



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

CAMILO ANDRADE CARRENO

**MAPEAMENTO DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DA BACIA
HIDROGRAFICA DO RIO RATONES MEDIANTE O ESTUDO
DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS RESIDUAIS**

**Florianópolis
2017**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária

da

Universidade Federal de Santa Catarina

Andrade Carreno, Camilo

Mapeamento da aptidão à urbanização da bacia hidrográfica do rio Ratoles mediante o estudo da erodibilidade dos solos residuais / Camilo Andrade Carreno ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, 2017.

182 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Mapeamento geotécnico. 3. Erodibilidade. 4. Solos residuais. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Camilo Andrade Carreno

**MAPEAMENTO DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DA BACIA
HIDROGRAFICA DO RIO RATONES MEDIANTE O ESTUDO
DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS RESIDUAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

Florianópolis
2017

Camilo Andrade Carreno

**MAPEAMENTO DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DA BACIA
HIDROGRAFICA DO RIO RATONES MEDIANTE O ESTUDO
DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS RESIDUAIS**

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

Florianópolis, 28 de setembro de 2017.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Curso

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

Banca Examinadora:

Prof. Renato Fontes Guimarães, Dr.
Universidade de Brasília

Prof. Everton da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida.

A minha família, aos meus pais Alvaro e Carmen, que mesmo distante sempre me apoiaram e incentivaram no meu objetivo.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC pela oportunidade de evoluir a minha formação profissional e pessoal.

Aos professores pelos conhecimentos transmitidos, em particular o meu orientador Professor Rafael Augusto dos Reis Higashi pelo encaminhamento e paciência.

Aos colegas e amigos dos laboratórios Lamgeo e Labsolos, especialmente a Ângela Grando, Cândida Bernardi, Daniel Ventura, Gisele Pereira Reginatto, Estefanio Hirsch, Gabriela Carlesso, Daniela Laforce, Carol Christ, Miriam Yumi, Regiane Sbroglia, Thomas Pilger, Lucas Jardín, Job Perez, Paulo Amaral.

Por fim, a todos os amigos que fiz no Brasil e me apoiaram no dia a dia desde que comecei essa linda etapa chamada Mestrado.

GRACIAS.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo fazer o mapeamento da aptidão à urbanização baseado em dois mapas temáticos, declividade e erodibilidade, em duas unidades geotécnicas presentes na bacia Hidrográfica do Rio Ratonas, ao Norte do município de Florianópolis. A área de estudo é uma região que apresenta expansão urbana, e necessita de dados mais aprimorados para guiar o desenvolvimento urbano. Através das técnicas de mapeamento geotécnico, se obtêm informações necessárias para conduzir o planejamento urbano, uma vez que o produto gerado é capaz de caracterizar áreas de risco ou de aptidão. Depois de analisar as características físicas e morfológicas da bacia, foram classificadas as unidades geotécnicas residuais em duas unidades residuais presentes, a unidade Cambissolo depósito de encosta (Cde) e a unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Granito (PVg). Dessa forma a pesquisa foi dividida nas seguintes etapas: revisão bibliográfica; coleta de amostras; ensaios de caracterização do solo e ensaios para determinação da erodibilidade; criação de um banco de dados atualizado, e confecção do mapa de erodibilidade e mapa de aptidão à urbanização. A determinação da erodibilidade foi feita sob um critério geral que reuniu os 4 ensaios de erodibilidade empregados. Finalmente, a representação espacial dos dados foi elaborada no programa ArcGIS, no qual aplicou-se um método de cruzamento entre as duas camadas mencionadas. Desta forma, foi possível gerar o mapa de aptidão à urbanização e analisar as áreas a serem ocupadas nos próximos anos visando apoiar o planejamento dos bairros Ratonas e Vargem grande.

Palavras chave: Mapeamento geotécnico, Erodibilidade, Solos residuais.

ABSTRACT

This research aims at mapping urbanization aptitude based on two thematic maps, slope and erodibility, in two geotechnical units present in the Ratonés River basin, north of the municipality of Florianópolis. The study area is a region that presents urban expansion, and needs better data to guide urban development. Through the techniques of geotechnical mapping, the information obtained conduct urban planning, since the product generated is capable of characterizing risk or aptitude areas. After analyzing the physical and morphological characteristics of the basin, the residual geotechnical units were classified into two residual units, the Cambisol slope deposit unit (Cde) and the Red-Yellow Podzolic Granite substrate unit (PVG). The research is divided into the following stages: bibliographic review; sample collection; soil characterization tests and tests for erodibility determination; creation of an updated database, and mapping of erodibility and urbanization aptitude. The determination of the erodibility is done under a general criterion that brought together the four erodibility tests used. Finally, the spatial representation of the data is elaborated in the ARCGIS program, with a crossing method between the two mentioned layers was applied. In this way, it was possible to generate the map of aptitude to urbanization and analyze the areas to be occupied in the next years aiming to support the planning of Ratonés and Vargem grande neighborhoods.

Keywords: geotechnical mapping, erodibility, residual soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ocorrência de erosão laminar no Brasil	28
Figura 2 – Morfologia da erosão linear	29
Figura 3 – Nomograma de Wischmeier (1971)	37
Figura 4 – Esquema do equipamento do ensaio Inderbitzen	38
Figura 5 – Ensaio de Inderbitzen Modificado	39
Figura 6 – Gráfico de testes do Ensaio de Inderbitzen Modificado	40
Figura 7 – Equipamento de cisalhamento direto	43
Figura 8 – Resultados do critério de erodibilidade baseado no ensaio de cisalhamento direto para 4 tipos de solos	46
Figura 9 – Ensaios de Infiltrabilidade e Perda de massa por imersão ...	47
Figura 10 – Gráfico para previsão da erosão em cortes	48
Figura 11 – Relação entre densidade real das partículas e critério de erodibilidade MCT	49
Figura 12 – Esquema do ensaio de caracterização MCT.....	50
Figura 13 – Carta das classes para determinação expedita MCT	51
Figura 14 – Crescimento constante da população urbana mundial (1955 – 2015)	55
Figura 15 – Crescimento da população urbana no mundo por regiões (2005 – 2050)	56
Figura 16 – Crescimento da população urbana no Brasil (1900 – 2000)	56
Figura 17 – Crescimento da mancha urbana da região metropolitana de São Paulo (1952 – 2001)	58
Figura 18 – Vetores de crescimento	59
Figura 19 – Superposição de mapas para determinar unidades geotécnicas	76
Figura 21 – Mapa da ilha de Santa Catarina	85
Figura 22 – Delimitação da área estudada da bacia do Rio Ratonas	86
Figura 23 – Mapa Geológico da Bacia do Ratonas	88
Figura 24 – Mapa Geotécnico da Bacia do Ratonas.....	89
Figura 25 – Mapa de declividades da Bacia do Ratonas	91
Figura 26 – Mapa hidrográfico da Bacia do Ratonas	92
Figura 27 – Fluxograma do método da pesquisa.....	96
Figura 28 – Mapa do local de coleta das amostras na área de estudo ...	98

Figura 29 – Coletas das amostras indeformadas – Pontos #1 e #2.....	99
Figura 30 – Coletas das amostras indeformadas – Pontos #3 e #4.....	100
Figura 31 – Coletas das amostras indeformadas – Pontos #5 e #6.....	101
Figura 32 – Ensaio de limite de plasticidade (LP)	102
Figura 33 – Equipamentos do ensaio de análise granulométrica.....	103
Figura 34 – Procedimento do ensaio de massa específica.....	104
Figura 35 – Ensaio expedito das pastilhas (MCT)	105
Figura 36 – Ensaio de cisalhamento direto em andamento	106
Figura 37 – Corpo de prova após o ensaio de cisalhamento direto	106
Figura 38 – Gráfico da envoltória de resistência do solo	107
Figura 39 – Ensaio de infiltrabilidade em andamento.....	108
Figura 40 – Curva típica do ensaio de infiltrabilidade	109
Figura 41 – Ensaio de perda de massa por imersão.....	110
Figura 42 – Critério de classificação gráfica para a metodologia MCT	111
Figura 43 – Ensaio de caracterização método expedito (MCT)	112
Figura 44 – Carta das classes para determinação expedita MCT	113
Figura 45 – Mancha urbana da área de estudo do ano 1994.....	117
Figura 46 – Mancha urbana da área de estudo do ano 2002.....	118
Figura 47 – Mancha urbana da área de estudo do ano 2010.....	118
Figura 48 – Mancha urbana da área de estudo do ano 2015.....	119
Figura 49 – Curvas granulométricas dos seis pontos coletados	125
Figura 50 – Carta de plasticidade dos pontos coletados.....	126
Figura 51 – Ensaio Cisalhamento não inundado.....	127
Figura 52 – Ensaio Cisalhamento inundado	128
Figura 53 – Critério de erodibilidade do método de cisalhamento direto	130
Figura 54 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 1	131
Figura 55 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 2	132
Figura 56 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 3	132
Figura 57 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 4	133
Figura 58 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 5	133
Figura 59 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 6	134
Figura 60 – Curvas de infiltrabilidade - estágio de 0 horas.....	135
Figura 61 – Curvas de infiltrabilidade - estágio de 48 horas.....	135
Figura 62 – Critério de erodibilidade MCT - estágio de 0 horas.....	137
Figura 63 – Critério de erodibilidade MCT - estágio de 48 horas.....	137

