

Caroline Ester Christ

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS AO
COLAPSO NA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA
CONCEIÇÃO**

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
2014

Catálogo na fonte elaborada pela biblioteca da
Universidade Federal de Santa Catarina

A ficha catalográfica a ser definida pela Biblioteca Central.

<http://www.bu.ufsc.br/design/Catalogacao.html>

Caroline Ester Christ

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS AO
COLAPSO NA BACIA HIDROGRÁFICA - LAGOA DA
CONCEIÇÃO**

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

Florianópolis, 22 de julho de 2014.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr.
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Orlando Martini de Oliveira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Liseane Padilha Thives, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico esta dissertação à minha
família.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, pela confiança a mim dedicada desde o primeiro contato ainda no período de ingresso, pela disponibilidade e atenção à este estudo.

À minha família que sempre me incentivou nos estudos e me apoiou durante todo o tempo dedicado ao mestrado.

Aos colegas Murilo Espíndola, Ângela Grando e Gisele Reginatto, pelo auxílio prestado no desenvolvimento dos ensaios de laboratório, assim como ao Prof. Marciano Maccarini pelas explicações a respeito dos mesmos. Aos colegas Lucas, Pedro e Rodrigo Paulo pela ajuda nas coletas e aos demais colegas do Laboratório de Mecânica dos Solos e Laboratório de Mapeamento Geotécnico, que de forma direta ou indireta contribuíram no desenvolvimento deste estudo.

Ao Nilton Cezar Pereira do Laboratório e Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil - UFSC pelas orientações a respeito dos resultados das análises dos ensaios de microscopia, difratometria e fluorescência.

Aos professores das disciplinas cursadas pelo conhecimento repassado.

Aos demais colegas e amigos que fiz no mestrado.

A todos os amigos que me incentivaram.

Aos membros da banca que se dispuseram a participar desta contribuindo para o melhoramento deste estudo.

Aos autores por cederam material para o uso em SIG: Eng. Glaci Trevisan dos Santos, Eng. Sandra Buzini Duarte, Prof. Davide Franco e demais integrantes do LaHiMar - UFSC.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos para a realização do curso.

Agradeço a todos pela forma amistosa com que fui recebida na UFSC.

“Eu não sou quem eu gostaria de ser; eu não sou quem eu poderia ser, ainda, eu não sou quem eu deveria ser. Mas graças a Deus eu não sou mais quem eu era!”

Martin Luther King Jr.

RESUMO

O foco desta pesquisa é o estudo da colapsibilidade dos solos que compõem a Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição. Para tanto, com base em um mapa geotécnico predefinido foram estabelecidos parâmetros de colapsibilidade e gerado mapas de susceptibilidade ao colapso dos solos. Complementarmente, foi analisada a evolução da mancha urbana e a topografia do local. Para a caracterização das unidades geotécnicas quanto ao colapso foram realizados ensaios de laboratório, com amostras indeformadas coletadas em campo. Foi realizado o ensaio edométrico de duplo anel a fim de estimar o potencial de colapso e foram executados os ensaios de caracterização e analisado o colapso por meio de cálculos com base nos resultados. Por ser a unidade com maior presença em área urbana e por apresentar um alto potencial de colapso, a Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários teve seu estudo aprofundado, sendo realizados ensaios edométrico simples, microscopia eletrônica de varredura, fluorescência de raio X e difratometria de raio X. Os resultados dos ensaios comprovaram a presença de solos com problema de colapsibilidade moderado, sendo a unidade Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários o solo com maior potencial ao colapso encontrado na área de estudos. Além das unidades citadas, o Cambissolo de substrato granito (Cg) e os Solos Litólicos de substrato granito (Rg) apresentaram problemas moderados quanto à colapsibilidade em quatro ou mais tensões estudadas. Os solos que apresentaram problemas moderados quanto à colapsibilidade totalizaram uma área de 44,96km², o que corresponde a 79,4% da área das unidades estudadas.

Palavras-chave: colapso do solo, áreas de risco e mapeamento geotécnico.

ABSTRACT

The focus of this research is the study of soils collapsibility that make up the Watershed of *Lagoa da Conceição*. For this, based on a predefined map geotechnical parameters of collapsibility, from established and maps of susceptibility the soil collapse were generated. Additionally, we analyzed the evolution of urban sprawl and local topography. For the characterization of geotechnical units as the collapse laboratory tests using undisturbed soil samples collected in the field were performed. Double Oedometric test was performed to estimate the potential collapse and characterization tests were performed and the collapse was analyzed by the collapse of calculations based on the results. Because of the unit with the largest presence in urban area and have a high potential for collapse, *Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários* had their study thorough , and were performed single oedometer test, scanning electron microscopy, X-ray fluorescence and diffraction X-ray. The test results confirmed the presence of soils with moderate collapsibility problem, with the *Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários* the geotechnical unit with the greatest potential to collapse found in the study area. In addition, the *Cambissolo de substrato granito* and the *Solos Litólicos de substrato granito* showed moderate problems regarding collapsibility in four or more strains studied. Soils that had moderate problems regarding collapsibility totaled an area of 44.96km², which corresponds to 79.4% of the area of the studied units.

Keywords: Soil collapse, risk area and mapping geotechnical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Conceito de recalque adicional devido ao colapso da estrutura do solo	34
Figura 2 Colapso causado pela elevação do nível d'água.....	35
Figura 3 Meniscos capilares	37
Figura 4 Vínculos de silte	37
Figura 5 Vínculos de argila formados por autogênese.....	38
Figura 6 Vínculos de argila formados por lixiviação	39
Figura 7 Vínculos de argila formados por corrida de lama.....	39
Figura 8 Pontes de argila ou silte.....	40
Figura 9 Micrografia da amostra 1 - aumento de 160 vezes (A) e 340 vezes (B)	42
Figura 10 Micrografia da amostra 2 - aumento 200 vezes (A) e 400 vezes (B)	43
Figura 11 Micrografia da amostra 3 - aumento de 200 vezes (A) e 500 vezes (B)	43
Figura 12 Micrografia da amostra 4 - aumento de 110 vezes (A) e 870 vezes (B)	43
Figura 13 Micrografia da amostra 5 - aumento de 110 vezes (A) e 870 vezes (B)	44
Figura 14 Amostra 1 - com aumento de 700 (A), 1000 (B) e 1500 (C) vezes ..	44
Figura 15 Amostra 2 - com aumento de 700 (A), 1000 (B) e 1500 (C) vezes ..	45
Figura 16 Amostra 3 – com aumento 500 (A), 800 (B), 900(C) e 1800 (D) vezes	45
Figura 17 Amostra 2 - com aumento de 1500 (A), 1600 (B) e 2000 (C) vezes ..	46
Figura 18 Lâmina 1.....	47
Figura 19 Lâmina 2.....	47
Figura 20 Lâmina 3.....	48
Figura 21 Ensaio edométrico: (a) Edométricos duplos; (b) Edométricos simples	58
Figura 22 Célula de adensamento de anel fixo (a) e anel flutuante (b).....	59
Figura 23 Exemplo de projeto no ArcGis 10	62
Figura 24 Comparação entre dados vetoriais e matricial.	64
Figura 25 Vetor de crescimento.....	66
Figura 26 Exemplos de formato da expansão urbana	66
Figura 27 Diagrama da metodologia de desenvolvimento do mapeamento geotécnico para cidades costeiras.	68
Figura 28 Mapa de áreas de risco em Cedar City - EUA.....	75
Figura 29 Carta de Cadastramento de Risco de Colapso de Solos em Ilha Solteira - SP	77
Figura 30 Carta de Zoneamento de Risco em Ilha Solteira - SP.....	77
Figura 31 Mapa de localização	78
Figura 32 – Delimitação da Lagoa da Conceição e sua Bacia Hidrográfica	79
Figura 33 Mapeamento Geotécnico Porção Sul da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.....	83

Figura 34 Perfil típico de Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários	88
Figura 35 Perfil típico de Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários	88
Figura 36 Fluxograma do método para o desenvolvimento desta pesquisa.....	90
Figura 37 Correção das unidades Cde, Cg e Rg com base em tradagens.....	93
Figura 38 Correção das unidades Cde, PZsq e PVg com base em tradagens.....	93
Figura 39 Correção das unidades AQPsq e AQsq com base em tradagens.	93
Figura 40 Fotos das tradagens	94
Figura 41 Imagens de satélite	95
Figura 42 Ensaio edométrico de duplo anel.....	98
Figura 43 Microscópio eletrônico de varredura.....	100
Figura 44 Difratômetro de raio X	101
Figura 45 Modelo tridimensional do terreno	103
Figura 46 Hipsometria da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição	104
Figura 47 Curva Hipsométrica da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição	105
Figura 48 Declividade do terreno	106
Figura 49 Evolução da mancha urbana entre 1999 e 2012 (a), e comparação com o mapeamento geotécnico em (b)	107
Figura 50 Evolução da mancha urbana de 1999 a 2012 em (a), e comparação com o mapeamento geotécnico em (b)	108
Figura 51 Evolução da mancha urbana de 1976 a 1980 (a), e comparação com o mapeamento geotécnico em (b)	109
Figura 52 Vetores de crescimento urbano	110
Figura 53 Vetores de crescimento urbano	111
Figura 54 Mapeamento geotécnico preliminar	112
Figura 55 Mapeamento Geotécnico Atualizado	114
Figura 56 Corte topográfico A-A	115
Figura 57 Corte topográfico B-B	116
Figura 58 Unidades geotécnicas e pontos de coleta.....	118
Figura 59 Ponto 1 de coleta	119
Figura 60 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 1 ...	120
Figura 61 Curva granulométrica do ponto 1	121
Figura 62 Ponto 2 de coleta	122
Figura 63 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 2 ...	123
Figura 64 Curva granulométrica do ponto 2	124
Figura 65 Ponto 3 de coleta	125
Figura 66 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 3 ...	126
Figura 67 Curva granulométrica do ponto 3	127
Figura 68 Ponto 4 de coleta	128
Figura 69 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 4 ...	129
Figura 70 Curva granulométrica do ponto 4	130
Figura 71 Ponto 5 de coleta	131
Figura 72 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 5 ...	132

Figura 73 Curva granulométrica do ponto 5	133
Figura 74 Ponto 6 de coleta	134
Figura 75 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 6...	135
Figura 76 Curva granulométrica do ponto 6	136
Figura 77 Ponto 7 de coleta	137
Figura 78 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 7...	138
Figura 79 Curva granulométrica do ponto 7	139
Figura 80 Curvas dos ensaios edométricos	141
Figura 81 Comparativo entre os potenciais de colapso	141
Figura 82 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso – 25kPa	145
Figura 83 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 50kPa	146
Figura 84 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 100kPa	147
Figura 85 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 150kPa	148
Figura 86 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 200kPa	149
Figura 87 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 250kPa	150
Figura 88 Mapa de Suceptibilidade ao Colapso - 300kPa	151
Figura 89 Mapa de susceptibilidade geral	152
Figura 90 Pontos de coleta na AQPsq.....	153
Figura 91 Pontos 1, 2, 3 e 4 de coleta na AQPsq	154
Figura 92 Gráfico indicando os resultados dos ensaios edométrico simples ..	155
Figura 93 Micrografia com ampliação de 600 vezes	157
Figura 94 Micrografia com ampliação de 1.000 vezes	157
Figura 95 Micrografia com ampliação de 600 vezes	158
Figura 96 Micrografia com ampliação de 500 vezes	158
Figura 97 Imagem do solo obtida por MEV	159
Figura 98 Ponto 1 – Elementos químicos	159
Figura 99 Ponto 2 – Elementos químicos	160
Figura 100 Ponto 3 – Elementos químicos	160
Figura 101 Difratoograma do solo com suas fases	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Ocorrência de solos potencialmente colapsáveis no mundo.....	49
Tabela 2 Algumas ocorrências de solos potencialmente colapsáveis no Brasil.....	50
Tabela 3 Critérios de identificação do colapso baseados nos índices físicos e limites de Atterberg.....	53
Tabela 4 Propriedades de alguns solos tropicais brasileiros.....	55
Tabela 5 Classificação da colapsibilidade.....	57
Tabela 6 Classificação da colapsibilidade.....	57
Tabela 7 Simbologia simplificada das classes pedológicas.....	70
Tabela 8 Geologia simplificada.....	71
Tabela 9 Características climáticas de Florianópolis.....	80
Tabela 10 Uso e ocupação do solo.....	81
Tabela 11 Áreas das unidades geotécnicas.....	84
Tabela 12 Granulometria.....	85
Tabela 13 Índices físicos.....	85
Tabela 14 Limites Atterberg.....	86
Tabela 15 Granulometria Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários.....	89
Tabela 16 Limites de Atterberg - Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários.....	89
Tabela 17 Índices físicos da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários.....	89
Tabela 18 Arquivos digitais obtidos para esta pesquisa.....	91
Tabela 19 Características das imagens de satélite.....	95
Tabela 20 Declividade da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.....	106
Tabela 21 Área das unidades geotécnicas – mapeamento geotécnico preliminar.....	113
Tabela 22 Área das unidades geotécnicas – mapeamento geotécnico atualizado.....	117
Tabela 23 Coordenadas dos pontos de coleta.....	118
Tabela 24 Potencial de colapso do ponto 1.....	120
Tabela 25 Granulometria do ponto 1 (valores em percentual).....	121
Tabela 26 Potencial de colapso do ponto 2.....	123
Tabela 27 Granulometria do ponto 2 (valores em percentual).....	123
Tabela 28 Potencial de colapso do ponto 3.....	126
Tabela 29 Granulometria do ponto 3 (valores em percentual).....	126
Tabela 30 Potencial de colapso do ponto 4.....	129
Tabela 31 Granulometria do ponto 4 (valores em percentual).....	129
Tabela 32 Potencial de colapso para o ponto 5.....	132
Tabela 33 Granulometria do ponto 5 (valores em percentual).....	132
Tabela 34 Potencial de colapso do ponto 6.....	135
Tabela 35 Granulometria do ponto 6 (valores em percentual).....	135
Tabela 36 Potencial de colapso do ponto 7.....	138
Tabela 37 Granulometria do ponto 7 (valores em percentual).....	138

Tabela 38 Quadro geral – Potencial de colapso determinado por meio do ensaio Edométrico de duplo anel.....	142
Tabela 39 Quadro geral – Granulometria (%)	143
Tabela 40 Índices físicos e parâmetros de adensamento.....	143
Tabela 41 Estimativa de Colapso por Índices Físicos.....	144
Tabela 42 Coordenadas geográficas dos pontos de coleta para o ensaio edométrico simples.....	154
Tabela 43 Potencial de colapso determinado por meio do ensaio edométrico simples.....	156
Tabela 44 Valores dos óxidos encontrados.....	161

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Amazonas
AQPsq	Areia Quartzosa Podzoliza de substrato sedimentos quaternários
AQsq	Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários
BA	Bahia
BH	Bacia Hidrográfica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Cde	Cambissolo, depósito de encosta
Cg	Cambissolo de substrato granito
Datum	Modelo Matemático Teórico da Representação da Superfície da Terra ao Nível do Mar
DF	Distrito Federal
DNsq	Dunas de substrato sedimentos quaternários
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão
EUA	Estados Unidos da América
GO	Goiás
GPS	Global Positioning System
Hosq	Solo Orgânico de substrato sedimentos quaternários
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPUF	Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
LAHIMAR	Laboratório de Hidráulica Marítima
LaMGeo	Laboratório de Mapeamento Geotécnico
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PA	Pará
PB	Paraíba
PC	Potencial de Colapsibilidade
PCH's	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PR	Paraná
PVg	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito

PZsq	Podzol Hidromórfico +Areias Quartzosas Hidromórficas de substrato sedimentos quaternário
Rg	Litólico de substrato granito
RN	Rio Grande do Norte
RS	Rio Grande do Sul
SAD 69	South American Datum 1969
SC	Santa Catarina
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
SP	São Paulo
SPT	Standard Penetration Test
TIN	Irregular Triangulated Network
TO	Tocantins
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
URSS	União das Republicas Socialistas Soviéticas
UTM	Universal Transverse Mercator
ValoRes	Valorização de Resíduos e Materiais

LISTA DE ELEMENTOS QUÍMICOS

Al	Alumínio
As	Arsênio
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
O	Oxigênio
Rb	Rubídio
Si	Silício
Ti	Titânio
V	Vanádio
Zn	Zinco
Zr	Zircônio

LISTA DE MINERAIS

Q	Quartzo
K	Caulinita
H	Hematita

LISTA DE SÍMBOLOS

(S-C)	diferença entre teores de areia e argila
CP	potencial de colapso;
Cu	coeficiente de uniformidade.
e	índice de vazios
e ₀	índice de vazios natural;
e _i	índice de vazios correspondente a tensão em que se realizou a inundação,
e _l	índice de vazios (amolgado) correspondente ao limite de liquidez
γ _{nat}	peso específico aparente natural
γ _p	peso específico real das partículas
γ _s	peso específico aparente seco
γ _{sat}	densidade do solo saturado
H ₀	altura inicial do corpo de prova.
H _i	altura do corpo-de-prova antes de se realizar a inundação.
IP	índice de plasticidade
K	coeficiente de subsidência;
K _i	coeficiente de colapsibilidade;
LL	limite de liquidez
LP	limite de plasticidade
P	porosidade
S _r	grau de saturação
w	teor de umidade natural
w ₀	teor de umidade natural
w _l	limite de liquidez
W _{nat}	umidade natural
w _P	limite de plasticidade
w _{sat}	grau de saturação
δ	massa específica dos grãos de sólido
Δe	variação do índice de vazios devido ao colapso
ΔH	variação da altura do corpo-de-prova devido ao colapso;
Δε _{cmáx}	deformação de colapso máximo
γ _d	peso específico seco
σ' vic _{max}	tensão vertical de inundação para que ela ocorra

σ_{vi}

tensão de inundação no ensaio edométrico;

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	31
1.1	OBJETIVOS	33
1.1.1	Objetivo Geral	33
1.1.2	Objetivos Específicos	33
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
2.1	SOLOS POTENCIALMENTE COLAPSÍVEIS	34
2.1.1	Mecanismo de colapso	36
2.1.2	Análise físico-química	40
2.2.2	Presença de solos potencialmente colapsíveis	48
2.2.3	Identificação do grau de colapsibilidade	52
2.2.4	Métodos indiretos de estimativa de colapso	53
2.2.5	Ensaio Edométrico	56
2.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	60
2.3.1	Dados de um SIG	61
2.3.2	Dados vetoriais	62
2.3.3	Dados matriciais	63
2.3.4	Rede Triangular Irregular	64
2.4	EVOLUÇÃO URBANA	65
2.4.1	Vetores de Crescimento Urbano	65
2.5	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	66
2.5.1	Metodologia Davison Dias (1987)	69
2.5.2	Declividade do terreno	72
2.5.3	Mapeamento de susceptibilidade ao colapso	73
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	78
3.1	CLIMA	79
3.2	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	80
3.3	EVOLUÇÃO URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO	81

3.4	UNIDADES GEOTÉCNICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO	82
3.5	AREIA QUARTZOSA PODZOLIZADA DE SUBSTRATO SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS	86
3.5.1	Caracterização da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários	89
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	90
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS PREEXISTENTES	91
4.2	MAPAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO	91
4.2.1	Mapeamento Geotécnico Preliminar	92
4.2.1.1	Atualização do Mapeamento Geotécnico	92
4.2.2	Análise da Expansão Urbana	94
4.2.2.1	Vetores de Crescimento Urbano	96
4.3	EXECUÇÃO DOS ENSAIOS	96
4.3.1	Coleta das amostras	96
4.3.2	Ensaio de caracterização	97
4.3.3	Ensaio para a determinação do colapso	97
4.3.4	Análise do ensaio edométrico simples	98
4.4	AREIA QUARTZOSA PODZOLIZADA DE SUBSTRATO SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS	99
4.4.1	Ensaio Edométrico Simples	99
4.4.2	Análise da Estrutura e Composição da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários	99
4.4.3	Microscopia eletrônica de varredura e energia dispersiva por raios X (EDS)	100
4.4.4	Fluorescência de Raio X	100
4.4.5	Difratometria de Raio X	101
4.5	MAPA DE SUSCETIBILIDADE AO COLAPSO	101
5.	RESULTADOS	102

5.1	ANÁLISE DO RELEVO	102
5.1.1	Modelo Digital do Terreno	102
5.1.2	Hipsometria e Altitude	103
5.1.3	Declividade do Terreno	105
5.2	EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA	107
5.2.1	Vetores de Crescimento Urbano	109
5.3	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	111
5.3.1	Mapeamento Geotécnico Atualizado	113
5.4	DADOS AMOSTRAIS	117
5.4.1	Ponto 1 – Cambissolo de substrato depósito de encostas (Cde)	119
5.4.1.1	Ensaio Edométrico do Ponto 1	119
5.4.1.2	Ensaios de Caracterização do Ponto 1	120
5.4.2	Ponto 2 – Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito (PVg)	121
5.4.2.1	Ensaio Edométrico do Ponto 2	122
5.4.2.2	Ensaios de Caracterização do Ponto 2	123
5.4.3	Ponto 3 – Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários (AQPsq)	124
5.4.3.1	Ensaio Edométrico do Ponto 3	125
5.4.3.2	Ensaios de Caracterização do Ponto 3	126
5.4.4	Ponto 4 – Cambissolo de substrato granito (Cg)	127
5.4.4.1	Ensaio Edométrico do Ponto 4	128
5.4.4.2	Ensaios de Caracterização do Ponto 4	129
5.4.5	Ponto 5 – Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários (AQsq)	130
5.4.5.1	Ensaio Edométrico do Ponto 5	131
5.4.5.2	Ensaios de Caracterização do Ponto 5	132
5.4.6	Ponto 6 – Solos Litólicos de substrato granito (Rg)	133
5.4.6.1	Ensaio Edométrico do Ponto 6	134

5.4.6.2	Ensaio de Caracterização do Ponto 6	135
5.4.7	Ponto 7 – Podzólico Vermelho-Amarelo de sedimentos quaternários (PZsq)	136
5.4.7.1	Ensaio Edométrico do Ponto 7	137
5.4.7.2	Ensaio de Caracterização do Ponto 7	138
5.5	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS E MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE AO COLAPSO	140
5.6	AREIA QUARTZOSA PODZOLIZADA DE SUBSTRATO SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS	153
5.6.1	Ensaio Edométrico Simples	153
5.6.2	Microscopia eletrônica de varredura e energia dispersiva por raios X (EDS)	156
5.6.3	Fluorescência de raios-X	160
5.6.4	Difratometria de Raio-X	161
	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	163
6.1	CONCLUSÕES	163
6.2	SUGESTÕES	165
	REFERÊNCIAS	167

1. INTRODUÇÃO

Alguns solos estão propensos a sofrer o fenômeno do colapso, que é caracterizado por um recalque brusco. Sua ocorrência está ligada à exposição do solo à um aumento excessivo da umidade ou estado de saturação, seguido do retorno ao seu estado de umidade natural, resultando em uma redução do volume independente de carregamentos a que está exposta.

Geralmente, o processo de inundação do solo provém da elevação do nível d'água, que ocorre em períodos de cheias, mas que também pode ser causado em zonas urbanas por vazamentos na rede de distribuição de água, coleta de esgoto ou drenagem pluvial. Tendo em vista que o estado de Santa Catarina passou nos últimos anos por uma série de fortes inundações torna-se importante determinar quais áreas estão propensas a sofrer com a colapsibilidade dos solos.

Tendo em vista o uso e ocupação do solo por obras civis, a ABNT (2010) recomenda que o solo seja avaliado quanto a sua colapsibilidade sempre que for considerado não saturado. Esta norma ainda cita que o ensaio para a avaliação do colapso pode ser realizado no mesmo equipamento utilizado para o adensamento unidimensional, medindo-se a deformação vertical sofrida pela amostra com relação a uma determinada tensão ao ser inundada.

Apesar da recomendação da ABNT (2010), estes ensaios não são realizados para obras civis normais. Na maioria dessas obras, especialmente em edificações residenciais, para avaliação dos solos é realizado apenas o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) que consiste em determinar a resistência do solo, estratigrafia e posição do nível freático. As características associadas à deformação do solo obtidas com base neste ensaio são secundárias.

Considerando a afirmação de Souza Neto (2004) que “os danos provocados pelo colapso, geralmente, não resultam em perdas de vidas ou grandes custos por evento”. É importante ressaltar que o colapso pode gerar recalques e que qualquer tipo de recalque em uma edificação poderá resultar desde pequenas fissuras até um grande abalo de uma estrutura podendo levar à ruína. Desta forma, investigar a presença de solos com características colapsíveis torna-se importante na prevenção de danos e perdas.

O Brasil por se tratar de um país tropical, apresenta naturalmente solos não saturados, o que torna comum a presença de solos potencialmente colapsíveis. Observa-se que existem até o momento estudos de alguns tipos de solo com comportamento colapsível e raros

estudos que resultam em um mapa de susceptibilidade dos solos ao colapso.

Ainda referindo-se aos solos brasileiros, vale acrescentar que várias pesquisas já definiram que as argilas porosas encontradas no país possuem uma grande tendência ao comportamento colapsível. Além disso, sabe-se que em solos arenosos a ocorrência do fenômeno de colapso é mais significativa. Em solos sedimentares eólicos, sobretudo, este fenômeno é intensamente estudado pela literatura. Desta forma, ressalta-se que na região de estudo são encontrados solos residuais de granito e diabásio, além de solos sedimentares coluvionares, eólicos, aluvionares e marinho, o que torna a área propensa a tal fenômeno.

Neste contexto, torna-se importante determinar quais são as áreas onde há possibilidade de ocorrência de problemas causados pelo colapso do solo, a fim de fornecer subsídios para orientação dos órgãos públicos resultando em políticas de melhoramento da segurança e qualidade de vida da população. Ressalta-se ainda que, este tipo de solo gera maiores danos em edificações de pequeno porte, sendo a população menos favorecida consequentemente a mais afetada

Desta forma, visa-se inicialmente determinar as unidades geotécnicas que formam a área a ser estudada, seguida da geração de base para o mapeamento quanto à colapsibilidade dos solos, valendo-se de ensaios de laboratório.

A cidade de Florianópolis apresentou um significativo aumento populacional nas últimas décadas. Em 1940, a cidade possuía 25.000 habitantes e quarenta anos depois, ocorreu um aumento populacional de 500%, sendo que atualmente são cerca de 450.000 habitantes. Este aumento significativo na população deve-se especialmente à sua localização litorânea, a presença de belas praias e pela baixa criminalidade quando comparada a muitas das capitais brasileiras.

Dentre os principais focos de urbanização destaca-se a região da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, impulsionado pelas belas paisagens e a vista paradisíaca. A região, assim como toda a ilha de Santa Catarina, sofre com a falta de infraestrutura, sendo que o trânsito, rede de coleta de esgotos, e abastecimento de água são fatores preponderantes na geração de incômodos aos moradores.

Desta forma, a escolha da Bacia da Lagoa da Conceição como área de estudos desta pesquisa deve-se ao fato de que esta região foi e está sendo o foco de um expressivo acréscimo habitacional nas últimas décadas, com potencial para um aumento do uso e ocupação de seus solos nos próximos anos. Além disso, observou-se uma unidade de solo, denominada Areia Quartzosa Podzolizada, que apresenta significativa

tendência ao comportamento colapsível, havendo assim a necessidade de um estudo mais aprofundado, uma vez que se trata de um solo de elevada ocorrência na região, sendo também encontrado em várias áreas da zona costeira do estado de Santa Catarina.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Mapear os solos potencialmente colapsíveis da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, para a geração do mapa de suscetibilidade ao colapso e avaliar o comportamento mecânico da unidade Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários.

1.1.2 Objetivos Específicos

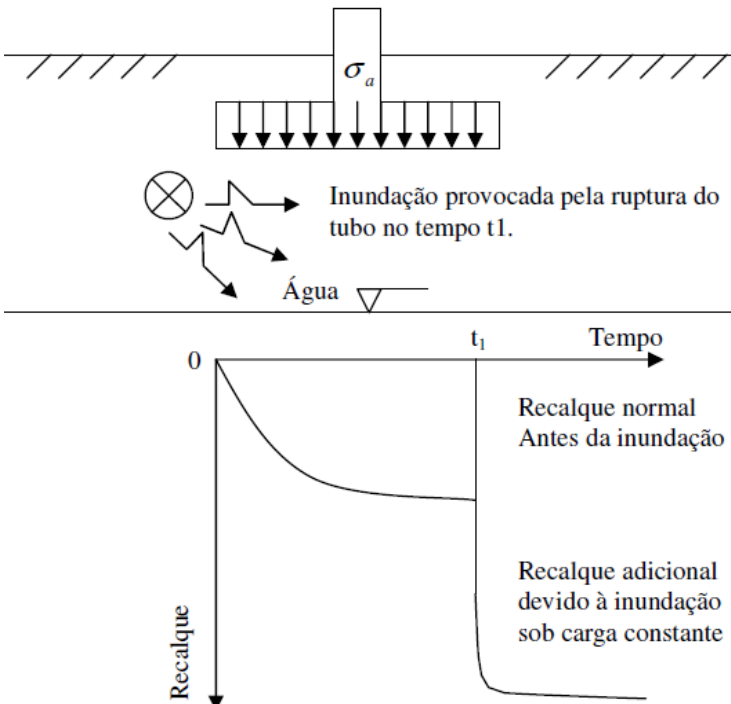
- Gerar mapas de relevo, evolução urbana e ajustar os mapas geotécnicos existentes;
- Caracterizar geotecnicamente as unidades de solos com base em ensaios de laboratório;
- Identificar o grau de colapsibilidade para cada unidade geotécnica presente na área de estudos;
- Quantificar as áreas das unidades geotécnicas e elaborar o mapa de zonas de susceptibilidade ao colapso;
- Aprofundar as análises na unidade geotécnica que cobrir a maior parcela da mancha urbana dentre os solos identificados como colapsíveis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLOS POTENCIALMENTE COLAPSÍVEIS

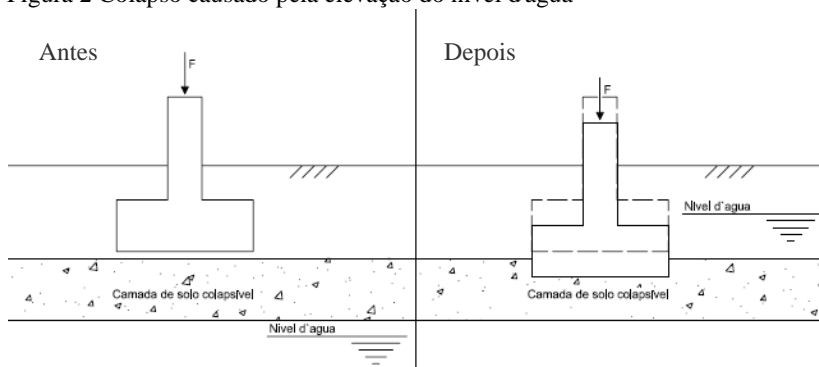
Os solos potencialmente colapsíveis são aqueles que quando submetidos a cargas provenientes de edificações, por exemplo, podem se manter estáveis por um longo período de tempo, porém um aumento na umidade chegando próxima à saturação total poderá gerar problemas à estrutura. As figuras 1 e 2 ilustram a ocorrência deste fenômeno, normalmente desencadeados por uma inundação seguida da elevação do nível d'água ou pela ruptura de uma tubulação de água ou esgoto.

Figura 1 Conceito de recalque adicional devido ao colapso da estrutura do solo



Fonte: Jennings e Knight (1975) apud Higashi (2006)

Figura 2 Colapso causado pela elevação do nível d'água



No que diz respeito ao grau de saturação necessário para ocorrer o colapso, Cintra e Aoki (2009) explicam que ao contrário do que se julgava anteriormente, o solo não precisa estar totalmente saturado. Uma elevação do teor de umidade para um determinado valor aquém da saturação completa será suficiente para desencadear o colapso.

Pinto (2000) descreve que solos potencialmente colapsíveis, apresentam-se em seu estado natural como não saturados, resultando em uma considerável e rápida compressão quando submetidos a um aumento de umidade sem a variação da tensão total a que estejam submetidos. O autor aponta para a classificação deste tipo de solo em dois tipos, assim definidos por Reginatto e Ferrero (1973):

- colapsíveis - são aqueles que não suportam o seu peso próprio quando inundados e colapsam;
- solos condicionados ao colapso - neste caso a ocorrência do colapso é função do nível de tensões a que o solo está submetido.

O que diferencia este solo é o fato de que nos solos não colapsíveis o recalque ocorre conforme são aplicadas as cargas, sendo uma parcela dele denominada de recalque inicial, pois surge após a aplicação de todas as cargas da edificação. Uma segunda parcela do recalque ocorre ao longo da vida útil da edificação, esta parcela é quase imperceptível, e tende a ser cada vez menor, sendo assim denominado recalque residual.

Os recalques não devem afetar o uso e a segurança da edificação, e normalmente só ocorrem quando são aplicadas cargas superiores às suportadas pelo solo. Isso não é o que ocorre em solos

potencialmente colapsíveis, uma vez que estes podem responder bem à aplicação de carga inicial e ainda resistir a ela por anos. Ocorre que de uma hora para outra devido a uma saturação do solo ocorre o colapso, o que pode causar apresentar trincas e rachaduras na edificação, ou nos piores casos gerar danos a estrutura, sendo que esta pode vir a ruir.

2.1.1 Mecanismo de colapso

De acordo com Lawton et al. (1992), com base nos trabalhos de Barden et al. (1973) e Mitchell (1976), são necessários quatro fatores para que o colapso ocorra:

- ocorrência de solo não saturado com estrutura aberta e parcialmente estável;
- tensões totais suficientes para causar colapso;
- presença de agentes de ligações intergranular ou cimentantes que tornam o solo estabilizado em condições não-saturadas;
- ruptura por cisalhamento das ligações intergranulares (forças capilares, pontes de argila, agentes cimentantes químicos, como óxido de ferro e carbonato de cálcio) e redução de ligações cimentantes pelo efeito da água.

De acordo com Benatti (2010), a estrutura do solo é o fator determinante no comportamento e nas características que os solos potencialmente colapsíveis exibem. Estruturas porosas apresentam uma situação de equilíbrio metaestável entre as partículas constituintes, elas são mantidas em sua posição pela presença de algum vínculo capaz de conferir ao solo uma resistência adicional temporária. A resistência temporária das ligações interpartículas é proveniente das tensões capilares, das forças eletro-magnéticas de superfície e da presença de algum agente cimentante, como os óxidos de ferro e os carbonatos.

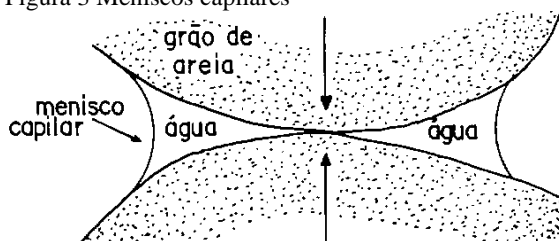
Apesar do avanço no estudo dos solos potencialmente colapsíveis, ainda não há um consenso geral quanto à característica responsável por causar o colapso. Futai (2000) analisa que:

O estudo do mecanismo de colapso consiste em explicar o processo deflagrador do fenômeno de colapso devido à perda da resistência das ligações. A ocorrência do colapso e os processos que podem provocá-lo estão diretamente ligados com a estrutura do solo, sua constituição

(granulométrica, mineralógica) e organização dos elementos.

De acordo com Mendonça (1990), a estrutura de um solo colapsível normalmente conta com a presença de meniscos capilares (presentes em solos não saturados) e vínculos de argila ou silte. Os meniscos resultam da ação das tensões capilares presentes entre as partículas. Após a secagem do solo, a água que permanece retida entre os grãos resulta em tensões capilares, esta tensão é responsável por manter uma estrutura porosa. A figura 3 traz um esquema dos meniscos capilares entre os grãos de areia.

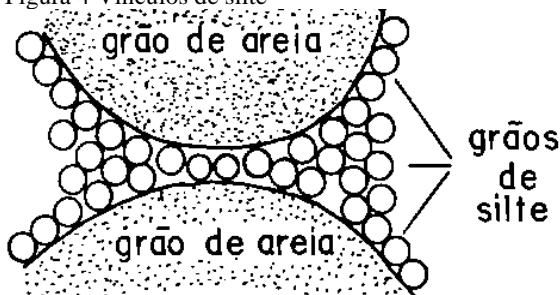
Figura 3 Meniscos capilares



Fonte: Dudley (1970) apud Mendonça (1990).

Os vínculos de silte e argila têm um processo de formação diferente. Nas estruturas onde estão presentes os vínculos de silte, as tensões capilares entre os grãos de silte ou entre os grãos de silte e os de areia, são responsáveis por manter o equilíbrio metaestável da estrutura. A figura 4 traz um esquema com os vínculos de silte presentes entre os grãos de areia (MENDONÇA, 1990).

Figura 4 Vínculos de silte

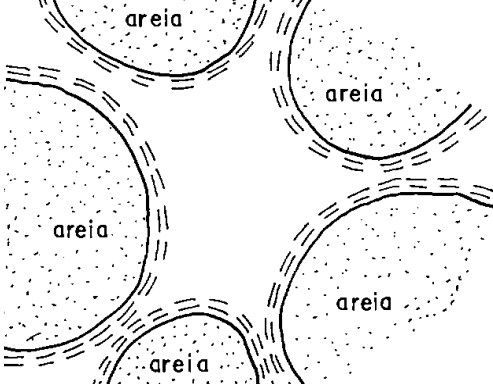


Fonte: Dudley (1970), apud Mendonça (1990).

