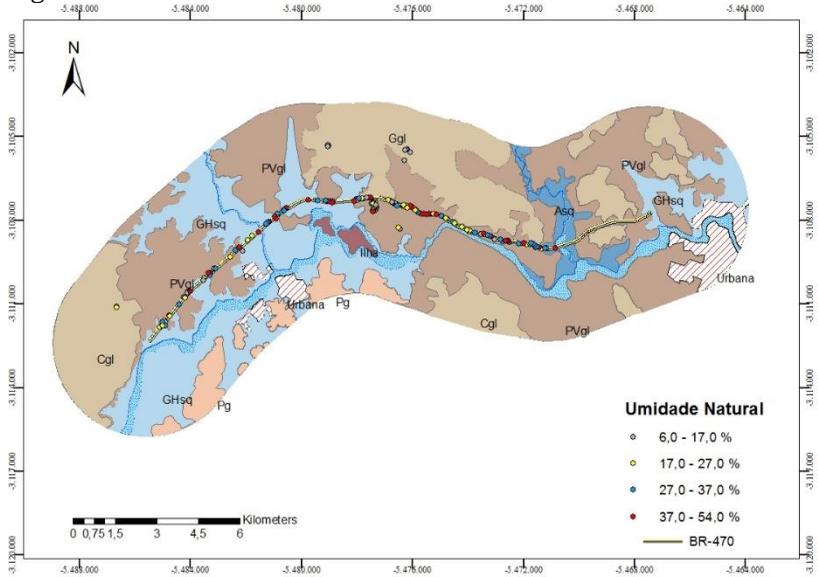
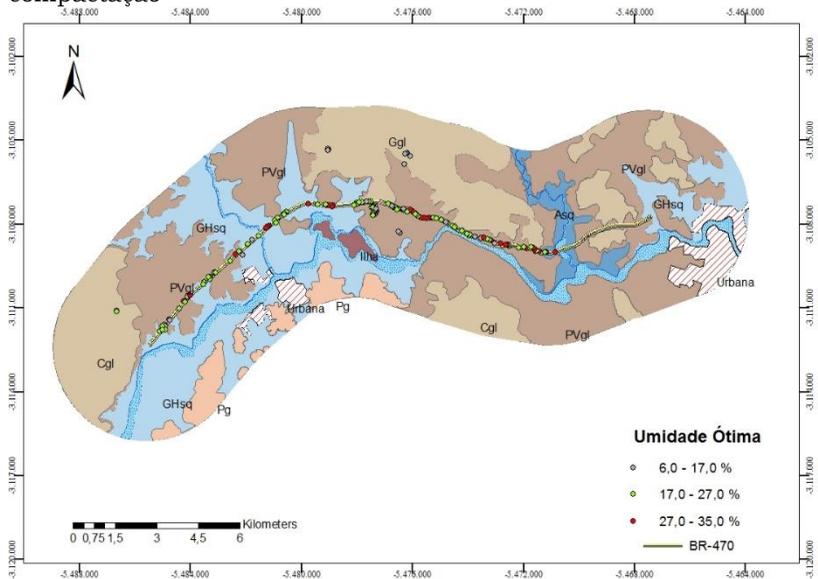


Figura 50 – Resultados dos ensaios de umidade ótima da compactação



A Figura 51 e a Figura 52 apresentam a variação da umidade natural e da umidade ótima obtidas nos pontos analisados. Observa-se que em 80% dos casos a umidade natural é superior à umidade ótima, o que pode representar em grandes problemas para obras de terraplenagem. Em média, a variação dos teores de umidade natural e umidade ótima é de 5,9%. Segundo a norma do DNIT (108/2009 – ES) a variação da umidade ótima permitida nos corpos de aterro é de até 3%, portanto, em campo, esse solo deverá ser revolvido, a fim de secar até atingir à umidade adequada.

Figura 51 – Comparação entre o teor de umidade natural e a umidade ótima

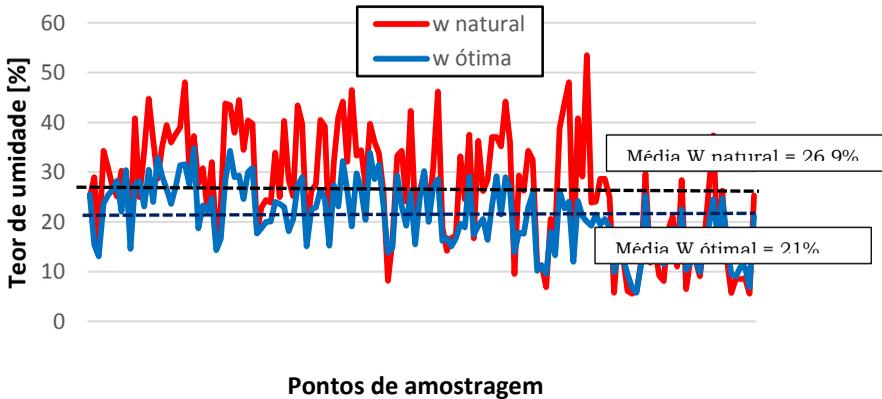
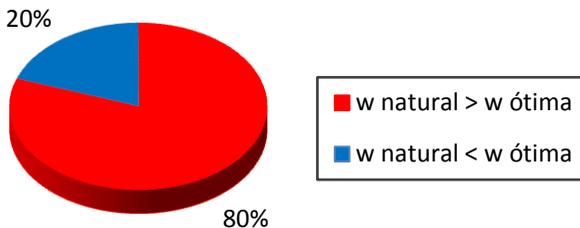


Figura 52 – Porcentual da relação entre as umidades natural e ótima



Os valores característicos do índice de grupo IG estão apresentados na Figura 53. A escala de cores identifica os intervalos de valores de IG, definidos pelo sistema de dimensionamento de um pavimento flexível com base no método do Índice de Grupo.

O Índice de Grupo varia de 0 a 20 e define a “capacidade de suporte” do terreno de fundação de um pavimento.

O dimensionamento de um pavimento flexível pelo método do Índice de Grupo é realizado por meio de curvas empíricas que relacionam o índice do grupo do subleito com as espessuras das camadas do pavimento (CAPUTO, 2015). A classificação do subleito, segundo o IG, está apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Percentagem da qualidade da capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento

Classificação IG	Número de ensaios	Porcentagem
Excelente: IG entre 0 e 1	34	23%
Boa: IG entre 1 e 2	9	6%
Regular: IG entre 2 e 4	8	5%
Má: IG entre 4 e 9	40	27%
Muito má: IG entre 9 e 20	57	39%

Com o gráfico da Figura 54 conclui-se que 56% da área da região de estudo apresenta a qualidade de subleito entre má a muito má, enquanto que 29% do solo apresenta qualidade boa à excelente. Ressalta-se que os solos classificados como subleito excelente, com base no valor do IG (pontos em tom de cinza), encontram-se mais concentrados na unidade geotécnica Cgl. Salienta-se que esse método de dimensionamento, em solos tropicais, está sendo pouco utilizado.

Figura 53 – Resultados dos ensaios de IG

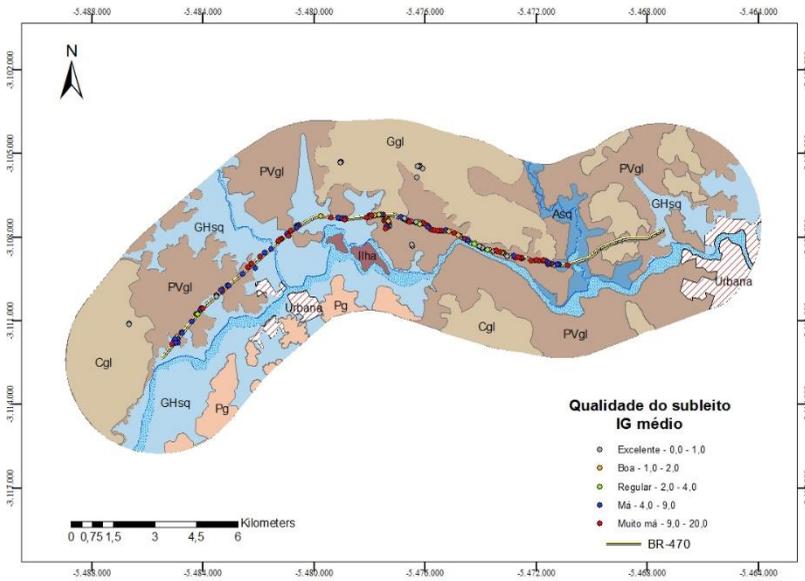
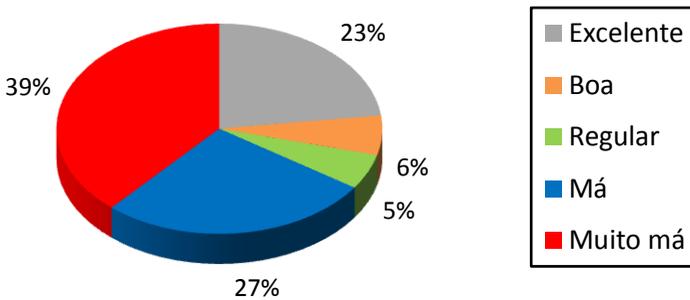


Figura 54 – Percentual da qualidade da capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento



Com relação à granulometria a Figura 55, Figura 56 e Figura 57 apresentam as porcentagens de pedregulho, areia e argila+silte, respectivamente. Essa forma de divisão foi definida pela granulometria de cada amostra. Observa-se, portanto, que a maioria dos pontos apresenta materiais com uma granulometria mais fina, maior porcentagem de

argila+silte, e possuem baixa porcentagem de pedregulho e maior porcentagem de argila+silte.