Figura 64 – Classificação da erodibilidade segundo o ensaio de massa específica.....	139
Figura 65 – Erodibilidade segundo o método expedito das pastilhas..	140
Figura 66 – Mapa de erodibilidade da área de estudo	144
Figura 67 – Evolução da mancha urbana do bairro Ratonos (1994 – 2015)	146
Figura 68 – Evolução da mancha urbana do bairro Vargem Grande (1994 – 2015)	147
Figura 69 – Mapa de aptidão a uso urbano da bacia do Ratonos.....	148
Figura 70 – Mapa de aptidão a uso urbano com vetores de crescimento	150
Figura 71 – Mapa de aptidão a uso urbano com vetores de crescimento	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de erosão e os seus agentes causadores	30
Tabela 2 – Erodibilidade segundo o tipo de solo	33
Tabela 3 – Parâmetros de resistência dos ensaios de cisalhamento direto	45
Tabela 4 – Classificação da erodibilidade dos solos com a classificação MCT	51
Tabela 5 – Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano	64
Tabela 6 – Principais metodologias de mapeamento geotécnico	65
Tabela 7 – Classificação quanto a escala e finalidade.....	67
Tabela 8 – Unidades geotécnicas geradas na área de estudo.....	90
Tabela 9 – Classificação do relevo utilizando o critério da Embrapa ...	90
Tabela 10 – Coordenadas dos pontos de coleta.....	98
Tabela 11 – Critério de erodibilidade geral da pesquisa	114
Tabela 12 – Critério de aptidão segundo erodibilidade.....	120
Tabela 13 – Critério de aptidão segundo declividade.....	120
Tabela 14 – Exemplo da obtenção do coeficiente de aptidão à urbanização final	121
Tabela 15 – Parâmetros físicos dos solos obtidos nos ensaios de granulometria	124
Tabela 16 – Parâmetros físicos dos solos obtidos nos ensaios de consistência, teor de umidade e massa específica	124
Tabela 17 – Parâmetros de resistência dos ensaios de cisalhamento direto	127
Tabela 18 – Equações de tendência das envoltórias de ruptura	128
Tabela 19 – Classificação da erodibilidade segundo o critério do ensaio de cisalhamento direto.....	129
Tabela 20 – Resultados do ensaio de perda de massa por imersão	131
Tabela 21 – Resultados do ensaio de infiltrabilidade.....	134
Tabela 22 – Parâmetro de erodibilidade segundo a metodologia MCT	136
Tabela 23 – Classificação da erodibilidade segundo o ensaio de massa específica.....	138
Tabela 24 – Classificação da erodibilidade segundo o método expedito das pastilhas MCT.....	140
Tabela 25 – Critério de erodibilidade geral da pesquisa	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AQPsq Areia Quartzosa Podzoliza de substrato sedimentos quaternários
- AQsq Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários
- BH Bacia Hidrográfica
- CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CEMPAS Carta de Extensão do Menor Percurso da Agua Superficial
- CECCA Centro de Estudos Cultura e Cidadania
- CESAD Centro de Coleta, Sistematização, Armazenamento e Fornecimento de Dados
- Cde Cambissolo depósito de encosta
- Cg Cambissolo de substrato granito
- COPPE Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
- CP Corpo de Prova
- DAEE Departamento de águas e Energia Elétrica
- Datum Modelo Matemático Teórico da Representação da Superfície da Terra ao Nível do Mar
- EESC Escola de Engenharia de São Carlos
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPAGRI Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão
- ESEC Estação Ecológica
- EUA Estados Unidos da América
- GPS Global Positioning System
- IAEG Internacional Association of Engineering Geology.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPUF Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

IPR Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LAMGEO Laboratório de Mapeamento Geotécnico
LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MCT Miniatura Compactada Tropical
NBR Norma Brasileira Regulamentadora
PUCE Pattern, Unity, Component, Evaluation
PVg Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito
PZsq Podzol Hidromórfico +Areias Quartzosas
Hidromórficas de substrato sedimentos quaternário
Rg Litólico de substrato granito
RS Rio Grande do Sul
RUSLE Revised Universal Soil Loss Equation
SC Santa Catarina
SIG Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SP São Paulo
SPT Standard Penetration Test
TIN Irregular Triangulated Network
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina
UFRGS Universidade Federal de Rio Grande do Sul
UFRJ Universidade Federal de Rio de Janeiro
USDA Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USLE Universal Soil Loss Equation
USP Universidade de São Paulo
WEPP Water Erosion Prediction Project
WGS 84 World Geodetic System 1984

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVO	25
1.1.1	Objetivo Geral	25
1.1.2	Objetivos Específicos.....	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	Erro! Indicador não definido.
2.1	EROSÃO.....	27
2.1.1	Fatores Controladores dos Processos Erosivos.....	30
2.2	ERODIBILIDADE.....	34
2.2.1	Modelos de Previsão da Erodibilidade	35
2.2.2	Ensaio de Laboratório para Determinação da Erodibilidade	37
2.3	FATORES ANTRÓPICOS QUE INCIDEM NA EROÇÃO 52	
2.4	CRESCIMENTO URBANO.....	54
2.4.1	Vetores de Crescimento.....	57
2.5	MAPEAMENTO PARA USO E OCUPAÇÃO DE SOLO	59
2.5.1	Mapeamento de Aptidão à Urbanização	60
2.6	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	63
2.6.1	Principais Metodologias de Mapeamento Geotécnico	64
2.6.2	Aplicação do Mapeamento Geotécnico para carta de suscetibilidade à erosão.....	77
2.7	SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	79
2.7.1	Dados de um SIG	80
2.7.2	Estrutura de um SIG.....	81
2.7.3	Aplicações dos SIG	82
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	85
3.1	ILHA DE SANTA CATARINA	85
3.2	BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RATONES	86
3.3	GEOLOGIA DA BACIA	87
3.4	MAPA GEOTÉCNICO.....	88
3.5	FATOR RELEVO.....	90

3.6	FATOR HIDROGRAFIA	91
3.7	FATORES ANTRÓPICOS	93
4	MATERIAIS E MÉTODOS	95
4.1	TRABALHOS DE CAMPO	97
4.1.1	Coleta das Amostras.....	97
4.2	ENSAIOS DE LABORATÓRIO	102
4.2.1	Caracterização Física dos Solos.....	102
4.2.2	Cisalhamento Direto.....	105
4.2.3	Critério Erodibilidade pela metodologia MCT	107
4.2.4	Critério de Erodibilidade Geral	113
4.3	ETAPA DE GEOPROCESSAMENTO	115
4.3.1	Mapeamento da Erodibilidade	115
4.3.2	Análise de Expansão Urbana da Bacia	116
4.3.3	Mapeamento de Aptidão à Urbanização	119
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	123
5.1	TRABALHOS DE LABORATÓRIO	123
5.1.1	Ensaio de Caracterização dos Solos	123
5.1.2	Ensaio Cisalhamento Direto.....	126
5.1.3	Critério de erodibilidade pelo ensaio de cisalhamento direto	129
5.1.4	Critério erodibilidade pela metodologia MCT.....	130
5.1.5	Critério de erodibilidade pelo ensaio de massa específica (Pejon 2007, Higashi 2011).....	138
5.1.6	Critério de erodibilidade segundo o método expedito das pastilhas.....	139
5.1.7	Critério de erodibilidade geral	141
5.2	ETAPA DE GEOPROCESSAMENTO	143
5.2.1	Mapeamento da erodibilidade.....	143
5.2.2	Análise de expansão urbana da bacia	145
5.2.3	Mapeamento de aptidão à urbanização.....	148
6	CONCLUSÕES.....	153
7	REFERÊNCIAS.....	156
8	ANEXOS	166

1 INTRODUÇÃO

Devido às alterações climáticas, o nosso planeta vivencia condições cada vez mais adversas, especialmente nos locais que apresentam urbanização em áreas de risco. Um dos perigos observados por essas variações, principalmente pela exposição a longos períodos de precipitação, é a instabilidade do solo. Uma situação com maior potencial destrutivo quando se refere a áreas de encosta povoadas.

No caso do Brasil, o acelerado processo de urbanização prejudica tanto o meio ambiente, quanto agrava questões sociais e econômicas. Essa situação é resultado do possível desconhecimento da influência da ação do homem no meio físico, sumado a negligência do estado.