O autor descreve que, os vínculos de argila podem ser formados com base em dois processos: autogênese ou processo, e destaca que estes dois processos conferem propriedades distintas entre as estruturas.

Segundo Dudley (1970), apud Mendonça (1990), os vínculos de argila formados por autogênese podem derivar do processo de intemperismo sobre o feldspato, o que forma ao redor da partícula uma fina camada de argila, conforme pode ser observado a figura 5.

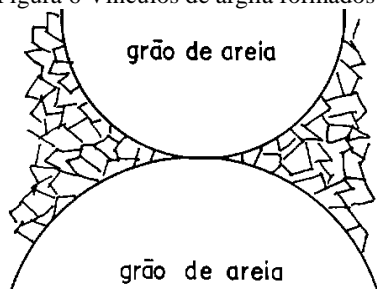
Figura 5 Vínculos de argila formados por autogênese



Fonte: Dudley (1970) apud Mendonça (1990).

Ainda de acordo com Dudley (1970), apud Mendonça (1990), após uma chuva de baixa precipitação, que não provocasse lixiviação total das partículas, estas ficariam dispersas e se manteriam uniformemente distribuídas. Em seguida, com a evaporação do fluido, as partículas de argila seriam carreadas para o estreito espaço entre os grãos de areia. Devido à alta concentração de íons provocada pela evaporação, estas partículas de argila se arranjariam no estado floculado. A estrutura resultante deste processo é formada por grãos maiores apoiados por contrafortes de argila (figura 6), o comportamento deste solo assemelha-se aos vínculos formados por silte.

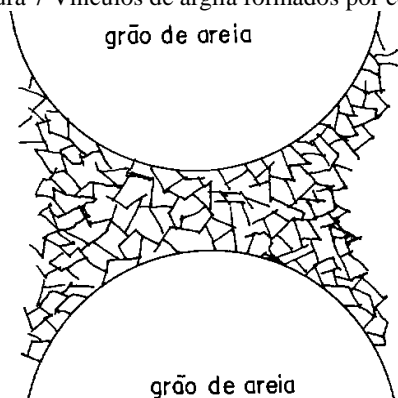
Figura 6 Vínculos de argila formados lixiviação



Fonte: Dudley (1970) apud Mendonça (1990).

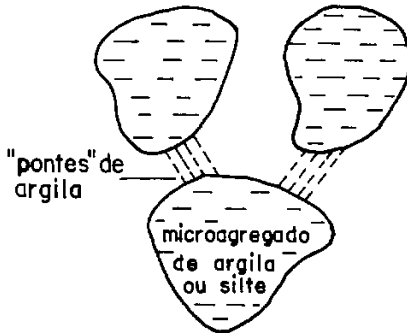
O autor ainda descreve o processo ocorrido após uma chuva mais intensa, denominado como “corrida de lama”, aqui a concentração iônica é provavelmente alta e o arranjo disperso das partículas de argila não é preservado, fazendo com que estas partículas se agrupem em torno dos grãos maiores. Com o processo de evaporação, estas partículas vão se acumulando entre os grãos maiores, formando um vínculo de argila no estado flocculado, com forças atrativas e uma considerável resistência estrutural, conforme figura 7. Além das estruturas descritas, os solos potencialmente colapsíveis ainda podem apresentar pontes de argila, estas pontes de argila ou silte formam a conexão entre os grãos de areia, conforme figura 8.

Figura 7 Vínculos de argila formados por corrida de lama



Fonte: Dudley (1970), apud Mendonça (1990).

Figura 8 Pontes de argila ou silte



Fonte: Dudley (1970), apud Mendonça (1990).

Segundo El-Sohby et al. (1989) apud Mendonça (1990), deve-se considerar ainda a presença de cimentação formada por determinadas substâncias, em especial o carbonato de cálcio (calcita), óxido de ferro (geotita, hematita), gipsita e sais.

2.1.2 Análise físico-química

Conforme abordado, o colapso dos solos está diretamente ligado à estrutura de ligação entre as partículas e a composição do material ligante. O fato de algumas substâncias propiciarem uma cimentação que pode se dissolver pela ação da água, rompendo assim a estrutura, é um fator determinante no entendimento das causas que levam à ocorrência do colapso.

Gutierrez (2005) reitera que as análises micromorfológicas permitem acompanhar a evolução da microestrutura do solo (modificação da porosidade, formas dos agregados e suas ligações) de acordo com os carregamentos e a condição de saturação, avaliando-se antes e depois da ocorrência do colapso.

A avaliação do colapso pode ser feita com base em ensaios químicos. Estes ensaios não foram desenvolvidos exclusivamente para solos, uma vez que a necessidade de análise micro-morfológica vai muito além da geotecnia. Estes ensaios são utilizados em diversos estudos científicos, envolvendo áreas como a engenharia sanitária, ambiental, materiais de construção civil, física e farmacologia.

A microscopia é o método mais utilizado na análise do colapso, onde a microscopia eletrônica de varredura é o método mais utilizado atualmente. Nesta análise as amostras podem ser avaliadas na forma de

pó (peneiradas de acordo com a granulometria do solo) ou no estado de indeformadas. A análise em microscópios ópticos também é válida, porém, faz-se necessária a confecção de lâminas.

2.2.1.1 Microscopia eletrônica de varredura e energia dispersiva por raios X (EDS)

De acordo com Wolle (1978) apud Gutierrez (2005) “a microscopia eletrônica de varredura permite a observação do arranjo, dos contatos dos grãos, do tipo de estrutura, da orientação das partículas e dos poros”.

Como todo o microscópio, esta análise tem como objetivo tornar visível ao olho humano o que é pequeno demais para que possa ser percebido ao olho nu. Silva (2008) descreve que, a diferença entre este equipamento quando comparado a um microscópio óptico tradicional, é que a luz e as lentes de vidro são aqui substituídas por um feixe de elétrons e lentes eletromagnéticas.

De acordo com Dedavid et al. (2007) “o MEV é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida”.

A microscopia eletrônica de varredura fornece micrografias onde é possível identificar a estrutura formada pelo solo, bem como um gráfico onde são apresentados os elementos químicos encontrados de acordo com a quantidade.

2.2.1.2 Difractometria de raio X

A difratometria de raio X revela quais os óxidos que estão presentes no material analisado, sendo também apresentado o percentual destes valores.

De acordo com Mendonça (1990), a constituição mineralógica é de grande importância para se entender a estrutura e o mecanismo de desencadeamento do colapso. Gutierrez (2005) descreve que neste ensaio:

um feixe é difratado pelos cristalitos, que estão orientados de forma a difratar o feixe incidente. O feixe incidente forma um ângulo θ com os planos atômicos difratantes e 2θ com o detector (satisfazendo a lei de Bragg). O registro das intensidades difratadas, coletadas pelo detector,

corresponde a um difratograma de raios-x da amostra e representa uma “impressão digital” dela.

No estudo realizado por Mendonça (1990) em solos potencialmente colapsíveis, o autor depois de realizar o MEV, partiu para a difratometria de raio X, onde concluiu que as partículas maiores (fração de areia) eram formadas por quartzo, enquanto que as menores eram constituídos por caulinita, sendo que também foi identificada a presença de óxido de ferro.

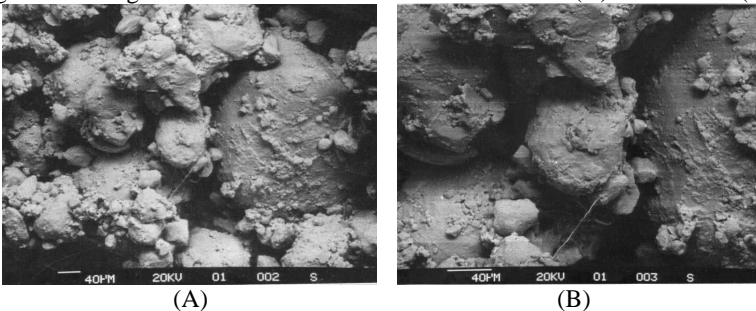
2.2.1.3 Fluorescência de raio X

Além das análises supra citadas, é viável a realização da fluorescência de raio X, tornando possível determinar quais são os compostos que estão presentes no material analisado, facilitando a avaliação da composição do solo. No estudo do colapso, esta análise torna mais precisa a identificação da composição das partículas responsáveis pela ligação entre os grãos de areia.

2.2.1.4 Estudos de Microestrutura em Solos potencialmente colapsíveis

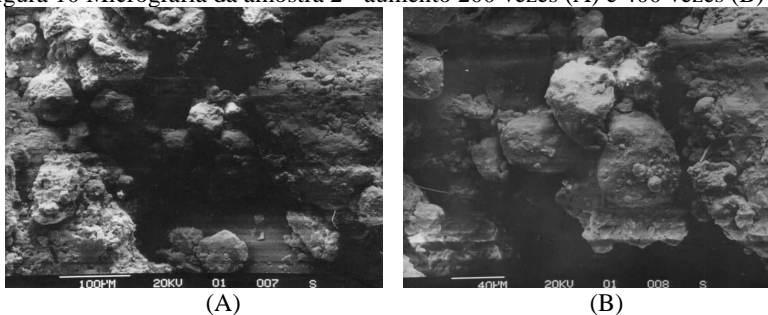
Mendonça (1990) ao analisar solos potencialmente colapsíveis por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura, com amostras indeformadas secas ao ar, obteve as micrografias apresentadas nas figuras 9, 10, 11, 12 e 13. Com base nestas imagens, o autor observou que os grãos de areia estão ligados por grãos menores, sendo estes provavelmente constituídos de argila ou silte.

Figura 9 Micrografia da amostra 1 - aumento de 160 vezes (A) e 340 vezes (B)



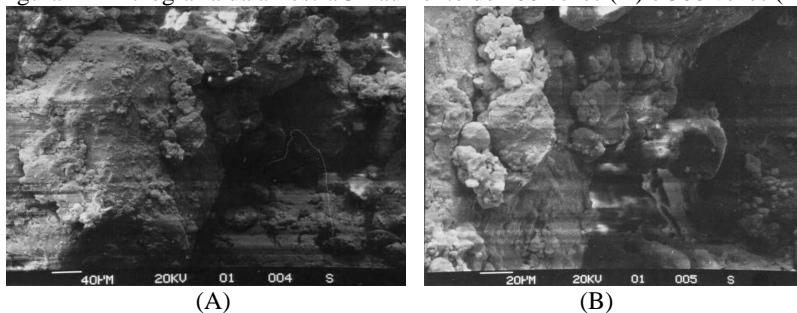
Fonte: Mendonça (1990).

Figura 10 Micrografia da amostra 2 - aumento 200 vezes (A) e 400 vezes (B)



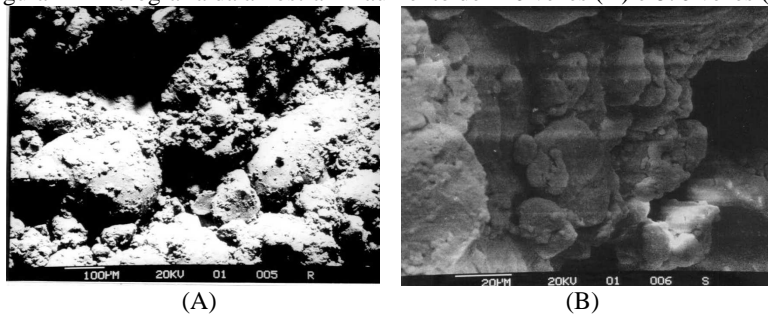
Fonte: Mendonça (1990).

Figura 11 Micrografia da amostra 3 - aumento de 200 vezes (A) e 500 vezes (B)



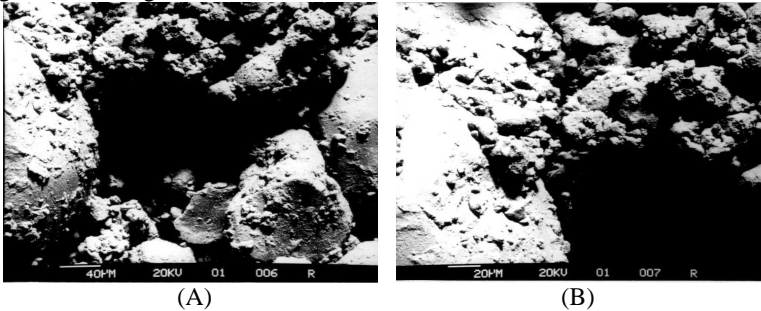
Fonte: Mendonça (1990).

Figura 12 Micrografia da amostra 4 - aumento de 110 vezes (A) e 870 vezes (B)



Fonte: Mendonça (1990).

Figura 13 Micrografia da amostra 5 - aumento de 110 vezes (A) e 870 vezes (B)

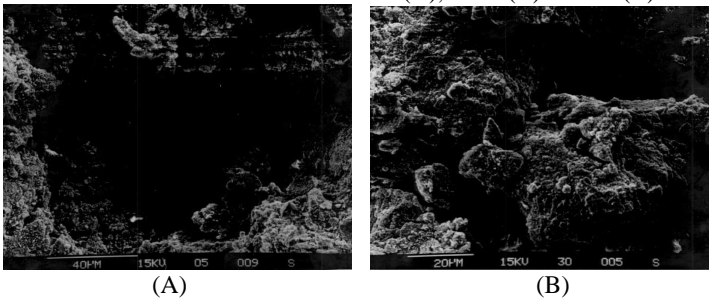


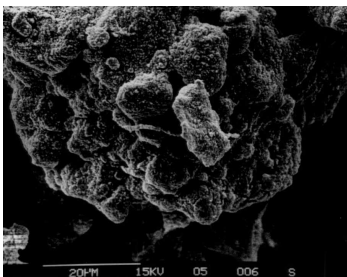
Fonte: Mendonça (1990).

O arranjo no qual essas partículas se acomodam formam uma techedura macroporosa. Analisando-se a difratometria de raio X foi possível propor que os grãos maiores são formados por quartzo e os menores pela caulinita, constituindo-se provavelmente por óxidos de ferro (MENDONÇA, 1990).

Mariz (1993) estudou o solo residual sexquíoxidicos, de característica colapsível. Neste tipo de solo as amostras indeformadas foram submetidas à Microscopia Eletrônica de Varredura e também foram realizados os ensaios de Difração de Raio X e os ensaios químicos. Tendo como base as micrografias (figuras 14, 15, 16 e 17) foi observada a presença de cimentação, bem como a presença de vazios. A difratometria de raio X comprovou a presença de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio na constituição do solo.

Figura 14 Amostra 1 - com aumento de 700 (A), 1000 (B) e 1500 (C) vezes

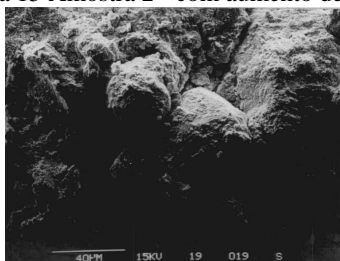




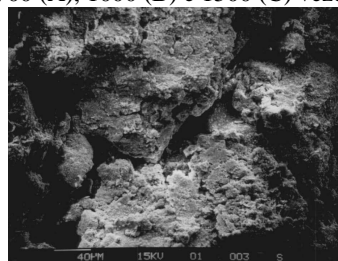
(C)

Fonte: Mariz (1993)

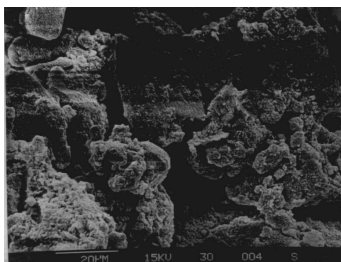
Figura 15 Amostra 2 - com aumento de 700 (A), 1000 (B) e 1500 (C) vezes



(A)



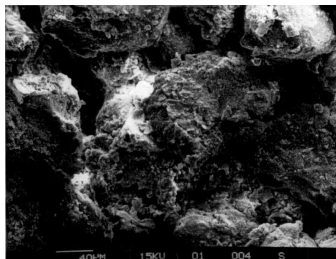
(B)

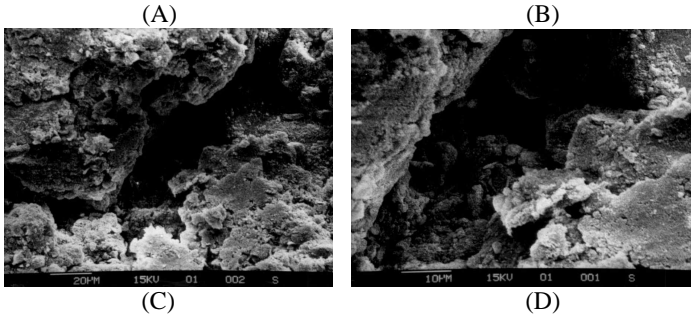


(C)

Fonte: Mariz (1993)

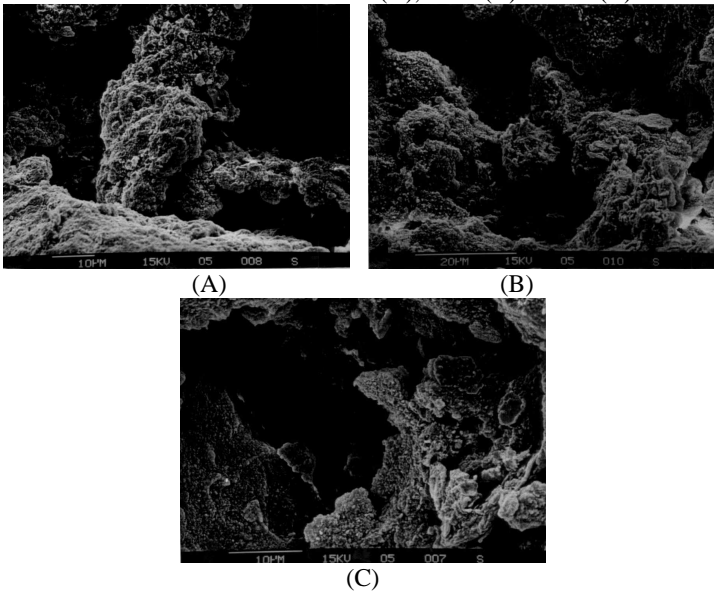
Figura 16 Amostra 3 - com aumento 500 (A), 800 (B), 900(C) e 1800 (D) vezes





Fonte: Mariz (1993)

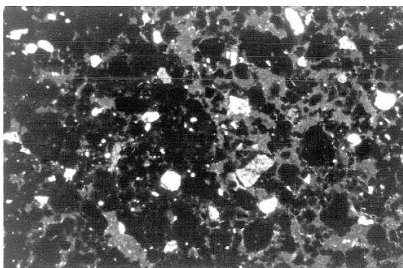
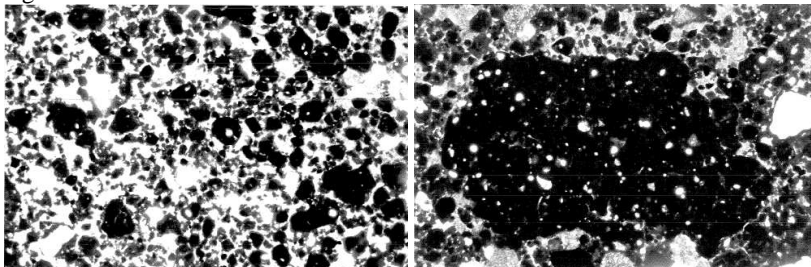
Figura 17 Amostra 2 - com aumento de 1500 (A), 1600 (B) e 2000 (C) vezes



Fonte: Mariz (1993)

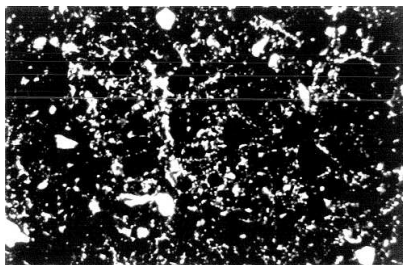
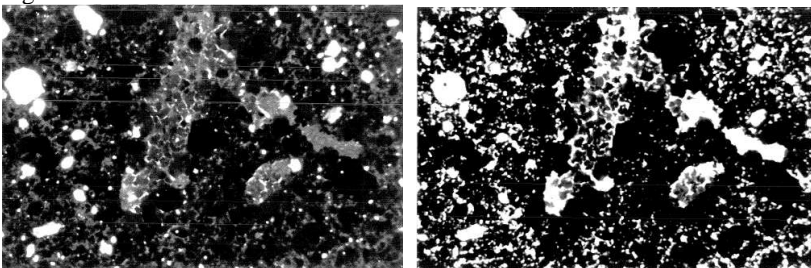
Monacci (1995) analisou um solo residual de diabásio com características colapsíveis no microscópio do óptico, utilizando lâminas obtidas com base em amostras deformadas. O estudo concluiu com base nas das micrografias (figuras 18, 19 e 20) que este solo apresentava uma estrutura altamente porosa, constituída por microagregados, que unidos formam grumos, com o tamanho de silte e areia fina, além disso foi comprovada também a presença de caulinita e gibbsita na constituição do solo.

Figura 18 Lâmina 1



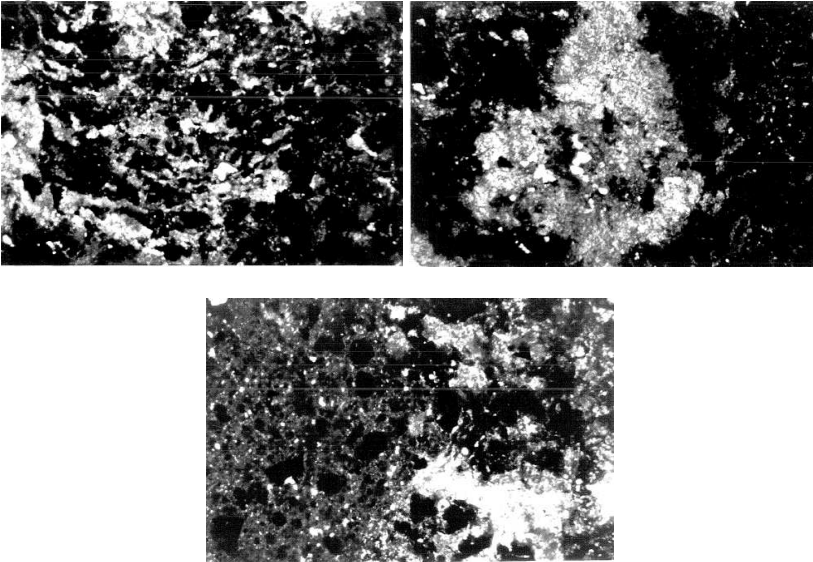
Fonte: Monacci (1995).

Figura 19 Lâmina 2



Fonte: Monacci (1995).

Figura 20 Lâmina 3



Fonte: Monacci (1995).

2.2.2 Presença de solos potencialmente colapsíveis

Sabe-se que a ocorrência de solos potencialmente colapsíveis não está restrita a um único local do globo terrestre. Benatti (2010) reuniu exemplos ao redor do mundo, listados na tabela 1, enquanto que na tabela 2 Ferreira (2007), citado por Benatti (2010), apresenta os exemplos de solos encontrados no território brasileiro.

Ao observar a ocorrência de solos potencialmente colapsíveis, Souza Neto (2004) constatou que a existência está relacionada à locais com deficiência hídrica, ou seja, nas regiões de baixos níveis de precipitações pluviométricas, embora tenha se observado a existência de solos potencialmente colapsíveis também em outras regiões de maior pluviosidade.

Souza Neto (2004) ainda cita que, segundo Vilar et al. (1981), ambientes tropicais apresentam condições propícias para o desenvolvimento de solos potencialmente colapsíveis, sendo pela lixiviação de finos dos horizontes superficiais nas regiões onde se alternam precipitações intensas e baixas, ou ainda pela baixa umidade em regiões áridas e semi-áridas.

Tabela 1 Ocorrência de solos potencialmente colapsáveis no mundo.

Referência	Local	Tipo de Solo
Abeleff (1938)	Ucrânia	Loess
Jaly (1948)	Budapeste	Silte Argiloso
Peck e Peck (1948)	EUA	Loess
Denisov (1951)	URSS	Loess
Clevenger (1956)	EUA	Loess
Kassif (1957)	Israel	Loess
Jennings e Knight (1957)	África do Sul	Silte Argiloso
Abelev e Askalonov (1957)	URSS	Loess
Holtz e Hilf (1961)	Nebraska e Kansas (EUA)	Loess
Réthati (1961)	Hungria	-
Brink e Kantey (1961)	África do Sul	Silte Arenoso
Belles e Stanculesco (1961)	Romênia	Loess
Bally et al. (1965)	Romênia	Loess
Gibbs e Bara (1967)	EUA	Loess
Sultan (1969)	EUA	Loess
Dudley (1970)	Transvall e Sul da África	Eólico
Dudley (1970)	Luanda (Angola)	Maceque" (solo ferruginoso)
Dudley (1970)	Nevada	Solo aluvional bem graduado
Dudley (1970)	Rodésia	Solo residual de granito
Dudley (1970)	Estados Unidos, França, Alemanha, Europa Oriental, Rússia, Sibéria, China,	Loess de cor avermelhada e brumo-amarela
Sokolovich (1971)	URSS	Loess
Barden e Collins (1973)	África do Sul	Eólico (areia vermelha)
Barden e Collins (1973)	Arizona	Aluvião
Aitichison (1973)	Austrália	Argila Arenosa
Aitichison (1973)	Quênia	Argila Vermelha
Aitichison (1973)	Israel	Loess

Aitichison (1973)	Espanha	Siltos e Argilas gipsíferos
Furtado e Martins (1973)	Angola	Areias com poucos finos
Reginatto e Ferrero (1973)	Argentina	Siltos e Argilas com carbonatos
Nadeo e Videla (1975)	Argentina	-
Nuñez (1975)	Argentina	Loess
Abelev (1975)	URSS	Loess
Knodel (1981)	Califórnia (EUA)	-
Popescu (1986)	Romênia	Loess
Derbyshire e Mellors (1988)	China, Sudeste da Inglaterra	Loess
Lin e Wang (1988)	China	Loess
Day (1990)	Califórnia (EUA)	Aluvião
Phien-wej et al. (1992)	Khon Kaen (Tailândia)	Argila
Rezenik (1995)	Odessa	Loess
Rao e Revanasiddappa (2002)	Índia	Solo Residual Vermelho
Zeng e Meng (2006)	China	Loess
Jotisankasa et al. (2007)	Londres	Argila siltosa
Zorlu e Kasapoglu (2009)	Turquia	“Caliche”

Fonte: Vilar et al. (1998); Futai (1997) e Medero, (2005) apud Benatti (2010)

Tabela 2 Algumas ocorrências de solos potencialmente colapsáveis no Brasil .

Município/Estado	Referência	Origem/ Classe Pedológica
Manaus/AM	Dias e Gonzales (1985)	Formação Barreira/Latossolo
Belém/PA	Santos Filho et al. (2005)	Formação Barreira/Latossolo
Palmas/TO	Ferreira et al. (2002)	Formação Pimentais/Coluviál
Parnaíba/PI	Riani e Barbosa (1989)	Eólico/ Areia Quartzosa
Natal/RN	Santos Jr e Araújo (1999)	Eólico/ Areia Quartzosa
João Pessoa/PB	Martins et al. (2004)	Formação São Martins
Sape/PB	Martins et al. (2004)	Formação Barreira
Areia/PB	Martins et al. (2004)	Formação Barreira

Recife/PE	Ferreira (1987)	Formação Barreira/Latossolo e Aluvial/Arenito
Gravatá/PE	Ferreira (1987)	Complexo Carnaíba/Podzólico
Carnaíba/PE	Ferreira (1987)	Complexo Monteiro/Bruno não
Petrolândia/PE	Ferreira (1987)	Formação Marizal
Cabrobó/PE	Ferreira et al. (2007)	-
Sta M B Vista/PE	Ferreira e Teixeira (1989)	Granitóides Diversos/ Podzólicos
Petrolina/PE	Aragão e Melo (1982), Ferreira (1989)	Aluvial/ Areia Quartzosa
Rodelas/BA	Ferreira (1988)	Formação Tacaratu/Areia
Bom Jesus da Lapa/BA	Mendonça (1990)	Areia Quartzosa Vermelho-Amarela e e Latossolo Vermelho-Amarelo
Brasília/DF	Berberiam (1982), Paixão e Carvalho (1994), Guimarães et al. (2002) e Silva (2006)	Laterítico
Goiás/GO	Moraes et al. (1994)	Coluvial
Itumbiara/GO	Ferreira et al. (1989)	Coluvial e Aluvial
Jaíba/MG	Ferreira et al. (1989)	Aluvial
Manga/MG	Bevenuto (1982)	Aluvionar/ Areia Quartzosa
Três Marias/MG	Ferreira et al. (1989)	Coluvial/ Siltitos
Uberlândia/MG	Ferreira et al. (1989)	Coluvial/Basalto e
Ilha Solteira/SP	Rodrigues e Lobo (2002)	Colúvio/ Podzólicos e Latossolos
Perreira Barreto/ SP	Ferreira et al. (1989)	Coluvial Arenito
Bauru/SP	Vargas (1973), Ferreira et al (1989), Agnelli (1992)	Coluvial/ Latossolo Vermelho Escuro
São Carlos/SP	Vilar et al. (1985), Ferreira et al (1989)	Coluvial – Arenito
Sumaré e Paulínia/SP	Ferreira et al. (1989)	Coluvial – Arenito
Mogi Guaçu/SP	Ferreira et al. (1989)	Coluvial – Granito

Campinas/SP	Albuquerque (2006)	Coluvial/ Laterítico
Itapetininga/SP	Ferreira et al. (1989)	Coluvial
Canoas/SP	Ferreira et al. (1989)	Coluvial – Basalto
Rio Sapucaia/SP	Ferreira et al. (1989)	Coluvial e Residual
São J. dos Campos/SP	Ferreira et al. (1989)	Aluvial
São Paulo/SP	Vargas (1973)	Aluvial
Maringá/PR	Gutierrez et al. (2004)	Latossolo
Londrina/PR	Teixeira et al. (2004), Miguel e Belicanta (2004) e Gonçalves et al. (2006)	Basalto/Latossolo
Timbé do Sul/SC	Feuerhaumel et al. (2004)	Colúvio Basalto
São Leopoldo/RS	Martins et al. (2002) e Medero et al. (2004)	Areia Botucatu, Eólica Solo Residual
S. J. dos Ausentes/RS	Feuerhaumel et al. (2004)	Coluvial Arenito
Gravataí/RS	Dias (1989)	Formação Serra Geral/ Latossolo e Podzólico
Norte do Rio Grande do Sul	Higashi (2002)	Latossolo de Basalto e Arenito
Tubarão/SC	Higashi (2006)	Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelo

Fonte: Modificado de Ferreira (2007), apud Benatti (2010)

Estes dados comprovam a existência de solos potencialmente colapsíveis no Brasil, contudo não se pode afirmar qual região apresenta solos com maior potencial de colapso ou maior incidência de solos potencialmente colapsíveis. Destaca-se que dada a falta de estudos a respeito, a existência de solos potencialmente colapsíveis muitas vezes não é identificada, o que torna ainda mais importante o desenvolvimento de estudos a respeito do tema.

2.2.3 Identificação do grau de colapsibilidade

Foram desenvolvidos estudos para formulação de bases teóricas para a estimativa do risco de colapsibilidade, porém os resultados alcançados divergem de acordo com os autores. Os ensaios de campo ainda estão em fase de desenvolvimento, resultando em uma menor confiabilidade e os ensaios de laboratório por sua vez despendem de

equipamentos específicos, ambiente adequado e uma série de cuidados na coleta das amostras.

2.2.4 Métodos indiretos de estimativa de colapso

Existem diversos estudos para identificar o fator de colapsibilidade dos solos por meio de formulações baseadas em ensaios de caracterização e índices físicos, conforme apresentados na tabela 3. Diferente dos ensaios de colapsibilidade, estas formulações resultam apenas na existência ou não de solo colapsível, salvo a função de Basma e Tuncer (1992) que resulta em um valor de potencial de colapso.

A tabela 4 apresenta resultados de ensaios realizados em solos brasileiros, bem como o potencial de colapso e as propriedades físicas necessárias para as formulações anteriormente abordadas.

Tabela 3 Critérios de identificação do colapso baseados nos índices físicos e limites de Atterberg

Referência	Equação	Limites
Prikloński (1952)	$K = \frac{(W_L - w_0)}{IP}$	K < 0 – Colapsível K > 0,5 – Não Colapsível K > 1 – Expansivo
Clevenger (1958) apud Lutenegeger e Saber (1988)	Baseado no peso específico seco	$\gamma_d < 12,8 \text{ kN/m}^3$ – poderá sofrer recalque grande $\gamma_d > 12,8 \text{ kN/m}^3$ – recalque esperado é reduzido
Kassif e Henkin (1967)	$K = \gamma_d \cdot w_0$	K < 15 – Colapsível
Handy (1973)	% finos (<0,002 mm) < 16 % 16 a 24 % 24 a 32 % > 32 %	Classificação Alta probabilidade de Provavelmente colapsível Prob. <50% colapso Geralmente não colapsível
Basma e Tuncer (1992)	$CP = 48,496 + 0,102C_U - 0,457w_0$ $-3,533\gamma_d + 2,8 \ln \sigma_w$ $CP = 48,506 + 0,072(S-C) - 0,439w_0$ $-3,123\gamma_d + 2,85 \ln \sigma_w$	O resultado corresponde ao potencial de colapso do solo

Denisov (1951) citado por Reginatto (1970)	$K = \frac{e_1}{e_0}$	0,5 < K < 0,75 – altamente colapsível K=1 – não colapsível 1,5 < K < 2 – não colapsível
Feda (1966)	$Kl = \frac{\left(\frac{W_0}{S_r}\right) - W_p}{W_L - W_p}$	Sr > 80% Kl > 0,85 são colapsíveis
Código de obras da URSS (1962), citado por Reginatto (1970)	$\lambda = \frac{e_e - e_1}{1 + e_0}$	$\lambda > 0,1$ o solo é colapsível
Gibbs e Bara (1962)	$R = \frac{W_{sat}}{W_L}$	R > 1 colapsível
Jennings e Knight (1975)	Cascalho fino Areia fina Silte Argiloso	Sr < 6 – colapsível Sr > 10 – não colapsível Sr < 50 - colapsível Sr > 60 – não colapsível Sr < 90 - colapsível Sr > 95 – não colapsível
Código de Obras da URSS (1977), apud Resnik (1989)	$CI = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0}$ $S_r < 80$	O colapso ocorrerá para: 1% < Wp < 10%, CI < 0,1 10% < Wp < 14%, CI < 0,17 14% < Wp < 22%, CI < 0,24

Fonte: Modificado de Vilar et al. (1981), apud Futai (2000).

Onde: σ_{vi} - tensão de inundação no ensaio edométrico; (S-C) - diferença entre teores de areia e argila; e_1 - índice de vazios (amolgado) correspondente ao limite de liquidez; Sr - grau de saturação; e_0 - índice de vazios natural; γ_d - peso específico seco; w, w_0 - umidade natural; w_p - limite de plasticidade w_L , limite de liquidez; K - coeficiente de subsidência; Kl - coeficiente de colapsibilidade; CP - potencial de colapso; Cu - coeficiente de uniformidade.

Tabela 4 Propriedades de alguns solos tropicais brasileiros

Local	Autor	Granulometria (%)			W1 (%)	IP (%)	w (%)	Sr (%)	e	σ'_{vicmax} (kPa)	$\Delta\varepsilon_{cmax}$
		areia	Silte	argila							
Petrolina (PE)		41	35	24	28	10	15	41,9	1	640	17
Sta Maria (PE)	Ferreira et al (1998)	70	22	7	23	9	5,2	19,3	0,7	160	15
Petrolândia (PE)		90	2	8	NP	NP	1,7	7,6	0,6	320	7
CNP* (MT)	Futai (1997)	10	16	74	48	23	33	45	1,9	80	9
Novo Amburgo (RS)	Martins et al (1997)	>50			21	17	8	33,7	0,6	800	1
		>50			21	17	1	3,96	0,7	794	2,2
Machados (PE)	Souza Neto (1998)	25	25	50	50	18	23	54	1,2	100	5,3
		83	12	7	36	13	12	40	0,7	300	0,6
		33	20	47	52	19	22	50	1,2	125	6,3
		66	22	12	39	11	15	46	0,9	300	4,9
São Carlos (SP)	Machado (1998)	69	14	17	28	11	17	66	0,7	460	4,1
Bom Jesus da Lapa (Ba)	Mendonça	76	12	12			3,5	11,2	0,7	50	6,5
		57	19	24	26	8	7	27	0,7	200	5,5
					21	11	8,5	26	0,8	50	6,9
Vertissolo (PE)	Ferreira (1997)	5	26	67	62	32	1,7	7,78	0,6	80	4,4
Porto											
Colombia (SP)	Moriet AL(1974)	30	40	30	60	30	42	60	1,9	220	5,2
Rondonópolis	Conciani(1997)	46	43	11	26	4	22	35	1,7	45	5,2
SES ** (DF)	Casanova (1994)										
		Mariz e									
		59	14	27	NP	NP	12	2,83	1,1	200	13

FONTE: Futai (2000)

Onde: Wl - limite de liquidez; IP - índice de plasticidade; w - umidade natural; Sr - o grau de saturação em percentual; e - índice de vazios; $\Delta \epsilon_{cmax}$ - deformação de colapso máximo; σ'_{vicmax} , tensão vertical de inundação para que ela ocorra

2.2.5 Ensaio Edométrico

Trata-se do método mais confiável para determinar o potencial de colapso dos solos, podendo ser realizado como ensaio edométrico simples ou de duplo anel.