Assim, devido a essas informações de granulometria, estima-se que os solos analisados estejam bastante intemperizados, pois apresentam características típicas de um horizonte “C” de Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Figura 55 – Resultados dos ensaios de porcentagem de pedregulho

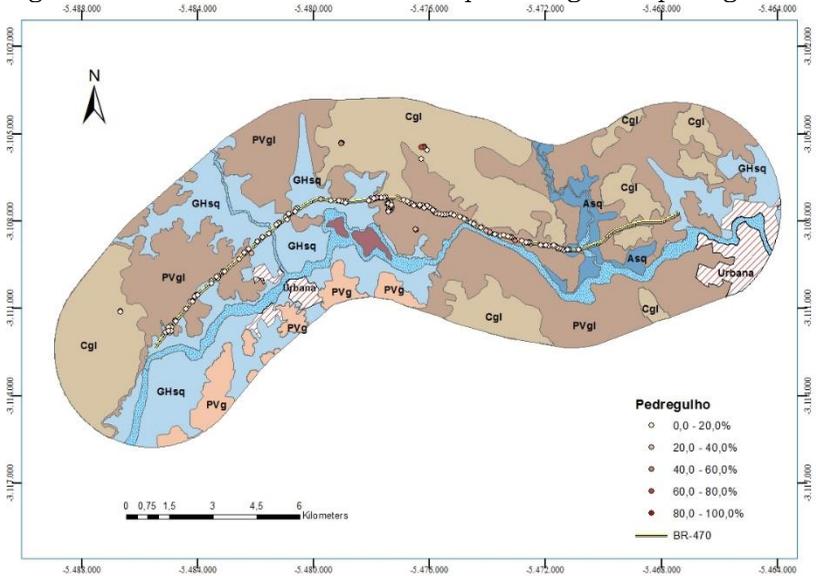


Figura 56 – Resultados dos ensaios de porcentagem de areia

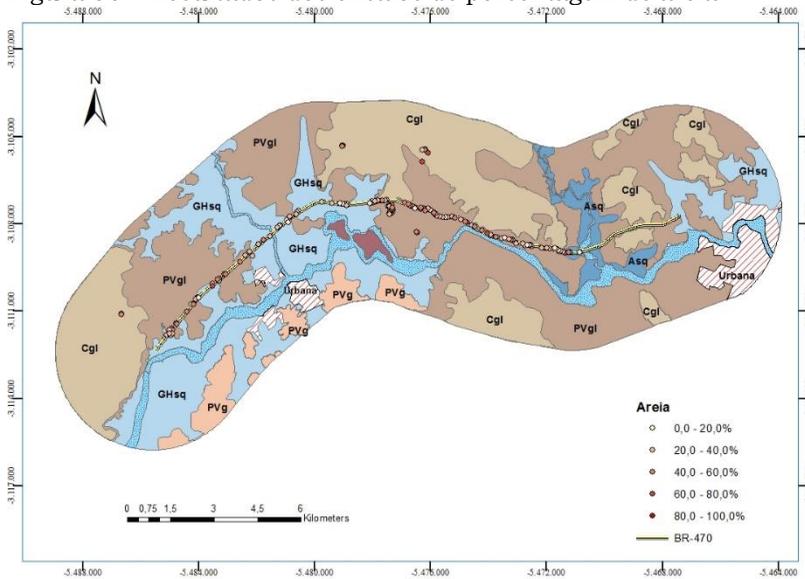
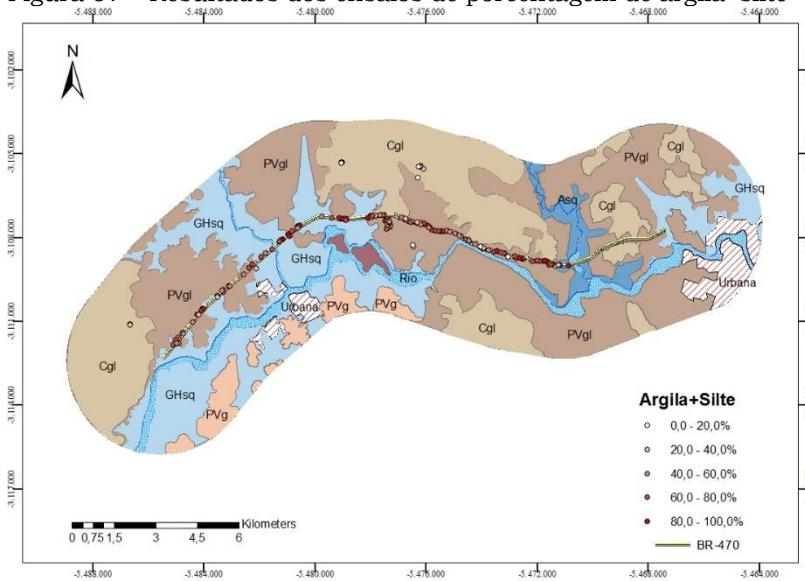
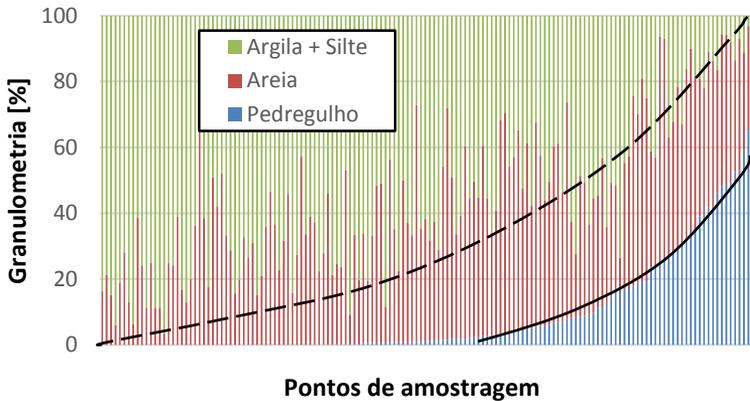


Figura 57 – Resultados dos ensaios de porcentagem de argila+siltite



A Figura 58 apresenta os valores das porcentagens dos 148 furos de sondagens relativas à granulometria. O eixo das abscissas foi organizado de acordo com o valor percentual de pedregulho de cada ensaio (pontos de amostragem), do menor ao maior. Observa-se que a maior parte dos furos apresenta uma maior porcentagem de argila+silte, em verde, seguido de areia, em vermelho. Ressalta-se que as barras em azul representam as porcentagens de pedregulho, que para este local de estudo, foram consideradas baixas.

Figura 58 – Percentual de pedregulho, areia e argila + silte



## 5.6 Análise estatística dos dados de laboratório

A análise estatística foi desenvolvida tendo como base em alguns universos de dados. A seguir são apresentadas análises com base na pedologia, geologia e geotecnia.

### 5.6.1 Análise estatística com base nas unidades pedológicas

A Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17 apresentam os valores obtidos pela análise estatística nos universos de Cambissolo, Gleissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo, respectivamente.

Na Figura 59 são apresentados os valores médios dos parâmetros de cada unidade. Observa-se que o Podzólico Vermelho-Amarelo é o que apresenta a maior quantidade

de ensaios (80), seguido pelo Gleissolo (54) e Cambissolo (7).

Não houve, entre as unidades pedológicas, grande variação dos resultados obtidos no ensaio de expansão, sendo o valor médio encontrado de 2%. Somente o Cambissolo que apresentou valores menores nesse ensaio, no valor de 0,2%.

Com relação ao ensaio de CBR, a unidade Cambissolo foi a que apresentou a maior resistência, com resultado médio de 30%, seguida da unidade PV com valores médios de 10,7% e a unidade GH com 6,4%.

Quanto à granulometria, o Cambissolo foi o que apresentou a maior porcentagem de pedregulho+areia, e a menor porcentagem de argila+silte.

Tabela 15 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Cambissolo

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	0,2	0,1	73	0,4	0,1
CBR [%]	30,0	13,8	46	48	8,1
IG	0,0	0,0	-	0	0
W natural [%]	8,2	2,9	35	12,9	5,6
W ótima [%]	9,5	2,3	24	12,8	5,8
Peso esp. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	19,7	0,9	4	21,4	18,8
Pedregulho [%]	42,2	21,6	51	71,4	7,8
Areia [%]	44,6	15,0	34	66	25,4
Argila+silte [%]	13,2	7,8	59	26,2	3,2
nº dados	7				

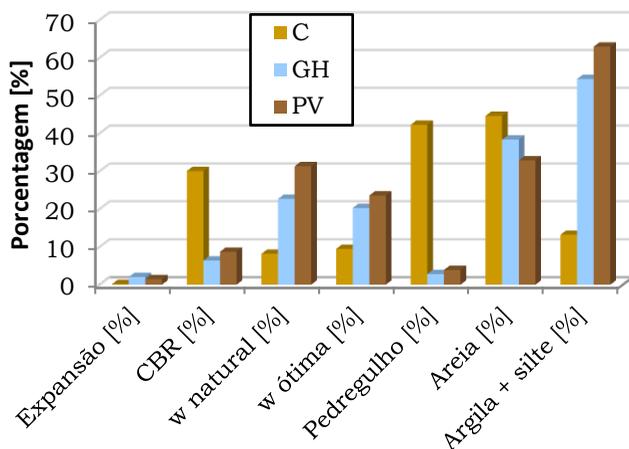
Tabela 16 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Gleissolo

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	2,0	1,4	67	4,7	0
CBR [%]	6,4	2,6	41	11,4	1,4
IG	6,1	4,3	70	13,7	0
w natural [%]	22,7	10,1	44	42,3	6,5
w ótima [%]	20,3	5,8	29	33,9	9,9
Densidade[KN/m <sup>3</sup> ]	15,8	1,7	11	19,1	13
Pedregulho [%]	2,8	4,8	169	19,35	0
Areia [%]	38,3	14,0	36	70,3	8,8
Argila+silte [%]	54,4	20,8	38	90,83	5,8
n° dados	54				

Tabela 17 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Podzólico Vermelho Amarelo

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	1,8	1,5	81	8,1	0
CBR [%]	10,7	7,0	65	45,2	2,2
IG	8,4	6,1	73	20	0
w natural [%]	29,3	10,5	36	48,1	5,6
w ótima [%]	22,7	6,6	29	34,8	6,9
Peso esp. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	14,7	1,3	9	17,8	12,7
Pedregulho [%]	7,1	13,4	187	59,1	0
Areia [%]	34,6	16,0	46	71,9	3,4
Argila+silte [%]	58,2	23,0	39	96,6	5,6
n° dados	80				

Figura 59 – Valores característicos das unidades pedológicas



### 5.6.2 Análise estatística com base no mapa geológico

A Tabela 18 e Tabela 19 apresentam os valores obtidos pela análise estatística de cada região do mapa geológico e, na Figura 60 são apresentados os valores médios dos parâmetros de cada unidade.