Derísio (2000) dá ênfase na importância do solo na natureza e sua utilização pelo homem. Esses usos provocam alterações no meio ambiente. Por exemplo, ao se construir, há variação na ocupação da superfície, assim como, há modificação do relevo pela exploração do terreno.

De forma complementar, Miranda (2005) afirma que o principal resultado decorrente da utilização do solo é o aumento da suscetibilidade à erosão. Essa situação causa alterações no relevo, riscos às obras civis, e gera assoreamento dos rios. Como consequências desses processos, ocorrem as inundações e as alterações dos cursos de água.

A fim de prevenir problemas de erosão, aprimora-se o conhecimento em estudos na área de engenharia geotécnica, com pesquisas estudam novas técnicas de contenção, melhores formas de mapeamento, conhecimento avançado do comportamento mecânico dos solos e desenvolvimento de novas ferramentas computacionais. As principais razões, no estudo da aplicabilidade dessas pesquisas, são a sua viabilidade econômica e o menor impacto com o meio ambiente.

O mapeamento geotécnico faz parte desse grupo como uma ferramenta para representar em um mapa as principais características geomecânicas do solo. Pode ser utilizado na previsão do comportamento

dos diferentes tipos de solos presentes em uma área, o que possibilita a sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia.

As cartas geotécnicas expressam, segundo Prandini et al. (1992), o conhecimento geológico aplicado em soluções de problemas causados pelo uso e ocupação da terra. Medidas preventivas e corretivas são orientadas para minimizar os danos ambientais e os riscos à comunidade.

Nesse contexto, o mapeamento geotécnico pode ser definido como uma metodologia para prevenir desastres naturais, sendo utilizado como guia para uma adequada ocupação do solo. Para a obtenção do mapa geotécnico são requeridos os mapas geológico e pedológico da área de estudo.

Diante disso, define-se Florianópolis na região costeira do estado de Santa Catarina como a área de estudo. Esta, por sua vez, apresenta um alto risco de ocorrência de desastres naturais, devido às condições regionais climáticas, pedológicas, geológicas, geomorfológicas e pelo uso da terra (CEPED UFSC, 2009).

Assim, trabalhos com objetivo de analisar a suscetibilidade à erosão direcionam o uso e ocupação de áreas de risco. Com base nisto, a proposta dessa pesquisa é elaborar o mapa de aptidão à urbanização, com base nos mapas geotécnico, de erodibilidade, declividade e hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Ratonés.

Para cumprir com os objetivos propostos serão executados ensaios de caracterização, densidade real das partículas, cisalhamento direto, infiltrabilidade, perda de massa por imersão e o método das pastilhas. Com essas informações foi elaborado o mapa de erodibilidade da localidade, e desenvolvida uma análise da expansão urbana, por meio de imagens de satélite e ortofotos, para gerar o mapa de aptidão à urbanização da Bacia do Rio Ratonés.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Mapear a aptidão à urbanização dos solos residuais da bacia hidrográfica do Rio Ratonos para conduzir o planejamento dos bairros localizados dentro da área de estudo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar o potencial erodível das unidades geotécnicas residuais da bacia hidrográfica do Rio Ratonos com base nos resultados de quatro ensaios de laboratório (cisalhamento direto, critério erodibilidade MCT, classificação MCT dos solos e densidade real);
- ✓ Representar espacialmente a erodibilidade dos solos residuais da bacia hidrográfica do Rio Ratonos mediante utilização de SIG;
- ✓ Analisar a expansão urbana da área de estudo identificando as unidades geotécnicas que tendem a ser urbanizadas nos próximos anos.
- ✓ Mapear a aptidão a urbanização mediante o cruzamento dos mapas de erodibilidade e declividade, e aplicação das leis federais correspondentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguinte revisão visa dar uma base teórica dos temas relevantes para o estudo proposto.

2.1 EROSÃO

O termo erosão pode ser definido como um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são degradados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro por agentes erosivos como a chuva, o vento e a gravidade. A interferência humana altera este processo natural, geralmente, acelerando sua ação e aumentando sua intensidade.

Os estudos sobre erosão se destacam pela descrição dos processos erosivos e das medidas de prevenção e controle da erosão. Diversos autores ressaltam a erosão hídrica como a causa principal de processos erosivos em encostas. Segundo Ide (2009), a água é o principal fator dinâmico no processo erosivo, sendo responsável por sua gênese e evolução. A atuação da água se faz sentir de diversas formas conjuntamente, sendo as principais: ação erosiva da gota de chuva, lençol subterrâneo e escoamento superficial (RODRIGUES, 1982).

No Brasil, os processos erosivos são provocados principalmente pela ação da água e são acelerados pelo uso e ocupação do solo (IDE, 2009). O processo erosivo é deflagrado pela chuva através do impacto das gotas, que provoca a desagregação das partículas, e o escoamento superficial é responsável pela remoção e transporte (INFANTI JUNIOR e FORNASAI FILHO, 1998).

Existem dois tipos principais de erosão hídrica, a erosão laminar e a erosão linear. A erosão laminar é causada pelo escoamento difuso das águas das chuvas, gerando a remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo (DAEE/IPT, 1990). Este tipo de erosão representa um fenômeno muito comum no território brasileiro, como se observa na Figura 1.

Figura 1 – Ocorrência de erosão laminar no Brasil



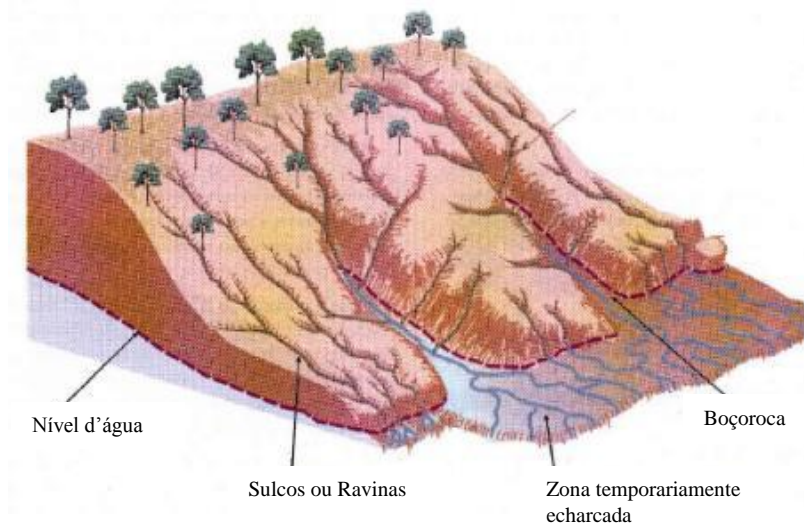
Fonte: IBGE (2000)

Segundo Lima (1999), este tipo de erosão atua como uma lâmina, lavando a superfície do solo no sentido da declividade do terreno, sendo especialmente prejudicial à agricultura.

A erosão linear é causada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial (DAEE/IPT, 1990), que comanda o desprendimento e o transporte das partículas do solo, causando incisões na superfície do terreno em forma de sulcos, que com o tempo se aprofundam formando ravinas e boçorocas (Figura 2).

- Sulcos: são pequenos canais na superfície do terreno com 0,5m de profundidade e perpendiculares às curvas de nível, produzidos pela concentração de escoamentos superficiais.

Figura 2 – Morfologia da erosão linear



Fonte: Karmann (2000)

- Ravinas: são feições erosivas com profundidades superiores a 0,5m resultantes do aprofundamento dos sulcos. Apresentam uma forma retilínea e estreita, mais alongada do que os sulcos.

- Boçorocas: são erosões de grande porte e de difícil controle. Apresentam feições complexas e destrutivas de erosão, são originadas por dois tipos de escoamento que podem atuar em conjunto ou separadamente: superficial e subsuperficial.

Salomão e Iwasa (1995), distinguem dois tipos de processos erosivos segundo a sua formação:

- Erosão geológica (natural): processo natural de denudação e evolução da superfície terrestre, caracterizado pela desagregação e transporte do solo pelos agentes erosivos.

- Erosão acelerada (antrópica): processo rápido e destrutivo, geralmente induzido pela ação do homem, gerando desequilíbrio nas fases da erosão natural.

Outro tipo de classificação, segundo os agentes causadores dos processos erosivos, proposto por Lal (1990), se observa na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de erosão e os seus agentes causadores

Vento	Erosão Eólica			
Fluido	Água	Chuva	Erosão por impacto das gotas	
		Água de escoamento	Escoamento superficial	Erosão em sulcos
				Erosão em ravinas e boçorocas
			Erosão em condutos fluviais	
		Escoamento subsuperficial	Erosão em condutos subterrâneos	
	Oceano	Erosão costeira		
Gelo	Erosão Glacial			
Gravidade	Movimento de massa	Avalanche, Escorregamento, Solifluxão ou Rastejo		

Fonte: Lal, (1990) modificado por Alcântara (1997)

2.1.1 Fatores Controladores dos Processos Erosivos

Diversos autores, entre os quais se destacam Morgan (1986), Boardman (1990), Guerra (1998), e Oliveira (1999), concordam que os principais fatores que controlam os processos erosivos são a erosividade da chuva, a cobertura vegetal, a morfologia das encostas e as propriedades intrínsecas dos solos.