Silva (2006) aborda que Jennings e Knight (1975) propuseram uma metodologia baseada nos ensaios edométricos convencionais, sendo denominado ensaio edométrico simples. Ele consiste na realização de um ensaio convencional, com amostra ensaiada inicialmente no teor de umidade natural, onde é aplicado um carregamento progressivamente até atingir a tensão desejada. Em seguida, a amostra é inundada e deixada por 24 horas, para que então sejam aplicados os carregamentos até a tensão máxima.

Benatti (2010) apresenta as formulações de Potencial de Colapso (PC), segundo Jennings e Knight (1975), tendo como base a expressão (1), enquanto que a expressão (2) foi utilizada por Vargas (1973) e Lutenegger e Saber (1988). Os resultados de cada uma destas fórmulas seguem o apresentado nas tabelas 5 e 6.

$$PC = \frac{\Delta e}{1 + e_0} = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (1)$$

Onde: Δe - variação do índice de vazios devido ao colapso; e_0 - índice de vazios natural; ΔH - variação da altura do corpo-de-prova devido ao colapso; H_0 - altura inicial do corpo de prova.

$$PC = \frac{\Delta e}{1 + e_i} = \frac{\Delta H}{H_i} \quad (2)$$

Onde: Δe - variação do índice de vazios devido ao colapso; e_i - índice de vazios correspondente a tensão em que se realizou a inundação; H_i - altura do corpo-de-prova antes de se realizar a inundação.

Tabela 5 Classificação da colapsibilidade

PC (%)	Gravidade do Problema
0 a 1	sem problema
1 a 5	problema moderado
5 a 10	problemático
>20	problema muito grave

Fonte: Jennings e Knight (1975) apud Benatti (2010).

Tabela 6 Classificação da colapsibilidade

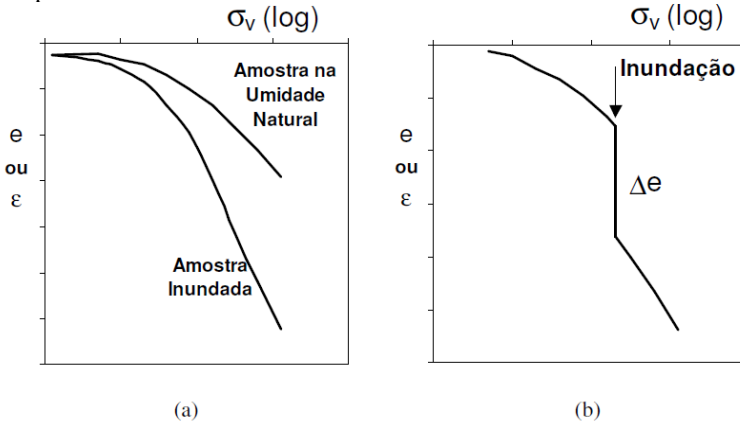
PC (%)	Gravidade do Problema
2	Leve
6	Moderado
10	Alto

Fonte: Vargas (1973) e Lutenegeger e Saber (1988) apud Benatti (2010).

De acordo com Cintra e Aoki (2009), o ensaio de adensamento duplo desenvolvido por Jennings e Knight (1957) representa um marco no estudo da colapsibilidade. Souza Neto (2004) ao referenciar Jennings e Knight (1957) descreve que o ensaio edométrico de duplo anel é realizado com amostras idênticas, sendo uma executada com teor de umidade natural e outra na condição inundada. A diferença das duas curvas expressa a colapsibilidade ou expansibilidade de um solo. Com base em resultados de ensaios duplos, vários comportamentos têm sido observados.

A figura 21 mostra exemplos de diagramas obtidos para o ensaio edométrico de duplo anel em (a) e o ensaio edométrico simples em (b).

Figura 21 Ensaios edométricos: (a) Edométricos duplos; (b) Edométricos simples

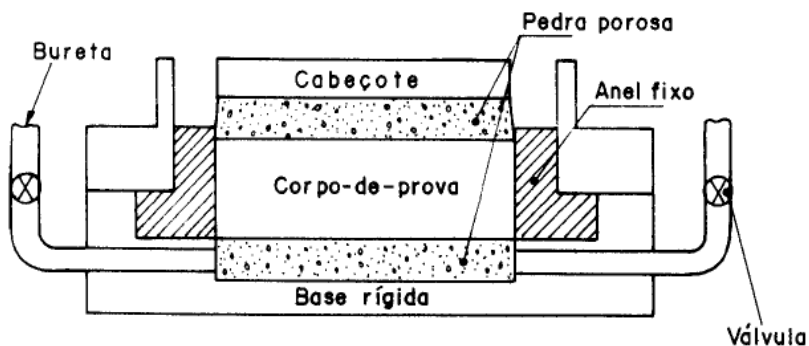


Fonte: Souza Neto (2004)

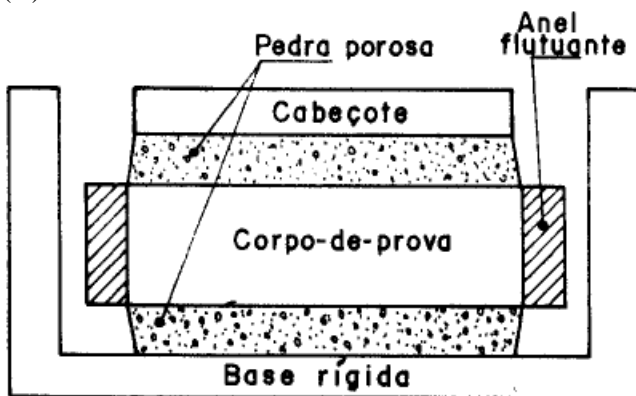
O equipamento utilizado para a execução deste ensaio é o mesmo usado no ensaio de adensamento unidimensional, portanto, para a montagem e inclusão da amostra, seguem-se os processos listados na MB – 3336 (ABNT, 1990). A figura 22 mostra a célula de adensamento onde a amostra fica alojada no decorrer do ensaio, no modelo do item (A) a amostra é mantida em um anel fixo, enquanto que em (B) o anel é flutuante.

A ABNT (1990) ainda destaca outros cuidados, como a necessidade de se manter a umidade natural em ensaios onde as amostras não são inundadas, utilizando-se de plástico borracha ou mesmo algodão umedecido.

Figura 22 Célula de adensamento de anel fixo (a) e anel flutuante (b)



(A)



(B)

Fonte: ABNT (1990)

A principal diferença deste ensaio é que ele é realizado com uma única amostra, mantida nas mesmas condições de umidade (natural ou inundada) no decorrer da aplicação das cargas. Outra diferença reside no fato de que as cargas são aplicadas progressivamente até um determinado valor e em seguida procede-se com o descarregamento, sendo dispensável esta última etapa para a determinação do colapso.

Ao comparar o ensaio edométrico simples com o de duplo anel, Souza Neto (2004) conclui que:

Os ensaios duplos permitem determinar as deformações de colapso para qualquer nível de tensão. Por outro lado, sua interpretação pode ser

afetada em solos heterogêneos, com grandes variações nos índices de vazios.

Para determinar se um solo apresenta características colapsíveis os ensaios edométricos simples são suficientes. Porém, para analisar os solos de uma área, é necessária a utilização de um mapa geotécnico associado a um banco de dados de parâmetros relacionados a colapsibilidade, sendo gerenciado por um sistema de informações geográficas.

2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

De acordo com Brito e Rosa (1996), o desenvolvimento dos SIG's teve início na década de 60, onde se destaca que:

O primeiro sistema a reunir as características de um SIG foi implementado no Canadá, em meados de 1964, sendo chamado de *Canadian Geographic Information System*. Em seguida, foram desenvolvidos outros sistemas. Dentre eles destacam-se os sistemas de *New York Landuse and Natural Resources Information Systems* (1967) e *Minnesota Land Management Information System* (1969). Nas décadas posteriores ocorreram consideráveis avanços em equipamentos e *software*, permitindo o desenvolvimento de sistemas mais potentes e novas aplicações, popularizando principalmente os CAD's (Computer Aided Design), cujos objetivos são diferentes dos SIG's. No começo da década de 80, a evolução da tecnologia foi afetada pelos avanços em hardware e software, com o uso mais efetivo na manipulação das informações geográficas, bem como a ligação entre a base de dados gráfica e alfanumérica.

Os Sistemas de Informações Geográficas consistem em softwares baseados no uso de dados georreferenciados, que significa na prática que o dado deve estar atrelado a uma rede geográfica. Estes sistemas integram informações espaciais e não espaciais, garantindo sua aplicação a diversas áreas que vão das geociências e engenharias englobando também as áreas de política e saúde. A seguir são citadas algumas definições de SIG:

Um SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre. Portanto, o sistema de informação geográfica é uma particularidade do sistema de informação no sentido amplo. Essa tecnologia automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes (BRITO e ROSA, 1996).

Sistemas de Informação Geográfica, são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (ARONOPH, 1989 e BULL, 1994, APUD CÂMARA ET AL., 1996).

O SIG é uma ferramenta que oferece a possibilidade de integrar os dados de diferentes fontes e tipos, assim como sua manipulação. As operações de análise espacial e a possibilidade de visualização dos dados em qualquer tempo, durante todo o processo, fizeram do SIG um poderoso aliado tanto para a análises espaciais como para tomada de decisões (LOCH, 2006).

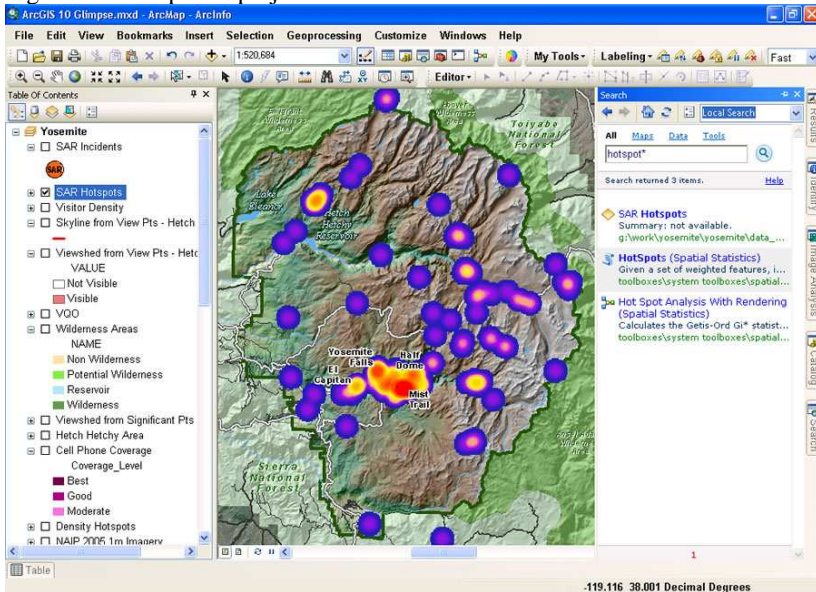
As ferramentas de um SIG são aplicáveis às mais diversas áreas da engenharia como planejamento urbano, planos diretores, análises ambientais, saneamento, implantação de estradas e PCH's, bem como em estudos sociais e epidemiológicos.

2.3.1 Dados de um SIG

A maioria dos SIG's opera com dados vetoriais e matriciais, sendo que é permitida a transformação entre ambos. Algumas das ferramentas ou processos de análises são aplicáveis a apenas um dos formatos de dados. A figura 23 mostra um exemplo de projeto criado no software de SIG ArcGis, onde dados do tipo vetorial, matricial e TIN

(*Triangular Irregular Network*), se fundem para gerar um mapa temático.

Figura 23 Exemplo de projeto no ArcGIS 10



Fonte: Esri (2010).

2.3.2 Dados vetoriais

Os dados vetoriais apresentam-se na forma de ponto, linha ou polígono. O formato de arquivo mais comum entre os diversos SIG's existentes no mercado é o *shapefile*, porém os diversos softwares disponíveis apresentam também outros formatos que podem ser mais “leves”, possibilitando uma maior agilidade no processamento de dados ou ainda que contenham funções diferenciadas.

Os SIG's, em geral, não permitem que um único arquivo vetorial seja composto por mais de uma forma geométrica (ponto, linha e polígono), no entanto, um mapa pode ser composto pela sobreposição de uma série de *layers* de informações geográficas variadas.

Os dados vetoriais são muito utilizados em estudos de engenharia. A seguir são listados exemplos da aplicação de cada elemento geométrico:

Pontos: como representa apenas a localização de uma informação, pode ser usado para identificar, furos de sondagens, a presença de mobiliários urbanos, pontos cotados e locais de coleta de amostras.

Linhas: como trazem além da localização o comprimento, são muito usadas para representar curvas de nível e falhas geológicas. Também são usadas na representação de redes, como as de distribuição de água, energia elétrica, telefone, sistema de trânsito, tratamento de esgoto sanitário e malha hidrográfica.

Polígonos: contém informações de localização, perímetro e área, normalmente usados para delimitar territórios como cidades e estados, também são usados para definir unidades geotécnicas, uso do solo, zoneamento urbano e pedologia.

Outra característica comum aos elementos vetoriais é a presença da tabela de atributos, onde cada elemento gerado, seja ele ponto, linha ou polígono corresponde a uma linha da tabela. Esta ferramenta permite ao usuário gerar uma série de colunas, onde são apresentadas as mais diversas características dos inúmeros elementos de um arquivo vetorial.

2.3.3 Dados matriciais

Os dados matriciais, ou imagens raster, muitas vezes representam imagens de satélite ou aerofotogramétricas. De acordo com Miranda (2005), este tipo de dado assemelha-se a um tabuleiro de xadrez ou algo como uma grade regular de células. Esta grade é considerada regular por que impõem limites precisos, onde cada célula possui as mesmas dimensões e forma geométrica.

Os dados matriciais se assemelham às fotos e imagens digitais em geral, sendo que quanto maior a quantidade de pontos ou quadrículas de mesma dimensão, maior a resolução, portanto, maior a definição ou qualidade da imagem. Por se tratar de imagens de grandes dimensões, o usual é avaliar o tamanho do pixel ou quadrícula, diferente de imagens de um modo geral onde se avalia a unidade em megapixels por polegada quadrada. Como exemplo prático a esta aplicação, um pixel de 60 x 60cm representa uma imagem de boa qualidade, sendo fácil a identificação de mobiliários urbanos como postes e pontos de ônibus, por exemplo.

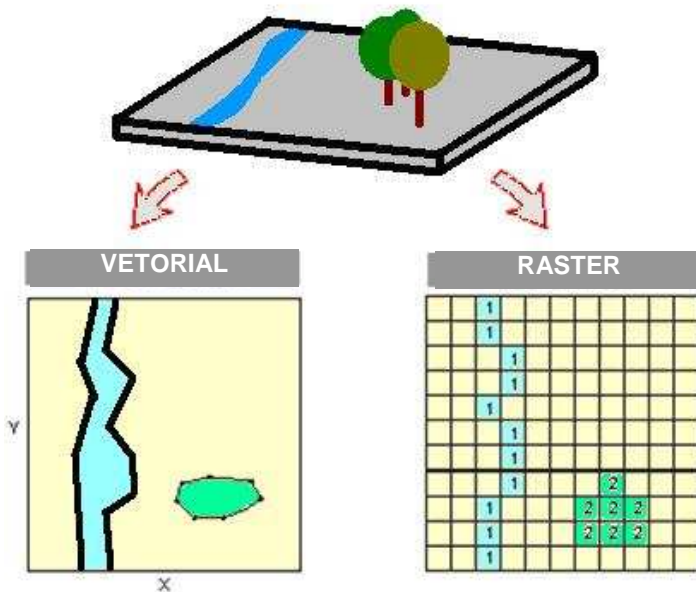
Quando destinado à representação de fenômenos levantados em campo ou por qualquer outra forma que não a captura de imagem, deve-se ter em mente que quanto maior a confiabilidade do levantamento menor deve ser o tamanho do pixel. Dificilmente um dado da superfície

terrestre será levantado a cada metro quadrado, desaconselhando-se o uso de pixels menores.

Por representar a superfície ponto a ponto, via de regra, os arquivos em formato matricial resultam em arquivos maiores. Isso por que quando convertido para o formato vetorial, cada pixel de igual valor será unificado formando um mesmo polígono.

A figura 24 traz um comparativo entre os dois métodos de representação matricial e vetorial.

Figura 24 Comparação entre dados vetoriais e matriciais.



Fonte: Novita (2012).

2.3.4 Rede Triangular Irregular

A Rede Triangular Irregular ou TIN (*Triangular Irregular Network*), não é simplesmente um dado do tipo vetorial ou matricial. Este tipo de dado é comumente usado para representar a topografia do terreno, mas também pode ser usado para representar a variação de som ou temperatura, bem como qualquer outro tipo de fenômeno análogo a estes.

Felgueiras e Câmara (2001) a definem como “uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre”.

Quanto a sua representação, Câmara e Monteiro (2001) abordam que os modelos numéricos de terreno podem ser armazenados em grades regulares (representação matricial), grades triangulares (representação vetorial com topologia arco-nó) ou isolinhas (representação vetorial sem topologia).

2.4 EVOLUÇÃO URBANA

Devido ao fato de que este estudo visa dar subsídios ao ordenamento da ocupação do solo, visto que, pretende-se orientar a inserção de novas obras em solos caracterizados como potencialmente colapsáveis, portanto faz-se necessário um estudo a respeito da evolução urbana.

Para analisar a dinâmica da ocupação urbana é necessário determinar a mancha urbana normalmente com base em imagens, de cenários distintos para uma mesma área de estudos. De acordo com Higashi (2006), quando não existirem estas imagens, pode-se simular a mancha urbana em ambiente SIG, tomando-se como base os mapas de ruas, quadras e lotes de qualquer levantamento cadastral da área.

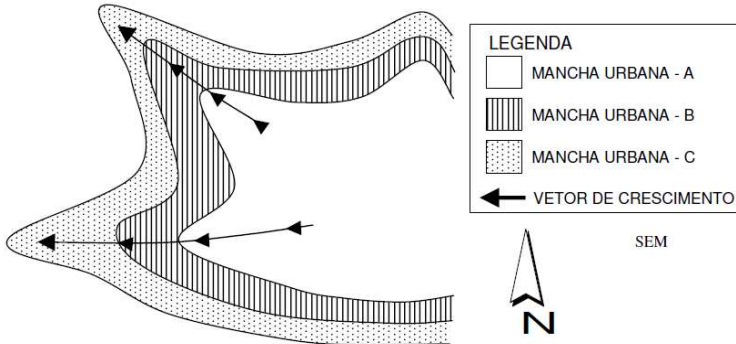
A análise da evolução urbana além de dar um aspecto geral do uso e ocupação do solo e sua alteração ao longo dos anos, também permite prever modificações futuras na mancha urbana, sendo o método mais utilizado para tal é a estimativa dos vetores de crescimento urbano.

2.4.1 Vetores de Crescimento Urbano

Depois de identificada a mancha urbana para diversos cenários, é importante verificar qual a tendência da direção do crescimento urbano. Em alguns casos pode ocorrer apenas uma densificação, caracterizada pelo preenchimento de vazios urbanos. Ocorre que, na maioria das vezes, este crescimento pode ser caracterizado por meio de vetores de crescimento urbano, indicando a direção que a mancha urbana poderá tomar.

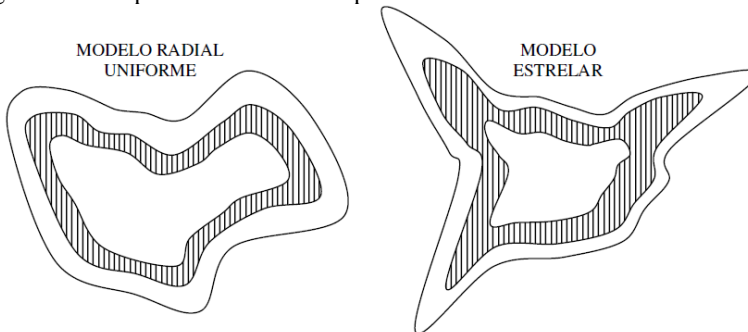
Os vetores são traçados nos principais pontos de expansão conforme a figura 25. De acordo com Higashi (2006), a comparação entre as manchas urbanas, pode assumir vários formatos, sendo mais comum o estrelar e o radial uniforme. A figura 26 apresenta estes dois formatos.

Figura 25 Vetor de crescimento



Fonte: Higashi (2006)

Figura 26 Exemplos de formato da expansão urbana



Fonte: Higashi (2006)

A principal vantagem da previsão da ocupação do solo é a possibilidade da intensificação de ensaios geotécnicos de campo e laboratório nas áreas que apresentam potencial de ocupação. Esta vantagem resulta em um melhor entendimento destas áreas de interesse pela concentração de estudos (HIGASHI, 2006).

2.5 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

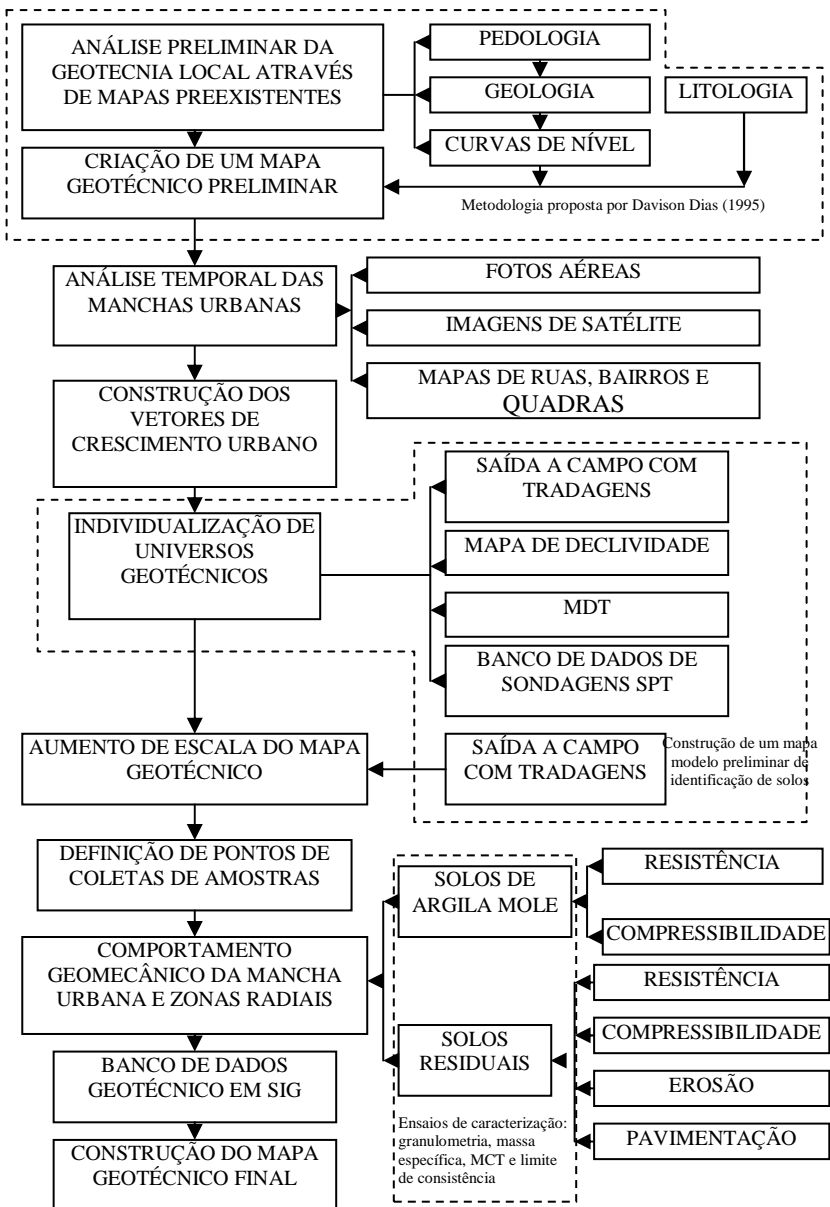
O mapeamento geotécnico pode ser utilizado como subsídio ao ordenamento do solo urbano ou rural, e pode ser definido de diversas formas:

Pode ser descrito como o processo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico, bem como os possíveis comportamentos frente às diferentes formas de uso do solo, processos naturais e induzidos. Ele considera o meio físico, com o objetivo de avaliar limitações e potenciais. Assim, o mapeamento geotécnico caracteriza-se por ser um campo de interfaces das diversas áreas de conhecimento e as informações geotécnicas. A eficiência e a adequabilidade dos resultados obtidos a partir do mapeamento geotécnico dependem da metodologia adotada (ZUQUETTE, 2004).

O mapeamento geotécnico pode ser definido como uma metodologia, em que sob forma de um mapa são representadas as principais características geomecânicas do solo, podendo ser utilizado na previsão do comportamento de polígonos de solos chamados de unidades geotécnicas, o que possibilita a sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia (HIGASHI, 2006).

Para a elaboração de um mapeamento geotécnico preliminar é importante reunir cartas de hidrologia, altimetria, divisão política, declividade, e em especial os mapas pedológico e geológico. A partir destes dados, são realizadas as visitas a campo, baseando-se na declividade do terreno para que se possa identificar melhor a delimitação entre os diversos tipos de solos existentes. Estas etapas resultam em um mapeamento geotécnico de melhor escala, que possibilita a definição de pontos de coletas de amostras para análise do comportamento mecânico dos solos. Para Higashi (2006), baseado em Davison Dias (1987), estas etapas seguem o diagrama da figura 27.

Figura 27 Diagrama da metodologia de desenvolvimento do mapeamento geotécnico para cidades costeiras.



Fonte: Higashi (2006).

2.5.1 Metodologia Davison Dias (1987)

A metodologia de Davison Dias (1987) foi desenvolvida para atender especialmente os solos brasileiros, ela adota as seguintes etapas de investigação:

- a) Utilização dos levantamentos pedológicos, topográficos e geológicos na previsão dos solos (...) estimando as unidades geotécnicas (Estudo Preliminar).
- b) Investigação, através de sondagens a trado, dos diversos perfis de solos, verificando se estão de acordo com o item a (Investigação de Campo).
- c) Identificação de unidades e horizontes de solos similares, através das características morfológicas obtidas nos itens a e b.
- d) Retirada de amostras de locais típicos de cada unidade de solo, para a realização de ensaios que determinam o comportamento mecânico e hidráulico destes solos (DAVISON DIAS, 1987).

Segundo tal metodologia, o mapeamento preliminar baseia-se especialmente na interpretação da associação entre o mapa pedológico e o mapa litológico. Além disso, os mapas topográficos ainda ajudam a estabelecer zonas de variação pedológica. Para o mapeamento preliminar a metodologia prevê as seguintes etapas:

- a) Pesquisa dos levantamentos de solos existentes na região (...). Estes podem ser os desenvolvidos pela EMBRAPA, ou pelo Projeto RADAM, entre outros.
- b) Locação (...) no mapa pedológico.
- c) Verificação das unidades de mapeamento descritas nos levantamentos e suas respectivas classificações pedológicas. Observações das inclusões que podem ocorrer na unidade.
- d) Análise dos perfis típicos descritos nos levantamentos, estimando as características geotécnicas das camadas solicitadas.
- e) Verificação da geologia nos mapas geológicos. Comparação com a descrita nos levantamentos pedológicos.

f) Análise dos mapas topográficos ou perfis topográficos existentes, com o objetivo de limitar as unidades pedológicas (DAVISON DIAS, 1987).

Após a realização do mapeamento preliminar, são feitas as visitas a campo, onde são determinados por meio de ensaios de laboratório e de campo, os parâmetros geotécnicos de cada uma das unidades presentes na área de estudo.

De acordo com esta metodologia, para nomear cada unidade geotécnica é necessário unir a classificação geológico à pedológico, resultando numa sigla composta por letras maiúsculas (geologia) e a letras minúsculas (pedologia). Dentre os solos encontrados no sul do Brasil, a tabela 7 apresenta a simbologia adotada para a geologia enquanto que a tabela 8 apresenta a pedologia.

Tabela 7 Simbologia simplificada das classes pedológicas

Simbologia	Classificação
A	Aluviais
AQ	Areias Quartzosa
B	Brunizém
BV	Brunizém Vértico
C	Cambissolo
CB	Cambissolo Bruno
GH	Glei
HO	Solo Orgânico
LA	Latossolo Amarelo R Litólico
LB	Latossolo Bruno
LBC	Latossolo Bruno Câmbico
LBR	Latossolo Bruno-Roxo
LE	Latossolo Vermelho-Escuro
LR	Latossolo Roxo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo
P	Podzóis Indiscriminados
PB	Podzólico Bruno-Acinzentado
PE	Podzólico Vermelho-Escuro
PL	Planossolo

PLP	Planossolo Plúntico
PLV	Planossolo Vértico
PT	Plintossolo
PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
TB	Terra Bruna-Estruturada
TBR	Terra Bruna-Roxa
TBV	Terra Bruna Podzólica
TR	Terra Roxa Estruturada
V	Vertissolo

Fonte: Davison Dias, 2001

Tabela 8 Geologia simplificada

Simbologia	Classificação
a	Arenito
ag	Argilito
an	Andesito
ar	Ardósia
b	Basalto
br	Brecha
c	Conglomerado
ca	Calcáreo
cm	Complexo metamórfico(*)
cr	Carvão
d	Diorito
da	Dacito
f	Folhelho
g	Granito
gd	Granitóide
gl	Granulito
gn	Gnaisse
ma	Mármore
p	Pelito
q	Quartzito
r	Riolito
s	Siltito

si	Sienito
sq	Sedimentos quaternários
st	Sedimentos terciários
x	Xisto

Fonte: Davison Dias, 2001

2.5.2 Declividade do terreno

Em pesquisas eu envolvam técnicas de mapeamento geotécnico é importante determinar a declividade do terreno, uma vez que a formação dos solos está intimamente ligada a uma sequência topográfica. Além disso, tendo como base uma maior resolução da declividade, é possível melhorar a escala dos mapas de solos, facilitando assim a delimitação mais exata dos polígonos que formam as unidades geotécnicas, especialmente quando se trata da delimitação entre solos residuais e sedimentares.

A declividade do terreno resulta do percentual entre altura e a profundidade da base de uma determinada “rampa”. Para a aplicação em solos a EMBRAPA (2007) classifica as inclinações como:

Plano: superfície de topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 3%;

Suave ondulado: superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjuntos de colinas (elevações de altitudes relativas até 100 m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis entre 3 e 8%;

Ondulado: superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%;

Forte ondulado: superfície de topografia pouco movimentada, formada por morros (elevações de 100 a 200 m de altitudes relativas) e, raramente, colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%;

Montanhoso: superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas usualmente constituída por morros, montanhas e maciços montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes

(superiores a 200 metros) e declives fortes ou muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%;

Escarpado: Superfícies muito íngremes, com vertentes de declives muito fortes, que ultrapassam 75%.

2.5.3 Mapeamento de susceptibilidade ao colapso

O mapeamento de unidades que indique o comportamento mecânico associado ao colapso é muito importante, sobretudo para a execução de obras civis. Lollo (2012) aborda que para a elaboração de cartas de risco ao colapso dos solos, de um modo geral, seguem-se as mesmas etapas comuns a outras cartografias de risco. Para tanto, faz-se a caracterização dos materiais e do fenômeno para que se estabeleça o grau de susceptibilidade natural para ocorrência de recalques por colapso.

São poucos os estudos de delimitação de áreas de risco desenvolvidos tanto no Brasil quanto no mundo. Provavelmente, um dos trabalhos mais antigos foi desenvolvido nos Estados Unidos por Russell e Rollins (1990) e Willians e Rollins (1991).

O primeiro estudo está relacionado à área próxima das montanhas na cidade de *Nephi* denominada de *Southern Wasatch Front*. O estudo parte do princípio que a ocorrência de solos potencialmente colapsíveis está ligada a presença de leques aluviais conforme estudado por Bull (1964). O solo foi classificado de acordo com o potencial de colapso em muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. Para tanto foram tomados como base as seguintes características:

Muito baixo:

- Contém áreas com lençol freático alto
- Inclui a maioria dos depósitos do Lago Bonneville onde a área não está suscetível a entrar em colapso
- Áreas com declives muito baixos (0 a 5%) e sujeitos a inundações anteriores
- Outras áreas onde há xisto e formações de base rochosa.

Baixo:

- Predominância de leques muito grosseiros (maioria composta de pedras e pedregulhos)
- Drenagem de fluxo constante
- Baixa inclinação (5 a 10%)

– Anteriormente irrigada

Moderado:

- Leques com depósitos mistos de material fino e grosseiro
- Drenagem fluxo intermitente ou efêmero
- Inclinação moderada (5 a 15%)
- Lençol freático com profundidade superior a 10pés (3,0480m).
- Correlacionados com áreas semelhantes de colapso conhecido

Alto:

- Leques com predominância de grãos finos
- Colúvio / aluvião proveniente de xisto de cânions ou Arapien ou transportados de silte, areia e argila provenientes do Lago de Bonneville
- Drenagem fluxo efêmero
- Lençol freático com profundidades entre 10 e 15pés (3,0480 e 4.5720m)
- Alto gradiente (10 a 30%)
- Conhecer as áreas de colapso

Muito alto:

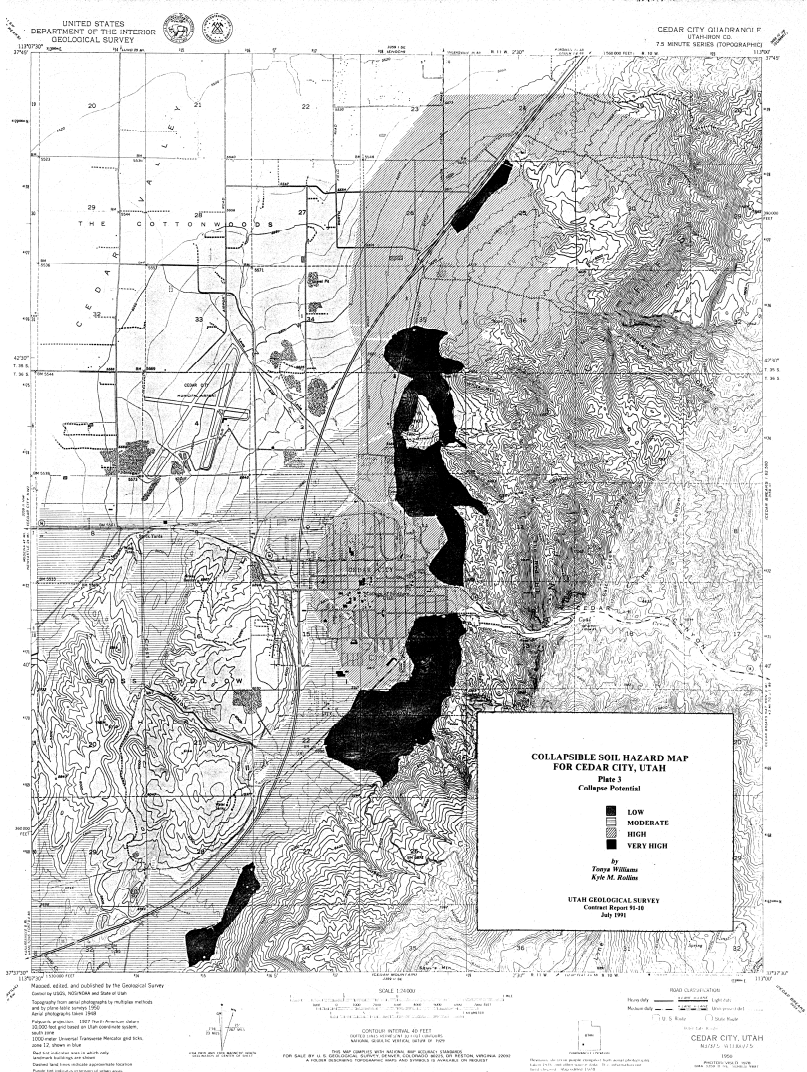
- Leques com predominância de grãos finos
- Drenagem fluxo efêmero
- Lençol freático com profundidade superior a 15pés (4.5720m)
- Áreas com problemas conhecidos

(RUSSELL E ROLLINS, 1990).

Russell e Rollins (1990) realizaram ensaios com amostras indeformadas, seguindo a metodologia proposta por Jennings e Knight (1975) onde o valor de potencial de colapso era dividido em: sem problemas (0 a 1%), problema moderado (1 a 5%), problemático (5 a 10%), problemas severos (10 a 20%) e problemas muito severos (maior que 20%).

O estudo de Willians e Rollins (1991) por sua vez, teve como área de estudos a cidade de Cedar City – Utah impulsionado por uma série de acidentes ligados ao colapso dos solos. Seguindo a mesma metodologia do estudo anterior, obteve-se como produto deste estudo o mapa da figura 28 onde estão delimitadas as áreas de previsão de risco ao colapso classificadas em: baixo, moderado, alto e muito alto.

Figura 28 Mapa de áreas de risco em Cedar City - EUA



Fonte: Williams e Rollins (1991).

Lollo (2012) cita o estudo desenvolvido por Jefferson et al. (2002), que apresenta um comparativo do comportamento de materiais denominados loéssicos identificados na Grã-Bretanha e na Bulgária. Esses materiais foram caracterizados de acordo com sua natureza, distribuição e controle geomorfológico.