Observa-se que a unidade granulítica de Santa Catarina é a que apresenta a maior quantidade de ensaios (90), seguido pelo depósito colúvio-aluvionar (35). Não foram executados ensaios nas unidades Complexo Barra Velha e Granitóide, porém, essas unidades correspondem apenas a 9% da área estudada.

Os Depósitos Colúvio-Aluvionares e a Unidade Granulítica de Santa Catarina apresentam valores similares de expansão, densidade, CBR e teor de umidades natural e ótima.

Com relação à granulometria, o Depósito Colúvio-Aluvionar apresenta maior porcentagem de silte+argila, menores teores de areia e igual porcentagem de pedregulho.

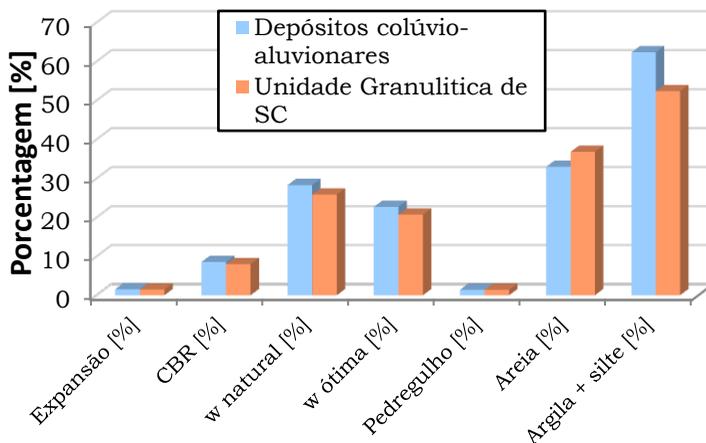
Tabela 18 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Depósitos Colúvio-Aluvionares

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	1,5	1,0	62	3,1	0,2
CBR [%]	8,5	3,9	45	15,1	1,4
IG	8,7	5,8	66	20	0
w natural [%]	28,3	7,1	25	39,7	15
w ótima [%]	22,6	6,1	27	34,8	11,2
Peso esp. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	15,3	1,6	10	18,4	13
Pedregulho [%]	1,4	2,2	157	8,8	0
Areia [%]	32,9	10,9	33	52,9	12,87
Argila+silte [%]	62,3	15,7	25	93,65	32,5
n° dados	35				

Tabela 19 – Análise estatística dos resultados obtidos na Unidade Granulítica de Santa Catarina

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	1,4	1,0	73	3,5	0
CBR [%]	7,9	3,6	46	19,3	1,4
IG	6,1	5,1	83	16	0
w natural [%]	25,8	12,1	47	46,5	5,6
w ótima [%]	20,7	6,5	32	32,9	9,1
Peso esp. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	15,7	1,9	12	19,5	12,7
Pedregulho [%]	1,4	2,2	156	8,4	0
Areia [%]	36,8	14,0	38	68,3	8,8
Argila+silte [%]	52,3	24,8	47	96,6	3,2
n° dados	90				

Figura 60 – Valores característicos das unidades geológicas



### 5.6.3 Análise estatística com base no mapa geotécnico

A Tabela 20, Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23 apresentam os valores obtidos pela análise estatística de cada unidade e na Figura 61 são apresentados os valores médios dos parâmetros de cada unidade.

Observa-se que a unidade PVgl é a que apresenta a maior quantidade de ensaios (97), seguido pela GHsq (30), Cgl (17) e Asq (40). Não houve ensaios nas unidades PVg, Ilha, Rio e Urbana, porém, essas unidades correspondem a apenas 14% da área estudada.

Os valores obtidos para o parâmetro expansão, adquiridos por imersão do corpo de prova durante o processo do ensaio de CBR, não apresentaram muita variação. Apenas a unidade GHsq apresentou resultados acima de 2%, valor esse que inviabilizaria a execução da camada final de terraplenagem.

Com relação ao ensaio de CBR, a unidade Cgl foi a que apresentou os melhores valores de resistência, alcançando uma média de 21,4%, enquanto que as demais unidades geotécnicas apresentaram valores inferiores, da ordem de 9% para o PVgl, 8,3% para o Asq e 5,6% para o GHsq.

Nos solos sedimentares, GHsq e Asq, encontrou-se os maiores valores de teor de umidade natural. Isto está relacionado com a granulometria, visto que o material mais fino retém maior quantidade de água. A granulometria da unidade Cgl foi a que apresentou a maior porcentagem de pedregulho e a menor de argila+silte, enquanto o GHsq maior porcentagem de argila+silte e menor de areia.

Tabela 20 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Asq

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	1,9	1,2	64	3,3	0,4
CBR [%]	8,3	3,2	38	11,4	4,5
IG	10,6	9,0	84	19	0
W natural [%]	29,6	9,9	33	40,8	18,4
W ótima [%]	23,4	6,3	27	28,2	14,6
Peso esp. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	15,2	1,9	12	18,0	14,0
Pedregulho [%]	2,2	2,6	118	5,1	0
Areia [%]	40,2	25,1	63	66,9	16,4
Argila+silte [%]	57,7	27,5	48	83,6	29,4
nº dados	4				

Tabela 21 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade Cgl

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	1,2	1,3	106	4	0
CBR [%]	21,4	15,6	73	48	4,3
IG	2,4	3,6	150	8,5	0
W natural [%]	18,8	13,5	72	40,5	5,6
W ótima [%]	16,3	8,8	54	32,9	5,8
Peso es. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	17,3	2,8	16	21,4	12,9
Pedregulho [%]	26,5	25,9	98	71,4	0
Areia [%]	36,6	15,0	41	66,0	6,0
Argila+silte [%]	36,9	30,9	84	94,0	3,2
nº dados	17				

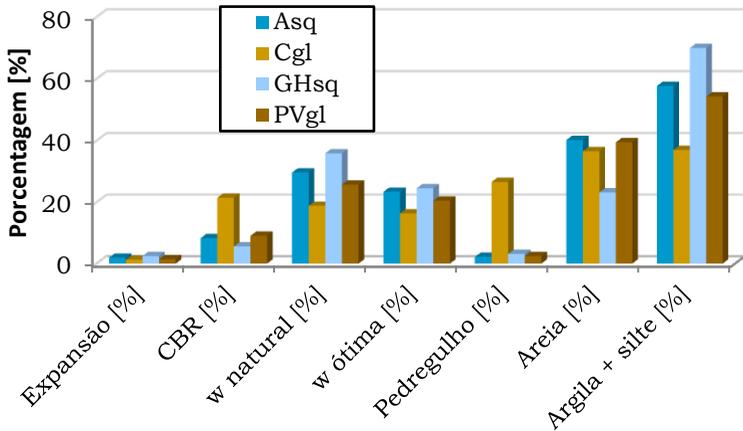
Tabela 22 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade GHsq

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	2,5	1,2	49	4,6	0,5
CBR [%]	5,6	2,7	48	10,9	1,4
IG	10,1	5,5	55	20	0
w natural [%]	35,9	7,7	22	48,1	17,2
w ótima [%]	24,5	5,4	22	33,9	13,8
Peso esp. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	13,8	0,7	5	14,8	12,7
Pedregulho [%]	3,1	7,5	240	27,3	0
Areia [%]	23,1	10,5	45	43,2	3,4
Argila+silte [%]	69,9	18,8	27	96,6	31,7
nº dados	30				

Tabela 23 – Análise estatística dos resultados obtidos na unidade PVgl

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV [%]</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Expansão [%]	1,4	1,0	71	3,3	0
CBR [%]	9,0	3,9	43	19,6	2
IG	6,6	5,2	78	16,7	0
w natural [%]	25,7	10,2	40	44,8	5,8
w ótima [%]	20,5	6,0	29	31,6	9,6
Peso es. aparente máx. [KN/m <sup>3</sup> ]	15,5	1,5	10	18,6	12,7
Pedregulho [%]	2,4	3,8	154	16,7	0
Areia [%]	39,4	11,3	29	62,0	13,1
Argila+silte [%]	54,2	18,9	35	93,7	11
nº dados	97				

Figura 61 – Valores característicos das unidades geotécnicas



### 5.7 Elaboração e análise de perfis geotécnicos com base em ensaios de campo

A Figura 62 apresenta a localização de 13 perfis geotécnicos traçados com ensaios de campo de sondagem a percussão (SPT), sondagem mista (SM), penetrômetro (DPL) e penetrômetro com circulação de água (SCA).

Nos perfis foram indicadas as características do solo, como granulometria e coloração, o impenetrável, o nível de água, a distância entre as sondagens e o número de golpes para a cravação dos 30cm finais do amostrado padrão do ensaio SPT, conforme a Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69, Figura 70, Figura 71, Figura 72, Figura 73, Figura 74 e Figura 75.