Pejon (1992) indica que os processos erosivos dependem de uma série de fatores naturais, tais como: clima, geomorfologia, substrato rochoso, tipo de solo e a cobertura vegetal.

Além disso, as ações antrópicas têm influência direta nas alterações destes fatores, o que produz uma aceleração dos processos erosivos. Salomão e Isawa (1995) citam como algumas ações antrópicas deflagradoras do processo erosivo o desmatamento, cultivo de terras, corte de estradas e expansão urbana.

2.1.1.1 Fatores naturais

Diversos autores entre eles Bertoni e Lombardi Neto (1985) identificam 4 fatores naturais como os principais na formação da erosão:

a) Clima

O principal fator nesse campo é a precipitação, devido ao fato de que a chuva provoca a erosão laminar por meio do impacto das gotas sobre o solo, e erosão linear por meio do escoamento superficial das enxurradas.

Rodrigues (1982) sugere a análise dos seguintes fatores que caracterizam o quadro climático em regiões tropicais:

- Volume de precipitação;
- Intensidade e duração da precipitação;
- Frequência de precipitação.

b) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é uma proteção natural do terreno contra a erosão. Sua existência reduz a energia de impacto das gotas de chuva, o que resulta em um menor desprendimento das partículas de solo.

Bertoni e Lombardi Neto (1999) destacam os seguintes fatores como os principais efeitos da cobertura vegetal:

- Proteção direta contra o impacto das gotas da chuva;
- Dispersão da água, interceptando o fluxo e evaporando uma parte da precipitação antes que atinja o solo;
- Decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água;
- Melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água;
- Diminuição da velocidade de escoamento das enxurradas pelo aumento do atrito na superfície do solo.

c) Topografia do terreno

O relevo do terreno é um fator natural que determina a velocidade dos processos erosivos. Relevos íngremes podem gerar maiores velocidades de erosão do que relevos suaves, devido à velocidade de

escoamento da água. Além da declividade, outro fator que incide na geração da erosão é o comprimento da encosta, conhecido também como comprimento de rampa.

A inclinação do terreno é avaliada por meio de cartas de declividade geradas a partir de uma base cartográfica, geralmente preexistente ou produzida especificamente para um estudo.

Segundo Mauro (2001), o comprimento de rampa, definido como a longitude em superfície entre os pontos de maior e menor cota do perfil da encosta, é uma variável de grande importância na intensidade do processo erosivo.

Para Nishiyama (1995), um aumento do comprimento da rampa produz um acréscimo no volume de escoamento superficial, gerando assim um aumento na intensidade de erosão, principalmente sob a forma dos sulcos. O mesmo autor indica também que as encostas com perfis côncavos apresentam condições de fluxo menos danosas do que as encostas com formas convexas, devido a apresentar valores baixos de declividade na base da encosta.

d) Solo

O fator solo trata-se do principal fator de influência na erosão, e ao mesmo tempo é o elemento que mais sofre a ação dos processos erosivos. As propriedades do solo, como a distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos, afetam a erodibilidade do solo (AMORIM, 2004).

Segundo Zuquette (1987), a suscetibilidade do solo à erosão é denominada Erodibilidade, e depende das características físicas do solo e do seu uso. As características do solo são propriedades dinâmicas, podendo ser alteradas a todo tempo e sob diferentes usos da terra, manejo superficial do solo, e sistemas de agricultura. Essas razões levam à conclusão de que a erodibilidade também muda ao longo do tempo.

Propriedades texturais e estruturais influenciam a interação solo-chuva e, conseqüentemente, sua capacidade de infiltração. Uma baixa capacidade de infiltração da água em um solo torna-o mais propenso ao escoamento superficial e, da mesma forma, ao transporte dos sedimentos e à erosão.

Lal (1988) ressalta a textura do solo como um fator importante que influencia a erodibilidade por afetar os processos de desagregação e transporte. Enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, e solos argilosos resistem à desagregação, a areia fina e o silte são texturas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte.

Bertoni e Lombardi Neto (1985), propuseram uma classificação da erodibilidade segundo o tipo de solo (Tabela 2). Observa-se que, de acordo com o autor, há uma associação entre erodibilidade e a pedologia.

Tabela 2 – Erodibilidade segundo o tipo de solo

Classe de Erodibilidade	Índices relativos de Erodibilidade	Unidades Pedológicas
1	10,0 a 8,1	Cambissolos, Argissolos de textura arenosa, Neossolos litólicos e Quartzarênicos
2	8,0 a 6,1	Argissolos não abruptos de textura argilosa ou média
3	6,0 a 4,1	Argissolos de textura argilosa
4	4,0 a 2,1	Latossolos de texturas média ou argilosa, Nitossolos
5	2,0 a 0,0	Gleissolos

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1985)

Para mitigar os resultados dos processos erosivos é necessário um ótimo conhecimento da região de interesse. Da mesma forma, adequar a ocupação às condições de cobertura vegetal, tipo de solo, topografia, sistema natural de drenagem e condições naturais de estabilidade dos taludes.

Neste sentido, uma maneira eficiente para o correto planejamento do uso do solo, é a utilização de mapas do potencial à erosão, os quais mostram a expectativa de perda de solo na área estudada.

2.1.1.2 Fatores antrópicos

Wischmeier e Smith (1978) descrevem, por meio da equação universal de perda do solo revisada (RUSLE), os fatores antrópicos como uso do solo e práticas conservacionistas, além dos fatores naturais anteriormente destacados. Entretanto, estas variáveis são abordadas em maior proporção em usos agrícolas.

Quando trata-se de uso do solo para fins de construções e implantações de obras em geral, principalmente em áreas urbanas, os fatores antrópicos podem ser tratados globalmente sob a forma de mapeamentos de áreas susceptíveis a uso.

Isto faz com que o uso de mapeamentos de aptidão à urbanização tenha grande importância para o adequado planejamento de um determinado local, município ou país.

2.2 ERODIBILIDADE

A erodibilidade é um dos principais fatores condicionantes da erosão dos solos. Pode ser definida como a propriedade do solo que indica o grau de facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo (BASTOS, 1999).

Lal (1988) define erodibilidade do solo como o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas. Também é definida por Souza (2001) como a quantidade removida de solo por unidade de área, quando os demais fatores determinantes dos processos erosivos são mantidos sob condições padrão.

A água é o principal fator dinâmico no processo erosivo, sendo responsável por sua gênese e evolução. Rodrigues (1982) separou a atuação da água em três formas: ação erosiva da gota de chuva, escoamento superficial e influência do lençol subterrâneo.

As principais áreas de pesquisa sobre erodibilidade na área da Geologia de Engenharia são:

- Descrição de fenômenos erosivos;
- Avaliações locais e regionais da suscetibilidade à erosão dos materiais;
- Aplicação ao mapeamento geotécnico de modelos de previsão de erosão;
- Desenvolvimento de técnicas de controle da erosão urbana e casos de obras.

Segundo Bastos (1999), na área de Geologia de Engenharia, a literatura internacional é limitada, uma vez que os problemas de erosão hídrica na forma de ravinas e boçorocas são típicos de regiões tropicais. Os trabalhos desenvolvidos no Brasil sobre o tema são publicados principalmente nos anais de eventos promovidos pela ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), que é a entidade que mais aborda o tema em congressos e simpósios.

2.2.1 Modelos de Previsão da Erodibilidade

O mapeamento geotécnico tem sempre buscado apoio junto aos modelos de previsão de erodibilidade. Wischmeier et al. (1958), propuseram, a equação 1 para previsão das perdas de solo por erosão.

$$\hat{Y} = b + b_1 * X_e + b_2 * X_1 + b_3 * X_p + b_4 * X_c \quad [1]$$

Onde Y é a perda de solo, X_e representa a energia cinética da chuva, X₁ é o índice de erosão, X_p é o índice de precipitação antecedente, X_c é a chuva acumulada e b₀, b₁, b₂, b₃, b₄ são constantes que dependem do tipo de solo e declividade.

Em 1960, Wischmeier e Smith propuseram o primeiro modelo de previsão da perda de solo por erosão hídrica: a Equação Universal de Perda do Solo (USLE), segundo as suas iniciais em inglês. A sua versão definitiva foi lançada em 1978 e sua representação clássica, revisada é apresentada na equação 2.

$$A = R * K * L * S * C * P \quad [2]$$

Onde, A é a taxa de erosão, R é o fator erosividade da chuva; K é o fator erodibilidade do solo; L é o fator comprimento de rampa; S é o fator inclinação de rampa; C é o fator de cobertura vegetal e P é o fator de práticas de cultivo e manejo.