Lollo (2002) aborda que Gaos (2002), estudou um solo denominado *Plateau Loéssico*, que apresenta comportamento predominantemente colapsível e gerou um mapa com os pontos de ocorrência deste solo no território Chinês. Neste mapa os solos foram classificados em alta, média e baixa susceptibilidade ao colapso ou como não suscetíveis, este mapa não apresentou delimitação de áreas.

No Brasil, um dos trabalhos mais antigos foi desenvolvido por Cardoso e Carvalho (1995) em alguns solos tropicais na cidade de Brasília. Nos solos denominados como Mud Flow, Solo Residual Laterítico, Solo Saprolítico e Solo Coluvionar, foram realizados ensaios edométricos simples com amostras indeformadas. Ainda foram realizados ensaios químico-mineralógico dos solos e estudo micromorfológico dos solos.

Ainda no Brasil, destaca-se o trabalho desenvolvido em Ilha Solteira - SP por Oliveira e Lollo (2002). O estudo se deu através de entrevistas junto à população, sendo que foram identificadas 177 edificações residenciais com evidências de processo de colapso. Para cada uma dessas edificações foi preenchido um formulário com a caracterização dos danos.

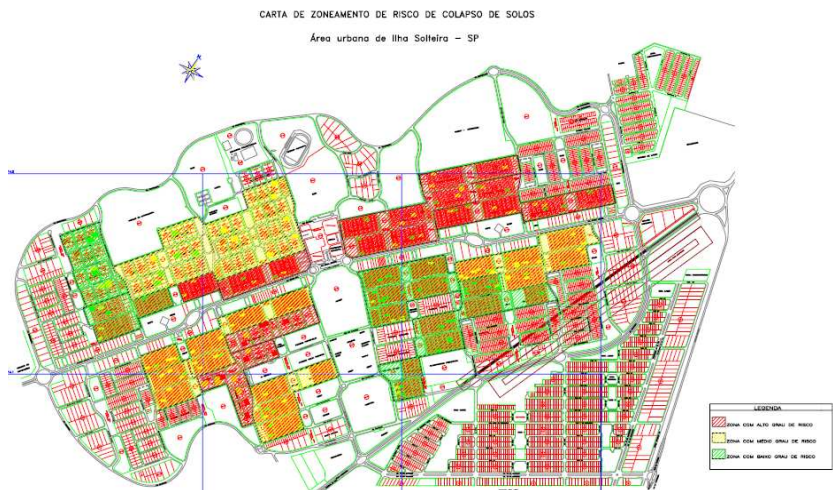
Para a geração da carta de susceptibilidade os danos foram classificados com base em cálculos baseados no grau de desenvolvimento das trincas e o custo da obra de recuperação dos danos causados pelo colapso. Estes valores foram identificados no mapa e classificados em alto médio e baixo risco (figura 29). Em seguida, a área de estudos foi dividida em zonas de igual classificação conforme pode ser observado na figura 30.

Figura 29 Carta de Cadastramento de Risco de Colapso de Solos em Ilha Solteira - SP



Fonte: Oliveira e Lollo (2002).

Figura 30 Carta de Zoneamento de Risco em Ilha Solteira - SP

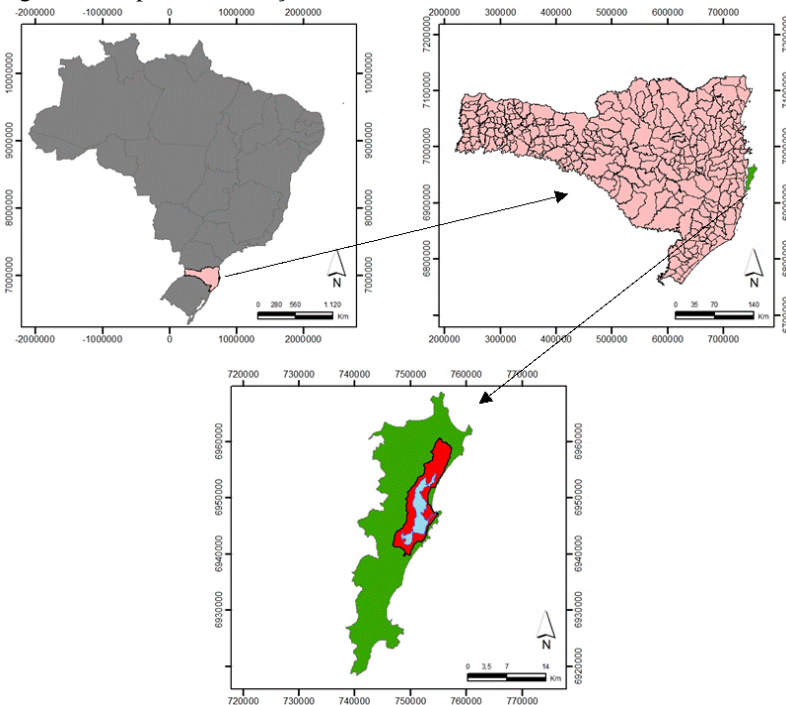


Fonte: Oliveira e Lollo (2002).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição está localizada na costa centro-leste da ilha de Santa Catarina, situada entre as paralelos 27° 27' 17" e 27° 38' 36" Latitude Sul e entre os meridianos de 48° 22' 30" e 48° 29' 54" de Longitude a Oeste de Greenwich, conforme carta base digitalizada pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF). Possui 96,21km² de área territorial e 116.78km² de área total, isto é, considerando a área da lagoa e do canal que faz a ligação com o mar (SILVA, 2002).

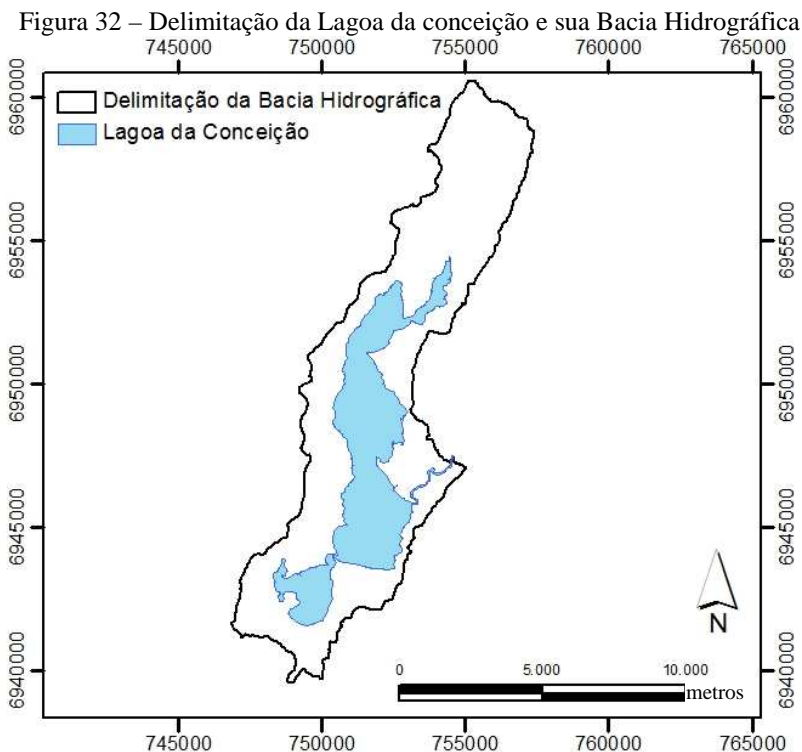
Figura 31 Mapa de localização



Fonte: Adaptado de Júnior (2013) e IBGE (2007/2014).

Godoy (2009) ao estudar a Bacia Hidrográfica da Lagoa da conceição, obteve uma área de drenagem total de 78,13km², e a partir destes dados, Odreski (2012) realizou algumas adaptações chegando a uma área de 77,33km². Ambos tiveram como base a malha planialtimétrica do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

(IPUF). Destaca-se que estes valores incluem também a área da Lagoa da Conceição, o que evidencia uma diferença significativa entre estes dados e os apresentados por Silva (2002). Esta diferença deve-se, em parte, ao fato de que os novos valores foram obtidos de malhas com melhor escala e intervalo de curvas menores (anterior 25m e atual 1m). A figura 32 apresenta a delimitação da Bacia Hidrográfica e da Lagoa da Conceição.



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central: -51,0000

Latitude de origem: 0,0000

Unidades: metros

Fonte: Adaptado de LaHiMar (2012).

3.1 CLIMA

O clima da região é subtropical, com verão e inverno bem definidos como em toda a região sul do Brasil. De acordo com Odreski (2012), para a classificação de Köppen, o clima é do tipo Mesotérmico

Úmido de zona intermediária subtropical A tabela 9 apresenta as principais características climatológicas para a cidade de Florianópolis.

Tabela 9 Características climáticas de Florianópolis

Mês	Temperatura °C			Precipitação (mm)		Dias de chuva	Umidade relat. (%)	Ventos	
	méd.	máx.	min.	total	máx. em 24h			Veloc (m/s)	Direção pred.
Jan	24.5	38.2	10	196.7	56.8	14.8	80.9	3.5	N
Fev	24.6	38.8	14.8	186.7	58.8	14.6	81.5	3.6	N
Mar	24.1	36.9	10.2	170	52.8	14.2	81.7	3.4	N
Abr	21.8	35.4	7.7	128.8	40.2	11.2	81.6	3.1	N
Mai	19.4	33.5	3.3	107.2	46.5	8.9	82.4	2.8	N
Jun	17.4	32	1.7	85.2	29.5	8.4	83.3	2.9	N
Jul	16.3	32.7	1.4	82.6	30	8.8	83.1	3.1	N
Ago	16.8	35	1.3	94.3	32	9.1	82.5	3.6	N
Set	17.8	32.9	4.9	117.1	37.6	11.6	82.8	3.8	N
Out	19.4	32.5	7.8	132.4	39.6	12.8	81.4	4.1	N
Nov	21.2	37.5	9.4	131.8	46.5	12.5	79.6	4.2	N
Dez	23	38.2	12.5	141.9	46.3	13.1	79.5	4	N

Fonte: EPAGRI (2007) apud Odreski (2012).

3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Godoy (2007), a partir de uma imagem aerofotogramétrica de 2004, realizou um estudo quanto ao uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, que foi em seguida atualizado para a delimitação de Godoy (2009), resultando nos valores apresentados na tabela 10. Para esta classificação foi tomado como base o estabelecido por Godoy (2007):

Vegetação Arbórea: corresponde à cobertura vegetal natural ou reflorestada de porte arbóreo .

Pastagens ou áreas de vegetação suprimida: áreas onde ocorre a supressão da vegetação natural coberta por vegetação herbácea gramínea, cultivo ou solo exposto.

Áreas Urbanas: refere-se à parte da superfície em que estão presentes edificações como vilas, bairros e outras áreas com construções isoladas das concentrações urbanas.

Dunas Descobertas: área de dunas sem cobertura vegetal.

Dunas Cobertas por Vegetação: área de dunas recobertas por vegetação natural de porte arbóreo arbustivo.

Massas d'água: constituem os reservatórios de água naturais como a laguna e o seu canal de ligação com o oceano.

Praias: região costeira com areia e, em alguns casos, coberta com vegetação de restinga.

Sem Classe: são áreas onde não foi possível nenhuma identificação, por falta de fotografias ou por cobertura de nuvens.

Tabela 10 Uso e ocupação do solo

Classe	Área	
	Km ²	%
Vegetação arbórea	32,80	41,98
Água	20,68	26,47
Área urbana	11,91	15,24
Vegetação rasteira	7,47	9,56
Vegetação dunas	2,47	3,16
Duna descoberta	1,06	1,35
Vias	0,68	0,87
Vegetação lagunar	0,18	0,22
Sem classificação	0,89	1,14
TOTAL	78,13	100

Fonte: Godoy (2009).

Observa-se aqui que a vegetação arbórea é o uso predominante dentro desta bacia, seguido pela porção de água e pela área urbana. É usual que se despreze a porção da água quando se visa analisar o uso e a ocupação do solo, neste caso, a vegetação arbórea resultaria em 57,08% enquanto que a área urbana cobriria 20,73%.

3.3 EVOLUÇÃO URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO

Por se tratar de uma área localizada próxima às praias e pela presença de pontos turísticos, como é o caso da própria Lagoa da Conceição, que propicia uma vista paradisíaca, é o ambiente ideal para a prática de esportes aquáticos e ao ar livre. Outro fator que

influencia na organização urbana destas áreas é a pesca, sendo que muitas áreas foram inicialmente habitadas por pescadores.

Como o turismo é a principal ferramenta de alteração na mancha urbana desta área e que entre os meses de dezembro e fevereiro há um aumento cada vez maior no número de pessoas em todo o território da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição. Para atender esta elevada demanda, a tendência é que cada vez mais sejam inseridas edificações de forma a alterar a mancha urbana.

Odreski (2007) ao analisar o uso e ocupação do solo observou mancha urbana teve um incremento de 14% entre os anos de 1998 e 2004.

3.4 UNIDADES GEOTÉCNICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO

Destacam-se dois estudos de mapeamento geotécnico de Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, o primeiro deles foi realizado por Santos (1997) abrangendo toda a ilha de Santa Catarina, caracterizando cada uma de suas unidades. Um segundo trabalho com base na pesquisa de Santos (1997) foi desenvolvido por Duarte (1999). Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de melhorar a escala do mapeamento anterior, porém, a área de estudos restringiu-se somente à porção sul desta bacia hidrográfica e foi restrito apenas a ações de geoprocessamento.

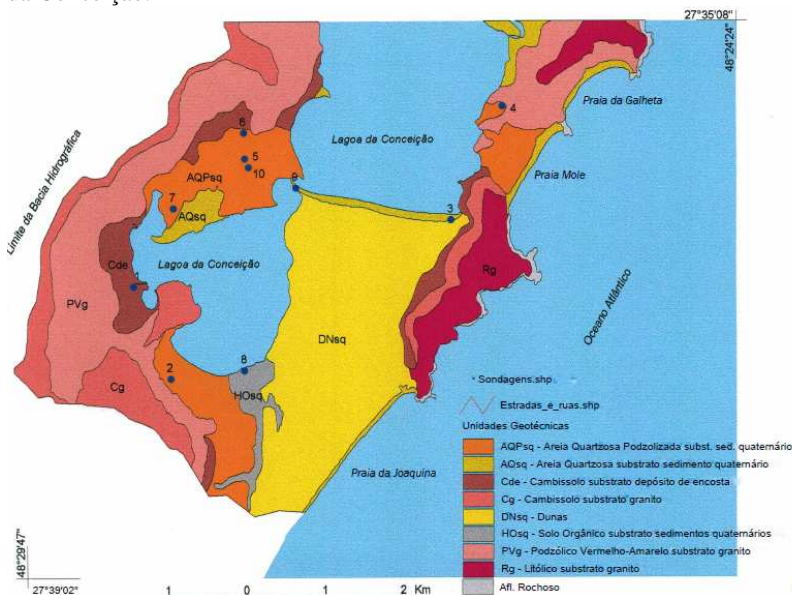
O estudo realizado por Duarte (1999) definiu os percentuais de área para cada uma das unidades geotécnicas, apresentados na figura 33, conforme tabela 11. No que se refere às unidades geotécnicas a autora as descreve como:

Litólico substrato granito (Rg): são solos jovens, com perfis pouco desenvolvidos, caracterizados pela inexistência do horizonte B, apresentando-se com os horizontes A, C e R ou ainda pelo horizonte A diretamente sobre a rocha, em geral estão associados a afloramentos rochosos. Encontram-se nos topos de morros e encostas, pois se desenvolvem em relevos ondulados a escarpados (DUARTE, 1999).

Cambissolo substrato granito (Cg): apresenta horizonte B incipiente e com minerais da rocha de origem pouco intemperizados, localiza-se próximo a topo de morros, em relevo acidentado. Este Cambissolo representa a transição entre os Litólicos e Podzólicos. Em locais onde há menor declividade, pode se apresentar com horizontes A e B incipientes e C (DUARTE, 1999).

Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito (PVg): muito semelhante aos Cambissolos de substrato Granito, diferenciando-se especialmente por apresentar o horizonte B mais evoluído e ocorrência em áreas de declividade menor. Seu horizonte B apresenta textura argilosa com cores vermelhas a amarelas, que difere do horizonte A (mais escuro devido a matéria orgânica) e do horizonte C (que ainda guarda a estrutura da rocha, mas apresenta características mecânicas de solo) (DUARTE, 1999).

Figura 33 Mapeamento Geotécnico Porção Sul da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.



Fonte: Duarte (1999).

A unidade PVg encontra-se à meia encosta, seus perfis típicos são formados pelos horizontes A, B, BC, RA e R, porém nem sempre todos estão presentes. Os horizontes A e B possuem pequena espessura, sendo o horizonte B mais argiloso. O horizonte BC é mais claro, menos plástico e menos coeso que o B. O horizonte C é saprolítico, apresentando composição mineral e textura de granito. Apresenta-se em geral como erodível, de fácil escavação e nos cortes é o horizonte que mais apresenta instabilizações (DUARTE, 1999).

Tabela 11 Áreas das unidades geotécnicas

Unidades Geotécnicas	Área (%)
Rg –Litólico de substrato granito	5,3
PVg – Podzólico Vermelho-Amarelos de substrato granito	17,9
Cg – Cambissolo de substrato granito	9,0
Cde – Cambissolo, depósito de encosta	4,3
AQPsq – Areia Quartzosa Podzolizada de substrato	10
DNsq – Dunas de substrato sedimentos quaternários	19,6
AQsq – Areia Quartzosa de substrato sedimentos	3,3
HOsq – Solo Orgânico de substrato sedimentos	1,5
Afloramentos Rochosos	0,7
Superfície da Lagoa	28,4

Fonte: Duarte (1999).

Cambissolo substrato depósito de encosta (Cde): resultante da movimentação de solos que sedimentaram em cotas mais baixas. O seu comportamento depende do seu grau de desenvolvimento, sendo mais instáveis os colúvios mais recentes (DUARTE, 1999).

Na área da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, além das unidades geotécnicas abordadas por Duarte (1999), Santos (1997) identificou mais uma unidade, trata-se da associação entre o Podzol Hidromórfico +Areias Quartzosas Hidromórficas, substrato sedimentos quaternário (PZsq). Este solo apresenta horizonte B de cor ferrugínea, caracterizado principalmente por apresentar, profundidades variáveis, com acumulação de carbono orgânico, combinado a sesquióxidos livres principalmente de alumínio com ou sem ferro. O horizonte A é bastante espesso, com compostos iluviados. O horizonte A é pouco permeável enquanto que os demais são significativamente permeáveis. Precedendo o horizonte B pode ocorrer um horizonte E bastante claro (SANTOS, 1997).

Os ensaios de caracterização realizados por Santos (1997), nas unidades geotécnicas encontradas na área de estudos, estão presentes nas tabelas 12, 13 e 14. Observa-se que como o estudo desta autora foi realizado em toda a Ilha de Santa Catarina existe a probabilidade de o ponto de coleta das amostras não estar dentro da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, desta forma apenas a caracterização da unidade foi considerado.

Tabela 12 Granulometria

Horizonte	Prof.	Unidade	Argila	Silte	Areia			Pedregulho
					Fina	Média	Grossa	
B	0,65	PVgl	44	16	10	11	17	1
C	2	PVgl	17	23	16	21	22	1
B	4	PVgl	19	17	12	34	17	2
C	6	PVgl	28	13	13	20	24	2
B	1	PVgl	56	8	7	14	14	1
C	6	PVgl	17	36	6	15	23	3
C	5	PVgl	20	12	27	25	16	0
C	3	PVgl	14	9	20	34	20	3
C	3	PVgl	9	25	21	39	3	4
C	4	PVgl	11	27	22	29	11	0
B	3	Cde	25	15	18	27	13	2
C	1	AQsq	7	4	88	0	0	0
C	2,4	AQsq	10	2	86	1	0	0
B	2	AQsq	7	4	88	1	0	0
B	0,5	HOsq	17	35	45	2	1	0

Fonte: Santos (1997).

Tabela 13 Índices físicos

Hor	Prof.	Unidade	δ (g/cm ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	H(%)	γ_s (kN/m ³)	e
B	0,65	PVgl	2,66	18,00	23,0	14,63	0,818
C	2,00	PVgl	2,51	16,40	17,9	13,91	0,804
B	4,00	PVgl	2,60	20,10	14,0	17,63	0,469
C	6,00	PVgl	2,60	18,00	24,5	14,46	0,791
C	6,00	PVgl	2,62	19,20	24,9	15,37	0,704
C	2,00	Cde	2,71	18,1	24,4	14,5	0,863
C	1,00	AQsq	2,64	14,1	5,1	13,4	0,968
C	2,40	AQsq	2,65	15,3	8,9	14,0	0,886
B	2,00	AQsq	2,65	14,1	5,0	13,4	0,973

Fonte: Santos (1997).

Tabela 14 Limites Atterberg

Horizonte	Profundidade	Unidade	LL	LP	IP
B	0,65	PV _{gl}	46	35	11
C	2,00	PV _{gl}	38	33	5
B	4,00	PV _{gl}	48	23	25
C	6,00	PV _{gl}	43	37	6
B	1,00	PV _{gl}	99	50	49
C	6,00	PV _{gl}	72	43	29
C	5,00	PV _{gl}	34	22	12
C	3,00	PV _{gl}	27	22	5
C	3,00	PV _{gl}	38	31	7
C	6,00	PV _{gl}	42	23	19
C	4,00	PV _{gl}	NP	NP	NP
C	3,00	Cde	75	40	35
C	2,00	Cde	NP	NP	NP
C	1,00	AQsq	NP	NP	NP
C	2,40	AQsq	NP	NP	NP
B	2,00	AQsq	NP	NP	NP
B	0,50	HOsq	50	34	16

Fonte: Santos (1997).

Onde: LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; IP – índice de plasticidade; δ – massa específica dos grãos de sólido; γ_{nat} – peso específico aparente natural; γ_s – peso específico aparente seco; e – índice de vazios; w – umidade natural

3.5 AREIA QUARTZOSA PODZOLIZADA DE SUBSTRATO SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS

Este tipo de solo pode também ser definido como Areia Quartzosa, rampa de dissipação (AQrd). Santos (1997) os descreve como solos pouco desenvolvidos, com ocorrência de perfis excessivamente arenosos, com predominância de grãos de quartzo. São formados a partir de rochas sedimentares de granulação grosseira, ou materiais de origem não consolidados, como é o caso das dunas. Tem perfis com profundidade predominantemente superior a dois metros, estando o horizonte A diretamente acima do horizonte C.

Estes solos não apresentam mais de 15% de argila, além de serem excessivamente drenados, o que resulta na baixa capacidade de retenção de água e pequena acumulação de matéria orgânica. Eles ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano ou suave, ficando expostos

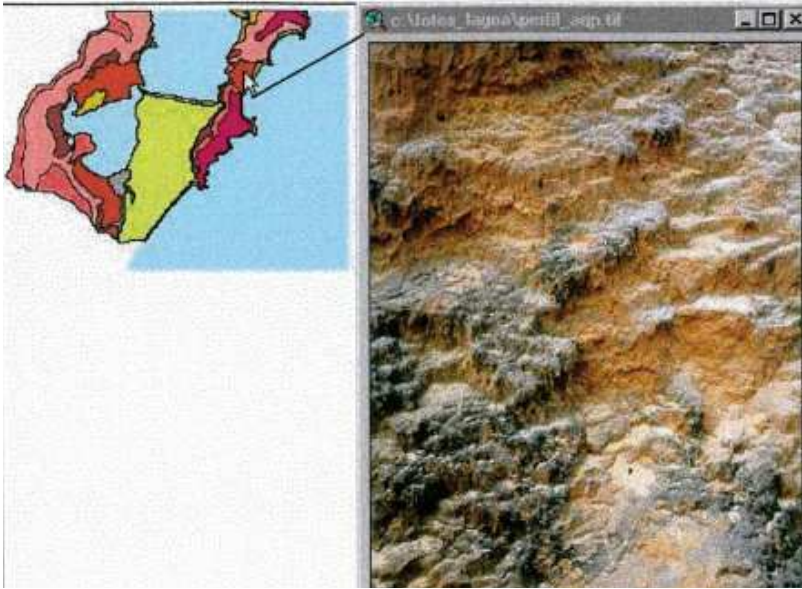
à erosão hídrica quando presentes em relevos mais acentuados (SANTOS, 1997).

Estas areias apresentam uma cor avermelhada pela distribuição de óxidos de ferro do Podzólico Vermelho-Amarelo dos morros de granito, por isso a designação rampas de dissipação (SANTOS, 1997). As figuras 34 e 35 apresentam exemplos de perfis de solos desta unidade estudados por Duarte (1999).

Paisani (2004) estudou um depósito desta areia presente na área próxima à Praia Mole. O autor discorre a respeito da formação das diversas camadas presentes nesse solo, concluindo que o significado paleoclimático das camadas de dissipação é pouco compreendido. Pressupõe-se que houve uma sedimentação eólica em períodos interglaciais, alternada por dissipação em períodos glaciais, o que não apresenta correspondência com o registro stratigráfico da área de estudo, cuja sedimentação eólica foi registrada tanto em períodos interglaciais quanto no último glacial, embora camadas de dissipação ocorram no período glacial. Outra conclusão deste estudo é que:

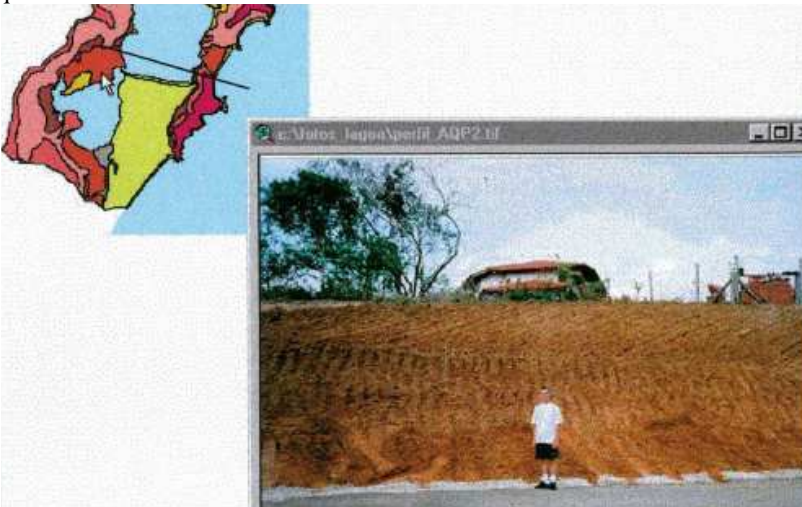
no geral, a rampa arenosa/dissipação deve ser considerada como unidade geomorfológica derivada do retrabalhamento de duna de cavalgamento e como ambiente sedimentar de articulação entre os sistemas deposicionais eólico e de encosta”. Destacando que “a duna de cavalgamento é aquela formada pela acumulação de areia em contato com o obstáculo.

Figura 34 Perfil típico de Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários



Fonte: Duarte (1999).

Figura 35 Perfil típico de Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários



Fonte: Duarte (1999).

3.5.1 Caracterização da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários

Os ensaios de caracterização executados por Santos (1997), realizados a partir de amostras coletadas nesta unidade são apresentados nas tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15 Granulometria Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários

Argila	Silte	Areia			Pedregulho
		Fina	Média	Grossa	
9	4	87	0	0	0

Fonte: Santos (1997).

Tabela 16 Limites de Atterberg - Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários

Profundidade	LL	LP	IP
1,00	NP	NP	NP
2,40	NP	NP	NP

Fonte: Santos (1997).

Tabela 17 Índices físicos da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários

Prof.	δ (g/cm ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	Sr (%)	γ_{sec} (kN/m ³)	e	n	Wsat (%)
1,00	2,66	17,0	11,0	15,3	0,737	0,424	39,7
2,40	2,66	17,7	11,9	15,8	0,682	0,405	46,4

Fonte: Santos (1997).

Onde: δ – massa específica dos grãos de sólido; γ_{nat} – peso específico aparente natural; w – teor de umidade natural; γ_s – peso específico aparente seco; e – índice de vazios; n – porosidade; Sr – grau de saturação.

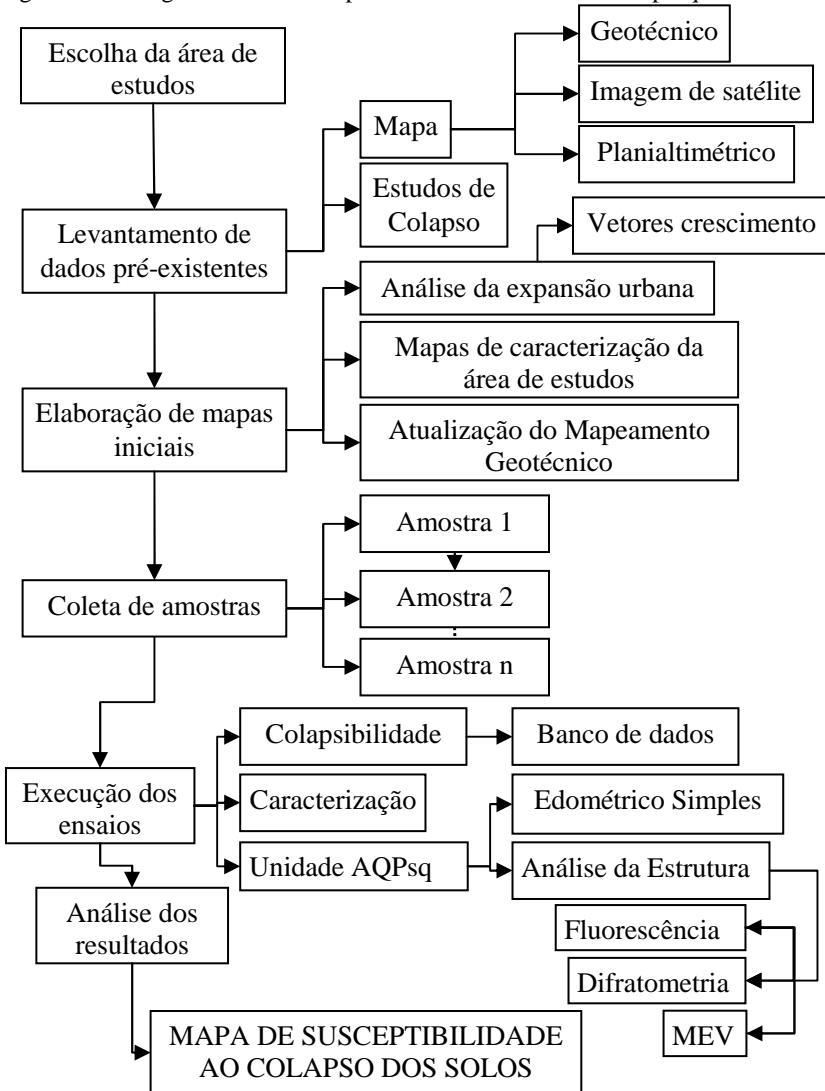
Este tipo de solo apresenta problemas de erodibilidade, sendo que quanto mais próximo de granitos é maior a proporção de óxidos de ferro menor a probabilidade de erosão (SANTOS, 1997).

Ainda de acordo com Santos (1997), os óxidos de ferro auxiliam na cimentação dos grãos de areia e proporcionam certo grau de estruturação. Desta forma, apesar de o agente cimentante ser descrito como óxidos de ferro, a autora baseia-se unicamente na coloração dos perfis para sustentar tal afirmação. Para tanto, este estudo tentará definir qual o elemento que gera as cimentações existentes neste solo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo destina-se a apresentar o método utilizado para o desenvolvimento deste estudo. As etapas seguiram o fluxograma (figura 36) e os itens abordados são apresentados a seguir.

Figura 36 Fluxograma do método para o desenvolvimento desta pesquisa



4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PREEXISTENTES

Além da pesquisa bibliográfica para o desenvolvimento deste estudo foram obtidos os seguintes dados:

- possíveis relatos de problemas com colapso dos solos em edificações ou pavimentos;
- arquivos em formato shapefile ou mesmo dxf, de trabalhos já realizados e disponibilizados de forma gratuita, conforme listados na tabela 18;
- outros mapeamentos inclusive o mapeamento geotécnico.

Tabela 18 Arquivos digitais obtidos para esta pesquisa

Ano	Autor	Mapa	Escala
1997	Santos	Geotécnico – Florianópolis	1:25.000
1999	Duarte	Geotécnico – Porção sul	1:10.000
2012	LaHiMar	Planialtimétrico	1:10.000
2012	LaHiMar	Delimitação da Bacia	1:10.000

4.2 MAPAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO

O mapeamento geotécnico, bem como os mapas de caracterização da Lagoa da Conceição, foram desenvolvidos no Laboratório de Mapeamento Geotécnico da UFSC.

Inicialmente, foram elaborados os mapas de caracterização da área de estudo, com base nos mapas digitais da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão – EPAGRI (2012), Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF (2012) e Laboratório de Hidrologia Marítima da UFSC - LaHiMar (2012).

Os mapas que se constituíram apenas na montagem utilizando-se apenas os arquivos digitais obtidos, encontram-se no capítulo 2, enquanto que os mapas desenvolvidos que necessitaram de uma intervenção computacional são apresentados no capítulo 4.

Todos os mapas apresentados neste estudo, bem como os arquivos digitais desenvolvidos, encontram-se no sistema de coordenadas UTM e o datum adotado foi o SIRGAS 2000.

4.2.1 Mapeamento Geotécnico Preliminar

Foi usado como base o mapeamento geotécnico de Duarte (1999) em parte da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição e o de Santos (1997) em toda a Ilha de Santa Catarina. Como o solo no interior da lagoa não foi estudado, a área que representa o corpo d'água da Lagoa da Conceição foi cortada e representada por um vazio, a delimitação da área segue o mapeamento de LaHiMar (2012).

4.2.1.1 Atualização do Mapeamento Geotécnico

A partir do mapeamento geotécnico preliminar, com base nas curvas de nível, o contorno das unidades geotécnicas foi redefinido. Nos pontos considerados mais críticos foram realizadas visitas à campo onde foram efetuadas tradagens a fim de identificar com mais precisão os limites entre as unidades geotécnicas. Para auxiliar este processo foi utilizado o GPS de navegação.

As figuras 37 e 38 mostram locais onde foram realizadas atualizações baseadas nas curvas de nível com precisão de 1:10.000. A figura 39 apresenta uma reta delimitando as unidades AQsq, AQPsq e PVg e Cg, onde entende-se que havia uma incompatibilidade. Essa diferença resultou na necessidade da realização de tradagens e análise do solo daquela região (conforme figura 40) para a melhor delimitação das unidades.

Figura 37 Correção das unidades Cde, Cg e Rg com base em tradagens.

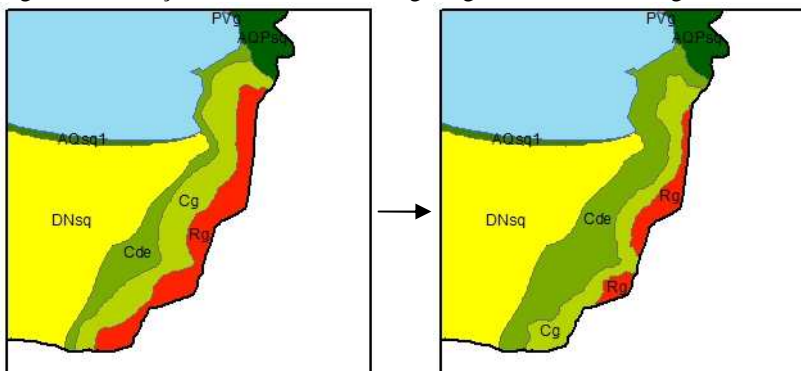


Figura 38 Correção das unidades Cde, PZsq e PVg com base em tradagens.

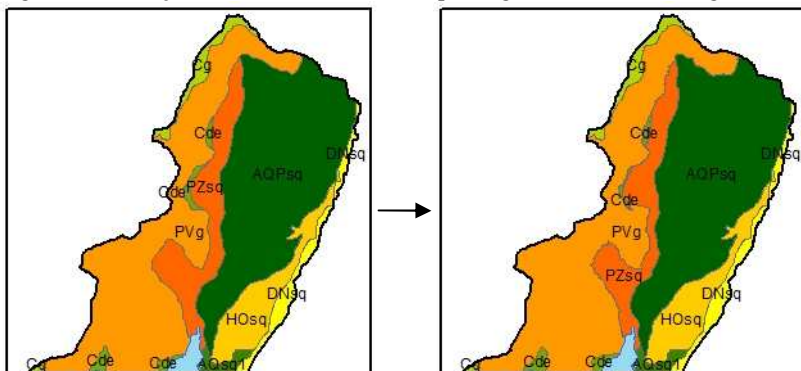


Figura 39 Correção das unidades AQPsq e AQsq com base em tradagens.