Figura 62 – Localização dos Perfis Estratigráficos do Solo

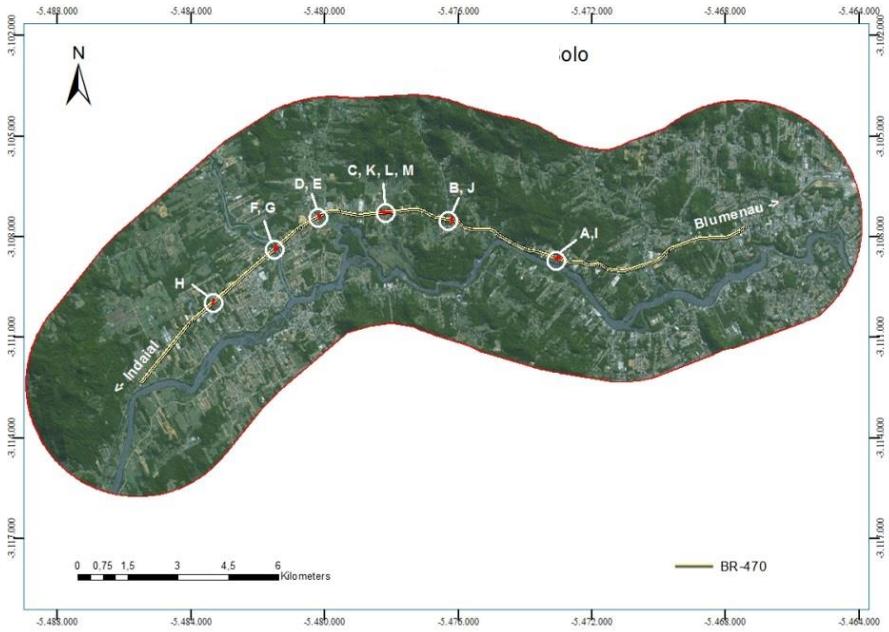
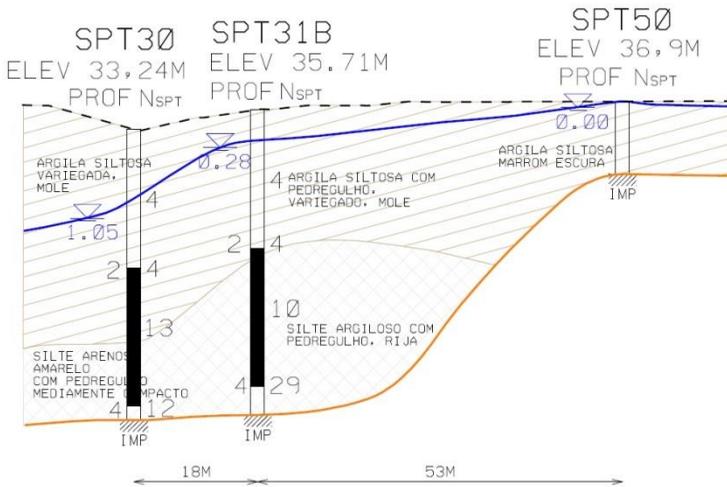
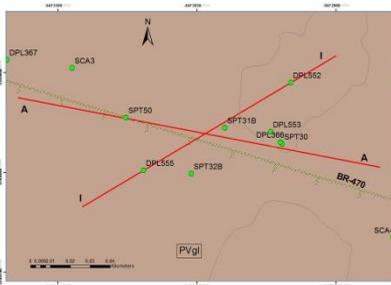