A USLE, de base empírica, não leva em consideração os processos físicos envolvidos na erosão do solo, como o desprendimento e transporte de partículas de solo. A equação é mais adequada para uso em áreas agrícolas, portanto, para áreas urbanas encontram-se maiores dificuldades devido aos seguintes fatores:

- Inexistência de dados referentes aos fatores de inclinação e comprimento de rampa para taludes;
- Poucos valores experimentais de K para solos saprolíticos;
- Valores de K determinados em parcelas aradas, que não se adaptam às condições da superfície de terrenos preparados às obras civis;
- O fator de manejo só contempla técnicas para objetivos agrícolas, ações comuns à engenharia sobre a superfície do solo não são previstas.

Além disso, as peculiaridades dos solos lateríticos e saprolíticos devem ser consideradas na estimativa do fator K, seja experimentalmente ou pelo nomograma de Wischmeier (1971), observado na Figura 3.

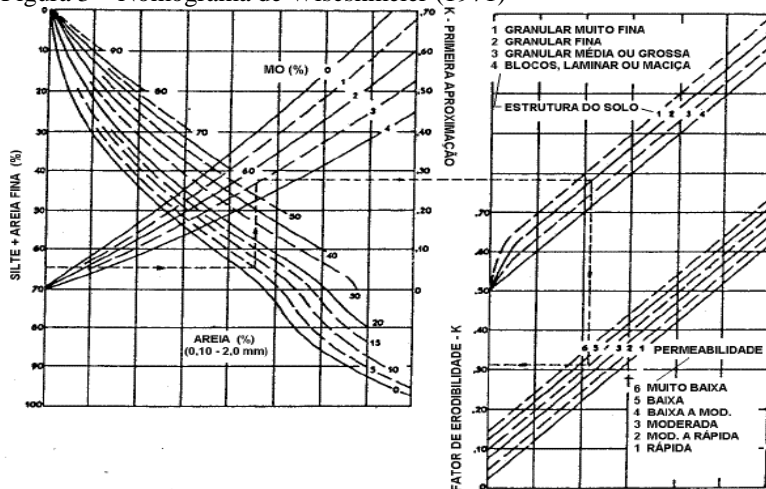
Williams (1975) verificou que a utilização da USLE não permitia obter uma estimativa da perda de solo em fases mais avançadas da erosão linear. Foster (1982) relatou que com a utilização da USLE não é possível obter a variabilidade temporal e espacial da erosão durante a chuva.

Devido a estas razões, e após um grande número de pesquisas, a USLE foi revisada e propôs-se uma nova equação: a RUSLE. Sendo este novo modelo desenvolvido por Renard et al. (1997). Ainda que se mantivesse a estrutura da equação anterior, as formas de determinação dos fatores mudaram consideravelmente.

A partir de 1980, o departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) iniciou o Water Erosion Prediction Project: WEPP, visando desenvolver novos modelos para predição da erosão hídrica,

baseados na análise dos processos físicos que regem o desprendimento, o transporte e a deposição das partículas de solo.

Figura 3 – Nomograma de Wischmeier (1971)



Fonte: Vilar e Prandi (1993)

Ao longo do tempo, algumas metodologias foram criadas para analisar a erodibilidade dos solos, tais como as propostas por: Inderbitzen (1961), que avalia a erosão causada por escoamento laminar; Nogami e Villibor (1979), com o ensaio de absorção de água; Alcântara e Vilar (1998), com as modificações no ensaio de penetração de cone; e Bastos (2002) mediante ensaios de cisalhamento direto.

2.2.2 Ensaios de Laboratório para Determinação da Erodibilidade

O uso de ensaios específicos para avaliação da erodibilidade ainda não é totalmente difundido no meio geotécnico. Com a exceção dos ensaios destinados a avaliar a dispersibilidade de solos (pinhole e ensaio de dispersão), a presença de dispositivos para ensaios de erodibilidade não é comum nos laboratórios de mecânica dos solos no Brasil (BASTOS, 1999). Entretanto, alguns destes ensaios merecem ser destacados pela potencial aplicação na previsão da erodibilidade em solos tropicais.

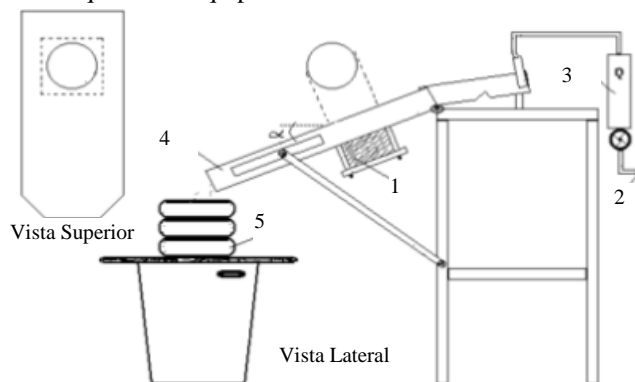
Os ensaios mais reconhecidos empregados para a avaliação qualitativa e quantitativa da erodibilidade nos solos são: ensaio de Inderbitzen, ensaio de desagregação, ensaio de Philipponnat, ensaio de cisalhamento direto e os ensaios pela metodologia MCT. De igual forma, a classificação expedita MCT e a densidade real das partículas podem ser empregadas para estimar a erodibilidade dos solos, de forma indireta.

2.2.2.1 Ensaio de Inderbitzen

Este ensaio foi proposto por Inderbitzen (1961), e consiste em um dos mais simples ensaios utilizando escoamento em canais. No ensaio é medida a perda de solo em amostras cuja superfície coincide com um plano de inclinação variável por onde passa um fluxo de água com vazão controlada, como pode ser observado na Figura 4.

Segundo o autor, o equipamento simula em condições próximas às reais como o solo se comporta frente a um fluxo de água superficial, permitindo determinar a influência de fatores como a compactação do solo, a declividade da rampa, a vazão e a duração do fluxo. Os resultados são expressos em gráficos de perda de solo versus tempo, e, velocidade de erosão versus tempo.

Figura 4 – Esquema do equipamento do ensaio Inderbitzen



1-Amostra 2-Abastecimento de água 3-Rotâmetro 4-Rampa hidráulica 5-Peneiras
Fonte: Bastos (1999)

Freire (2001) apresentou o ensaio de Inderbitzen com algumas modificações. Nessa pesquisa, o autor adicionou o efeito do impacto das gotas da chuva ao efeito do escoamento superficial (Figura 5).

Figura 5 – Ensaio de Inderbitzen Modificado



a) Simulação de chuva

Fonte: Freire (2001)

b) Gotejamento na amostra

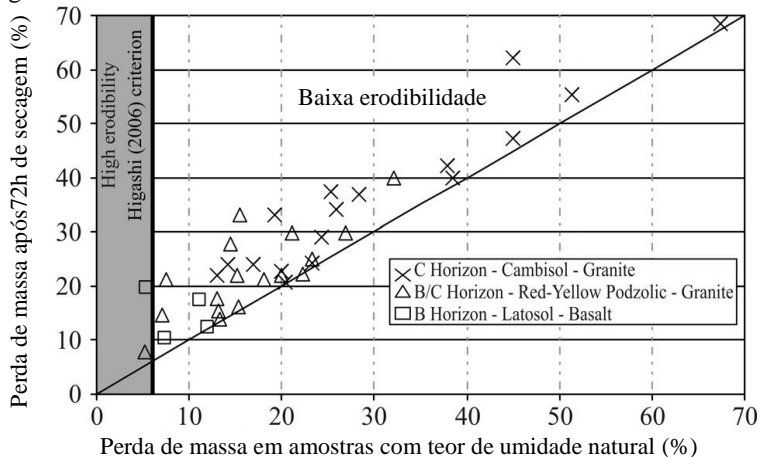
O equipamento do ensaio é composto por uma estrutura com um plano inclinado onde é posicionada a amostra indeformada de solo. Foram adicionados dois tubos perfurados paralelos que servem como chuveiros, os quais localizam-se em média a 0,20m acima da amostra de solo. As amostras encontram-se posicionadas em anéis metálicos com 10cm de diâmetro e 2cm de altura, e são submetidas a “chuva” de fluxo constante por um tempo de 2 horas.

A água e os sedimentos são recolhidos em um recipiente abaixo da estrutura do plano inclinado. Depois, são levados até um segundo recipiente onde o processo de sedimentação ocorre. Finalmente, os sedimentos são separados da água para determinar a distribuição do tamanho dos grãos do solo erodido.