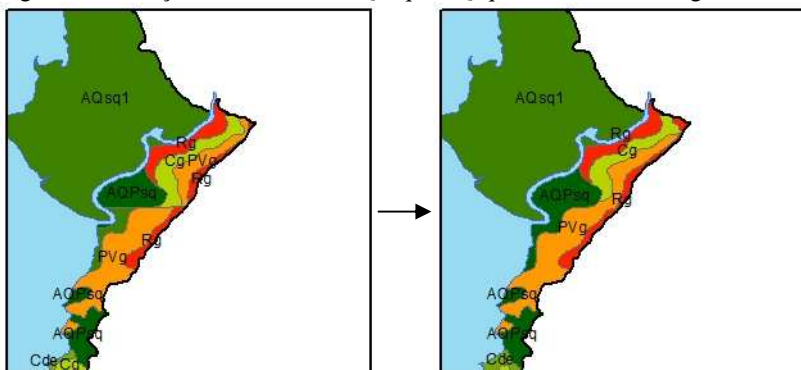


Figura 40 Fotos das tradagens



4.2.2 Análise da Expansão Urbana

A análise da expansão urbana foi executada nesta pesquisa como forma de justificar a escolha da área de estudos e melhor avaliar o solo em áreas pontuais, objetivando dar subsídios para o ordenamento do desenvolvimento de novas áreas de urbanização.

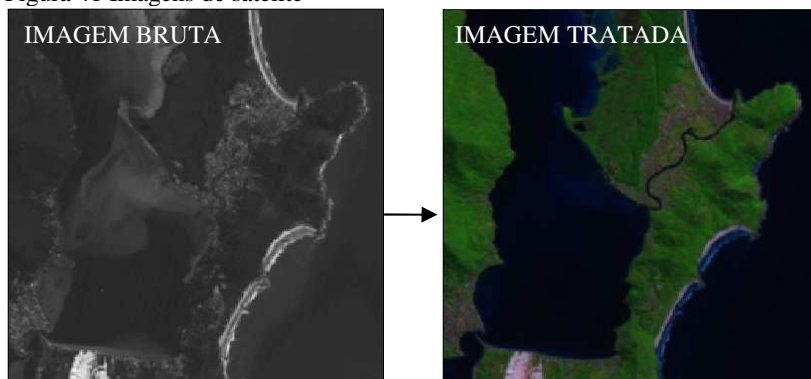
As imagens de satélite foram obtidas do INPE (2013), com as bandas em arquivos independentes. Ao avaliar estas imagens em sua forma bruta, observaram-se diversas imagens monocromáticas, sendo necessária a conversão destas imagens em uma única imagem colorida.

Para realizar esta conversão foi necessário o uso da ferramenta *composite bands*. A figura 41 apresenta uma das imagens na forma bruta (monocromática) e a imagem depois de tratada (colorida).

Além da composição das bandas foi necessário georreferenciar a imagem por meio da ferramenta *georeferencing*, tendo como base alguns pontos e coordenadas obtidos dos mapas da EPAGRI (2012) e LaHiMar (2012).

Com base na expansão urbana foi possível determinar qual o solo colapsível que cobre à maior parcela destas áreas e que, portanto, mais expõem às edificações a problemas de colapsibilidade do solo.

Figura 41 Imagens de satélite



Para a análise da mancha urbana foi usada a ferramenta *maximum likelihood classification*, que realiza uma classificação multivariada ou não supervisionada. Foram tomados como base quatro cenários de décadas distintas, utilizando-se imagens de satélite disponibilizadas gratuitamente pelo INPE (2013), conforme a tabela 19.

Tabela 19 Características das imagens de satélite

Ano	Satélite	Data	Resolução espacial (m)
1976	LandSat 1 MSS	02/03/1976	80
1980	LandSat 2 MSS	08/07/1980	80
1999	LandSat 7 ETMXS	09/03/1999	30
2012	IRS P6 LIS3	05/09/2012	23,5

Foi tomada como base para esta análise uma mesma delimitação da Lagoa da Conceição, para todos os usos do solo, desprezando-se qualquer alteração no território da lagoa. Com isso, buscou-se analisar unicamente a evolução do uso do solo, especialmente no que se refere às

ações antrópicas (ocupação por edificação). Não foram encontrados relatos de que a variação na área da Lagoa da Conceição tenha influenciado no uso do solo da região, o que também justifica o uso de uma única delimitação para todos os cenários.

Como pode ser observado na tabela 19, há uma diferença significativa na resolução espacial das décadas de 70 e 80 com as imagens de 1999 e 2010. Esta diferença gerou dificuldades na avaliação, dado ao fato que algumas áreas consideradas urbanizadas nas décadas anteriores não se apresentam desta forma nas décadas seguintes. Como se sabe, não houve uma diminuição da área urbana nesta região e para evitar esta incoerência optou-se por analisar separadamente a evolução entre os cenários de 1976 e 1980, e entre 1999 e 2012.

4.2.2.1 Vetores de Crescimento Urbano

Com base nas manchas urbanas definidas na etapa anterior, foi realizada a comparação entre os cenários de 1976 e 1980, e entre os anos de 1999 e 2012. Os vetores de crescimento urbano foram traçados depois de identificados os pontos onde ocorreram maiores alterações na mancha urbana, tal qual apresentado por Higashi (2006).

4.3 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Tanto os ensaios de caracterização quanto os de determinação do colapso foram desenvolvidos no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC, a partir de amostras coletadas em campo.

4.3.1 Coleta das amostras

Em cada unidade geotécnica foi definido um ponto de análise, onde foram coletadas amostras indeformadas, em blocos de 30x30x30cm ou coletadas diretamente nos moldes utilizados no ensaio edométrico. Foram necessárias duas amostras indeformadas em cada uma das unidades geotécnicas para a execução do ensaio edométrico duplo. Também foi coletado aproximadamente 3kg de amostra deformada em cada um destes pontos a fim de obter solo suficiente para os ensaios de caracterização.

As amostras foram coletadas a uma profundidade entre 1,50 e 2,50m, ou seja, no horizonte “C”, baseada nas informações do mapa geotécnico. A escolha desta profundidade deve-se ao fato de que esta pesquisa objetivou analisar as características de colapsibilidade nos

solos onde normalmente são assentadas as fundações superficiais. A ABNT (2010) estabelece que a profundidade mínima para se assentar fundações superficiais é de 1,50m, exceto nos casos quando esta for executada sobre rocha.

A escolha dos pontos onde foram coletadas as amostras dependeu da possibilidade de obtenção da amostra na profundidade citada, priorizando-se a presença de cortes e taludes expostos, bem como a facilidade no acesso ao local de coleta e o transporte do material coletado.

4.3.2 Ensaios de caracterização

Para a caracterização do solo de cada unidade geotécnica foram realizados os ensaios de caracterização granulométrica, densidade real das partículas de solo, limite de plasticidade, limite de liquidez e teor de umidade natural. Todos os ensaios seguiram a metodologia sugerida pelas seguintes normas da ABNT:

NBR 06457/1986: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

NBR 7181/1984: Solo: Análise granulométrica

NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira 4,8mm: Massa específica dos sólidos

NBR 7180/1984: Solo: determinação do limite de plasticidade

NBR 6459/1984: Limite de liquidez

4.3.3 Ensaio para a determinação do colapso

Para a execução do ensaio edométrico de duplo anel foram usadas duas amostras indeformadas, coletadas o mais próximo possível uma da outra, objetivando fornecer material (solo) com as mesmas características.

Estas amostras foram inseridas no equipamento edométrico sendo uma inundada desde o início do ensaio e a outra mantida na umidade natural durante todo o processo do ensaio. A figura 42 mostra o equipamento utilizado na execução do ensaio.

Após a execução do ensaio, foram calculados os valores para que fosse traçada a curva de compressibilidade inundada e natural, a partir desta curva foi possível calcular o potencial de colapso.

Figura 42 Ensaio edométrico de duplo anel



Em ambas as amostras foi aplicada uma tensão inicial de aproximadamente 10kPa, de modo que o valor da tensão foi duplicando a cada 24h até atingir uma tensão final de aproximadamente 1.200kPa.

Em alguns casos, quando se tratavam de solos arenosos, após a aplicação das cargas foram feitas as leituras de 2, 4, 8 e 12 horas, até que o valor das duas últimas leituras se igualasse. Esse processo visou agilizar o processo de ensaio, onde se destaca que este procedimento só foi realizado quando havia certeza de que não causaria alteração nos resultados finais.

4.3.4 Análise do ensaio edométrico simples

Para a análise do colapso foram realizados os cálculos de acordo com Jennings e Knight (1975) apud Benatti (2010), com base nos valores obtidos nos ensaios edométricos. Como resultado, obteve-se a classificação do solo de acordo com a colapsibilidade em: sem problema, problema moderado, problemático e problema muito grave.

Com base nos ensaios de caracterização, foram estimados e analisados o potencial de colapso de acordo com as metodologias de Handy (1973), Prikloński (1952), Clevenger (1958) apud Lutenegger e Saber (1988) e Kassif e Henkin (1967)

4.4 AREIA QUARTZOSA PODZOLIZADA DE SUBSTRATO SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS

No decorrer do estudo foi observado que esta unidade geotécnica está presente na maior parte da área de ocupação urbana, portanto, buscou-se uma melhor avaliação do colapso neste solo. Para melhor avaliar a unidade quanto à colapsibilidade, realizaram-se ensaios edométricos simples, e para analisar a estrutura das partículas e a sua composição foi realizado o ensaio de microvarredura eletrônica, fluorescência de raio X e difratometria de raio X, com o intuito de identificar o elemento coesivo entre as partículas.

4.4.1 Ensaios Edométricos Simples

Foram realizados ensaios edométricos simples para uma análise mais aprofundada da colapsibilidade. Para a realização destes ensaios foram coletadas 28 amostras indeformadas de Areias Quartzosas Podzolizadas de substrato sedimentos quaternários. As sete amostras coletadas em cada um destes quatro pontos, foram submetidas às tensões de 15, 30, 50, 100, 150, 200 e 250kPa.

Para a realização destes ensaios foi utilizado o mesmo equipamento apresentado na figura 42 (item 4.3.3). A diferença na execução do ensaio é que a amostra inicialmente na umidade natural é submetida a uma das cargas citadas. Após aplicada a carga foi aguardada a estabilização das deformações verticais. Então, foi realizada a inundação, e em seguida aguardou-se novamente a estabilização das deformações resultantes da interferência da água. Foram realizadas três leituras das deformações, onde a primeira ocorre logo após a inserção da amostra no equipamento, a segunda depois da estabilização da carga aplicada e a última após estabilizadas as deformações causadas pela inundação.

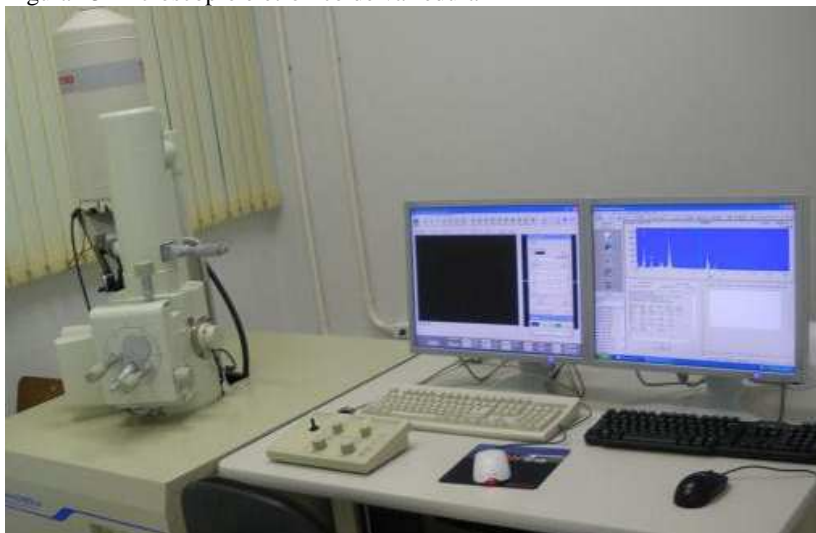
4.4.2 Análise da Estrutura e Composição da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários

Para a análise da estrutura e composição da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários, foram realizados os ensaios de microscopia eletrônica de varredura com sonda EDS, fluorescência de raios X e difratometria de raio X.

4.4.3 Microscopia eletrônica de varredura e energia dispersiva por raios X (EDS)

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da UFSC, sendo utilizado o equipamento da figura 43, a partir de amostras indeformadas secas ao ar. A ampliação usada para cada micrografia variou de acordo com a facilidade na visualização da microestrutura.

Figura 43 Microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (2014)

4.4.4 Fluorescência de Raio X

A fluorescência de raio X foi executada com o apoio do Laboratório ValoRes (Valorização de Resíduos e Materiais) - UFSC.

Para o ensaio de fluorescência de raios-x (EDX), a amostra foi pastilhada utilizando-se prensa convencional e em seguida analisada em equipamento Shimadzu modelo 700, com câmara de ar atmosférico, colimador de 10mm utilizando os canais de Ti-U e Na-SC.

4.4.5 Difractometria de Raio X

A difratometria de Raio X foi executada com o auxílio do Laboratório e Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil - UFSC, onde foi utilizado o equipamento difratômetro de raios-X da marca Rigaku, modelo Miniflex II, conforme a figura 44.

Para esta análise uma porção de amostra deformada foi seca em estufa e depois destorroada, sendo que foram removidas as partículas com diâmetro maior que 5mm manualmente, dispensando qualquer peneiramento.

A identificação das fases foi realizada utilizando-se um software PDXL, Rigaku com base na ICDD (International Centre for Diffraction Data).

Figura 44 Difratorômetro de raio X



4.5 MAPA DE SUSCETIBILIDADE AO COLAPSO

O mapa da suscetibilidade ao colapso foi elaborado com base no mapeamento geotécnico atualizado. Foi estipulado um ponto de coleta de amostras em cada uma das unidades geotécnicas, para que o resultado fosse extrapolado para a área da unidade geotécnica, tal qual descrita por Davison Dias (1995). No mapa de susceptibilidade, as zonas de colapsibilidade do solo foram divididas em: sem problema, problema moderado, problemático e problema muito grave conforme estabelecido por Jennings e Knight (1975), apud Benatti (2010).

5. RESULTADOS

Primeiramente são apresentados os mapas de relevo, análise da mancha urbana e o mapeamento usado como base para a escolha dos pontos de coleta de amostras. Os resultados dos ensaios são apresentados para cada um dos pontos de coleta de cada unidade geotécnica. Como resultado principal é apresentado o mapa de susceptibilidade ao colapso. Complementarmente, é apresentado um item onde é estudada a colapsibilidade da unidade Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários pelo ensaio edométrico simples e a estrutura de suas ligações com base na Microscopia Eletrônica de Varredura.

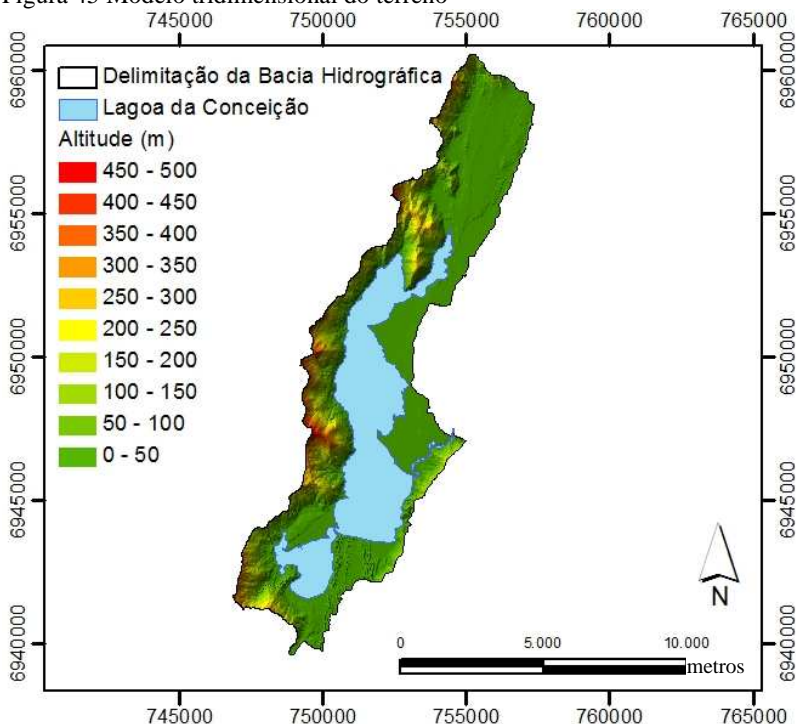
5.1 ANÁLISE DO RELEVO

Para melhor caracterizar a Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, fez-se necessária a análise do relevo. Como base nas curvas de nível foi possível gerar o modelo digital do terreno, e em seguida a hipsometria e a declividade.

5.1.1 Modelo Digital do Terreno

A elaboração do modelo digital do terreno (conforme figura 45), além de proporcionar uma melhor visualização do terreno da bacia hidrográfica, serviu de base para a geração da hipsometria e da declividade do terreno.

Figura 45 Modelo tridimensional do terreno



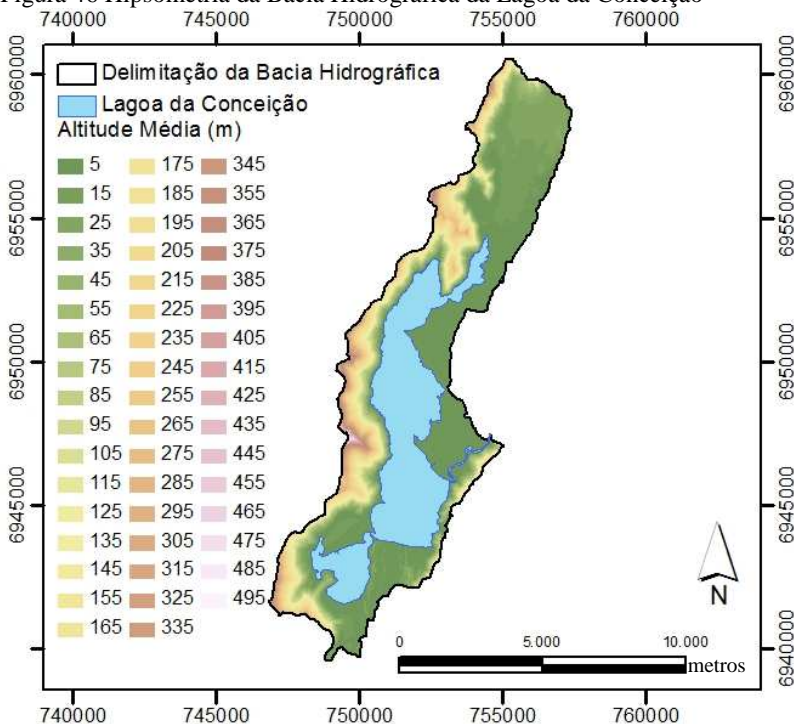
Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S Datum: SIRGAS 2000
Meridiano Central: -51,0000 Latitude de origem: 0,0000
Unidades: metros

5.1.2 Hipsometria e Altitude

O mapa da hipsometria da figura 46 divide a bacia em áreas delimitadas pelas cotas de altitudes, sendo esta área sempre entre duas cotas, para uma melhor identificação ela é representada como a cota média entre estas. A curva hipsométrica, traz o valor acumulado das áreas em percentuais, partindo das cotas maiores para as menores.

Ao observar as curvas de nível do terreno, foi possível determinar que a altitude máxima é de 493m e a mínima é de 0m, resultando em uma média de 247m. Com base no mapa da hipsometria (figura 46) obteve-se a curva hipsométrica, sendo possível determinar a cota mediana que resultou em 29m, isto é metade da área encontra-se em cotas até 29m.

Figura 46 Hipsometria da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

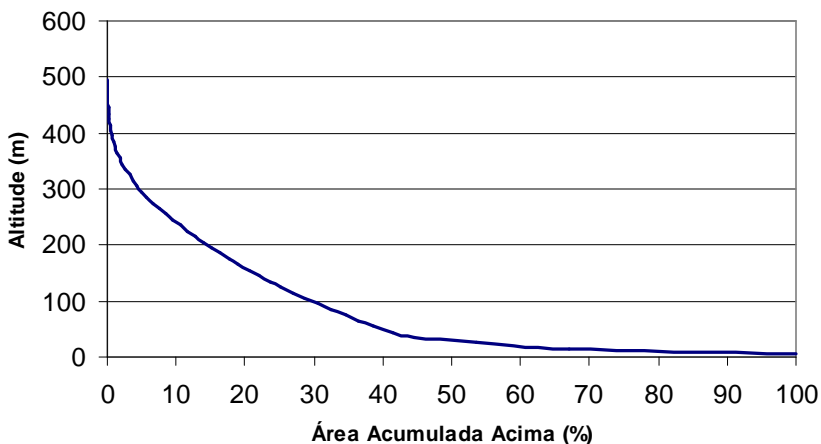
Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central: -51,0000

Latitude de origem: 0,0000

Unidades: metros

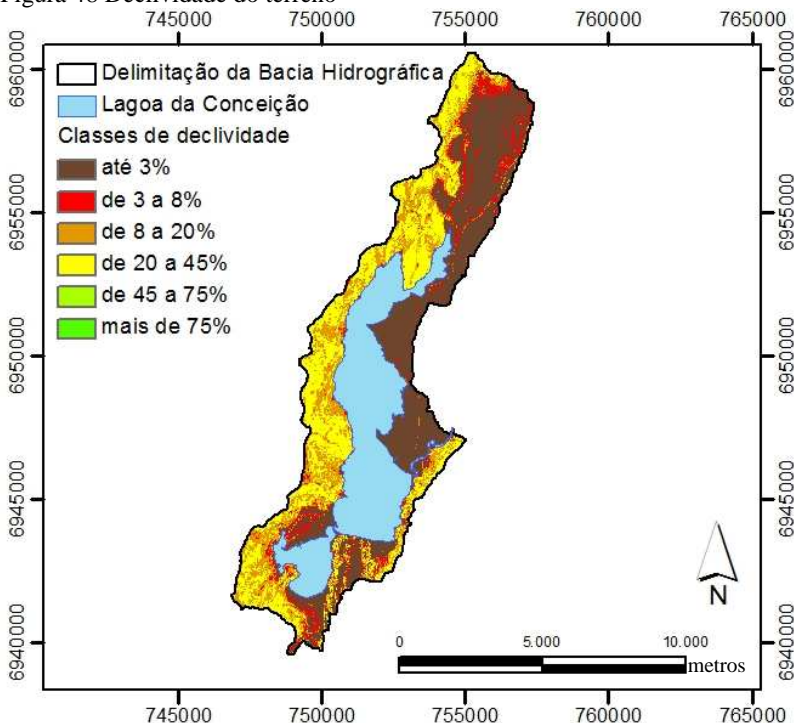
Figura 47 Curva Hipsométrica da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição



5.1.3 Declividade do Terreno

A Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição apresenta uma variação na declividade que vai de 0% até 89,6%. Estas declividades foram classificadas de acordo com os intervalos estipulados pela EMBRAPA (2007) – item 2.5.2, resultando no mapa da figura 48. A tabela 20 apresenta as áreas totais para cada classe de relevo.

Figura 48 Declividade do terreno



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S Datum: SIRGAS 2000
 Meridiano Central: -51,0000 Latitude de origem: 0,0000
 Unidades: metros

Tabela 20 Declividade da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição

Declividade	Área (km ²)	Área (%)
Até 3% (plano)	23,04	40,76
3 a 8% (suave ondulado)	4,75	8,40
8 a 20% (ondulado)	12,33	21,82
20 a 45% (forte ondulado)	16,20	28,66
45 a 75% (montanhoso)	0,18	0,32
Mais de 75% (escarpado)	0,02	0,04

Observa-se um maior percentual de áreas com declividades inferiores a 3%, sendo que, aproximadamente, a metade da área encontra-se com menos de 8% de declividade. Nota-se também uma pequena área com declividade superior a 45%.

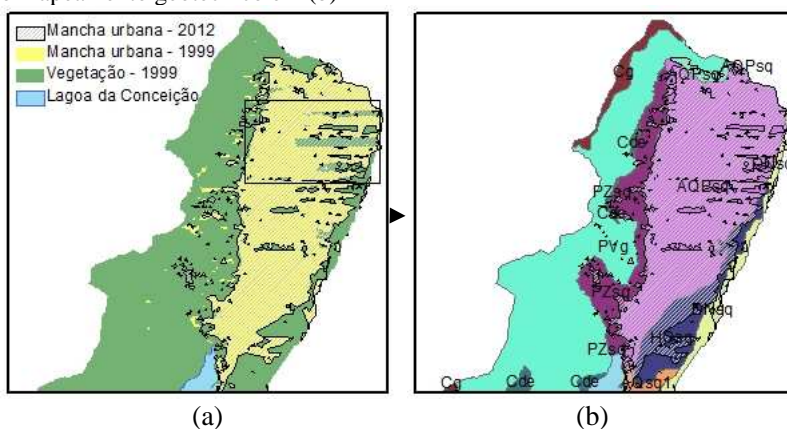
Ao comparar o mapa da mancha urbana com o das declividades, foi observado que a faixa de relevo plano (até 3% de inclinação) é a que possui a maior taxa de ocupação urbana, seguido pela ocupação em relevo suave ondulado (3 a 8% de inclinação), ondulado (8 a 20% de inclinação) e forte ondulado (20 a 45% de inclinação). Não foi observada a existência de áreas urbanizadas em inclinações superiores a 45%.

Segundo o artigo 3º, parágrafo único, inciso III da Lei 6.766/79, não é permitido o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%. Foi determinado que uma área inferior à 1km² da mancha urbana apresenta declividade de 30% ou mais.

5.2 EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA

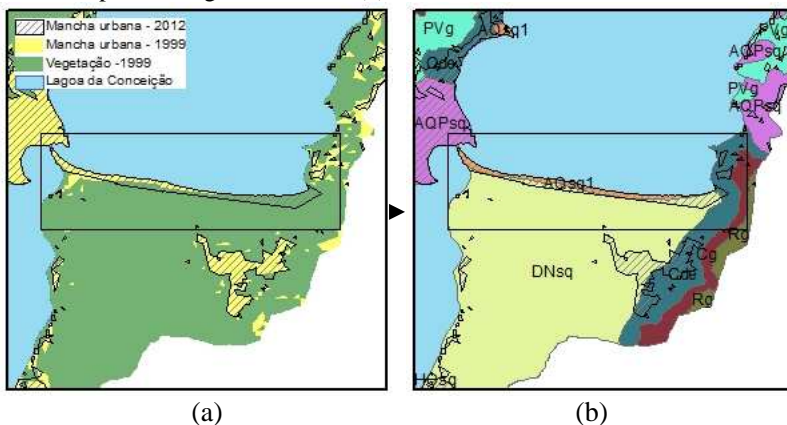
Analisando a evolução da mancha urbana entre 1999 e 2012 na área localizada ao norte (bairros Ingleses, Rio Vermelho, São João do Rio Vermelho e Muquém) conforme destacado na figura 49, pôde-se observar uma densificação no quadro em destaque. Observa-se também que a maior parte deste foco de urbanização é coberto pela unidade AQPsq. Além disso destaca-se que uma menor parcela cobre as unidades PZsq, HOsq, PVg e ainda DNsq - área onde deveria ser proibida a construção de qualquer tipo de edificação, por se tratar de uma área de preservação permanente (APP).

Figura 49 Evolução da mancha urbana entre 1999 e 2012 (a), e comparação com o mapeamento geotécnico em (b)



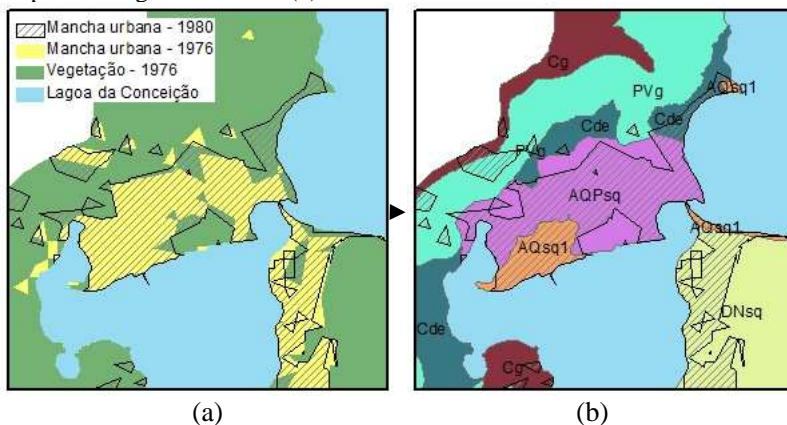
Ainda avaliando a evolução da mancha urbana entre 1999 e 2012, fica visível um avanço na área localizada na Avenida Rendeiras, conforme a figura 50. Nota-se que a área de AQsq1 foi inteiramente ocupada, avançando predominantemente para a unidade DNsq, e secundariamente para as unidades Cde e Rg.

Figura 50 Evolução da mancha urbana de 1999 a 2012 em (a), e comparação com o mapeamento geotécnico em (b)



Entre os anos de 1976 e 1980 foi observada a expansão da área urbana localizada no centro mais densificado do bairro Lagoa da Conceição conforme a figura 51, onde as unidades geotécnicas predominantes são AQPsq e AQsq1 seguidos dos solos Cg, PVg e Cde.

Figura 51 Evolução da mancha urbana de 1976 a 1980 (a), e comparação com o mapeamento geotécnico em (b)

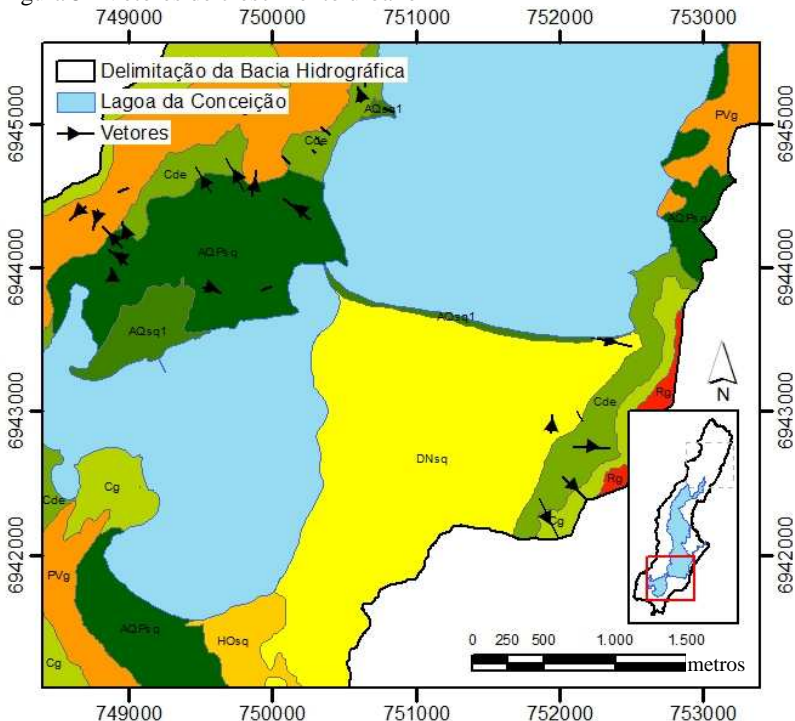


De uma maneira geral, observa-se uma evolução da mancha urbana que tende à uma forte densificação, ou seja, verifica-se que houve a ocupação dos vazios urbanos e um crescimento radial da mancha moderado. Outro fator que pode ser observado tanto no centro da Lagoa da Conceição quanto em pontos próximos à Praia da Joaquina, é a existência de ocupação na unidade DNSq, sendo esta uma área de preservação ambiental.

5.2.1 Vetores de Crescimento Urbano

De acordo com a análise da expansão urbana, são apresentados os vetores de crescimento nas figuras 52 e 53. Observa-se um avanço em direção às unidades DNSq, Cg, Cde e PVg (figura 52) e na figura 53 em direção às unidades PZsq, HOsq, DNSq e AQsq.

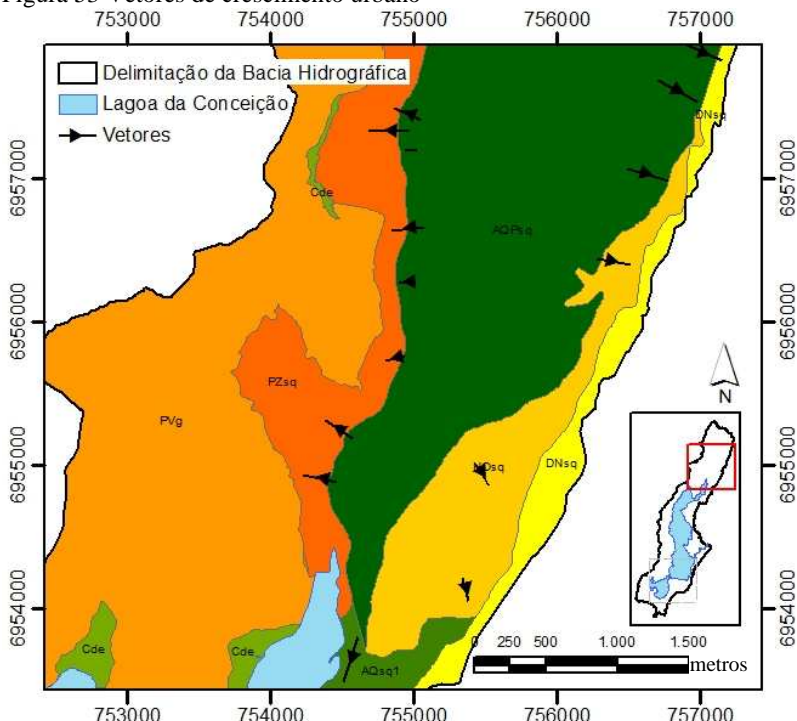
Figura 52 Vetores de crescimento urbano



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S
 Meridiano Central: -51,0000
 Unidades: metros

Datum: SIRGAS 2000
 Latitude de origem: 0,0000

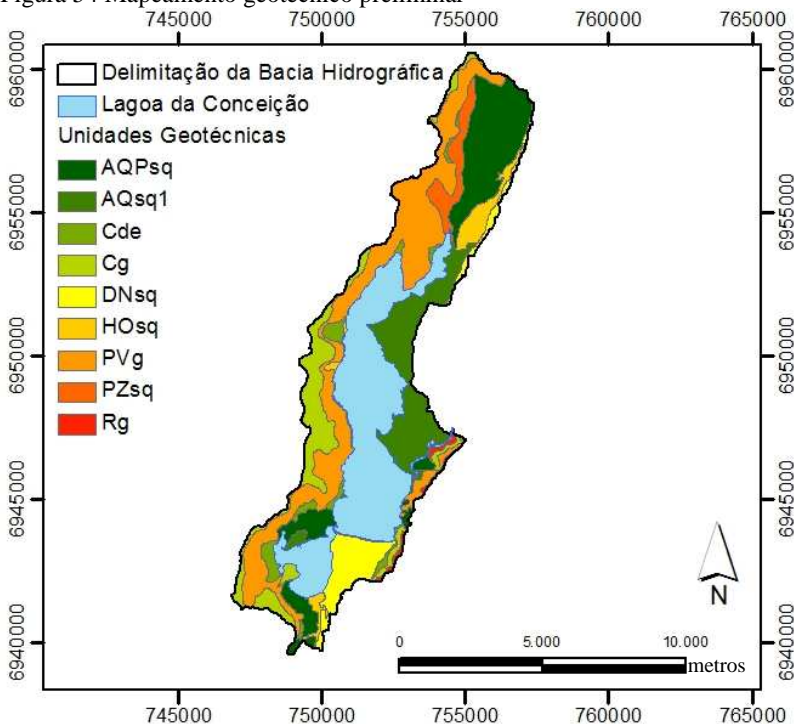
Figura 53 Vetores de crescimento urbano



5.3 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

A figura 54 apresenta o mapeamento geotécnico preliminar, resultante da unificação dos mapeamentos de Santos (1997) e Duarte (1999). A área da Lagoa da Conceição está representada em azul e as unidades geotécnicas de acordo com a legenda apresentada. A área de cada uma das unidades geotécnicas pode ser observada na tabela 21.

Figura 54 Mapeamento geotécnico preliminar



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S Datum: SIRGAS 2000
Meridiano Central: -51,0000 Latitude de origem: 0,0000
Unidades: metros

Com base na tabela 21, que apresenta os quantitativos em percentuais de cada unidade mapeada, notou-se que o solo denominado de Areia Quartzosa é predominante, enquanto que a litologia de granito e os sedimentos quaternários são os substratos de maior ocorrência.