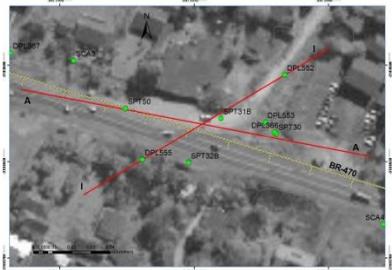
Figura 63 – Perfil AA



a) Perfil do Solo AA

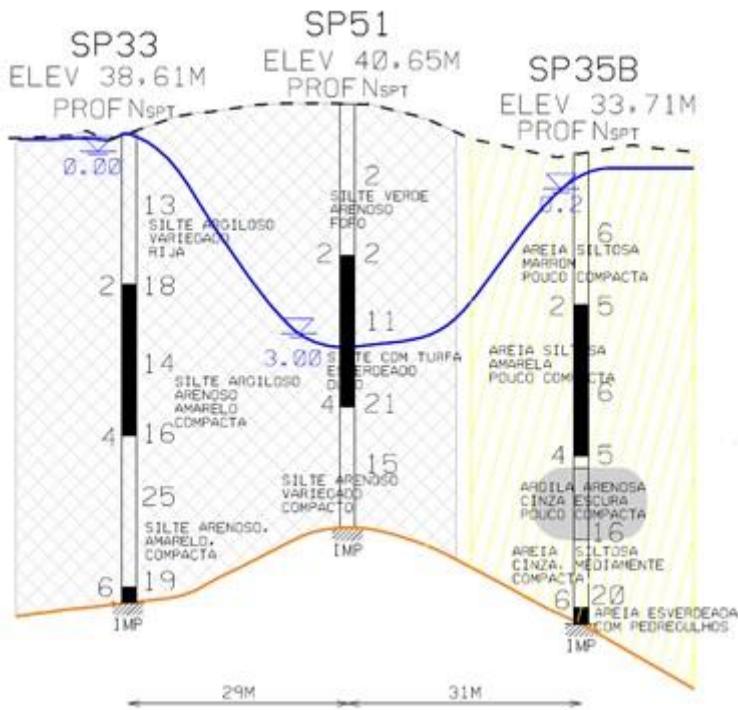


b) Localização no mapa geotécnico

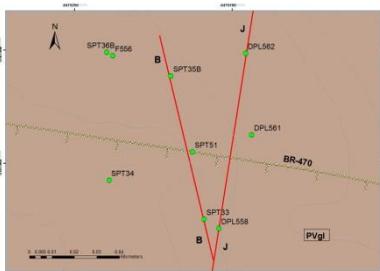


c) Localização na imagem

Figura 64 – Perfil BB



a) Perfil do Solo BB



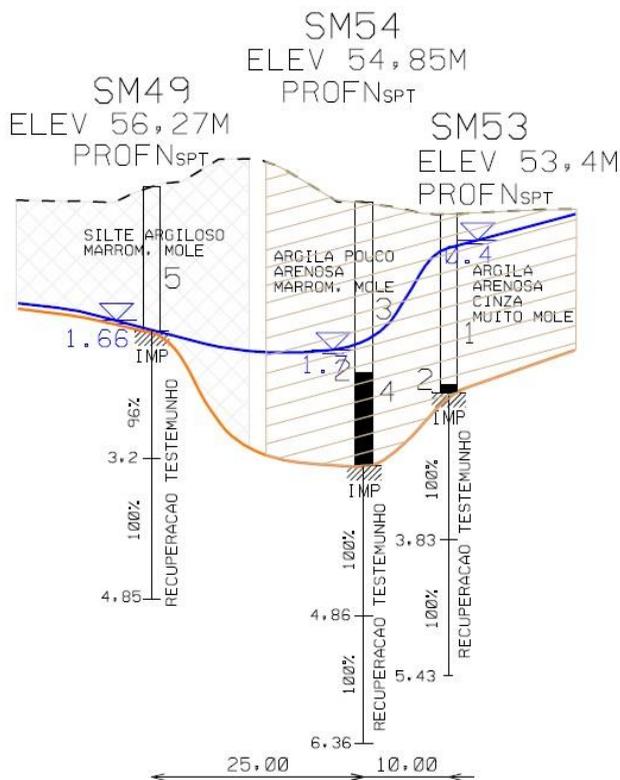
b) Localização no mapa geotécnico



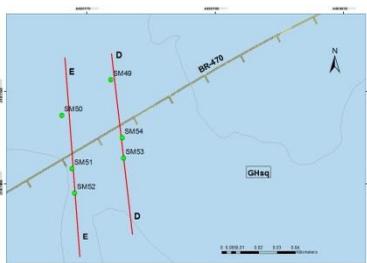
c) Localização na imagem



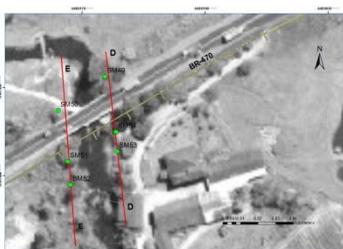
Figura 66 – Perfil DD



a) Perfil do Solo DD

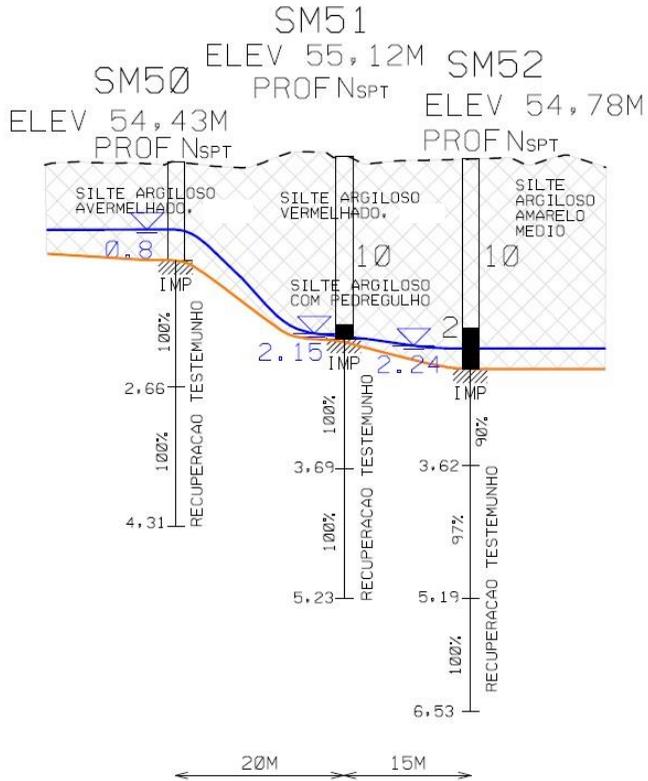


b) Localização no mapa geotécnico

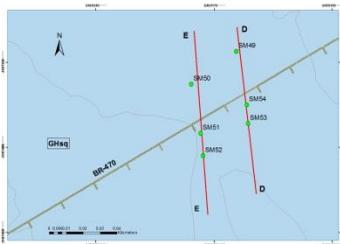


c) Localização na imagem

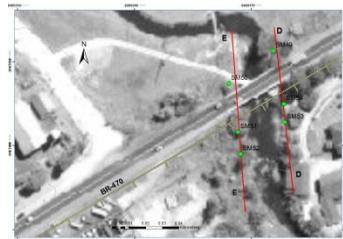
Figura 67 – Perfil EE



a) Perfil do Solo EE

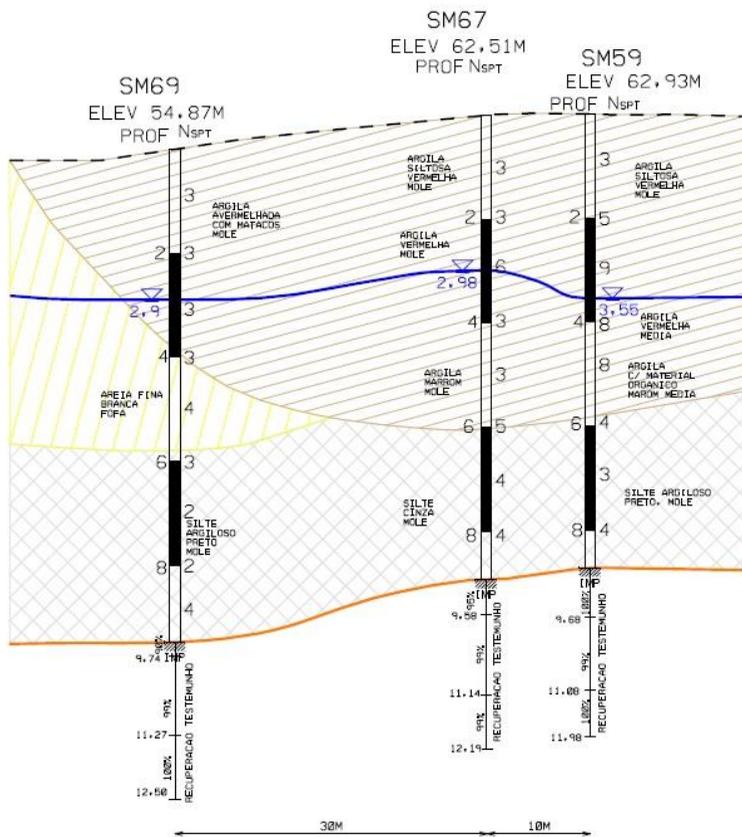


b) Localização no mapa geotécnico



c) Localização na imagem

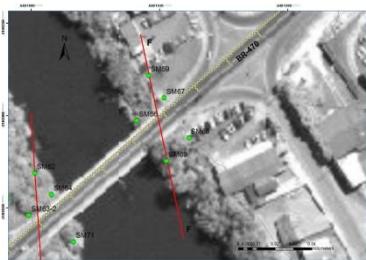
Figura 68 – Perfil FF



a) Perfil do Solo FF

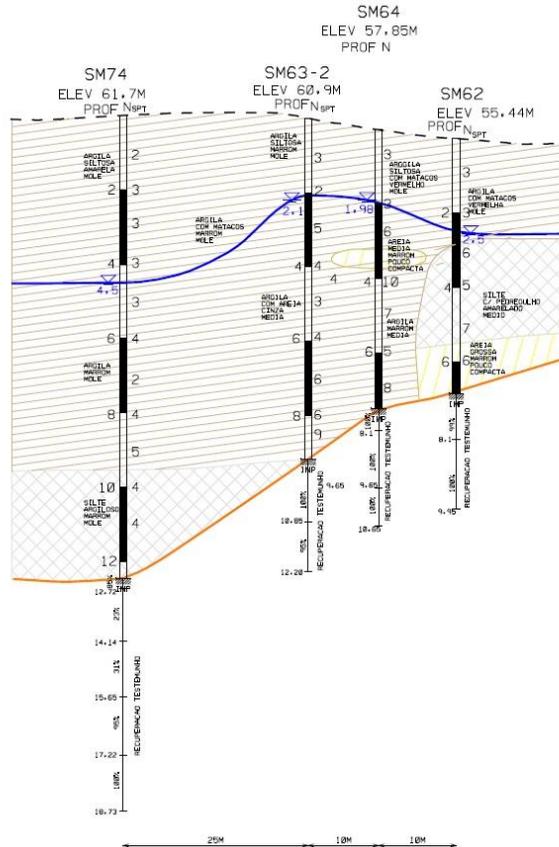


b) Localização no mapa geotécnico

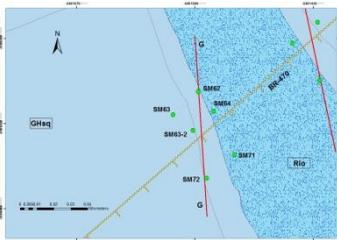


c) Localização na imagem

Figura 69 – Perfil GG



a) Perfil do Solo GG

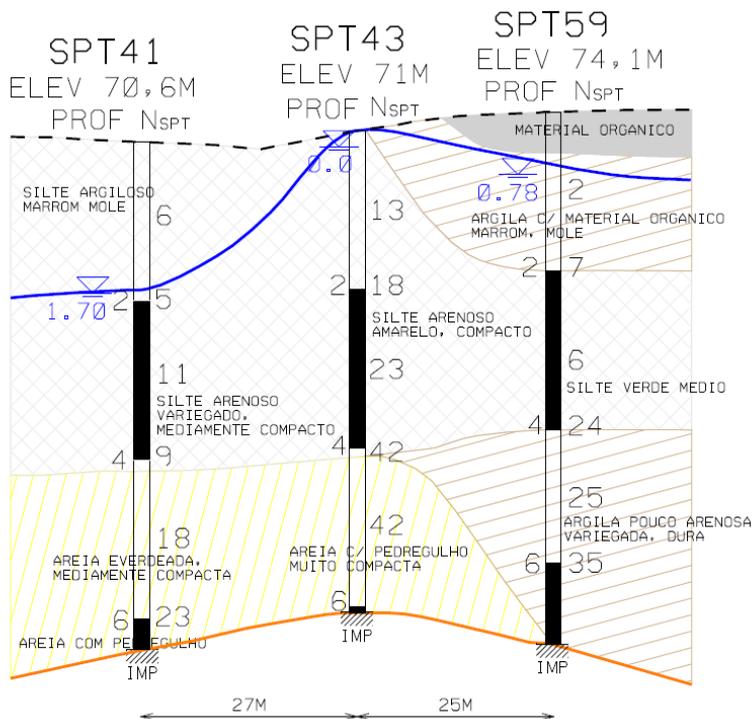


b) Localização no mapa geotécnico

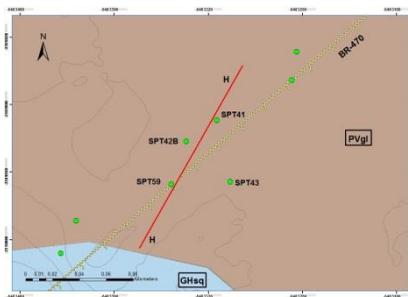


c) Localização na imagem

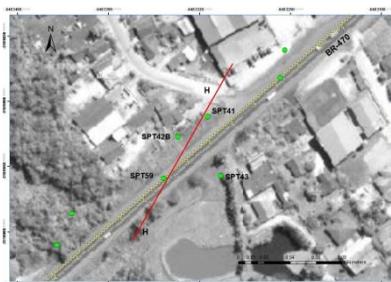
Figura 70 – Perfil HH



a) Perfil do Solo HH

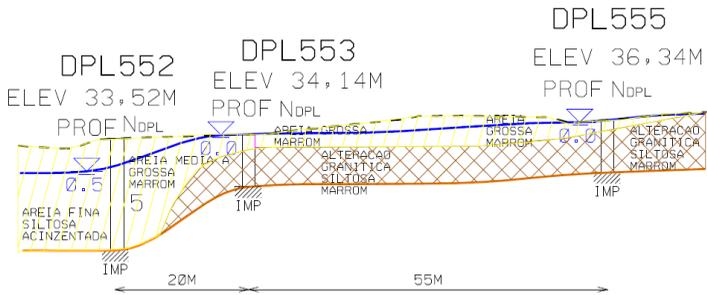


b) Localização no mapa geotécnico

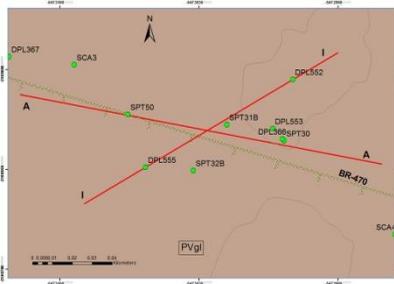


c) Localização na imagem

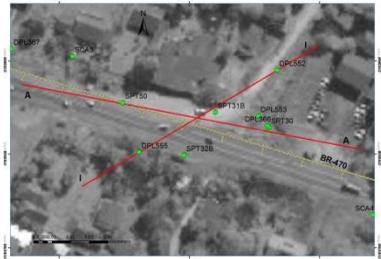
Figura 71 – Perfil II



a) Perfil do Solo II

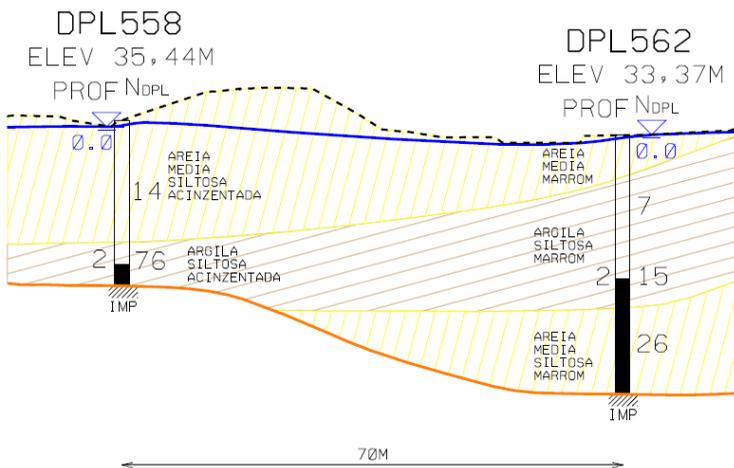


b) Localização no mapa geotécnico

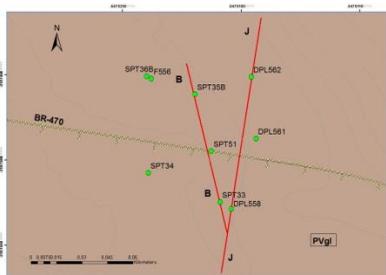


c) Localização na imagem

Figura 72 – Perfil JJ



a) Perfil do Solo JJ

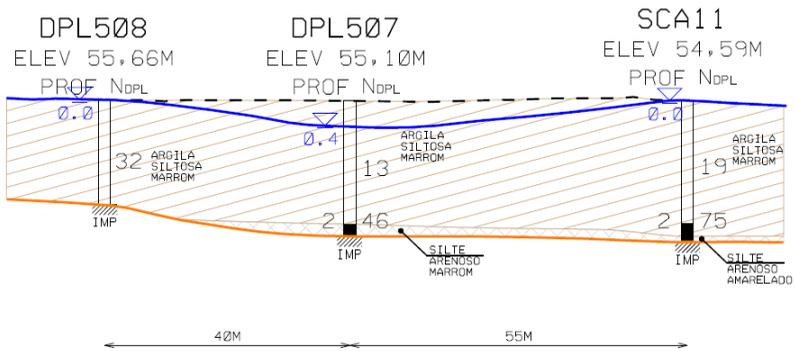


b) Localização no mapa geotécnico

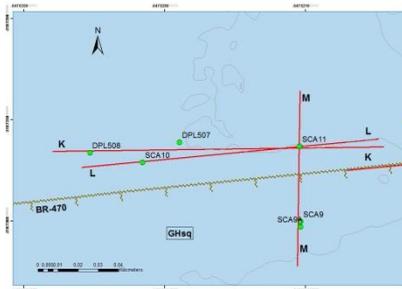


c) Localização na imagem

Figura 73 – Perfil KK



a) Perfil do Solo KK

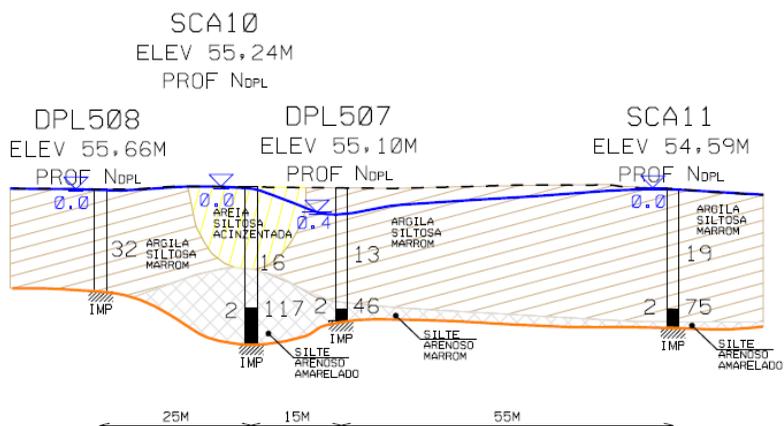


b) Localização no mapa geotécnico

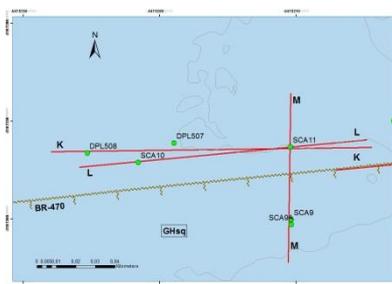


c) Localização na imagem

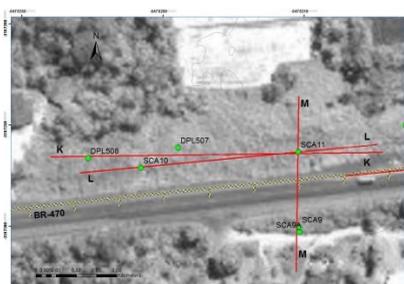
Figura 74 – Perfil LL



a) Perfil do Solo LL

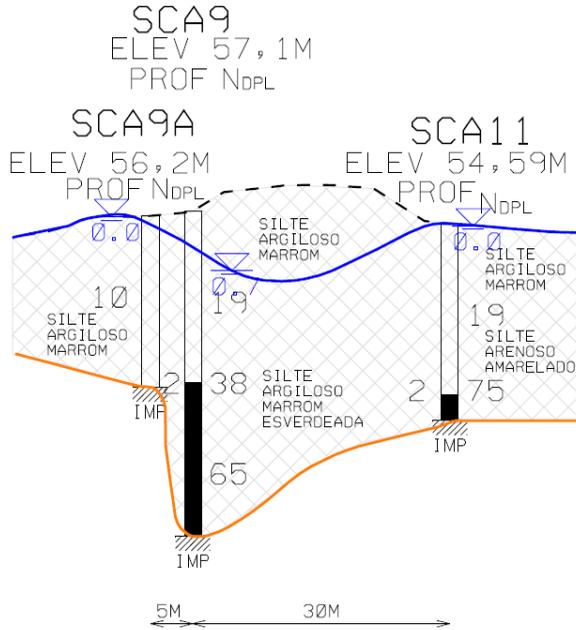


b) Localização no mapa geotécnico

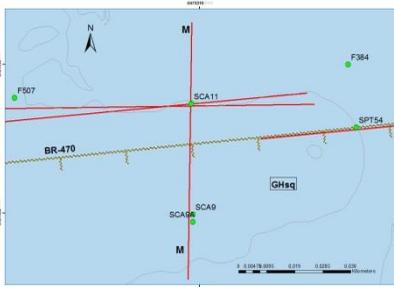


c) Localização na imagem

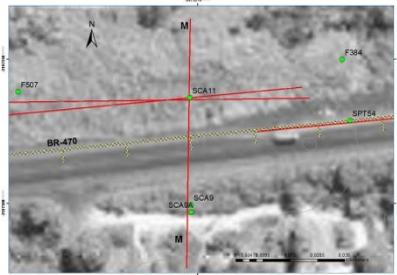
Figura 75 – Perfil MM



a) Perfil do Solo MM



b) Localização no mapa geotécnico



c) Localização na imagem

### 5.7.1 Perfis geotécnicos gerados para a unidade PVgl

Os perfis interpretados para a unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granulito (PVgl) correspondem ao perfil AA, perfil BB, perfil HH, perfil II e perfil JJ.

Os perfis geotécnicos AA, BB e HH são resultantes da interpretação das investigações geotécnicas com uso de sondagem à percussão (SPT) e encontram-se respectivamente na Figura 63, Figura 64 e Figura 70.

Os perfis II e JJ foram obtidos tendo como base as investigações de campo DPL (Penetrômetro Dinâmico Leve) e podem ser observados na Figura 71 e Figura 72. Considerou-se para o cálculo do  $N_{DPL}$  a soma do número de golpe dos últimos 30cm a cada 1m, objetivando apresentar de forma similar com o número de golpes do SPT ( $N_{SPT}$ ).