Por meio de observações em campo e ensaios de laboratório, Higashi (2006) obteve uma percentagem de 6% de perda de massa pela ação da chuva em amostras residuais, presentes em algumas regiões

costeiras do sul do Brasil, como critério que separa a alta e baixa erodibilidade, como se observa na Figura 6.

Figura 6 – Gráfico de testes do Ensaio de Inderbitzen Modificado



Fonte: Higashi et al. (2012)

Ainda de acordo com Higashi (2006), esse valor deve ser considerado o limite entre os solos potencialmente erodíveis e de baixa erodibilidade. Apesar disto, os estudos que envolvem estes tipos de testes são recentes e não existe um acordo entre os pesquisadores sobre o critério que define os solos potencialmente erodíveis.

2.2.2.2 Ensaio de Desagregação

O ensaio de desagregação evoluiu do chamado “crumb test”, ensaio preconizado para identificação de solos dispersivos através da imersão de agregados de solo em água. Entretanto, o objetivo maior deste ensaio é a verificação da estabilidade à desagregação de uma amostra de solo cúbica ou cilíndrica, independente da dispersão do material.

O termo desagregação entende-se como o processo de ruína de uma amostra de solo não confinada, exposta ao ar e na sequência, imersa em água (MORIWAKI e MITCHELL, 1977).

Na pesquisa realizada por IPR/COPPE/TRAFECOM (1975 – 1978), o ensaio de desagregação foi indicado como critério qualitativo no estudo da erodibilidade do solo em taludes de estradas.

O ensaio proposto consistiu em posicionar amostras indeformadas de forma cúbica em um recipiente com água de tal forma que fique submerso $1/3$ da sua altura. São anotados o tempo de aparente saturação (intervalo de tempo entre o início e fim da ascensão capilar), o tempo de início da fissuração e, o tempo para desagregação total ou parcial.

Fonseca (1981) propõe o uso da velocidade de desagregação como um índice classificatório para a erodibilidade de solos superficiais de taludes.

Santos (1997) apresenta resultados de ensaios de desagregação para solos de Goiânia com processos erosivos instalados, e os compara com os resultados dos ensaios de Inderbitzen. As amostras foram submetidas a dois métodos de inundação: (a) imersão total por 24 horas e (b) água na base da amostra por 30 min e após elevado o nível em intervalos de 15 min para $1/3$, $2/3$ e submersão total, permanecendo até 24 horas.

Os resultados obtidos foram concordantes com os ensaios de Inderbitzen e as observações de campo, onde as amostras que mais desagregaram foram as mais erodíveis.

O emprego do ensaio de desagregação é proposto como previsão inicial do comportamento dos solos frente a um esforço erosivo, auxiliando no direcionamento de outros ensaios de erosão.

2.2.2.3 Ensaio de Philipponat

Philipponat (1973) propõe um tipo de ensaio baseado em amostras submetidas a um jato de água. No começo, o seu objetivo foi caracterizar a erodibilidade dos solos tropicais de Madagascar presentes em taludes rodoviários e em canais de drenagem.

O ensaio consiste em um jato não submerso com velocidade e vazão constantes e aplicado sobre uma amostra cilíndrica de solo

inclinada de 45°. O coeficiente de erodibilidade Er proposto é obtido conforme a equação 3:

$$Er = h * P \quad [3]$$

Onde, h é a profundidade (cm) do sulco produzido e P é a perda de solo em gramas.

Philipponat propôs a seguinte classificação:

- $Er < 30$, considerado solo não erodível;
- $30 < Er < 60$, solo ligeiramente erodível;
- $60 < Er < 200$, solo erodível;
- $Er > 200$, solo altamente erodível.

2.2.2.4 Ensaio de Cisalhamento Direto

Essa metodologia foi proposta por Bastos et al. (2002) e está baseada em considerações feitas por Nascimento e Castro (1976), os quais consideram que os parâmetros mais importantes que afetam nos processos erosivos em solos tropicais são: distribuição do tamanho dos grãos, expansão e petrificação. Bastos et al. (2002) propuseram uma metodologia para determinar o potencial de erodibilidade dos solos tropicais por meio da análise da perda de coesão em amostras de solo submersas em ensaios de cisalhamento direto.

O ensaio de cisalhamento direto está baseado nas equações de Mohr-Coulomb que descrevem as propriedades de resistência dos solos. A medida da resistência ao cisalhamento visa a determinação da envoltória de ruptura, a relação entre as tensões normal e cisalhante no estado de ruptura.

Das (2011) define a resistência ao cisalhamento do solo como a resistência interna por área unitária necessária para resistir rupturas e deslizamentos ao longo de um plano qualquer no seu interior. Desta forma, representa um parâmetro fundamental para que sejam analisados problemas como, por exemplo, capacidade de carga de fundações e estabilidade de taludes.

Segundo Queiroz (2009), no interior das encostas ocorrem tensões cisalhantes que tendem a movimentar uma parte do maciço em relação à outra, causando a ruptura quando as tensões cisalhantes excedem as tensões resistentes.

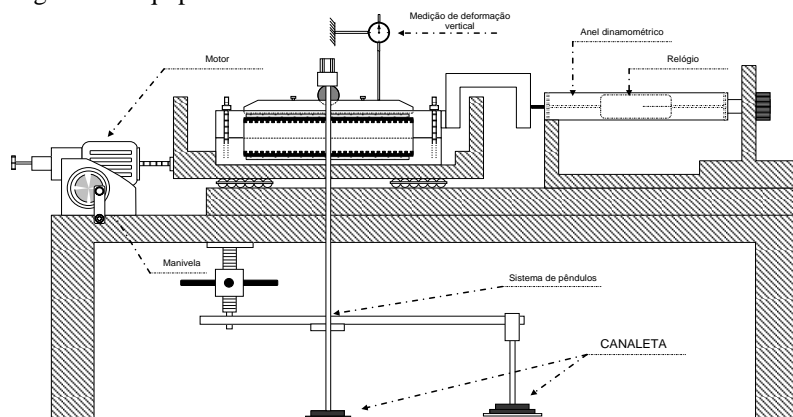
De acordo com Bastos et al. (2002), uma mudança na coesão Δc maior ou igual a 85%, produzida pela perda da sucção como se observa na equação 4, indica que o solo é potencialmente erodível.

$$\Delta c = \frac{(c_{nat} - C_{inu})}{C_{nat}} \quad [4]$$

Onde, C_{nat} é o valor da coesão com umidade natural e C_{inu} é o valor da coesão para a amostra inundada.

No ensaio de cisalhamento, a amostra de solo é colocada em uma caixa dividida horizontalmente ao meio como se observa na Figura 7. O corpo de prova é carregado com uma pressão definida previamente. Esta, por sua vez, corresponde a uma tensão normal na seção transversal do CP.

Figura 7 – Equipamento de cisalhamento direto



Fonte: Higashi (2013)

Mantem-se fixa a metade inferior da caixa, enquanto que a tensão normal permanece constante. Na metade superior da caixa, é aplicada uma força horizontal a qual corresponde a uma força cisalhante. Esta, por sua vez, aumenta gradativamente até o rompimento do CP por

cisalhamento no plano horizontal. Por fim, obtém-se os resultados de deformação horizontal e vertical medidos durante a execução do ensaio.

Para permitir a livre drenagem de água durante o ensaio, são colocadas pedras porosas na base e no topo do corpo de prova. Depois, realizam-se ensaios com tensões normais diferentes e, com isso, são desenhadas as envoltórias de ruptura as quais definirão os dois parâmetros de resistência do solo.

O primeiro é o ângulo de atrito interno do solo, determinado pela relação entre a tensão cisalhante máxima e a tensão normal. Por outro lado, a coesão do solo é definida pelo valor da tensão cisalhante, quando a tensão normal é zero.

Segundo Bastos (2013), as vantagens do ensaio são: a sua simplicidade, a facilidade na moldagem de amostras de areia, a rapidez do ensaio quando ensaiados solos permeáveis, possibilita a condição inundada e possibilita grandes deformações por reversões na caixa de cisalhamento.

Por outro lado, entre as desvantagens estão não permitir determinar os parâmetros de deformabilidade, impor o plano de ruptura, geralmente não medir nem controlar as pressões neutras, e ensaio de longa duração quando ensaiados solos de baixa permeabilidade.