Tabela 21 Área das unidades geotécnicas – mapeamento geotécnico preliminar

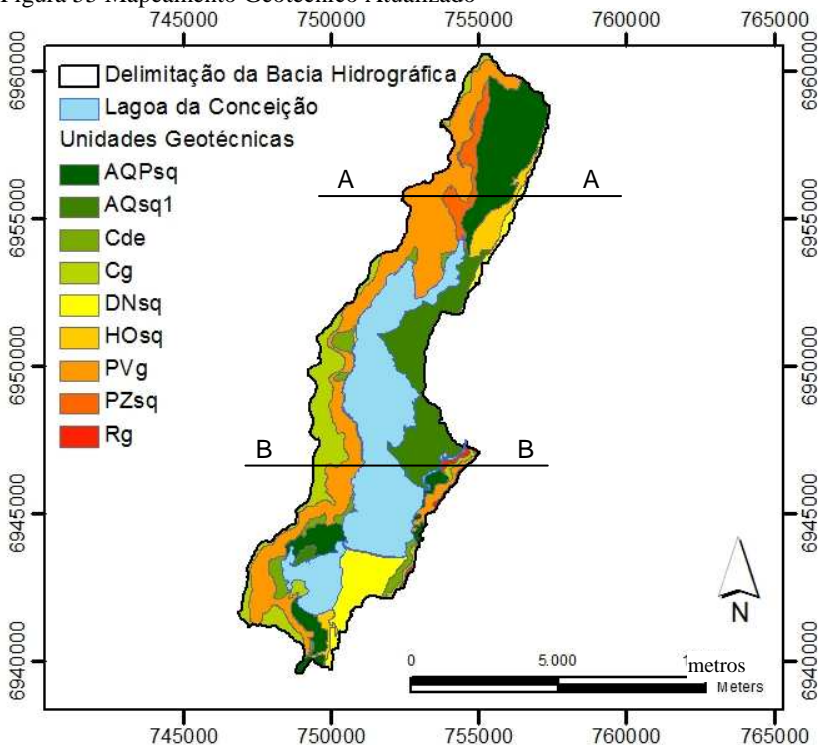
Unidade Geotécnica	Área (Km ²)	Área (%)
Areia Quartzosa Podzoliza de substrato sedimentos quaternários - AQPsq	11,2	19,79
Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários 1 - AQsq1	8,8	15,56
Cambissolo, depósito de encosta - Cde	2,2	3,89
Cambissolo de substrato granito - Cg	7,2	12,73
Dunas de substrato sedimentos quaternários - DNsq	4,7	8,31
Solo Orgânico de substrato sedimentos quaternários - HOsq	2,4	4,24
Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito - PVg	17,16	30,34
Podzol Hidromórfico + Areias Quartzosas Hidromórficas de substrato sedimentos quaternário - PZsq	2,3	4,07
Litólico de substrato granito - Rg	0,6	1,06
Total	56,6	100

5.3.1 Mapeamento Geotécnico Atualizado

Após a etapa de atualização do mapeamento geotécnico, conforme descrito no item 4.2.1.1, obteve-se o mapa apresentado na figura 55. A tabela 22 mostra os novos valores das áreas obtidos para cada uma das unidades estudadas.

Notou-se uma expressiva redução nas áreas das unidades AQsq, HOsq, PZsq e Rg, e um aumento representativo nas unidades Cde e PVg. As demais unidades não sofreram alterações muito significativas na delimitação de suas áreas.

Figura 55 Mapeamento Geotécnico Atualizado



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S Datum: SIRGAS 2000
Meridiano Central: -51,0000 Latitude de origem: 0,0000
Unidades: metros

As figuras 56 e 57 apresentam dois cortes (conforme a figura 55) indicando o surgimento das unidades geotécnicas de acordo com a variação do relevo do terreno.

Figura 56 Corte topográfico A-A

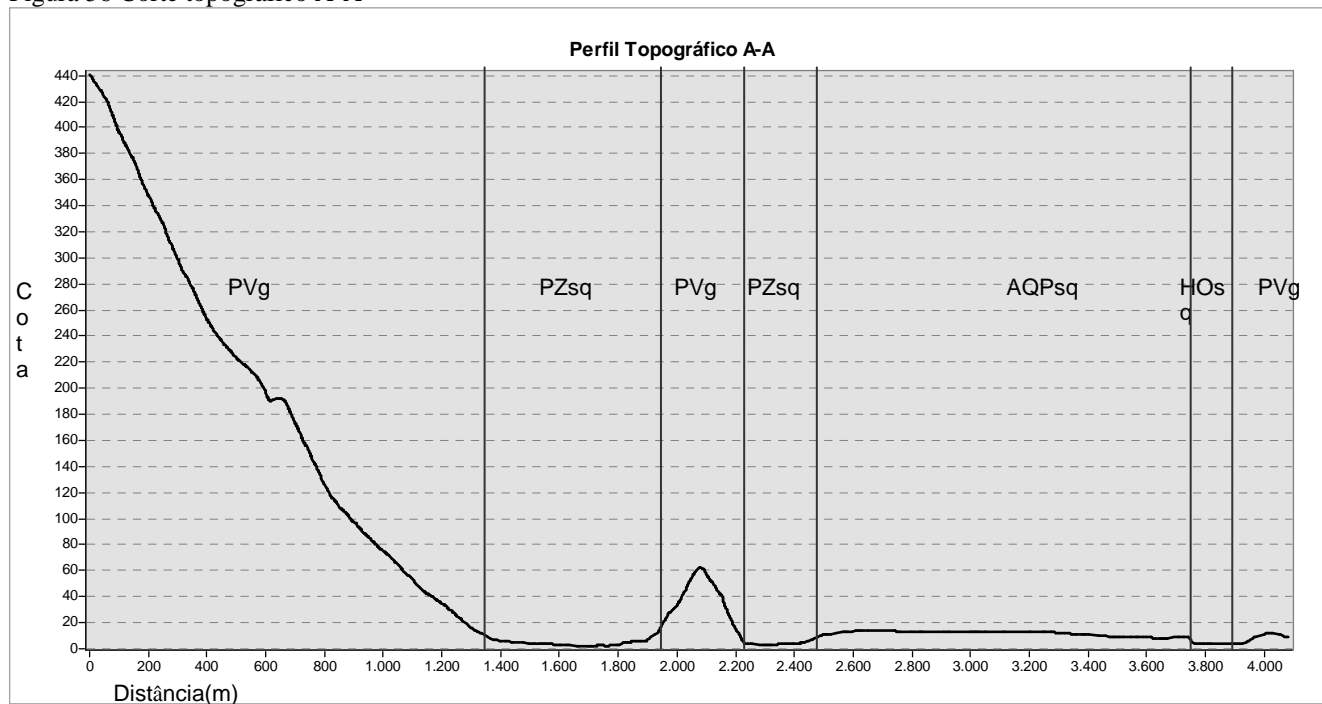


Figura 57 Corte topográfico B-B

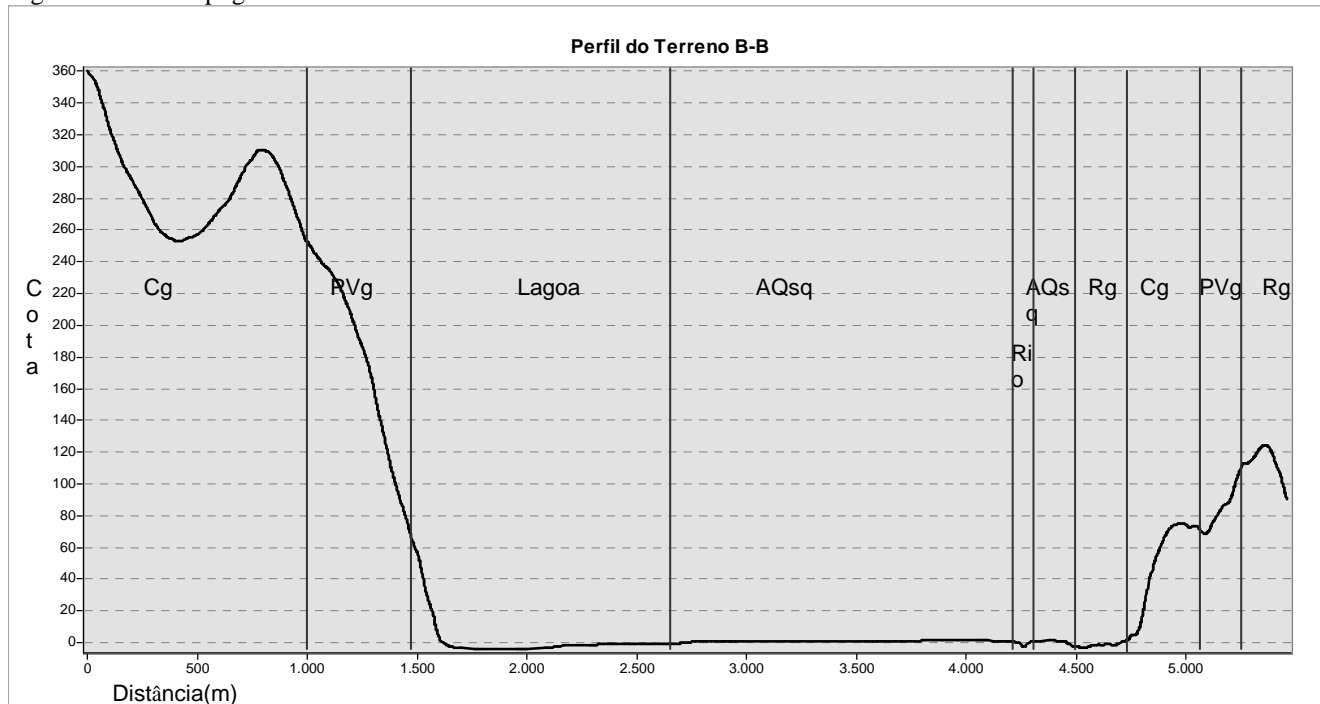


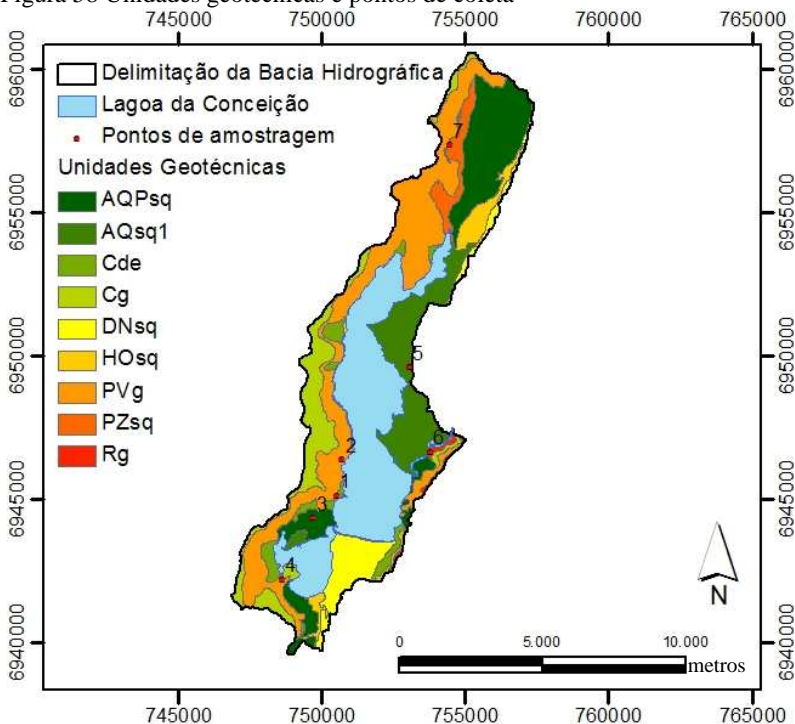
Tabela 22 Área das unidades geotécnicas – mapeamento geotécnico atualizado

Unidade Geotécnica	Área (Km ²)	Área (%)
Areia Quartzosa Podzoliza de substrato sedimentos quaternários - AQPsq	11,2	19,79
Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários 1 - AQsq1	8,7	15,37
Cambissolo, depósito de encosta - Cde	2,5	4,42
Cambissolo de substrato granito - Cg	7,2	12,73
Dunas de substrato sedimentos quaternários - DNsq	4,7	8,31
Solo Orgânico de substrato sedimentos quaternários - HOsq	2,3	4,06
Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito - PVg	17,4	30,74
Podzol Hidromórfico + Areias Quartzosas Hidromórficas de substrato sedimentos quaternário - PZsq	2,1	3,71
Litólico de substrato granito - Rg	0,5	0,88
Total	56,6	100,00

5.4 DADOS AMOSTRAIS

Foram coletadas as amostras deformadas e indeformadas de cada uma das unidades geotécnicas nos pontos indicados no mapa da figura 58. As coordenadas são apresentadas na tabela 23 no sistema UTM com Datum Sirgas 2000 22S.

Figura 58 Unidades geotécnicas e pontos de coleta



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S Datum: SIRGAS 2000
Meridiano Central: -51,0000 Latitude de origem: 0,0000
Unidades: metros

Tabela 23 Coordenadas dos pontos de coleta

Ponto	Unidade Geotécnica	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cde	-48,461744	-27,594646
2	PVg	-48,460212	-27,583473
3	AQPsq	-48,470092	-27,602014
4	Cg	-48,480593	-27,621424
5	Rg	-48,429126	-27,580447
6	AQsq	-48,436922	-27,553855
7	PZsq	-48,424684	-27,483826

5.4.1 Ponto 1 – Cambissolo de substrato depósito de encostas (Cde)

A unidade geotécnica Cambissolo de substrato depósito de encostas encontra-se presente em áreas de relevos inferiores à 20% de inclinação e com altitudes de até 190m. As amostras para as análises de laboratório foram coletadas a uma profundidade de 1,80m, conforme a figura 59, no bairro Lagoa da Conceição.

Figura 59 Ponto 1 de coleta



5.4.1.1 Ensaio Edométrico do Ponto 1

Com base no ensaio edométrico foi possível construir o gráfico da figura 60, onde é apresentada a variação das deformações em relação à tensão vertical em escala logarítmica. O potencial de colapso foi calculado e classificado conforme pode ser observado na tabela 24. Os valores variaram de -0,63 a 0,01% e observou-se que os resultados

caracterizaram este solo na classe denominada “sem problemas” relativos ao colapso para as tensões verticais avaliadas.

Figura 60 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 1

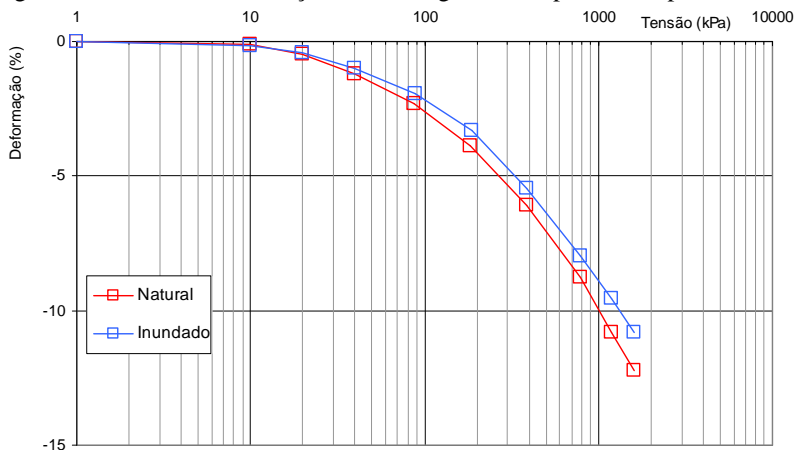


Tabela 24 Potencial de colapso do ponto 1

Tensão	Potencial de colapso	Classe
25kPa	0.01	sem problema
50kPa	-0.25	sem problema
100kPa	-0.44	sem problema
150kPa	-0.57	sem problema
200kPa	-0.57	sem problema
250kPa	-0.60	sem problema
300kPa	-0.63	sem problema

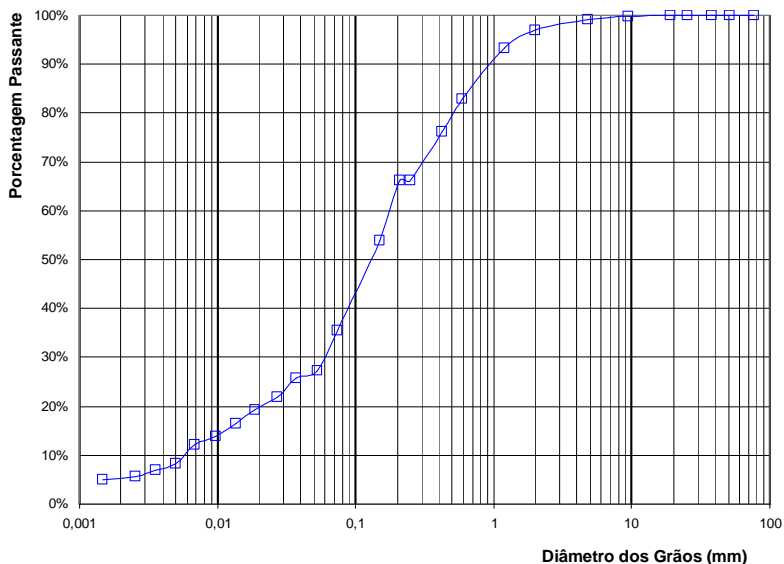
5.4.1.2 Ensaios de Caracterização do Ponto 1

O ensaio de granulometria resultou em uma areia siltosa, com os percentuais apresentados na tabela 25 e curva granulométrica conforme a figura 61. O ensaio de massa específica deste solo resultou em 2,62g/cm³. O valor do limite de liquidez resultou em 21%, enquanto que o limite de plasticidade e o índice de plasticidade foram classificados como não plástico e o teor de umidade natural encontrado foi de 20,4%.

Tabela 25 Granulometria do ponto 1 (valores em percentual)

Argila	Silte	Areia			Pedregulho			
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	de Mão
5,29	24,82	36,12	16,77	13,97	2,70	0,32	0,00	0,00

Figura 61 Curva granulométrica do ponto 1



5.4.2 Ponto 2 – Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito (PVg)

A unidade geotécnica Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, está presente em áreas de onde o relevo predominante é de 8 a 45% de inclinação, com altitudes de até 460m. As amostras para as análises de laboratório foram coletadas a uma profundidade de 1,60m, conforme a figura 62, no bairro Lagoa da Conceição.

Figura 62 Ponto 2 de coleta



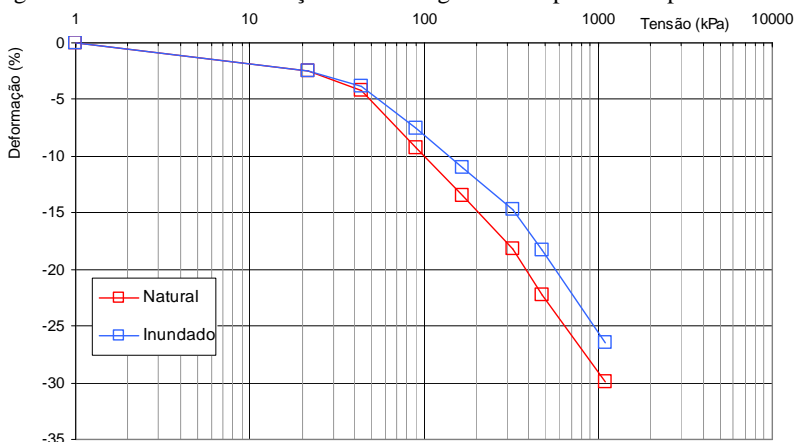
5.4.2.1 Ensaio Edométrico do Ponto 2

Com base nos resultados do ensaio edométrico foi possível construir o gráfico da figura 63, onde é apresentada a variação das deformações em relação à tensão vertical em escala logarítmica. O potencial de colapso foi calculado e classificado conforme a tabela 26. Os valores variaram de -3,57 a 0,07% observou-se que os resultados caracterizaram este solo na classe denominada “sem problemas” relativos ao colapso para as tensões verticais avaliadas.

Tabela 26 Potencial de colapso do ponto 2

Tensão	Potencial de colapso	Classe
25kPa	-0,07	sem problema
50kPa	-1,00	sem problema
100kPa	-2,01	sem problema
150kPa	-2,61	sem problema
200kPa	-3,11	sem problema
250kPa	-3,57	sem problema
300kPa	-3,29	sem problema

Figura 63 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 2



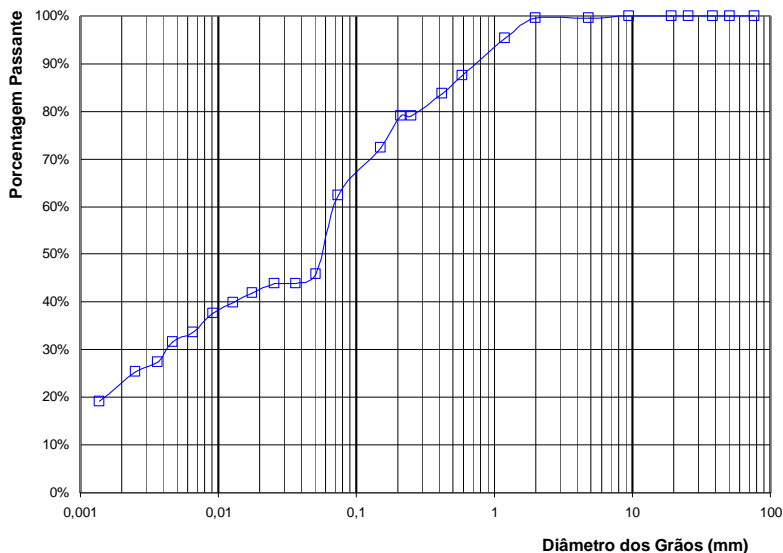
5.4.2.2 Ensaios de Caracterização do Ponto 2

O ensaio de granulometria resultou em um areia siltosa, com os percentuais apresentados na tabela 27 e curva granulométrica conforme a figura 64. O ensaio de massa específica deste solo resultou em $2,68\text{g/cm}^3$. O valor do limite de liquidez resultou em 54% enquanto que o limite de plasticidade foi de 39%, resultando em um índice de plasticidade de 15% e o teor de umidade natural encontrado foi de 24%.

Tabela 27 Granulometria do ponto 2 (valores em percentual)

Argila	Silte	Areia			Pedregulho			de Mão
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
22,71	29,74	26,70	8,34	12,06	0,46	0,00	0,00	0,00

Figura 64 Curva granulométrica do ponto 2



5.4.3 Ponto 3 – Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários (AQPsq)

A unidade geotécnica Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários está presente em áreas de relevos inferiores a 20% de inclinação, com altitudes de até 70m. As amostras para as análises de laboratório foram coletadas a uma profundidade de 2,10m, conforme a figura 65, no bairro Lagoa da Conceição.

Figura 65 Ponto 3 de coleta



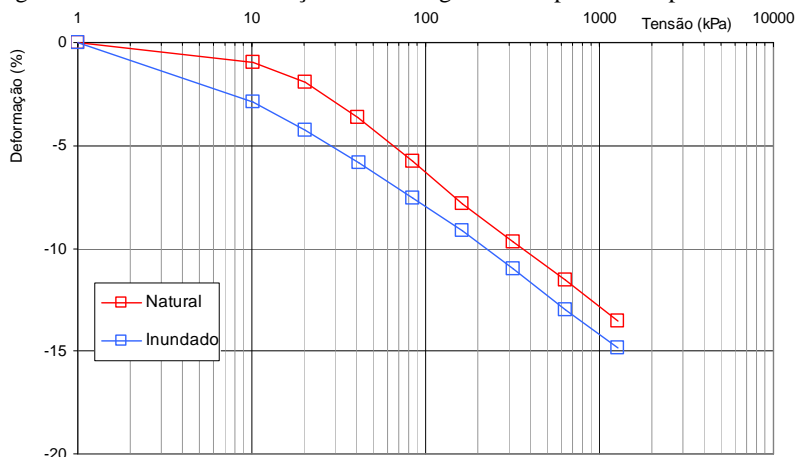
5.4.3.1 Ensaio Edométrico do Ponto 3

Com base nos resultados do ensaio edométrico foi possível construir o gráfico da figura 66, onde é apresentada a variação das deformações em relação à tensão vertical em escala logarítmica. O potencial de colapso foi calculado e classificado conforme a tabela 28, os valores variaram de 1,29 a 2,33, observou-se que os resultados caracterizaram este solo na classe denominada “problema moderado” quanto à colapsibilidade para as tensões avaliadas.

Tabela 28 Potencial de colapso do ponto 3

Tensão	Potencial de colapso	Classe
25kPa	2,33	Problema moderado
50kPa	2,14	Problema moderado
100kPa	1,67	Problema moderado
150kPa	1,38	problema moderado
200kPa	1,29	problema moderado
250kPa	1,29	problema moderado
300kPa	1,29	problema moderado

Figura 66 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 3



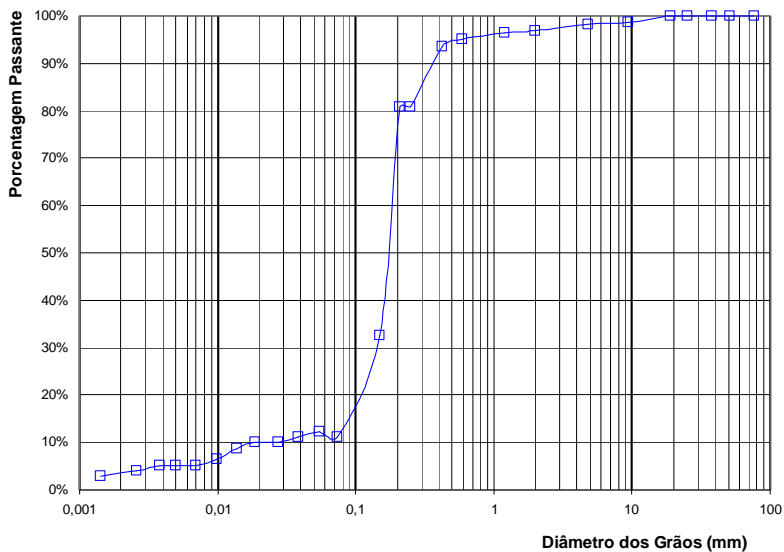
5.4.3.2 Ensaios de Caracterização do Ponto 3

O ensaio de granulometria resultou em uma areia fina, com os percentuais apresentados na tabela 29 e a curva granulométrica conforme a figura 67. O ensaio de massa específica deste solo resultou em $2,68\text{g/cm}^3$. O valor do limite de liquidez resultou em 12%, enquanto que o limite de plasticidade e o índice de plasticidade foram classificados como não plástico, o teor de umidade natural encontrado foi de 7%.

Tabela 29 Granulometria do ponto 3 (valores em percentual)

Argila	Silte	Areia			Pedregulho			de Mão
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
3,42	8,61	68,74	14,29	1,80	1,70	1,44	0,00	0,00

Figura 67 Curva granulométrica do ponto 3



5.4.4 Ponto 4 – Cambissolo de substrato granito (Cg)

A unidade geotécnica Cambissolo de substrato granito, está presente em áreas de relevos onde predominam inclinações de 8 a 45%, com altitudes entre 100 e 497m. As amostras para as análises de laboratório foram coletadas a uma profundidade de 1,50m, conforme a figura 68, no bairro Lagoa da Conceição.

Figura 68 Ponto 4 de coleta



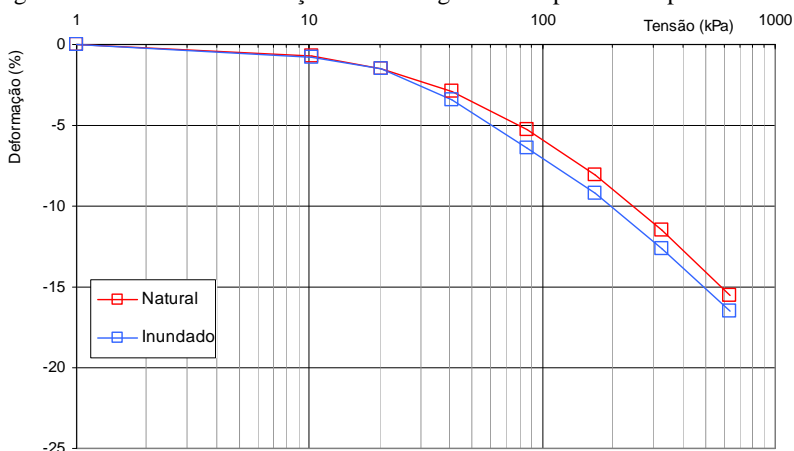
5.4.4.1 Ensaio Edométrico do Ponto 4

Com base nos resultados do ensaio edométrico foi possível construir o gráfico da figura 69 é apresentada a variação das deformações em relação à tensão vertical em escala logarítmica. O potencial de colapso foi calculado e classificado conforme a tabela 30, os valores variaram de 0,10 a 1,19, observou-se que os resultados caracterizaram este solo na classe denominada “problema moderado” ou “sem problemas” relacionados com colapso de acordo com as tensões avaliadas.

Tabela 30 Potencial de colapso do ponto 4

Tensão	Potencial de colapso	Classe
25kPa	0,10	Sem problema
50kPa	0,67	Sem problema
100kPa	1,19	Problema moderado
150kPa	1,19	Problema moderado
200kPa	1,19	Problema moderado
250kPa	1,19	Problema moderado
300kPa	1,19	Problema moderado

Figura 69 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 4



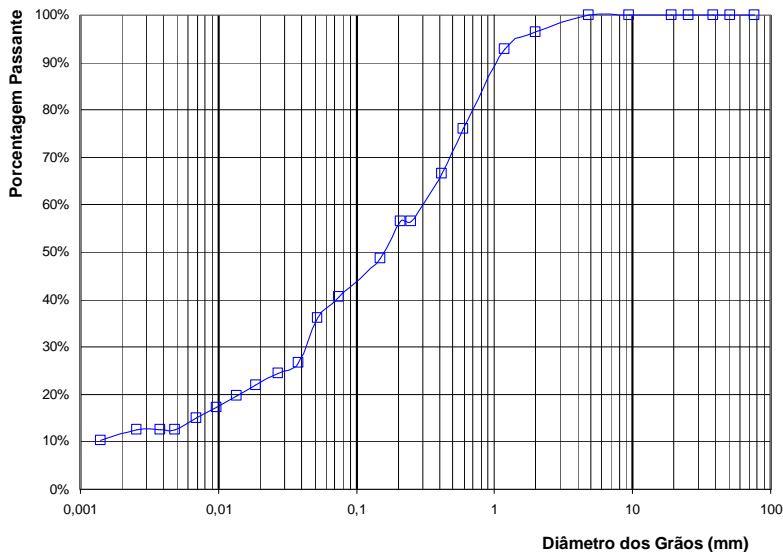
5.4.4.2 Ensaios de Caracterização do Ponto 4

O ensaio de granulometria resultou em um silte arenoso, com os percentuais apresentados na tabela 31, e curva granulométrica conforme a figura 70. O ensaio de massa específica deste solo resultou em $2,72\text{g/cm}^3$. O valor do limite de liquidez resultou em 45% enquanto que o limite de plasticidade foi de 28%, resultando em um índice de plasticidade de 17%, o teor de umidade natural encontrado foi de 18%.

Tabela 31 Granulometria do ponto 4 (valores em percentual)

Argila	Silte	Areia			Pedregulho			de Mão
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
11,53	26,23	18,79	19,53	20,33	3,59	0,00	0,00	0,00

Figura 70 Curva granulométrica do ponto 4



5.4.5 Ponto 5 – Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários (AQsq)

A unidade geotécnica Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários está presente em áreas de relevos com até 2% inclinação com altitudes de até 20m. As amostras para as análises de laboratório foram coletadas a uma profundidade de 1,70m, conforme a figura 71, no bairro Barra Lagoa.

Figura 71 Ponto 5 de coleta



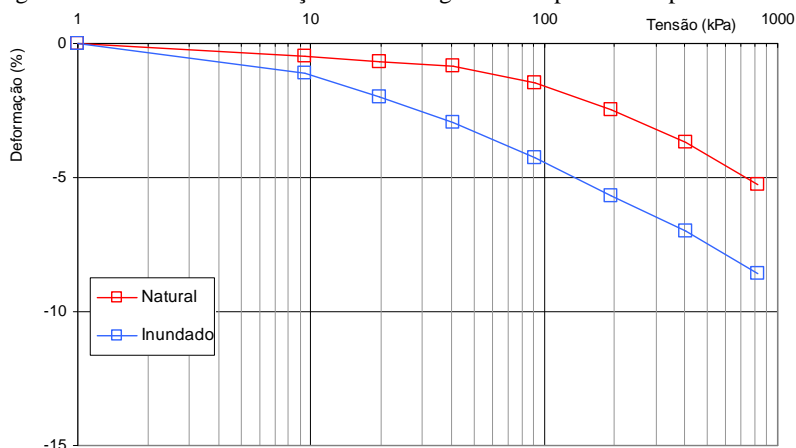
5.4.5.1 Ensaio Edométrico do Ponto 5

Com base nos resultados do ensaio edométrico foi possível construir o gráfico da figura 72, onde é apresentada a variação das deformações em relação à tensão vertical em escala logarítmica. O potencial de colapso foi calculado e classificado conforme a tabela 32, os valores variaram de 1,34 a 3,34, observou-se que os resultados caracterizaram este solo na classe denominada “problema moderado” quanto à colapsibilidade para as tensões avaliadas.

Tabela 32 Potencial de colapso para o ponto 5

Tensão	Potencial de colapso	Classe
25kPa	1,34	problema moderado
50kPa	2,31	problema moderado
100kPa	2,42	problema moderado
150kPa	3,11	problema moderado
200kPa	3,27	problema moderado
250kPa	3,33	problema moderado
300kPa	3,34	problema moderado

Figura 72 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 5



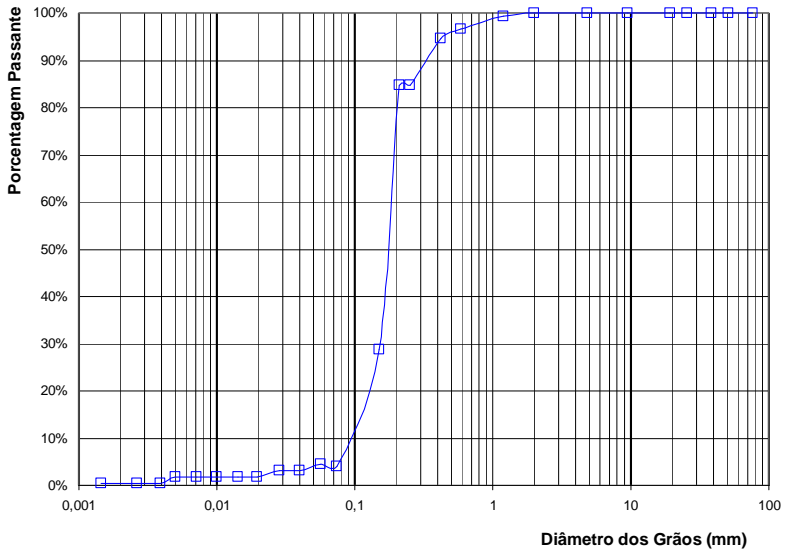
5.4.5.2 Ensaios de Caracterização do Ponto 5

O ensaio de granulometria resultou em uma areia, com os percentuais apresentados na tabela 33 e curva granulométrica conforme a figura 73. O ensaio de massa específica deste solo resultou em 2,69g/cm³. Por se tratar de um solo mais arenoso apresentou-se como não líquido e não plástico, o teor de umidade natural encontrado foi de 20,4%.

Tabela 33 Granulometria do ponto 5 (valores em percentual)

Argila	Silte	Areia			Pedregulho			de Mão
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
0,51	3,87	80,28	11,90	3,38	0,06	0,00	0,00	0,00

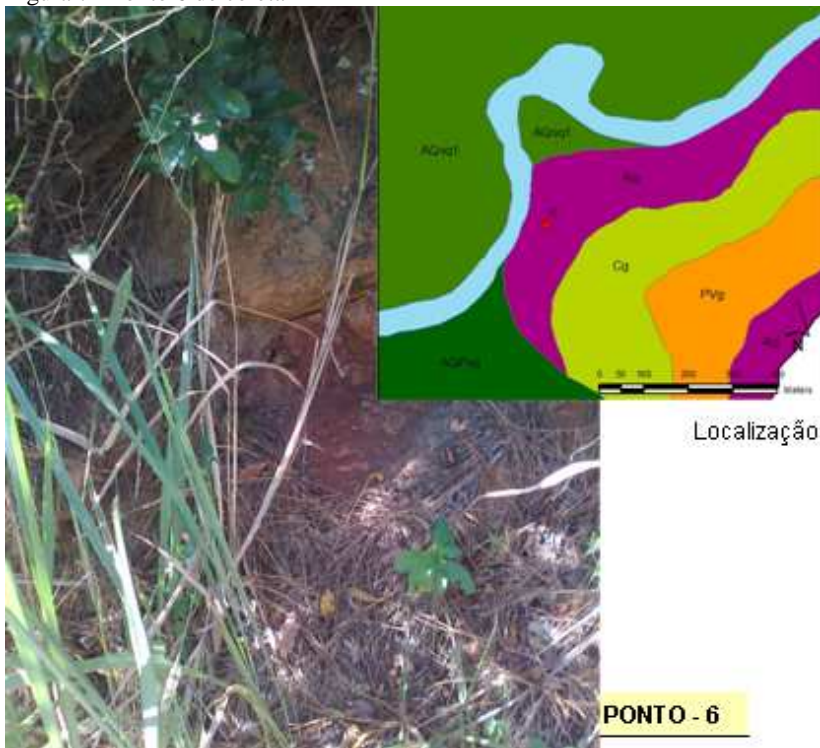
Figura 73 Curva granulométrica do ponto 5



5.4.6 Ponto 6 – Solos Litólicos de substrato granito (Rg)

A unidade geotécnica Solos Litólicos de substrato granito está localizada em áreas com relevo de 8 a 45% de inclinação, com altitudes de até 200m. As amostras para as análises de laboratório foram coletadas a uma profundidade de 1,80m, conforme a figura 74, no bairro Barra da Lagoa, próximo a comunidade Fortaleza da Barra.