A partir da análise de caracterização tátil visual dos solos dessa unidade, observou-se que, de uma forma geral, a granulometria apresenta pouca variação, sendo o silte o tamanho de partículas mais identificado nas sondagens. Ressalta-se que apenas o perfil II apresentou certa diferença em sua descrição granulométrica, onde o solo foi identificado como areia e alteração granítica.

Com relação à variação de cores, observou-se um predomínio dos tons quentes com o surgimento do amarelo, marrom e a classificação de cores variegada, ou seja, com a presença de diversas cores, características essas típicas dos solos residuais, resultantes da decomposição química das rochas que compõem a região Costeira do estado de Santa Catarina. O ferro, quando submetido ao processo de oxidação gera tonalidades quentes e as cores amareladas podem indicar condições de boa drenagem, mas com regime mais úmido, e a presença do mineral goethita.

Com relação ao impenetrável, informação considerada importante para obras de engenharia rodoviária, sobretudo para obras de arte especiais, a cota variou entre 1 e 8m de profundidade. Além disso, tendo como base o Modelo Digital do Terreno (MDT), observou-se que quanto maior é a cota de elevação, menor é a espessura da camada de solo, ou seja, mais próximo da

superfície estará o impenetrável, como verificado no perfil AA, perfil BB, perfil II e perfil JJ.

Uma observação importante se faz necessária com relação ao procedimento de execução dos ensaios geotécnicos de campo e a definição do impenetrável. Observou-se que as cotas que indicam o impenetrável, quando comparados os resultados obtidos por intermédio das sondagens à percussão (SPT) e com base nos ensaios de penetrômetro dinâmico leve (DPL), resultaram em valores distintos em uma mesma região de análise, como verificado nos perfis AA e II. Ambos os perfis foram criados tendo como base 3 laudos de sondagens, sendo o perfil AA elaborado com sondagens SPT, e impenetrável mais profundo, e o perfil II com ensaios de DPL.

Esse mesmo padrão de diferença, com relação ao valor do impenetrável, também foi observado nos perfis BB e JJ. A diferença da cota do impenetrável para as situações analisadas gira em torno de 2m de profundidade, aproximadamente, sendo que os valores mais elevados são obtidos quando os perfis são elaborados com base nos ensaios de SPT.

Outro ponto a ser discutido é o posicionamento do nível de água (NA), medido após 24h da execução dos ensaios de campo. Observou-se que a elevação do terreno, obtida com base no MDT, é proporcional à posição do NA. Desta forma, é comum que quanto mais elevada e quanto mais próxima a elevação estiver com relação ao ponto de análise, mais profundo estará localizado o nível d'água. Apesar disso, os NA encontrados na região foram mais superficiais, possivelmente pela proximidade do rio e outros corpos de água.

Os valores absolutos da profundidade do NA, encontrados no local de estudo, pouco variaram para as seções que representam a unidade PVgl, sendo todos os valores compreendidos no intervalo de 0 a 3m.