Segundo Das (2011) a medida de resistência ao cisalhamento do solo é obtida pelo critério de ruptura de Mohr-Coulomb. As variáveis incorporadas são: coesão (c), ângulo de atrito interno (ϕ), tensão normal do plano de ruptura (σ) e resistência ao cisalhamento (T_r), equação 5:

$$\tau_f = c + \sigma \tan\phi \quad [5]$$

Cabe lembrar que somente as pressões efetivas mobilizam a resistência ao cisalhamento, e que em um solo saturado, a tensão normal total é a soma da tensão efetiva (σ') e da pressão de água (μ), equação 6:

$$\sigma = \sigma' + \mu \quad [6]$$

Assim, o critério de ruptura passa a ser como descrito (equação 7), onde c' é o intercepto coesivo efetivo e ϕ' o ângulo de atrito efetivo:

$$\tau f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad [7]$$

Raimundo (2002), Beviláqua (2004), Santos (1997), realizaram ensaios em diversos tipos de solo como se observa na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de resistência dos ensaios de cisalhamento direto

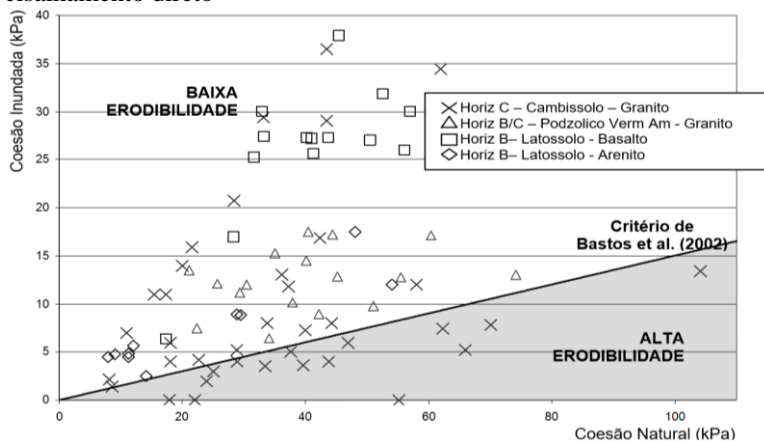
Ponto	Unidade Geotécnica	Não inundado		Inundado	
		Coesão [kPa]	Ângulo de atrito [°]	Coesão [kPa]	Ângulo de atrito [°]
Raimundo	Cacupe	28,9	36	5,2	36
Raimundo	Cacupe	26,5	31	4,8	36
Beviláqua	Araquas	25	33	3	32
Beviláqua	Córrego Grande	24	55	2	37
Beviláqua	Sc-401	22	39	0	40
Beviláqua	João Paulo	18	39	4	37
Beviláqua	Cacupé	18	37	6	35
Santos	Pvg-Ilha	92,3	27	16	32
Santos	Pvg-Ilha	17,9	36	0	35
Santos	Pvg-Itacorubi	37,1	25	32,5	25
Santos	Pvg-Itacorubi	33,1	30	20,4	28

Fonte: Adaptado de Higashi (2006)

Higashi et al. (2012) desenvolveram testes em diversos tipos de solo e os classificou utilizando o critério de Bastos (2002), como se observa na Figura 8.

Observa-se que os cambissolos originados de rochas graníticas apresentaram elevada erodibilidade, enquanto latossolos e podzólicos vermelho-amarelos resultam em baixa erodibilidade.

Figura 8 – Resultados do critério de erodibilidade baseado no ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Higashi et al. (2012)

2.2.2.5 Ensaios do critério de erodibilidade da Metodologia MCT

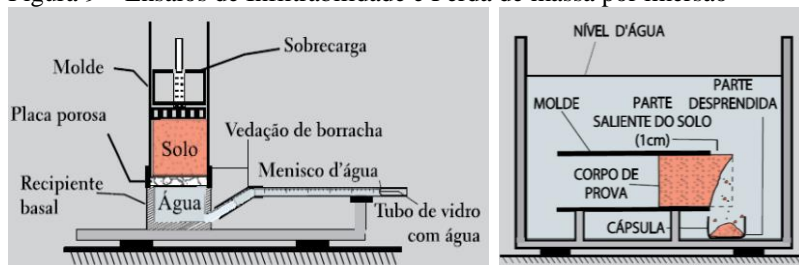
Nogami e Villibor (1979) desenvolveram uma metodologia para avaliação qualitativa da erodibilidade dos solos tropicais. A razão disto foi a preocupação gerada pelo insucesso na aplicação dos critérios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal) e do ensaio de Philipponat em solos do estado de São Paulo. O critério de erodibilidade MCT é essencialmente empírico, e, está baseado na correlação com o comportamento frente à erosão de um grande número de taludes de estradas no estado de São Paulo.

Segundo Bastos (1999), trata-se de um método adequado para previsão da erodibilidade, uma vez que leva em conta a taxa de infiltração de água através da superfície do talude, o efeito da secagem sobre o comportamento dos solos sob inundação e a necessidade do uso de amostras indeformadas nos ensaios.

Esta metodologia é fundamentada em dois parâmetros que permitem prever o comportamento dos solos tropicais frente à erosão hídrica, esses são: o coeficiente de perda de massa por imersão (P_i) obtido

no ensaio de perda de massa por imersão modificado; e o coeficiente de sorção (s) obtido no ensaio de infiltrabilidade; observado na Figura 9.

Figura 9 – Ensaio de Infiltrabilidade e Perda de massa por imersão



Fonte: Nogami e Villibor (2009)

- Perda de massa por imersão

Esta propriedade é avaliada por meio do ensaio de perda de massa por imersão (P_i). As amostras indeformadas do solo são imersas em água durante 20 horas. O percentual de perda de solo seco em massa em relação ao peso seco total da amostra representa a erodibilidade específica.

- Infiltrabilidade

É uma propriedade hidráulica dos solos não saturados e representa a facilidade com que a água infiltra no solo através de sua superfície. É controlada sobretudo pelas tensões de sucção. Nos climas tropicais e subtropicais úmidos, a infiltrabilidade é mais representativa que a permeabilidade saturada como a propriedade que regula a quantidade de escoamento superficial.

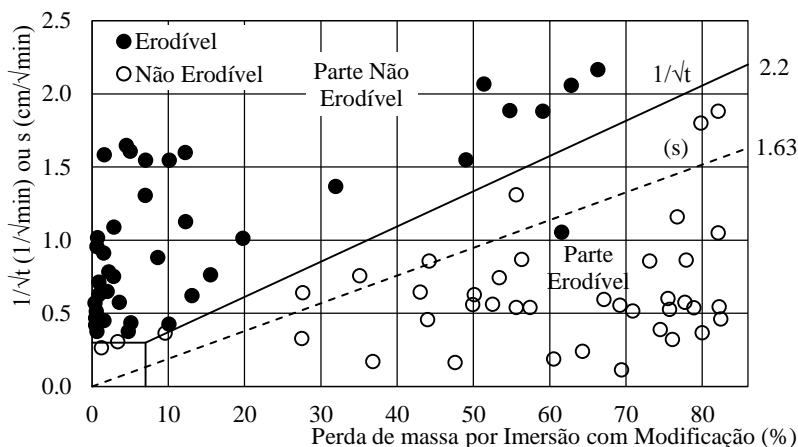
O ensaio consiste em submeter uma amostra de solo cilíndrica, confinada lateralmente pelo tubo de amostragem, a um fluxo ascendente por ascensão capilar.

Segundo Nogami e Villibor (1979), através da relação entre os parâmetros (P_i/s), é possível a classificação dos solos em relação ao grau de erodibilidade. A partir de dados obtidos nos dois ensaios estabeleceram como critério limite de erodibilidade a relação $P_i/s = 52$, sendo considerados solos erodíveis quando esta relação for superior a 52. O

mesmo critério de classificação foi proposto de maneira gráfica por Nogami e Villibor (1995), como pode-se observar na Figura 10.

Pejon (1992) desenvolveu uma relação entre P_i e s . Determinou que se tal relação for superior ao valor 40, os solos devem ser classificados como erodíveis, tendo como base solos tropicais profundos, que foram a base de suas pesquisas.

Figura 10 – Gráfico para previsão da erosão em cortes



Fonte: Adaptado de Nogami e Villibor (1995)

2.2.2.6 Critério de erodibilidade baseado na Densidade Real dos Grãos (HIGASHI et al. 2012)

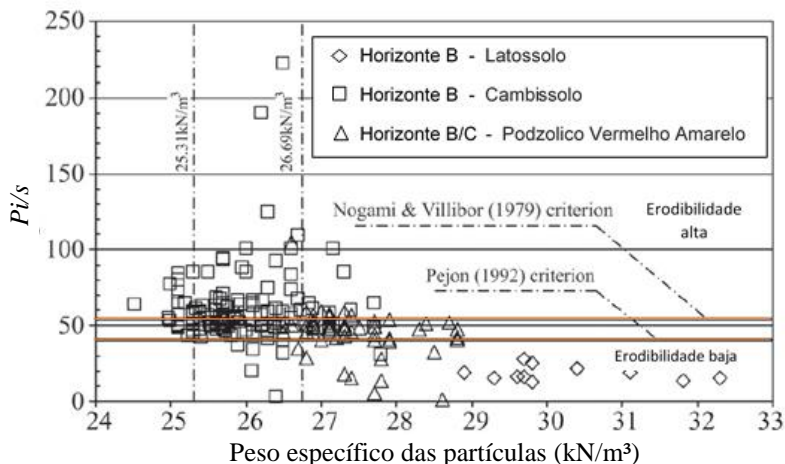
O critério está baseado em comparações de resultados dos ensaios de perda de massa por imersão e infiltrabilidade; Higashi et al. (2012) estabeleceram uma relação com a densidade real das partículas (ρ_s) para estimar a erodibilidade em solos.