Figura 74 Ponto 6 de coleta



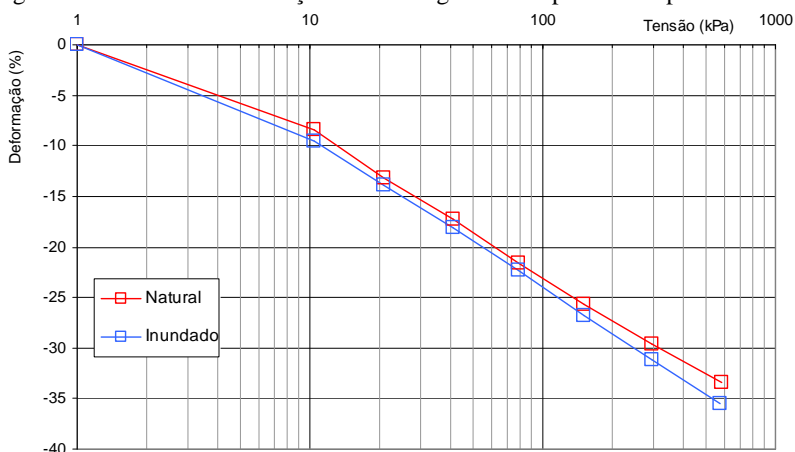
5.4.6.1 Ensaio Edométrico do Ponto 6

Com base nos resultados do ensaio edométrico foi possível construir o gráfico da figura 75, onde é apresentada a variação das deformações em relação à tensão vertical em escala logarítmica. O potencial de colapso foi calculado e classificado conforme a tabela 34, os valores variaram de 0,69 a 1,49, observou-se que os resultados caracterizaram este solo na classe denominada “sem problemas” ou com “problema moderado” para as tensões avaliadas.

Tabela 34 Potencial de colapso do ponto 6

Tensão	Potencial de colapso	Classe
25kPa	0,69	sem problema
50kPa	0,80	sem problema
100kPa	0,77	sem problema
150kPa	1,11	problema moderado
200kPa	1,30	problema moderado
250kPa	1,42	problema moderado
300kPa	1,49	problema moderado

Figura 75 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 6



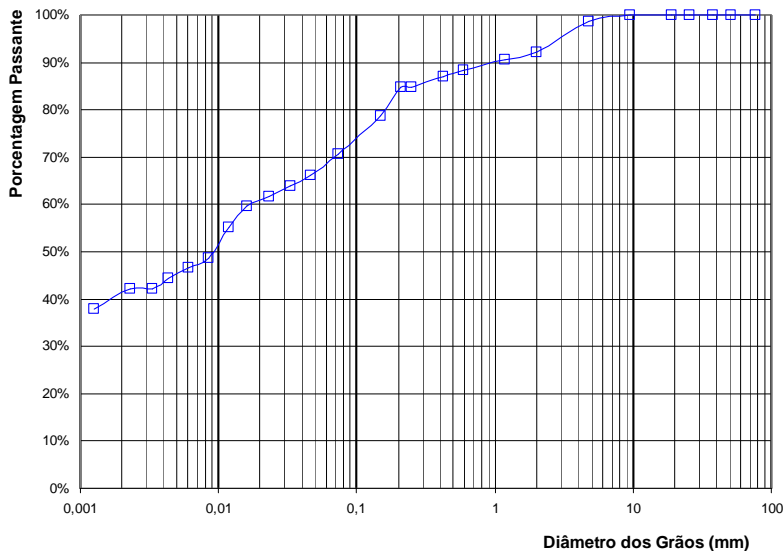
5.4.6.2 Ensaios de Caracterização do Ponto 6

O ensaio de granulometria resultou em uma argila siltosa, com os percentuais apresentados na tabela 35 e curva granulométrica conforme a figura 76. O ensaio de massa específica deste solo resultou em $2,84\text{g/cm}^3$. O valor do limite de liquidez resultou em 44% enquanto que o limite de plasticidade foi de 28%, resultando em um índice de plasticidade de 16%, o teor de umidade natural encontrado foi de 20%.

Tabela 35 Granulometria do ponto 6 (valores em percentual)

Argila	Silte	Areia			Pedregulho			de Mão
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
40,99	27,36	16,43	3,47	3,95	7,80	0,00	0,00	0,00

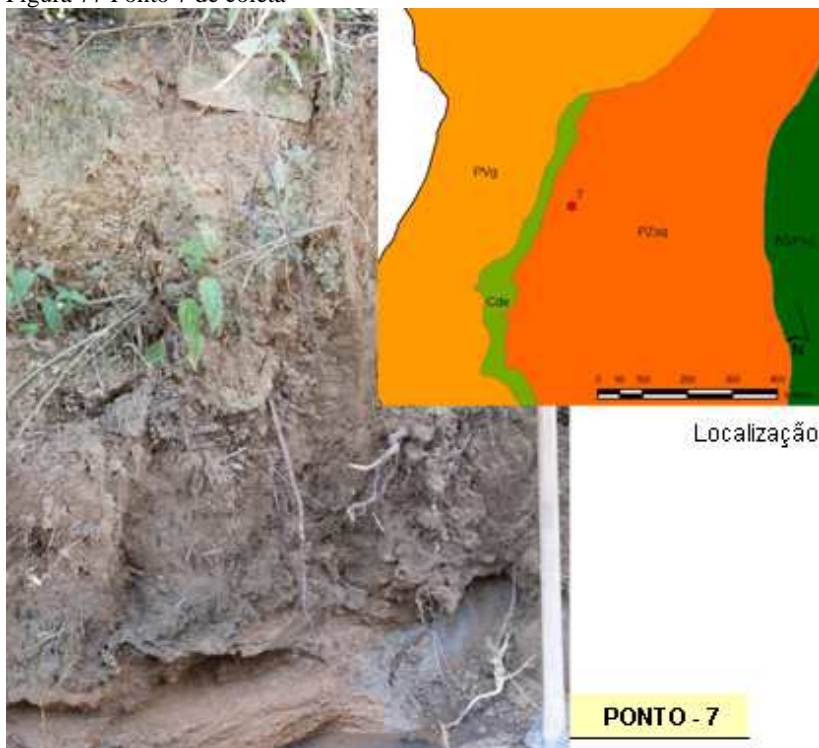
Figura 76 Curva granulométrica do ponto 6



5.4.7 Ponto 7 – Podzólico Vermelho-Amarelo de sedimentos quaternários (PZsq)

A unidade geotécnica Podzólico Vermelho-Amarelo de sedimentos quaternários está localizada em áreas com relevo predominante até 3% de inclinação, com altitudes de até 60m. As amostras para as análises de laboratório foram coletadas a de 1,50m de profundidade, conforme a figura 77 no bairro Vargem Grande.

Figura 77 Ponto 7 de coleta



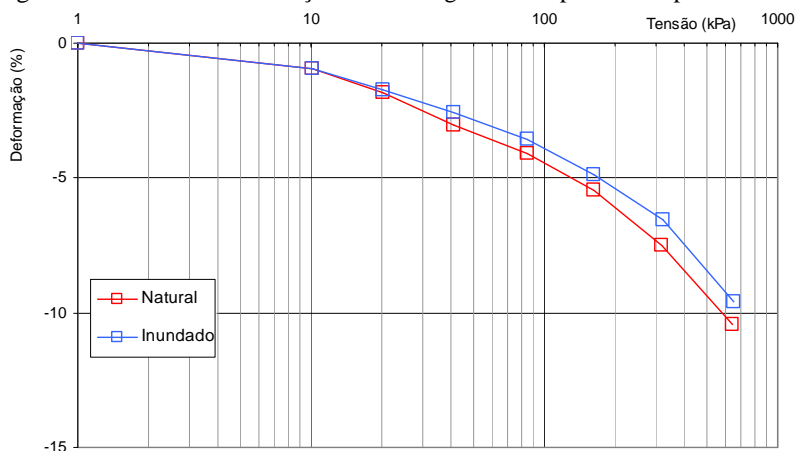
5.4.7.1 Ensaio Edométrico do Ponto 7

Com base nos resultados do ensaio edométrico foi possível construir o gráfico da figura 78, onde é apresentada a variação das deformações em relação à tensão vertical em escala logarítmica. O potencial de colapso foi calculado e classificado conforme a tabela 36, os valores variaram de -0,14 a -0,90, observou-se que os resultados caracterizaram este solo na classe denominada “sem problemas” para as tensões avaliadas.

Tabela 36 Potencial de colapso do ponto 7

Tensão	Potencial de colapso	Classe
25kPa	-0,14	Sem problema
50kPa	-0,48	Sem problema
100kPa	-0,57	Sem problema
150kPa	-0,57	Sem problema
200kPa	-0,62	Sem problema
250kPa	-0,71	Sem problema
300kPa	-0,90	Sem problema

Figura 78 Gráfico de deformações versus logaritmo da pressão no ponto 7



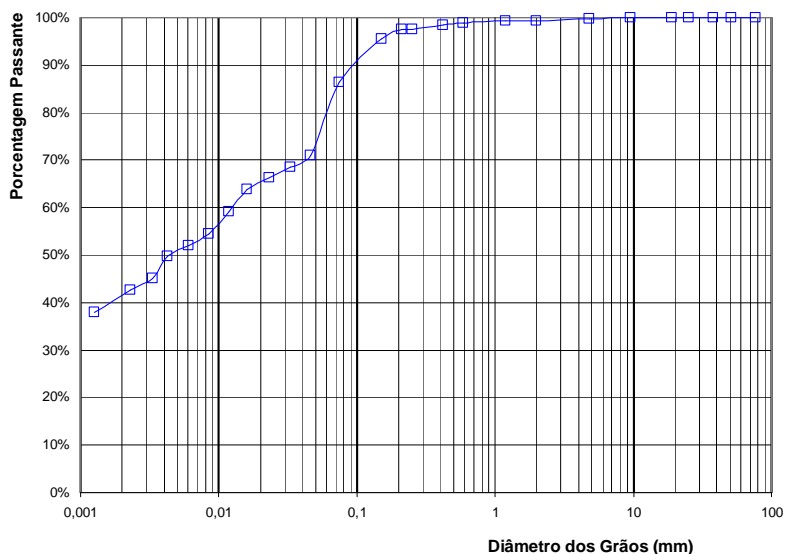
5.4.7.2 Ensaios de Caracterização do Ponto 7

O ensaio de granulometria resultou em uma argila siltosa, com os percentuais apresentados na tabela 37 e curva granulométrica conforme a figura 79. O ensaio de massa específica deste solo resultou em $2,86\text{g/cm}^3$. O valor do limite de liquidez resultou em 71%, limite de plasticidade 32%, índice de plasticidade foram 39% e o teor de umidade natural encontrado foi de 44,8%.

Tabela 37 Granulometria do ponto 7 (valores em percentual)

Argila	Silte	Areia			Pedregulho			de Mão
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
41,42	37,29	18,89	1,37	0,46	0,57	0,00	0,00	0,00

Figura 79 Curva granulométrica do ponto 7



5.4.8 Solo Orgânico de substrato sedimentos quaternários

Os Solos Orgânicos de substrato sedimentos quaternários apresentam uma resistência ao cisalhamento baixa. Nestes solos são empregadas geralmente fundações profundas, que não sofrem com a ação da colapsibilidade. Outro ponto a ser ressaltado para este tipo de unidade é que este solo apresenta o lençol freático próximo à superfície, estando constantemente inundado, fato esse que corrobora para que não sejam demandados estudos mais aprofundados acerca do colapso.

Dado a estes fatores, não foram realizados ensaios edométricos e de caracterização do solo nesta unidade, sendo então definida esta unidade no mapa de susceptibilidade ao colapso dos solos como sem problema.

5.4.9 Dunas de substrato sedimentos quaternários

Como este estudo visou dar subsídios ao uso e ocupação do solo, tendo em vista que estas áreas são de preservação permanente, entende-se que nesta unidade não possam ser construídas edificações. As edificações existentes ali se constituem em ocupação irregular, ficando a cargo dos órgãos responsáveis intervir junto às mesmas.

Outro fator de interferência no estudo dessas áreas é a inviabilidade de obtenção de amostras indeformadas, dado a sua constante alteração devido à ação dos ventos e a baixíssima coesão entre as partículas.

Portanto, nesta unidade também não foram realizados os ensaios edométricos e de caracterização do solo. No mapa de susceptibilidade ao colapso dos solos esta unidade consta como área de preservação.

5.5 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS E MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE AO COLAPSO

O gráfico da figura 80 mostra um comparativo entre as curvas obtidas nos ensaios edométricos de duplo anel, para os 7 solos analisados. Com base neste gráfico é possível visualizar a variação entre as diversas curvas obtidas. Observou-se que o solo mais compressível foi o do ponto 6 (Rg) e o menos compressível o do ponto 5 (AQsq).

A figura 81 apresenta um gráfico que compara a variação do potencial de colapso com as tensões em cada ponto estudado. Observa-se que os solos com maior potencial de colapso tendem a apresentar um aumento de acordo com o acréscimo de tensão, enquanto que os solos com potencial de colapso negativo tendem a ter uma diminuição no potencial de colapso.

A tabela 38 mostra os resultados de potencial de colapso e sua classe quanto ao problema. São apresentados os valores obtidos pelos cálculos para as seguintes tensões: 25, 50, 100, 150, 200, 250 e 300kPa, e a classificação de acordo com Jennings e Knight (1975), apud Benatti (2010).

A tabela 39 traz o comparativo entre as granulometrias, enquanto que a tabela 40 apresenta os resultados dos demais índices físicos, bem como os parâmetros de adensamento.

Com base nestes valores de granulometria e índices físicos foram estimados os valores de potencial de colapso apresentados na tabela 41, utilizando-se os métodos de Handy (1973), Prikloński (1952) e Clevenger (1958) apud Lutenecker e Saber (1988).

Figura 80 Curvas dos ensaios edométricos

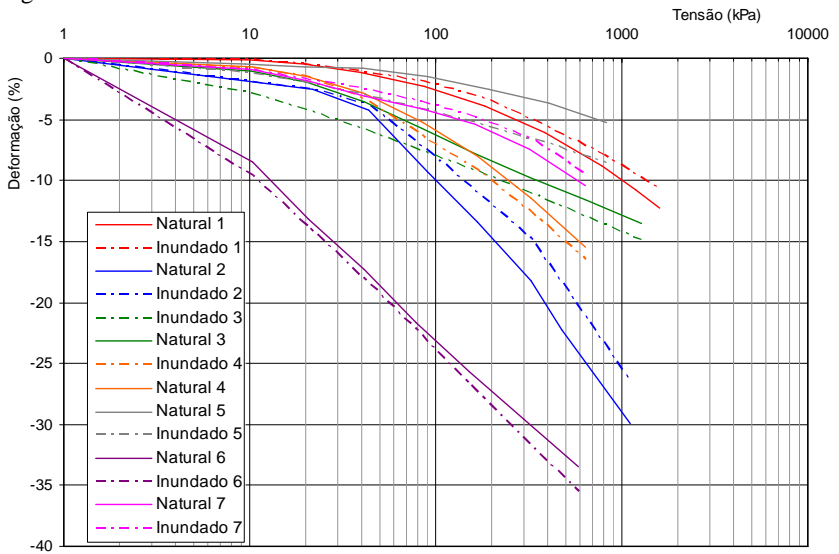


Figura 81 Comparativo entre os potenciais de colapso

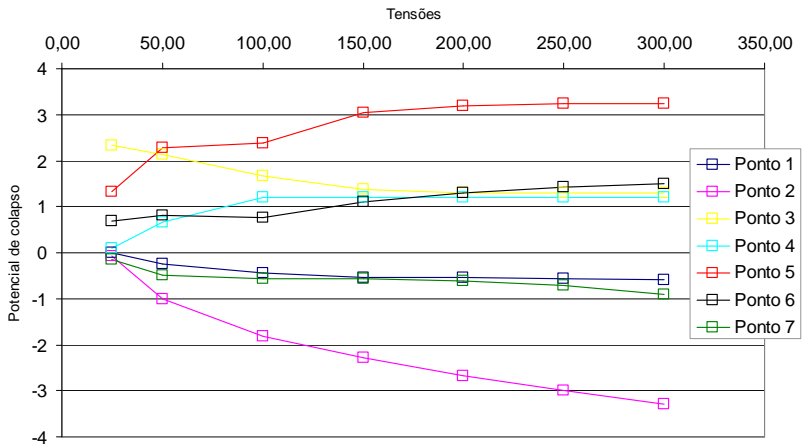


Tabela 38 Quadro geral – Potencial de colapso determinado por meio do ensaio Edométrico de duplo anel

Ponto	25kPa		50kPa		100kPa		150kPa		200kPa		250kPa		300kPa	
	PC	classe	PC	classe	PC	classe	PC	classe	PC	classe	PC	classe	PC	classe
1	0,01	Sem problema	-0,25	Sem problema	-0,43	Sem problema	-0,55	Sem problema	-0,54	Sem problema	-0,57	Sem problema	-0,59	Sem problema
2	-0,07	Sem problema	-1,00	Sem problema	-1,81	Sem problema	-2,29	Sem problema	-2,67	Sem problema	-3	Sem problema	-3,28	Sem problema
3	2,33	Problema moderado	2,14	Problema moderado	1,67	Problema moderado	1,38	Problema moderado	1,29	Problema moderado	1,29	Problema moderado	1,29	Problema moderado
4	0,10	Sem problema	0,67	Sem problema	1,19	Problema moderado	1,19	Problema moderado	1,19	Problema moderado	1,19	Problema moderado	1,19	Problema moderado
5	1,33	Problema moderado	2,29	Problema moderado	2,38	Problema moderado	3,05	Problema moderado	3,19	Problema moderado	3,24	Problema moderado	3,24	Problema moderado
6	0,69	Sem problema	0,8	Sem problema	0,77	Sem problema	1,11	Problema moderado	1,3	Problema moderado	1,42	Problema moderado	1,49	Problema moderado
7	-0,14	Sem problema	-0,48	Sem problema	-0,57	Sem problema	-0,57	Sem problema	-0,62	Sem problema	-0,71	Sem problema	-0,90	Sem problema

Onde: Ponto 1 = Cde, Ponto 2 = PVg, Ponto 3 = AQPsq, Ponto 4 = Cg, Ponto 5 = Rg, Ponto 6 = AQsq, Ponto 7 = PZsq.

Tabela 39 Quadro geral – Granulometria (%)

Ponto	Argila	Silte	A. Fina	A. Média	A. Grossa	P. Fino	P. Médio	P.grosso	P.mão
1	5,29	24,82	36,12	16,77	13,97	2,70	0,32	0,00	0,00
2	22,71	29,74	26,70	8,34	12,06	0,46	0,00	0,00	0,00
3	3,42	8,61	68,74	14,29	1,80	1,70	1,44	0,00	0,00
4	11,53	26,23	18,79	19,53	20,33	3,59	0,00	0,00	0,00
5	0,51	3,87	80,28	11,90	3,38	0,06	0,00	0,00	0,00
6	40,99	27,36	16,43	3,47	3,95	7,80	0,00	0,00	0,00
7	41,42	37,29	18,89	1,37	0,46	0,57	0,00	0,00	0,00

Tabela 40 Índices físicos e parâmetros de adensamento

Ponto	w (%)	δ (g/cm ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	e	n (%)	S_r	$\tau'p$ (kPa)	Cc (kPa)	Cr (kPa)
1	20	2,62	19,1	15,8	19,8	21	NP	NP	0,65	39,4	0,81	103	24	5
2	24	2,68	16,3	10,9	17,5	54	39	15	1,25	55,6	0,51	160	66	9
3	7	2,69	15,3	13,8	18,9	12	NP	NP	0,88	46,8	0,21	28	12	8
4	18	2,72	15,8	13,4	18,5	45	28	17	1,02	50,5	0,48	50	50	5
5	6	2,69	14,5	13,9	18,8	NL	NP	NP	0,91	47,6	0,18	44	18	11
6	20	2,84	12,1	9,9	16,5	44	28	16	1,82	64,5	0,31	-	-	-
7	45	2,86	15,84	10,5	17,1	71	31	39	1,62	61,8	0,79	106	21	18

Onde: Ponto 1 = Cde, Ponto 2 = PVg, Ponto 3 = AQPsq, Ponto 4 = Cg, Ponto 5 = Rg, Ponto 6 = AQSq, Ponto 7 = PZsq, w – umidade natural; δ – massa específica dos grãos de sólido; γ_{nat} – peso específico do solo natural; γ_s – peso específico do solo seco; γ_{sat} – peso específico do solo saturado; LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; e – índice de vazios, p'a – pressão de pré-adensamento, Cc – coeficiente de compressão, Cr – coeficiente de recompressão. Valores de p'a, Cc e Cr obtidos por meio do método Pacheco Silva.

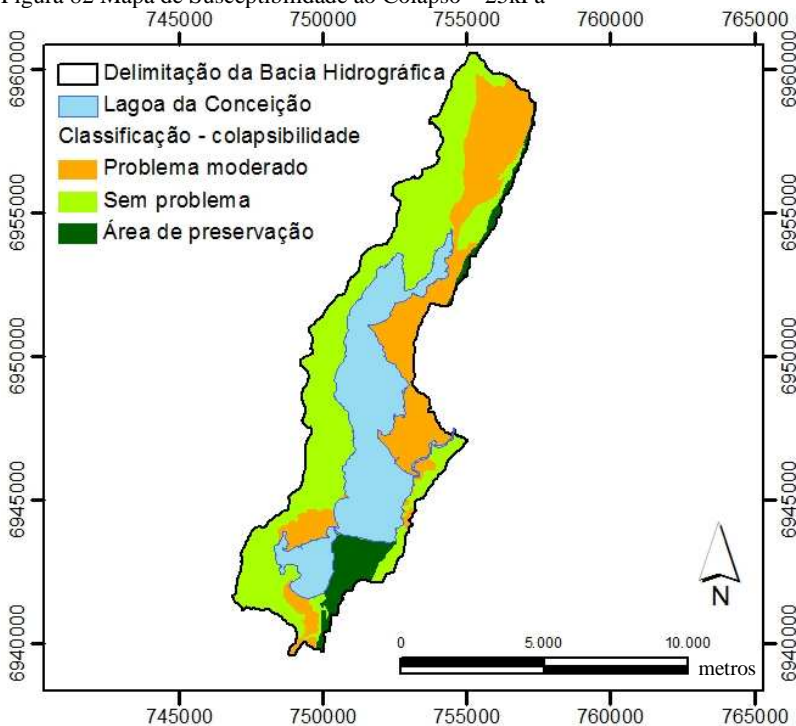
Tabela 41 Estimativa de Colapso por Índices Físicos

Ponto	Handy (1973)	Priklonskij (1952)	Clevenger (1958) apud Lutenegeger e Saber (1988)	Kassif e Henkin (1967)
1	5,29% Alta probabilidade de colapso	1,49 Expansivo	15,8 Recalque esperado é reduzido	-0,59 Não colapsível
2	22,71% Provavelmente colapsível	1,27 Expansivo	19,8 Recalque esperado é reduzido	26,16 Não colapsível
3	3,42% Alta probabilidade de colapso	2,29 Expansivo	17,5 Recalque esperado é reduzido	9,66 Colapsível
4	11,53% Alta probabilidade de colapso	1,64 Expansivo	18,9 Recalque esperado é reduzido	24,12 Não colapsível
5	0,51% Alta probabilidade de colapso	2,39 Expansivo	18,5 Recalque esperado é reduzido	8,34 Colapsível
6	40,99% Geralmente não colapsível	1,50 Expansivo	18,8 Recalque esperado é reduzido	19,8 Não colapsível
7	41,42% Geralmente não colapsível	1,41 Expansivo	18,2 Recalque esperado é reduzido	1,28 Colapsível

Onde: Ponto 1 = Cde, Ponto 2 = PVg, Ponto 3 = AQPsq, Ponto 4 = Cg, Ponto 5 = Rg, Ponto 6 = AQsq, Ponto 7 = PZsq.

Com base nos resultados alcançados foram gerados mapas de potencial de colapso cenários diferentes de acordo com as tensões verticais mencionadas. Estes mapas são apresentados nas figuras 82, 83, 84, 85, 86, 87 e 88.

Figura 82 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso – 25kPa



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

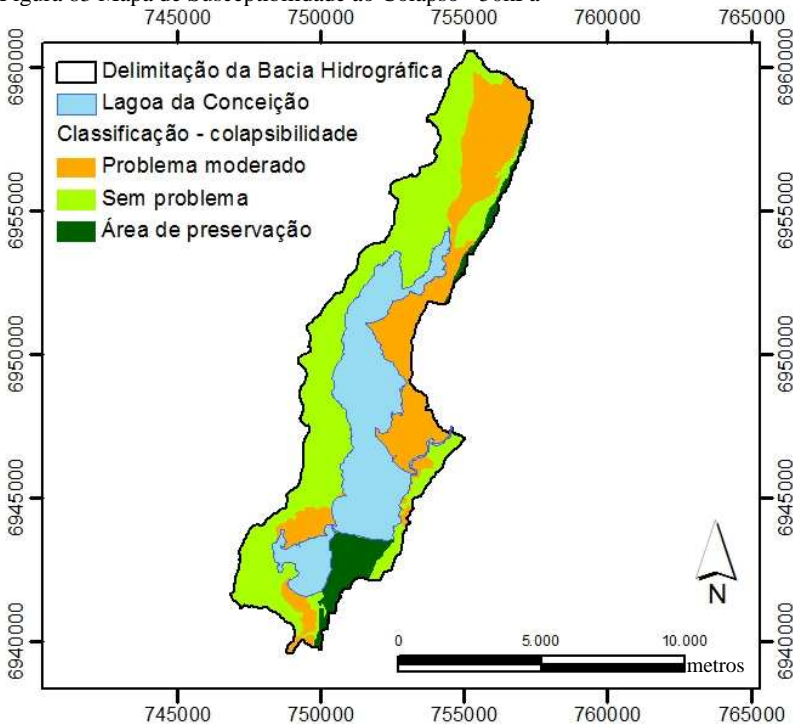
Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central: -51,0000

Latitude de origem: 0,0000

Unidades: metros

Figura 83 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 50kPa



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

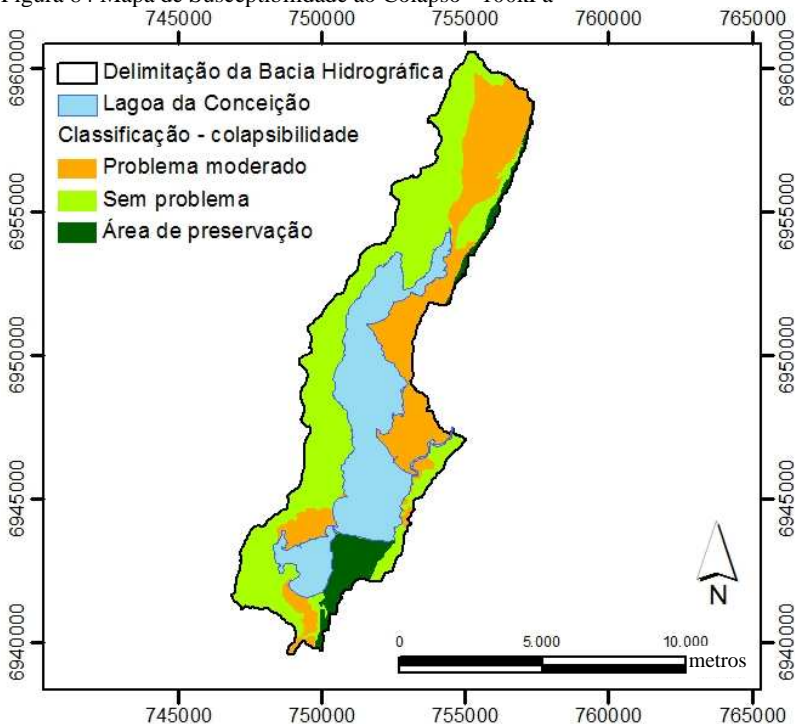
Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central: -51,0000

Latitude de origem: 0,0000

Unidades: metros

Figura 84 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 100kPa



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

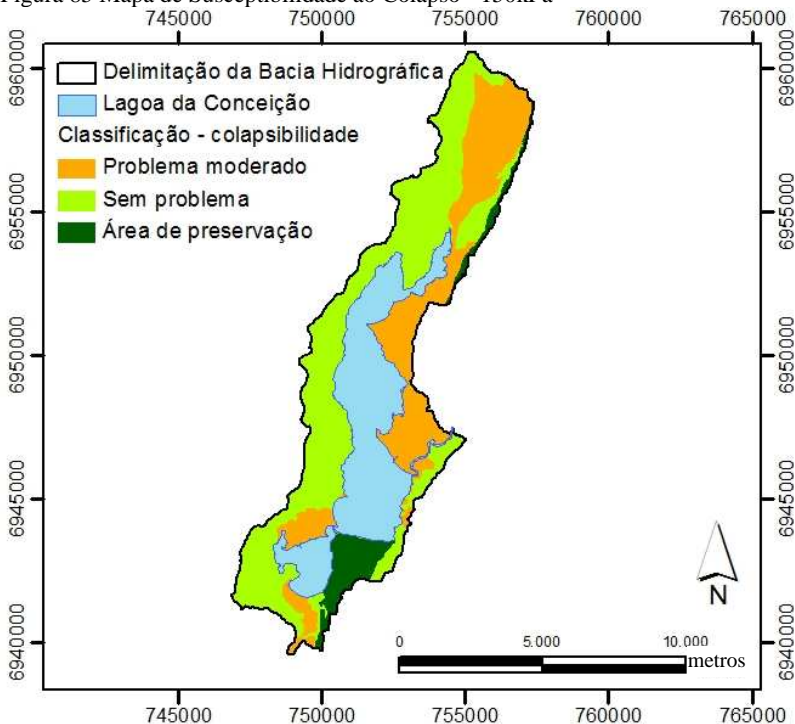
Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central: -51,0000

Latitude de origem: 0,0000

Unidades: metros

Figura 85 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 150kPa



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

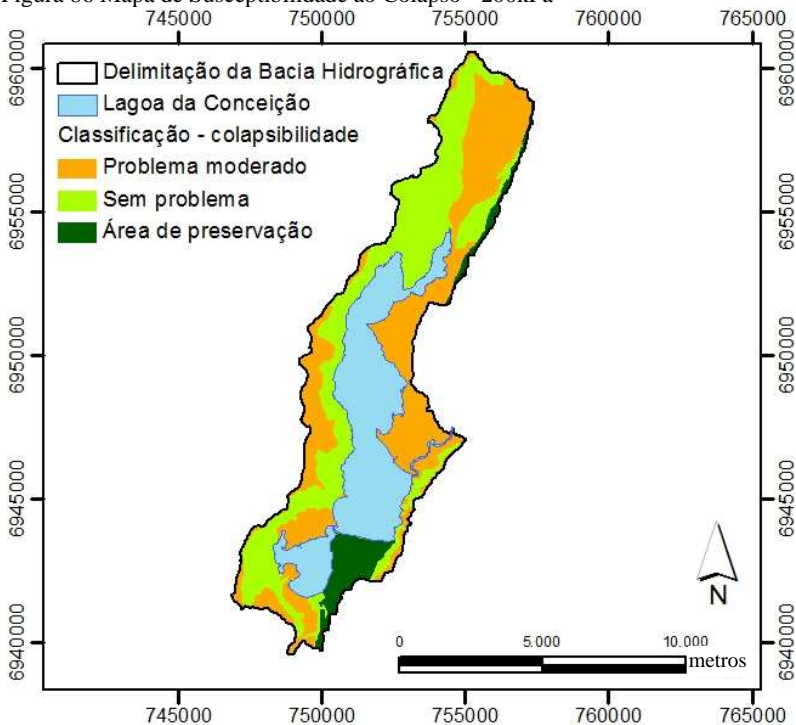
Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central: -51,0000

Latitude de origem: 0,0000

Unidades: metros

Figura 86 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 200kPa



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central: -51,0000

Latitude de origem: 0,0000

Unidades: metros

Figura 87 Mapa de Susceptibilidade ao Colapso - 250kPa

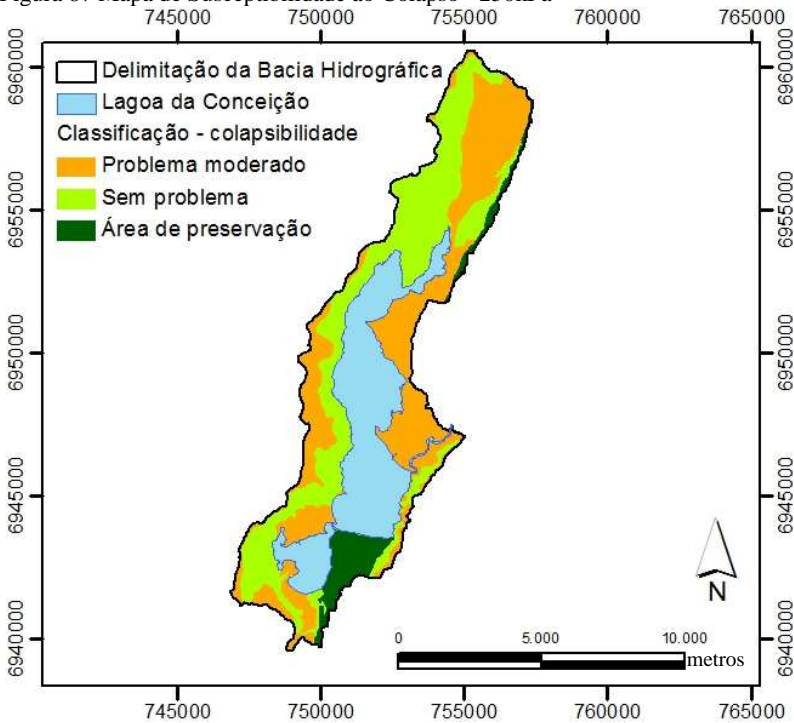
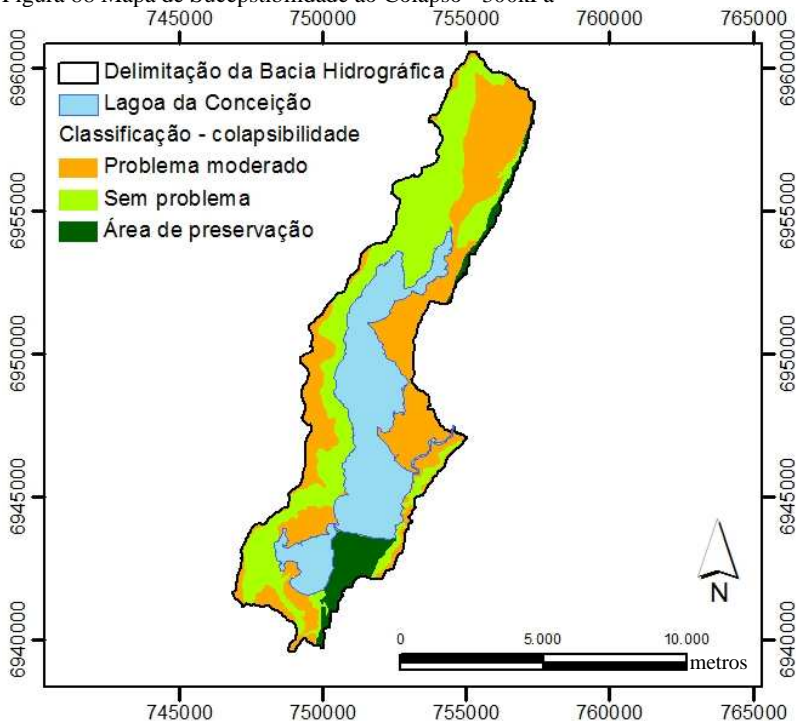


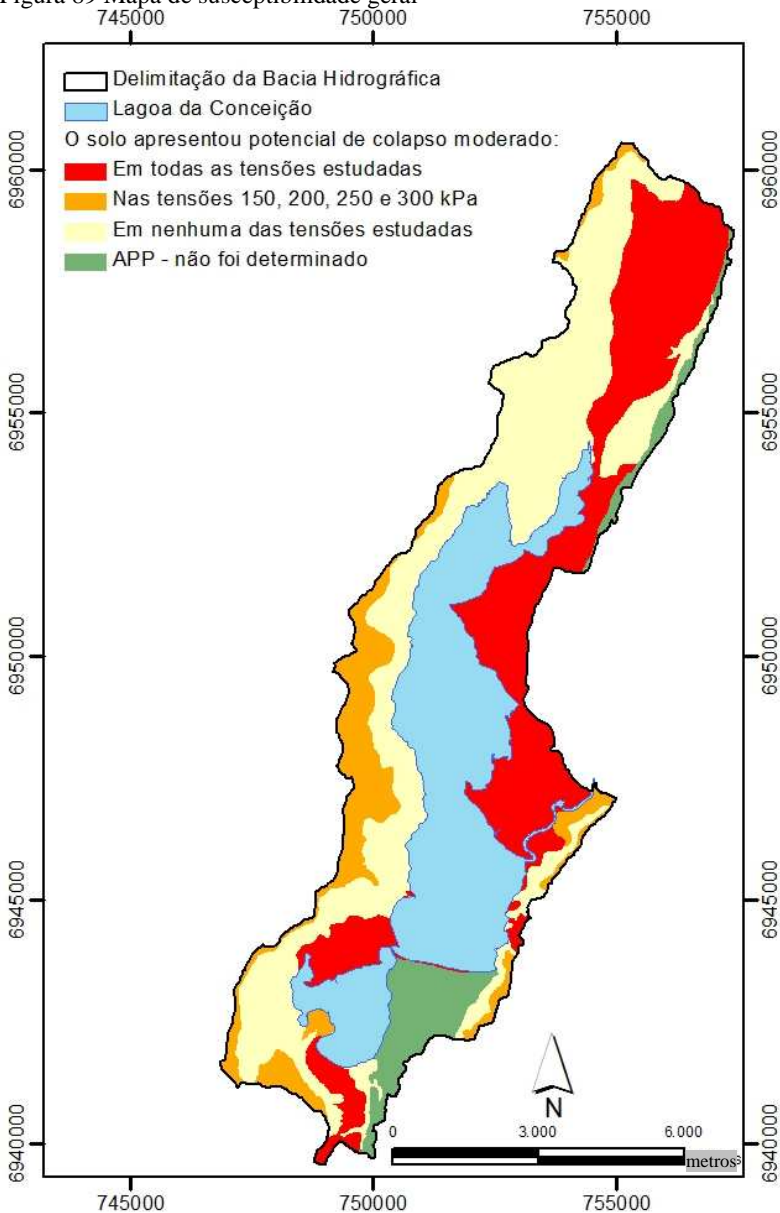
Figura 88 Mapa de Suceptibilidade ao Colapso - 300kPa



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S Datum: SIRGAS 2000
Meridiano Central: -51,0000 Latitude de origem: 0,0000
Unidades: metros

A figura 89 apresenta um mapa geral de susceptibilidade ao colapso dos solos. Este mapa divide a zona de estudos de acordo com as tensões em que o solo apresentou potencial de colapso moderado, conforme a classificação de Jennings e Knight (1975), apud Benatti (2010). Observou-se que as tensões 150, 200, 250 e 300 kPa foram as que mais apresentaram solos com potencial de colapsabilidade moderado. A área total de solos moderadamente colapsáveis nestas quatro tensões ou em todas foi de 27,58km² o que corresponde a 48,7% da porção de solos da área de estudos.