Esta característica pode estar associada ao fato de que, com exceção do perfil HH, todos os ensaios geotécnicos de campo foram executados em elevações em que a cota pouco variou, com altitudes compreendidas entre 33m e 40m. Isto significa que a variação de cotas do

NA entre todos os pontos de análise resultou em uma diferença de somente 7m, considerada pouco expressiva por esta pesquisa. O perfil HH localiza-se próximo a dois corpos de água, elevando, portanto, sua cota do NA.

A característica de sazonalidade do nível de água também pode ter contribuído para que os valores de NA se apresentarem mais superficiais nessa região PVgl.

### 5.7.2 Perfis da unidade GHsq

Os perfis interpretados para a unidade Gleissolo de substrato sedimentos quaternários (GHsq) correspondem ao perfil CC, perfil DD, perfil EE, perfil FF, perfil GG, perfil KK, perfil LL e perfil MM.

Os perfis geotécnicos CC, DD, EE, FF e GG são resultantes da interpretação das investigações geotécnicas com uso de sondagem à percussão (SPT) e sondagens mistas (SM) e encontram-se respectivamente na Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68 e Figura 69.

Os perfis KK, LL e MM foram obtidos tendo como base as investigações de campo DPL (penetrômetro dinâmico leve) e SCA (penetrômetro dinâmico leve com circulação de água) e podem ser observados na Figura 73, Figura 74 e Figura 75.

Observou-se que a granulometria nesta unidade, classificada a partir da análise de caracterização tátil visual do solo, é constituída predominantemente por argilas e siltes.

Com relação à variação de cores, observou-se um predomínio do tom cinza a preto nas maiores profundidades dos perfis, principalmente a partir dos 6m. Esta característica é típica dos solos sedimentares, que apresentam redução do ferro e encontram-se em condições de saturação do solo. Os solos mais superficiais dos perfis apresentaram as cores nos tons marrom, amarelo e vermelho.

A resistência do material encontrado na região foi considerada baixa, visto que muitos ensaios de SPT apresentaram o número de golpe ( $N_{SPT}$ ) inferior a 5, classificando o solo como mole a muito mole, propriedade

típico de solos sedimentares. Somente o Perfil EE apresentou valores maiores de  $N_{SPT}$ , na ordem de 10 golpes.

Quanto ao impenetrável, a cota variou entre 2 e 12m de profundidade. Os perfis DD, EE, KK, LL e MM foram os que apresentaram os resultados mais superficiais da cota do impenetrável, entre 2 e 4m.

O posicionamento do nível de água (NA) encontrado na unidade GHsq corresponde a valores de profundidade compreendidos no intervalo de 0 a 4m.

Os perfis KK, LL e MM foram traçados na mesma região e apresentaram características geotécnicas similares. Esses perfis foram elaborados com base nas sondagens executadas com o auxílio do penetrômetro (DPL) e o penetrômetro com circulação de água (SCA), e resultaram no valor absoluto de impenetrável  $N_{DPL}$  de 2m. Portanto, os ensaios DPL e o SCA ofereceram resultados de profundidade de impenetrável próximos.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1 Conclusões**

A partir dos resultados dessa pesquisa estruturou-se um banco de dados em SIG com os ensaios, que totalizaram 2.972 ensaios, divididos em 2.368 campos com ensaios de laboratório e 604 campos com ensaios de campo na tabela de atributo do SIG.

Com relação à elaboração dos mapas temáticos, concluiu-se que no mapa pedológico a maior parte do solo se encontra na região de Podzólico Vermelho-Amarelo (60%), seguido de Gleissolo (21%) e Cambissolo (8%).

No mapa geológico a maior área da pesquisa se encontra na Unidade Granulítica de Santa Catarina (60%) e nos Depósitos Colúvio Aluvionares (31%).

No mapa geotécnico refinado as unidades geotécnicas mais representativas da região de estudo são o PVgl (38%), Cgl (25%) e GHsq (21%).

Com a elaboração do mapa geotécnico refinado obteve-se o mapa de uso do solo ilustrando as áreas de maior potencial de jazidas para execução do corpo de aterro (Cgl) e a localização de possíveis solos moles (GHsq e Asq).

O potencial de jazida foi confirmado por meio dos ensaios de laboratório na unidade Cgl, pois a média dos resultados expressaram as melhores características de CBR (21,4%) e expansão (1,2%) na região. Com os ensaios de campo foi evidenciada a localização dos possíveis solos moles por meio do número de golpes das sondagens SPT e SM, onde 72% destas investigações confirmaram a existência de material mole ou muito mole ( $N_{spt} < 5$ ).

Com a análise estatística, observou-se que as unidades pedológicas que apresentaram os melhores solos para a aplicação na pavimentação foram o Cambissolo (CBR=30% e expansão=0,2%), seguido pelo Podzólico Vermelho-Amarelo (CBR=8,7% e expansão =1,4%), e Gleissolo (CBR=6,4% e expansão=2,0%). Com relação à granulometria, o Cambissolo foi a unidade que apresentou

maior porcentagem de pedregulho (44,6%) e a menor de silte+argila (13,2%).

A média resultante dos valores de expansão dos universos geológicos apresentaram resultados próximos nas unidades granulítica de Santa Catarina e nos depósitos colúvio-aluviolares, resultando em valores na ordem de 1,5%.

O CBR da unidade granulítica de Santa Catarina apresentou valores mais elevados (8,5%) quando comparado aos depósitos colúvio aluvionares (7,9%). A granulometria dessas duas unidades foi similar, apresentando pouco pedregulho (1,4%) e uma maior fração de argila+silte (52,3% unidade granulítica de SC e 62,3% os depósitos colúvio-aluvionares).

Com a caracterização do mapa geotécnico, observou-se que a unidade Cgl apresentou o melhor material para uso na pavimentação (CBR=21,4% e expansão=1,2%), seguido pela PVgl (CBR=9% e expansão=1,4%), Asq (CBR=8,3% e expansão=1,9%) e GHsq (CBR=5,6% e expansão=2,5%). Dessas unidades, a única que apresentou uma maior porcentagem de pedregulho foi a Cgl (26,5%). As demais unidades apresentaram baixas quantidades, em torno de 2%, de pedregulho. A porcentagem de silte+argila foi maior nas unidades GHsq e Asq (GHsq 69,9% e Asq 57,7%).

Analisando toda área de estudo, pode-se dizer que 80% dos resultados de ensaios de teor de umidade natural foram superiores à umidade ótima em 5,9% em média. Isto significa que o solo deve ser secado para que atinja o teor de umidade ótimo, e respectivamente massa específica aparente seca máxima no processo de compactação. Entende-se que este fato gere algumas implicações práticas negativas, uma vez que a adição de água em campo é simples, sendo o contrário de difícil obtenção, sobretudo quando ocorre um predomínio de partículas finas na composição granulométrica do solo.

Quanto à granulometria dos solos identificados pelos ensaios de laboratório, esse material apresentou solo mais fino com maiores quantidades de argila+silte, menores de areia e pouca porcentagem de pedregulho.

Com os perfis de sondagem, observou-se maior presença do material silte e argila na descrição dos ensaios de campo. A identificação da cota do impenetrável, indicado normalmente pelos ensaios de SPT para obras de engenharia, apresentou valores semelhantes na comparação entre os ensaios de campo SPT e SCA. Quando estes valores são comparados aos resultados obtidos nos ensaios de DPL, sem circulação de água, obtêm-se profundidades menores, possivelmente devido ao atrito das hastas do ensaio com o solo perfurado.

## 6.2 Recomendações

Recomendam-se algumas ações para a complementação desta pesquisa. São elas:

- Realizar ensaios na unidade geotécnica Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granito (PVg) que apesar de apresentar uma pequena área (4%) na região de estudo, não possui caracterização do solo;
- Execução de um maior número de sondagens distribuídas espacialmente por toda a região de estudo a fim de possibilitar uma análise geoestatística;
- Realizar maior número de tradagens para identificar a delimitação das unidades geotécnicas;
- Executar mais ensaios com maiores afastamentos do traçado da rodovia;
- Quanto à análise estatística dos resultados dos ensaios geotécnicos de laboratório, observaram-se muitos valores espúrios em alguns parâmetros, provavelmente por se tratar de duplicação de uma rodovia. Estima-se que a amostragem possa ter sido influenciada pela profundidade e afastamento da coleta em relação a saia do aterro da via em operação, o que não condizeria com a realidade, que devia ser o polígono da unidade representada pelo mapa geotécnico;
- Realizar maior número de tradagens para identificar a delimitação das unidades geotécnicas.

## REFERÊNCIAS

ABITANTE, Edgar. **Proposta Metodológica de Mapeamento Geotécnico com uso de Pedologia em Solos Tropicais Visando Obras Rodoviárias**. 128f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1997.

ABREU, Ana Elisa Silva de. **Mapeamento geotécnico para gestão municipal: abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia- SP**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. 2007.

ANDRADE, Ricardo Fernandes. **Mapeamento Geotécnico Preliminar em escala de semi-detalhe (1:25000) da área de expansão Urbana de Uberlândia-MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR6484**. Solo – Sondagens Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia – CBR. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

BASTOS, C. A. B. **Mapeamento e Caracterização Geomecânica das Unidades Geotécnicas de Solos Oriundos dos Granitos, Gnaisses e Migmatitos de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1991. 155p

BONINI, Andréa de Oliveira. **Proposta de um método de ensaio para determinação do volume de azul de metileno adsorvido pela fração fina de solos tropicais.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Carlos. 2005.

CARVALHO, M.S; PINA, M. F. e SANTOS, S.M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde.** Brasília: Organização Panamericana de Saúde/Ministério da Saúde, 2000.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Fundamentos.** Volume 1. 7ª edição. Rio de Janeiro. 256p. 2015.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Mecânica das Rochas, Fundações e Obras de Terra.** Volume 2. 7ª edição. Rio de Janeiro. 560p. 2015.

CNT – **Relatório Pesquisa de Rovovias.** Brasília. CNT:SEST:SENAT. 328p. 2013.

CPRM. **Geologia do Estado de Santa Catarina.** Meio digital. 2001.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos – Volume 1.** Rio de Janeiro. 6ª edição - reimpressão. Livros técnicos e científicos editora Ltda. 244p. 1991.