Figura 89 Mapa de susceptibilidade geral



Sistema de Coordenadas: UTM Zona 22S

Meridiano Central: -51,0000

Unidades: metros

Datum: SIRGAS 2000

Latitude de origem: 0,0000

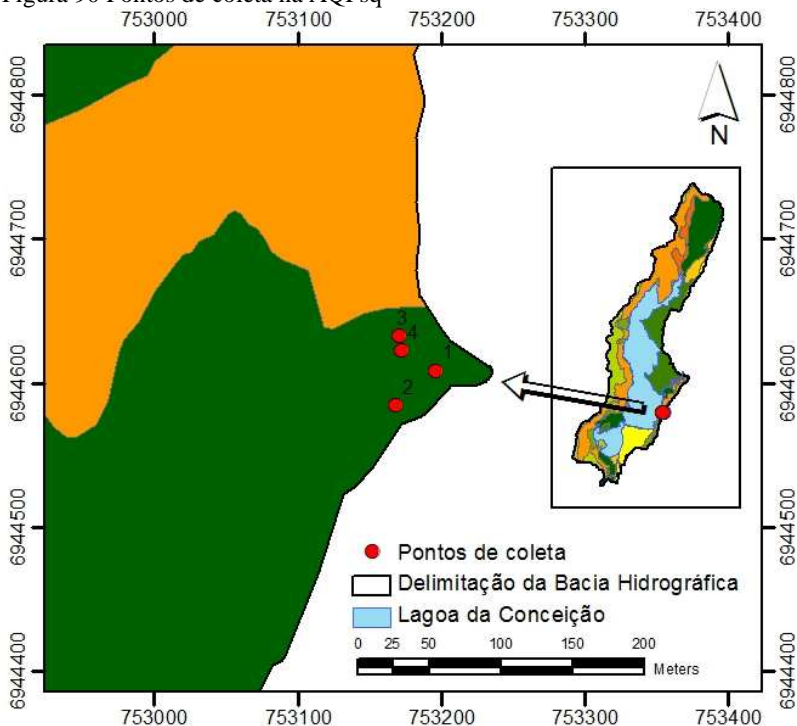
5.6 AREIA QUARTZOSA PODZOLIZADA DE SUBSTRATO SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios de avaliação do colapso por meio de ensaio edométrico simples, bem como os de análise da estrutura e composição destes solos.

5.6.1 Ensaio Edométrico Simples

O solo utilizado neste ensaio foi coletado na área próxima ao Balneário Praia Mole, nos pontos apresentados na figura 91 e localizados conforme o mapa da figura 90. As coordenadas geográficas de cada ponto de coleta constam na tabela 42.

Figura 90 Pontos de coleta na AQPsq



A tabela 43 apresenta o resultado dos ensaios edométrico simples cada um dos 4 pontos submetidos as tensões de 15, 30, 50, 100, 150, 200 e 250kPa, o gráfico da figura 92 traz um comparativo. Observa-se que em todos os ensaios os solos apresentaram potencial de colapsibilidade moderado assim como observado nos ensaios edométricos de duplo anel.

Tabela 42 Coordenadas geográficas dos pontos de coleta para o ensaio edométrico simples

Ponto	Unidade Geotécnica	Coordenada X	Coordenada Y
P1	AQPsq	-48,434771	-27,598839
P2	AQPsq	-48,435049	-27,59906
P3	AQPsq	-48,435035	-27,598625
P4	AQPsq	-48,435021	-27,598718

Figura 91 Pontos 1, 2, 3 e 4 de coleta na AQPsq



(P 1)



(P 2)

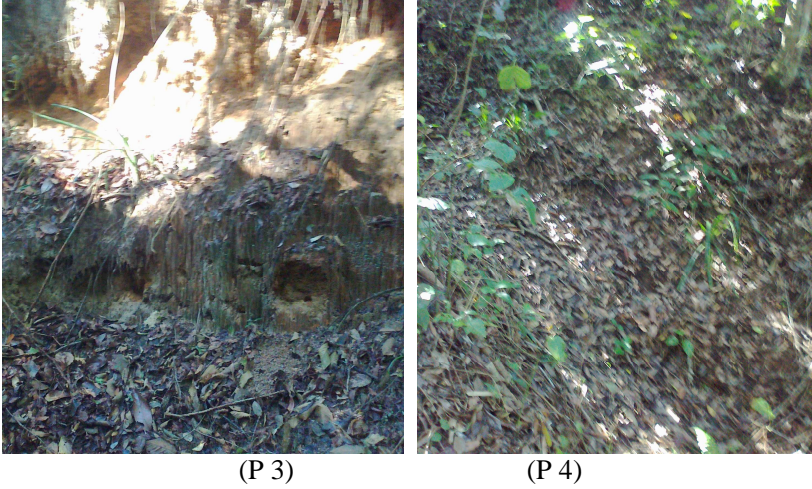


Figura 92 Gráfico indicando os resultados dos ensaios edométrico simples

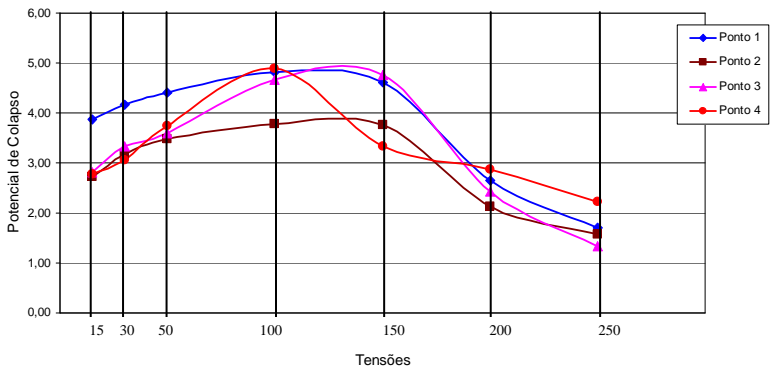


Tabela 43 Potencial de colapso determinado por meio do ensaio edométrico simples

Tensão		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
15kPa	PC	3,87	2,73	2,82	2,776
	Classe	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado
30kPa	PC	4,17	3,17	3,33	3,053
	Classe	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado
50kPa	PC	4,41	3,473	3,593	3,735
	Classe	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado
100kPa	PC	4,809	3,775	4,675	4,889
	Classe	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado
150kPa	PC	4,614	3,763	4,763	3,332
	Classe	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado
200kPa	PC	2,643	2,134	2,434	2,879
	Classe	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado
250kPa	PC	1,71	1,57	1,33	2,224
	Classe	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado	Problema moderado

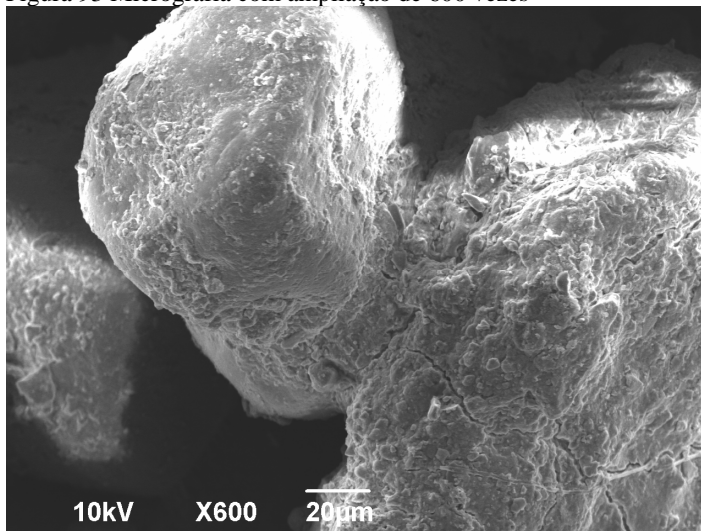
Foi observado que alguns dos resultados dos ensaios edométrico simples apresentaram um maior potencial de colapso em relação ao ensaio de duplo anel, contudo não foram suficientes para que fossem classificados em uma outra classe de colapsabilidade. Outros fatores como o relevo, umidade do solo e a própria granulometria podem ter sido os responsáveis por esta variação, uma vez que o local onde foi coletado o solo para estas duas categorias do ensaio edométrico não foram os mesmos.

5.6.2 Microscopia eletrônica de varredura e energia dispersiva por raios X (EDS)

Com base nos ensaios de microscopia eletrônica de varredura executados no solo da unidade AQPsq, foram obtidas as micrografias das figuras 93, 94, 95 e 96. Com base nas imagens foi possível visualizar uma estrutura porosa, onde os grãos maiores (areias) são ligados por partículas menores formadas por argila ou silte. Estas

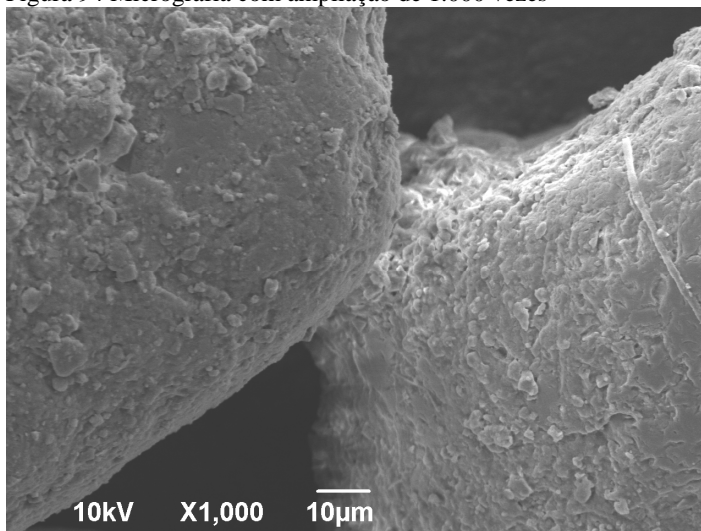
ligações surgem em forma de pontes e contrafortes de argila que proporcionam certa cimentação para este tipo de solo.

Figura 93 Micrografia com ampliação de 600 vezes



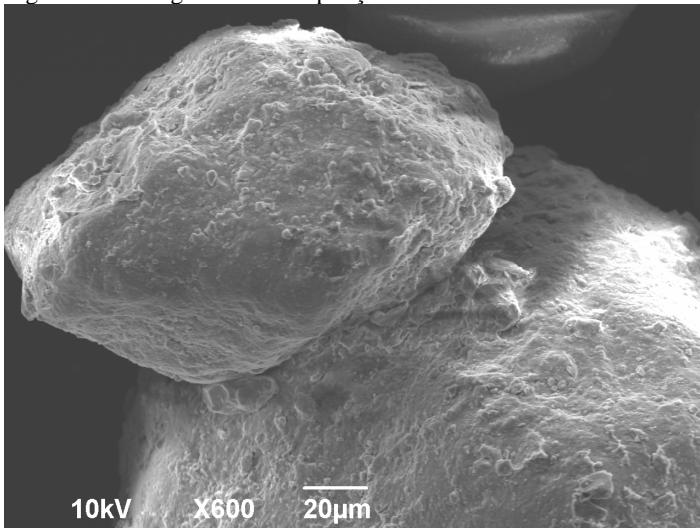
Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

Figura 94 Micrografia com ampliação de 1.000 vezes



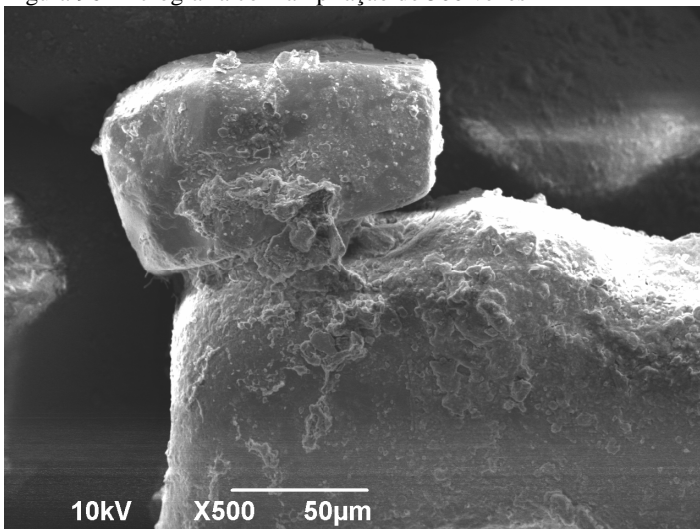
Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

Figura 95 Micrografia com ampliação de 600 vezes



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

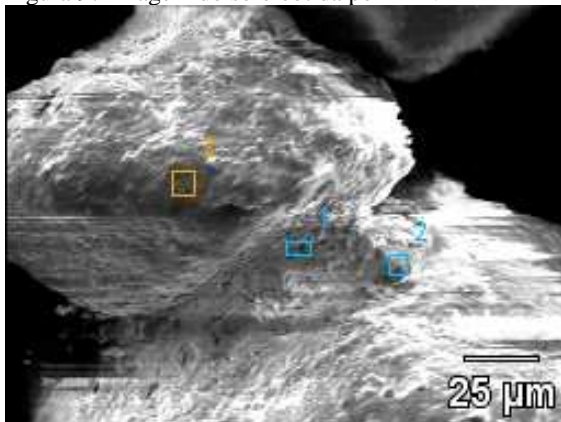
Figura 96 Micrografia com ampliação de 500 vezes



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

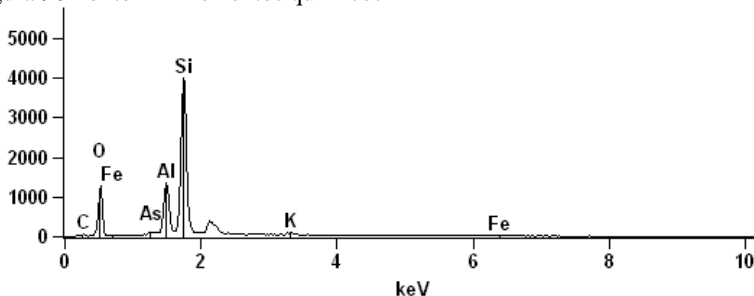
Na micrografia da figura 97 podem ser visualizados os pontos amostrados sendo que os elementos químicos obtidos foram C, Fe, Si, Al, O, As, K, Ti e Mg, conforme figuras 98, 99 e 100. Com base neste ensaio pôde-se constatar a presença significativa de ferro e sílica, os demais elementos presentes nos gráficos não podem ser confirmados sendo necessária a realização de outras análises.

Figura 97 Imagem do solo obtida por MEV



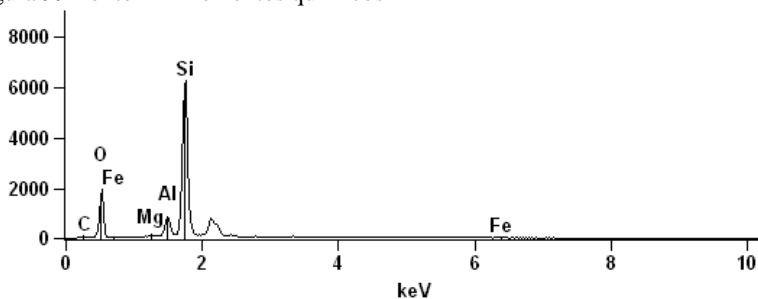
Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

Figura 98 Ponto 1 – Elementos químicos



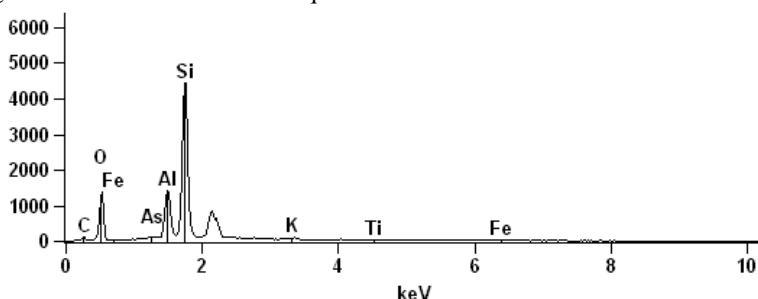
Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

Figura 99 Ponto 2 – Elementos químicos



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

Figura 100 Ponto 3 – Elementos químicos



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFSC (2014)

5.6.3 Fluorescência de raios-X

Os valores obtidos para os óxidos encontram-se na tabela 44, os compostos com valores inferiores a 10% são desconsiderados. Observa-se um predomínio do composto SiO_2 – quartzo (41,43%), seguido pelo Al_2O_3 – aluminato (37,64%) e Fe_2O_3 – óxido de ferro (12,12%).

Tabela 44 Valores dos óxidos encontrados

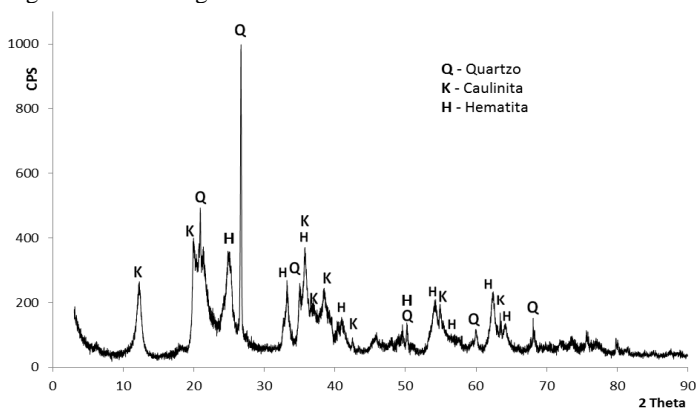
COMPOSTO	PERCENTUAIS
SiO ₂	41.43
Al ₂ O ₃	37.64
Fe ₂ O ₃	12.12
K ₂ O	3.51
TiO ₂	2.56
ZrO ₂	0.33
CaO	0.19
MnO	0.10
V ₂ O ₅	0.09
Rb ₂ O	0.03
ZnO	0.03
CuO	0.02

Fonte: Laboratório VaLoReS – UFSC (2014)

5.6.4 Difratomia de Raio-X

Os resultados obtidos revelaram fases de quartzo (SiO₂), caulinita Al₂Si₂O₅(OH)₄ e hematita (Fe₂O₃) como principais compostos presentes na matriz, gráfico da figura 101 contém as fases do material analisado.

Figura 101 Difrátograma do solo com suas fases



Fonte: Laboratório e Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil - UFSC (2014)

Com base no gráfico da figura 101 observa-se uma forte presença de quartzo (Q), o que comprova o resultado apresentado na

fluorescência de raio X. A caulinita (K) foi o segundo composto mais abundante identificado seguido da hematita (H) que também estava presente no resultado da fluorescência de raio X. A presença de outros compostos foi desprezada, já que estes apresentaram valores pouco significativos.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste estudo tornou possível o alcance das seguintes conclusões.

A análise do relevo comprovou que a Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição possui baixas declividades e encontra-se em cotas que variam entre 0 e 493m. Além disso, a cota mediana estimada é de 29m, ou seja, metade da área apresenta cotas inferiores a este valor. A forma de relevo predominante é o plano (até 3% de inclinação) com 40,76% da área total estudada da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, sendo este tipo de relevo o mais utilizado pelo uso e ocupação urbana.

No que tange a dinâmica do uso e ocupação dos solos da Lagoa, foi observado que a evolução da mancha urbana tendeu para uma significativa densificação, pois se verificou que houve, preponderantemente, a ocupação dos vazios urbanos, enquanto que o crescimento radial da mancha foi considerado moderado. Outro fator que pode ser observado tanto no bairro Lagoa da Conceição quanto em pontos próximos à Praia da Joaquina, ambos os bairros pertencentes à Bacia da Lagoa da Conceição, é a existência de uso e ocupação da unidade DNsq, mesmo sendo esta unidade classificada como sendo uma área de preservação ambiental.

Por intermédio dos vetores de crescimento estimados nesta pesquisa, foi possível observar que há um avanço moderado do uso e ocupação em direção às unidades DNsq, Cg, Cde, PVg, PZsq, HOsq, e AQsq.

Com relação aos ensaios geotécnicos executados na área de estudos, os resultados indicaram a presença de solos com características colapsíveis, sendo classificados como colapsibilidade moderada de acordo com Jennings e Knight (1975), apud Benatti (2010). A unidade geotécnica encontrada e considerada como a mais colapsível foi a Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários, seguida da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários.

Dentro dos limites da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, as unidades geotécnicas que apresentaram um problema moderado relativo à colapsibilidade em quatro ou mais das tensões estudadas cobrem 44,96m², o que corresponde a 79,4% da área total.

As metodologias de estimativa da colapsibilidade por intermédio de índices físicos, estabelecidas por Handy (1973), Prikloński (1952) e Clevenger (1958) apud Lutenegeger e Saber (1988), não se mostraram adequadas aos solos analisados. Poucos solos apresentaram concordância com estas classificações, sendo que, a maioria apresentou resultado oposto ao obtido por meio do ensaio edométrico de duplo anel.

O método de estimativa da colapsibilidade com base em índices físicos proposto por Kassif e Henkin (1967), mostrou-se adequado quando comparado aos resultados obtidos em ensaios de duplo anel para os solos estudados. Com base neste método, foram definidos os mesmos solos como colapsíveis que os obtidos no edométrico de duplo anel. Destacando-se que para a tensão de 50kPa os métodos se mostraram em total acordo.

Além dos resultados das análises laboratoriais, esta pesquisa evidencia que grande parte da área urbanizada encontra-se implantada sobre solos classificados com problema moderado de colapsibilidade. Contudo, até o momento, não foi encontrado nenhum relato de problema grave associado à colapsibilidade dos solos. Por se tratar de uma característica pouco estudada é provável que recalques ocorridos possam ter sido associados a problemas estruturais e desta forma não foram relatados.

Outro fator que pode ter sido determinante na inexistência de relatos é o fato de que, a área urbanizada da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, encontra-se em local de baixa declividade, e portanto predominantemente composta por solos saturados, o que segundo Russell e Rollins (1990) diminui a probabilidade de ocorrência de problemas ocasionados pela colapsibilidade dos solos.

Com base nos ensaios de microscopia eletrônica de varredura executados na unidade AQPsq, foi possível visualizar uma estrutura porosa, onde os grãos maiores (areias) são ligados por partículas menores formadas por argila ou silte. Estas ligações surgem em forma de pontes e contrafortes de argila que proporcionam certa cimentação para este tipo de solo.

A fluorescência de raios X e a drifratometria de raio X, constataram a presença de quartzo (SiO_2), caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e hematita (Fe_2O_3). Estima-se que o Fe_2O_3 e a $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ sejam os responsáveis pela ligação entre as partículas de areia.

6.2 SUGESTÕES

Para dar continuidade à este estudo, são listadas algumas recomendações para trabalhos futuros.

Sugere-se um estudo mais aprofundado da unidade composta por Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários, da mesma forma como realizado neste estudo para a unidade de Areia Quartzosa Podzolizada, uma vez que este solo apresentou representativo potencial de colapsibilidade.

Além disso, sugere-se a realização de um levantamento que avalie as edificações existentes nas áreas onde estão presentes as unidades Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários e Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários. É importante ressaltar que muitas edificações podem conter problemas como fissuras e pequenos recalques que podem indicar problemas de colapsibilidade, porém tais patologias não estejam sendo associadas pelos profissionais de engenharia ao colapso.

Recomenda-se avaliar colapsibilidade da Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários em diferentes profundidades de acordo com os horizontes. Analisar se a contaminação por agentes cimentantes é mais significativa em horizontes superiores e qual a influência deles no potencial de colapso do solo.

Com base nos ensaios físicos e químicos analisar minuciosamente o elemento coesivo entre as partículas de quartzo, tanto para a Areia Quartzosa Podzolizada de substrato sedimentos quaternários quanto para a Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários. Ainda para estas areias avaliar a influência da sucção do solo.

Como os resultados obtidos por meio da microscopia eletrônica de varredura para a AQPsq não se mostraram suficientemente adequados para uma análise mais aprofundada da microestrutura, aconselha-se que o solo seja analisado novamente com uma ampliação superior a apresentada. Este procedimento permitirá que com um aumento de até 10.000 vezes seja possível determinar a microestrutura possibilitando a identificação do argilomineral.

Para melhorar os mapas de susceptibilidade ao colapso, sugere-se que sejam identificadas unidades que possuam o lençol freático próximo à superfície, tais quais os solos hidromórficos identificados nos mapas pedológicos. Estas áreas poderiam ser classificadas como *sem problema* ao colapso independente do resultado obtido nos ensaios, uma vez que já se encontram no estado saturado.

Para a delimitação das manchas urbanas, bem como a determinação dos vetores de crescimento, aconselha-se o uso de imagens de melhor resolução especialmente para as décadas anteriores ao ano de 2000.

Além disso, também sugere-se a delimitação da mancha urbana com imagens de satélite ou aéreas obtidas após o ano de 2012. Este procedimento tem como objetivo compará-las e gerar vetores de crescimento mais atualizados, visto que o uso e ocupação pode tomar rumos diferenciados com o decorrer dos anos.

Dentro dos limites da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição sugere-se a elaboração de estudos de mapeamento geotécnico envolvendo solos expansivos, erodibilidade e caracterização de movimentos de massa, uma vez que são condicionantes do uso e ocupação.

Por fim, sugere-se também a utilização do método adotado nesta pesquisa em outras áreas de estudos, especialmente em outras bacias hidrográficas da Ilha de Florianópolis que passam por processos de igual intensidade de expansão urbana.

REFERÊNCIAS

ALONSO, E. E.; GENS, A.; HIGHT, D. W. **Special Problem soils**, Dublin: Proc. 9th Ecsmf, General Report, Section 5, 5.1, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **MB – 3336: Solo - Ensaio de adensamento unidimensional**. Rio de Janeiro – RJ, 1990.

____ **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro -RJ, 2010.

____ **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro - RJ, 2001.

ARONOPH, S.. **Geographic Information Systems**. WDL Publications, Canada, 1989.

BARDEN, L., Mcgown, A. & Collins, K. , **The Collapse Mechanism in Partly Saturated Soil**. Amsterdam - Holanda: Engineering Geology, vol. 7, 1973

BAUER NETO; V.. **Caracterização geomorfológica da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC**. Florianópolis - SC: Trabalho Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

BENATTI, J.C.B.. **Colapsibilidade com sucção controlada de um solo coluvionar e laterítico de Campinas/SP**. Campinas - SP: Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

BENATTI, J.C.B.; RODRIGUES, R.A.; MIGUEL, M.G.. **Aspects of Mechanical Behavior and Modeling of a Tropical Unsaturated Soil**. Geotechnical and geological engineering vol:31 iss:5 pg:1569 -1585, 2013.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível

em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm> Acesso em: 26/06/2014.

BRITO, J.S.B. ; ROSA, R.; **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica.** Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 1996.

BULL, W.B. **Alluvial fans and Near-Surface Subsidence in Western Fresno County.** California – Estados Unidos: United States Geological Survey Pressional Paper 437 – A: U. S. Government Printing Office, Washington, DC, 1964.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S., MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Campinas – SP: Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V.. **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação.** INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>. Acesso em: 15/02/2013.

CARDOSO, F. B. D. F.; CARVALHO, J. C. . **Análise química, mineralógica e micromorfológica de solos tropicais colapsíveis e o estudo da dinâmica do colapso.** Brasília - DF: Dissertação (mestrado) em Geotecnia, Universidade de Brasília, 1995.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.. **Projeto de Fundações em Solos Colapsíveis.** São Carlos – SP: EESC – USP, 2009.

DAVISON DIAS, R.. **Aplicação de pedologia e geotecnia do projeto de fundações de linhas de transmissão.** Rio de Janeiro - RJ: Tese (doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1987.

DAVISON DIAS, R. **Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais.** São Paulo – SP, In: Revista do Instituto Geológico, 1995,

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

DEDAVID, B. A., GOMES, C. I., MACHADO, G., **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras, materiais poliméricos: metálicos e semicondutores.** Porto Alegre – RS: Pontifício Universidade Católica do Rio Grande do Sul, EDIPUCRS, 2007

DUARTE, S.B. **Utilização de Sistemas de Informações Geográficas na Análise do Meio Físico e do Uso do Solo na Lagoa da Conceição – Florianópolis.** Florianópolis –SC: Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

DUDLEY, J. H., **Review of Collapsing Soils.** Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, vol 96, n° SM3, Maio, 1970.

EL-SOHBY, M. A., SHERIF, M. M., ELLEBOUDY, A. M. e SAAD, M. A. **Critical Evaluation of Collapsibility Measurements for Cemented Sand.** Rio de Janeiro: Proceedings, XII Int. Conf. on Soil Mech. And Found. Engineering, vol 1, 1989

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa intensidade dos solos dos município de Jardim, Estado do Mato Grosso do Sul.** Rio de Janeiro: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 129, 2007.

ESRI. **ArcGIS 10 Improves Productivity and Makes GIS Widely Available.** 2010. Disponível em : <http://www.esri.com/news/arcwatch/0410/arcgis10.html> Acesso em 10/06/2014.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G.. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro2001>. Acesso em 18/12/2012.

FERREIRA, R. S. M. (2007). **Solos potencialmente colapsíveis e expansivos: uma visão panorâmica no Brasil.** Salvador - BA: Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 6. Anais.. ABMS, 2007.

FONSECA, E.L. **Modelagem Numérica do Terreno.** Porto Alegre – RS: Material da disciplina de Sistema de Informações Geográfica.

Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

FUTAI, M.M. **Análise de ensaios edométricos com sucção controlada em solos potencialmente colapsíveis.** Rio de Janeiro – RJ: Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

FUTAI, M.M. **Comportamento Colapsível De Solos Tropicais Brasileiros.** Congresso Nacional de Geotecnia. Porto: Congresso Nacional de Geotecnia, 2000.

GAO, G. 2002. **The collapsing loess in China.** In: IAEG Conference, 9, *Proceedings*, Cape Town. CD-ROM.

GODOY, F. B. **Caracterização Temática da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC.** Florianópolis – SC: Trabalho de Conclusão de Curso (graduação), em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

GODOY, F. B. **Modelagem hidrológica-hidrodinâmica da Lagoa da Conceição-SC.** Florianópolis – SC: Dissertação (mestrado), em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

GUTIERREZ, N. H. M.; VILAR, O.M. **Influências de aspectos estruturais no colapso de solo do norte do Paraná.** São Carlos – SP: Tese (doutorado), na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulous, 2005.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.** Florianópolis – SC: Tese (doutorado), em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Digital do Estado de Santa Catarina.** Brasil. Disponível em: <http://dados.gov.br/dataset/malha-geometrica-dos-municipios-brasileiros> Acesso em 22/04/2014, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Brasil Regional.** Editora Ática. Disponível em:

http://eticapedagogicos.com.br/loja/index.php?route=product/product&product_id=549. Acesso em: 20/02/13.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> Acesso em: 20/02/13.

Jefferson, I.F.; Smalley, I.J.; Karastanev, D.; Evistatiev, D. 2002. **Comparison on the behaviour of British and Bulgarian loess**. In: IAEG Conference, 9, *Proceedings*, Cape Town. CD-ROM.

JENNINGS, J. E.; KNIGHT, K. **A guide to Construction on or with Material Exhibiting Additional Settlement due to “Collapse” of Grain Structure**. Durban: 7th Regional Conference For Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering , v.1, 1975.

JENNINGS, J. E., KNIGHT, K.. **The Addition Settlement of Foundation Due to a Collapse of Structure of Sandy Subsoil on Wetting**. London: Butterworths Scintific Publications, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering , *Proceedings*. 3v., v.3a. 1957.

JÚNIOR, B. . **Mapa Digital do Brasil**. Brasil. Disponível em <http://www.codegeo.com.br/2013/04/shapefiles-do-brasil-para-download.html> Acesso em 22/04/2014, 2013

LAWTON, E. C., FRAGASZY, R. J. & HETHERINGTON, M. D. **Review of Wetting-Induced Collapse in Compacted Soil**, *J. Geot. Eng. Div. A.S.C.E.*, vol. 118, N. 9, 1137 – 1394, 1992.

LOCH, R.E.N.. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis – SC: Ed. da UFSC, 2006.

LOLLO, J. A.. **Revisão dos métodos de cartografia geotécnica de materiais geológicos colapsíveis**. São Paulo, Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2012.

MÁRIO, H. F. S. **Análise Espacial Ambiental da Região de Abrangência da Via Expressa Sul Florianópolis, SC**. Itajaí – SC:

Dissertação (Mestrado) em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí, 2003.

MARIZ, D. F. Um estudo físico químico mecânico sobre o colapso de solos residuais sesquioxídicos micro-agregados do Planalto Central. Rio de Janeiro – RJ: Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1993.

MEDERO, G. M.. Comportamento de um solo colapsível artificialmente cimentado. . Porto Alegre - RS: Tese (doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

MENDONÇA, M. B. Comportamento de solos potencialmente colapsíveis da região de Bom Jesus da Lapa – BA. Rio de Janeiro – RJ: Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

MIRANDA, J.I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MITCHELL, J. K. Fundamentals Soil Behaviour. New York: John Wiley and Sons. Inc, 1976.

MONACCI, M. D. Estudo da colapsibilidade de um solo do campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. Campinas – SP: Dissertação (mestrado) em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1995.

NOVITA, V. Struktur Data Spasial dan Pengolahannya. Disponível em: <http://blog.ub.ac.id/vanino/2012/10/02/struktur-data-spasial-dan-pengolahannya/>. Acesso em 18/02/13. Indonésia, 2012.

ODRESKI, L. F. R. Alterações da cobertura do solo da bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição - Florianópolis – SC. Florianópolis – SC: Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

ODRESKI, L. F. R. Influência hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição – Florianópolis - SC.

Florianópolis – SC: Dissertação (mestrado) em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

OLIVEIRA, C. M. G., LOLLO, J. A.. **Uso da avaliação do terreno para o zoneamento de solos potencialmente colapsíveis na área urbana de Ilha Solteira (SP)**. Brasília, DF: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, v. 1. Anais, 2001.

OLIVEIRA, C. M. G., LOLLO, J. A. **Carta de risco de dano por colapso de solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP)**. Ilha Solteira – SP: Dissertação (mestrado) em Engenharia, Universidade Estadual de São Paulo, 2002.

PAISINI, J. C., **Estratigrafia, significado paleoambiental e evolução de rampa arenosa/dissipação no Balneário Praia Mole – Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis – SC: Tese (doutorado) em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

PINTO, C. S. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo – SP: Ed. Oficina das Letras, 2000.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo –SP: Oficina de Textos. 2002.

QUEIROS NETO; J.P.. **Pedologia: Conceito, método e aplicação**. São Paulo. RDG Revista do Departamento de Geografia – USP. 1984
Disponível em:
<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/viewFile/278/259>
Acesso em: 11/03/13.

REGINATTO, A. R.; FERRERO, J. C. **Collapse potencial of soils and soil water chemistry**. Moscow: 8th International Conference On Soils Mechanics And Foundation Engineering. , v. 2.2, 1973.

RUSSELL, L. O; Rollins K. M. **Collapsible Soil Hazard Map for the Southern Wasatch Front, Utah**. Utah: Utah Geological and Mineral Survey, Civil Engineering Department Brigham Young University, 1990.

SANTOS, G.T.. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia.** Porto Alegre - RS: Tese (doutorado) em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

SILVA, D. **Microscopia Eletrônica de Varredura.** Campinas: Material de aula 1. Campinas - SP: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

SILVA, J.D. **Estudo da Colapsibilidade da Argila Porosa de Brasília pelo Fluxo de Contaminantes.** Brasília - DF: Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília, 2006.

SILVA, L.G.S. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da conceição.** Florianópolis - SC: Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal da Santa Catarina, 2002.

SOUZA NETO, J.B. **Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso).** Rio de Janeiro - RJ: Tese (doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

VILAR, O.M., RODRIGUES, J.E. & NOGUEIRA, J.B. **Solos potencialmente colapsíveis: Um Problema para a Engenharia dos Solos Tropicais.** . Rio de Janeiro - RJ: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, vol. 1, 1981.

WILLIAMS T. ; Rollins K. M. **Collapsible Soil Hazard Map for the Cedar City, Utah Area.** Utah: Utah Geological Survey, Civil Engineering Department Brigham Young University, 1991.

WOLLE, C. M. . **Estudo preliminar da colapsividade dos solos do projeto Jaíba.** São Paulo - SP: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, v. 1. p. 179-193, 1978.

ZUQUETTE, Lázaro, **Cartografia Geotécnica.** São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2004.