CHRIST, Caroline Ester. **Mapeamento de áreas suscetíveis ao colapso na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

CHUQUIPIONDO, Indira Gandi Villalobos. **Avaliação da Estimativa do Potencial de Erodibilidade de Solos nas Margens de Cursos de Água: Estudo de Caso Trecho de Vazão Reduzida Capim Branco i Araquari Minas Gerais.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

COSTA, Eli Antônio. **Avaliação de ameaças e Risco Geotécnico Aplicados à Estabilidade de Taludes.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** Tradução 6ª edição norte-americana. São Paulo. Cengage Learnig Edições Ltda. 2011.

DASSOLER DA SILVA. **Uso do Sistema de Informação Geográfica no Cadastro de Sondagens SPT na Bacia do Itacorubi**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina. 2000.

DAVISON, Regina Dias. **Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais**. In: Revista do Instituto Geológico. São Paulo, p.51-55, 1995.

DAVISON, Regina Dias. **Proposta de uma Metodologia de Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias, Estradas Rurais e Vicinais em Solos Brasileiros**. In: Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis. 2001.

DIAS, Idalíria de Moraes. **Estudo de Solos Tropicais para uso em Pavimentação a partir de Ensaios Triaxiais Estáticos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. 2007.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Mapa Geológico do estado de Santa Catarina**. Escala 1:500.000. Elaboração: AWDZIEJ, João *et al.* 1986.

DNER/IPR. **Manual de projeto e execução de aterro sobre solos moles**. 1990.

DNER. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Determinação do Limite de Plasticidade**. Método de ensaio. DNER-ME 082/94.

DNER. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Análise Granulométrica por Peneiramento**. Método de ensaio. DNER-ME 080/94.

DNER. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Determinação da Densidade Real dos Solos**. Método de ensaio. DNER-ME 093/94.

DNER. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas**. Método de ensaio. DNER-ME 162/94.

DNER. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Sondagem de Reconhecimento pelo Método Rotativo**. Procedimento. DNER-PRO 102/9.

DNIT. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Implantação Básica de Rodovias**. Publicação IPR- 742. 618f. 3ª edição. Rio de Janeiro. 2010.

DNIT. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Diretrizes Básicas para Estudos e Projetos Rodoviários**. Publicação IPR- 717. 489f. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2005.

DNIT. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Determinação Expansividade dos Solos**. Método de ensaio. DNIT 160/2012.

DNIT. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Terraplenagem - Aterro - Especificações de Serviço**. DNIT 108/2009 - ES.

DIN. Deutsches Institut für Normung. **Sondagem Penetrômetro dinâmico (DPL)**. DIN 4094.

EMBRAPA. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Meio digital, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Ministério de Agricultura e Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília. 2ª edição, primeira impressão. 2006.

FERREIRA, N.C. **Apostila de Sistema de Informações Geográficas**. Apostila elaborada para a Disciplina Sistema de Informações Geográficas da Coordenação da Área de Geomática do Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás para aulas do curso superior de Tecnologia em Geoprocessamento. Goiânia. 2006

FRANCO, Gustavo Barreto *et al.*. **Classificação geotécnica dos solos da Bacia do Rio Almada - Bahia**. In: Revista Caminhos de Geografia. 2012.

HIGASHI, Rafael Reis. Coletânea. **Mapeamento Geotécnico**. Curso de pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

HIGASHI, Rafael Reis. **Utilização de um SIG no Desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnicos do Norte do Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

HIGASHI, Rafael Reis. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO – 3º Fase: Relatório Técnico.** Rio de Janeiro, 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia – 2º edição.** Rio de Janeiro, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados do Censo.** 2010.

JUSTUS, C.M. **Utilização do SIG para o monitoramento de alguns parâmetros físico-químicos das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio São Pedro em Faxinal – PR.** Geoinf.: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá, v. 4, n. 2, 2012.

KAUL, Pedro Francisco Teixeira *et al.* **Projeto Gerenciamento Costeiro.** 3ª fase. Geologia. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Florianópolis. 2002.

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais impactos Ambientais e seus Processos Modificadores.** Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 2000, p.39.

LIMA JR, C. O. **Mapeamento Geotécnico do Município de Florianópolis em Meio Digital visando o Sistema de Informações Geográficas.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. 1997.

MAFRA JÚNIOR, Celso da Silva. **Elaboração do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas do Município de Brusque Associado a um Banco de Dados em Ambiente SIG.** Dissertação de mestrado Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

- MAY, Moufida El; DLALA Mahmoud; CHENINI, Ismail. **Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning**. Engineering Geology. Elsevier. 2010.
- MASSAD, Faïçal. **Obras de Terra. Curso básico de Geotecnia**. 2ª edição. São Paulo. Oficina dos Textos. 2010.
- MARANGON, Márcio. **Proposição de Estruturas Típicas de Pavimentos para região de Minas Gerais utilizando solos lateríticos locais a partir da Pedologia, Classificação MCT e Resiliência**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.
- MARIMON, Maria Paula Casagrande. **Geologia Regional, reconhecimento estrutural e litológico representativos – regiões mais suscetíveis**. Apresentação da Universidade Estadual de Santa Catarina, 2010.
- MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. Brasília**: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.
- MIRANDOLA-AVELINO, P. H. **Análise Geo-ambiental multitemporal para fins de planejamento ambiental: um exemplo aplicado à bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso**. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação. Instituto de Geociências, Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2012. xiv, 521 p.
- NAVARRO, Livia. 2010. Conect Geo. Ensino de Geografia linkado com a cibercultura. Disponível em:  
<<http://conectgeo.blogspot.com/2010/11/perfil-de-solo.html>>. Acesso em: 30 de setembro de 2013.
- NILSSON, Thomas. **DPL para taludes**. Cobrae. São Paulo. 2009.
- NILSSON, Thomas; CUNHA, Renato. **Advantages and equations for pile design in Brazil via DPL tests**. 2nd International Conference on Geotechnical Site Characterization, Porto, Portugal, 19-22 September, 2003.

NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo, Editora Villibor, 1995.

OLIVEIRA, João Bertoldo *et al.* **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal/SP: FUNEP, 1992.

PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa. **Estudo do comportamento geomecânico de perfis oriundos de rochas sedimentares da Formação Rosário do Sul**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1991.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3ª edição. São Paulo. Oficina de Textos. 2006.

PINTO, Carlos de Souza. **Fundações teoria e prática – Segundo Capítulo**. 2ª edição e 3ª triagem. São Paulo. PINI. 2000.

PROSUL. **Projeto de Engenharia BR-470 – Trecho Navegantes-Indaial**. 2012.

REGINATTO, Gisele Marilha Pereira. **Caracterização de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Cunha, Rio dos Cedros-SC, com ênfase em escorregamentos translacionais**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Santa Catarina. 2013.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares e ANTUNES, Franklin dos Santos. **Geologia de Engenharia – Sexto Capítulo**. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998.

SANTOS, Eliana Fernandes. **Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificação Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. 2006.

SANTOS, Glaci Trevisan. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao solo urbano em obras de engenharia**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

SILVA, Carlos Petrônio Leite, *et al.* (2003). **Emprego de Fotografias Aéreas e Modelo Digital de Terreno no Mapeamento Geotécnico da Área de Proteção Ambiental do Rio São Bartolomeu – DF.** Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

SILVA, Tarciano Oliveira, *et al.* (2010). **Sistema de classificações geotécnicas de solos: estudo de caso aplicado à rodovia não pavimentada VCS 346, Viçosa, MG.** Revista *Árvore*, 01 Abril 2010, Vol.34 (2), pp 313-321.

SOARES, Wanessa Cartaxo. **Banco de dados geológico-geotécnicos com base em sondagens à percussão e uso de SIG: análise espacial da profundidade do lençol freático e do 'N IND.SPT' para obras de fundação em João Pessoa – PB.** Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2011.

SBROGLIA, Regiane Mara. **Mapeamento Geotécnico e das Áreas suscetíveis a deslizamento na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

TALAMINI NETO, Edmundo. **Caracterização Geotécnica do Subsolo de Curitiba para o Planejamento de Ocupação do Espaço Subterrâneo.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Carlos em São Paulo. 2001.

TEIXEIRA, Victor Hugo. **Características geotécnicas dos solos e rochas em Santa Catarina e sua Correlação.** 1993. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis.

VALENTE, A.L.S. **Banco de Dados por Meio de Geoprocessamento para Elaboração de Mapas Geotécnicos, Análise do Meio Físico e suas Interações com a Mancha Urbana de Porto Alegre.** Tese de 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. 1999.

VALENTE, Antônio Luís Schifino. **Proposta metodológica de um banco de dados geotécnicos para uso em Sistema de Informações Geográficas (SIG) e sua aplicação no município de Porto Alegre, RS.** Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande. Departamento de Matemática. 2000.

VALENTIM, M. L. P. DataGramaZero - **Inteligência Competitiva em Organizações: dado, informação e conhecimento**. Revista de Ciência da Informação - v.3 n.4 ago/02 ARTIGO 2002. Disponível em <<http://www8.fgv.br/bibliodata/geral/docs/Intcomp.pdf>> Acesso em 20 Mai 2013.

ZUQUETTE, Lázaro Valentin e PEJON, Osni José. **Mapeamento Geotécnico Regional na Escala 1:1000 - Considerações Metodológicas**. In: Revista do Instituto Geológico. São Paulo. 1995.

ZUQUETTE, Lázaro Valentin e AMARAL JR, Alberto. **Zoneamento geológico-geotécnico de porção da região da Costa Verde - RJ, escala 1:10.000**. In: Revista Brasileira de Geociências; 2007.

ZUQUETTE, Lázaro. **Análise Crítica sobre Cartografia e Proposta Meteorológicas para as Condições Brasileiras**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. 1987.

ZUQUETTE, Lázaro. **Importância do Mapeamento Geotécnico no uso e ocupação do meio físico: Fundamentos e Guia para Elaboração**. Tese de livre docência. Escola de Engenharia de São Carlos. 1993.