Pejon e Silveira (2007) ressaltam que há uma relação entre os valores de densidade real das partículas contidos no intervalo de 2,51 a 2,7 g/cm³ com índice de erodibilidade elevado. Para Higashi et al. (2012), esse intervalo fica entre 2,53 e 2,67g/cm³, como se observa na Figura 11.

Apesar de haver poucos trabalhos usando esse critério como suporte para as pesquisas, o presente trabalho no entanto, visa aumentar

a base de dados para estudar melhor a relação entre densidade real das partículas e erodibilidade e utilizarão tal método para efeito de comparação.

Figura 11 – Relação entre densidade real das partículas e critério de erodibilidade MCT



Fonte: Higashi et al. (2012)

2.2.2.7 Critério de erodibilidade baseado no método expedito MCT

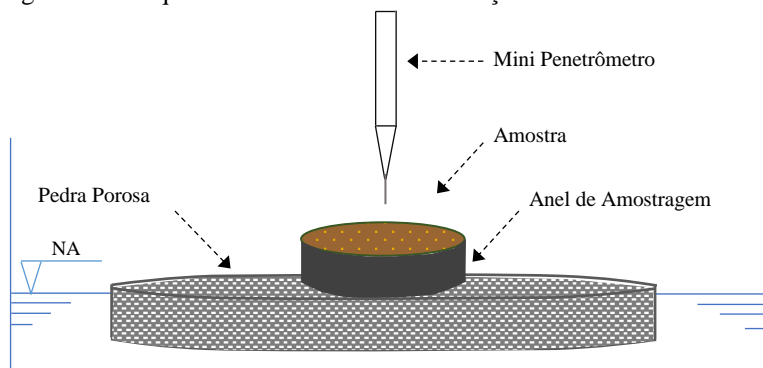
De acordo com Sant'Ana (2002), a classificação MCT mostra-se adequada para os solos dos países tropicais, porém, a crítica referente à complexidade dos seus ensaios, a experiência adquirida dos profissionais de laboratório com a metodologia tradicional, e os investimentos em novos equipamentos, fizeram com que os pesquisadores buscassem alternativas simplificadas que atingissem igualmente os objetivos desejados. Assim, torna-se mais prático o uso de um método rápido e de fácil execução, como o Método Expedito das Pastilhas.

Inicialmente estudado por Nogami e Cozzolino (1985) com base na metodologia MCT, o método expedito foi estudado por vários pesquisadores, como Nogami e Villibor (1994 e 1996), Fortes et al. (2002), Godoy e Bernucci (2000), entre outros.

Baseia-se na moldagem do solo passante na peneira nº 40 com adição de água em pastilhas de 20mm de diâmetro por 5mm de altura. Mede-se a contração após a mesma permanecer em estufa a 60°C.

Em seguida, a pastilha é submetida à saturação. Neste momento, são analisadas qualitativamente características de inchamento, abaulamento e fissuração. Ao fim, um penetrador padrão é solto com o peso próprio na pastilha, quando deve ser lida a penetração, em milímetros. Na Figura 12, observa-se a representação esquemática dos materiais utilizados no ensaio.

Figura 12 – Esquema do ensaio de caracterização MCT



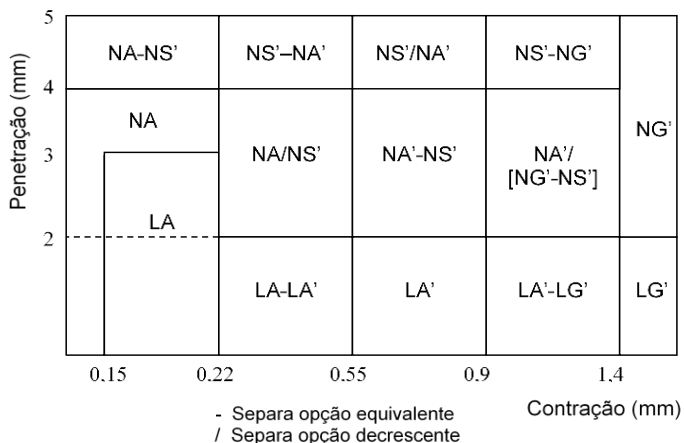
Fonte: Adaptado de Rosniecek e Imai (2013)

Com os dados de contração diametral e penetração deve-se entrar na carta apresentada na Figura 13 e determinar a classe à qual a amostra se enquadra.

Para classificação da erosão, Bastos (1999) baseado nas considerações de Nogami e Villibor (1995) estabelece as características dos tipos de solo da classificação MCT quanto a erosão (Tabela 4).

Os critérios de avaliação da erodibilidade baseados na metodologia MCT foram confirmados por Bastos (1999), no estudo da erodibilidade de solos residuais não saturados na região metropolitana de Porto Alegre.

Figura 13 – Carta das classes para determinação expedita MCT



Legenda: Lateríticos

LG' - argilas e argilas arenosas; LA' - areias argilosas; LA - areias com pouca argila.

Não-Lateríticos

NG' - argilas siltosas e arenosas; NS' - siltes: caulíníticos, micáceos, arenosos e argilosos; NA' - areias siltosas e argilosas; NA - areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos.

Fonte: Nogami e Villibor (1994)

Tabela 4 – Classificação da erodibilidade dos solos com a classificação MCT

Classificação MCT	Erodibilidade	Forma de Erosão
NA	B, M, A	Desagregação E
NA'	B, M, A	Desagregação M
NS'	B, M, A	Sulcos E
NG'	M, A	Sulcos e Desagregação E
LA	B	Firme
LA'	B	Desagregação B
LG'	B	Desagregação B

B: Baixo; M: Médio; A: Alta; E: Elevada.

Fonte: Nogami e Villibor (1979)

2.3 FATORES ANTRÓPICOS QUE INCIDEM NA EROSÃO

A Segundo Tominaga (2009), a ação do homem é considerada como um agente modificador da dinâmica natural do relevo e, portanto, da estabilidade das vertentes.

Highland e Bobrowsky (2008) definem a ação humana como um dos deflagradores das instabilizações, uma vez que a “perturbação ou alteração dos padrões de drenagem, desestabilização das encostas e remoção da vegetação são fatores induzidos pelo homem, que podem dar início a deslizamentos de terra”.

Mendonça e Guerra (1997) apontam as principais ações antrópicas que resultam em deslizamentos em encostas:

- a) desmatamento, capina ou queimada;
- b) implantação de moradias em área sujeita à evolução natural da encosta;
- c) execução de cortes e aterro a meia encosta para implantação de moradias e acessos;
- d) abertura aleatória de vias de acessos;
- e) despejo de detritos sobre a superfície da encosta;
- f) obstrução de cursos naturais de água;
- g) despejo de águas pluviais e esgotos diretamente sobre o terreno;
- h) execução de redes de água, esgoto e drenagem de forma deficiente;
- i) execução de fossas absorventes (sumidouros);
- j) plantação de vegetação não recomendada.

Miranda (2005) elenca os seguintes fatores ou ações antrópicas como deflagradores e aceleradores dos processos erosivos: desmatamentos, núcleos urbanos, barragens, cortes de taludes, mineração e agropecuária.

A erosão acelerada está intimamente relacionada com as atividades humanas. Por essa razão, o Estado deve tomar cargo da estruturação das políticas para a conservação e a recuperação dos solos.

Para Graziano Neto (1986), o desenvolvimento tecnológico de certas atividades humanas como a agricultura, tem instalado sistemas de produção altamente instáveis, que requerem técnicas mais complexas para o seu controle. O autor resume com a seguinte frase: “ O resultado final das constantes tentativas de dominar a natureza é a própria destruição da natureza”.

Segundo o anuário IGEO da UFRJ (1994), o uso intensivo da terra com técnicas agrícolas modernas e máquinas, que na maioria dos casos não estão adaptadas à realidade dos países em desenvolvimento, são as causadoras da erosão e degradação dos solos em muitas oportunidades. Lamentavelmente, nesses lugares, existe uma tendência a iniciar as práticas de conservação dos solos somente quando a erosão começa a afetar a acumulação de capital das classes dominantes.

Uma vez instalado o processo erosivo, é preciso a tomada imediata de medidas para a conservação do solo. A erosão reduz o teor de matéria orgânica, diminuindo a sua fertilidade, limitando assim sua capacidade produtiva em um curto período de tempo.

Bentley (1985) aponta que devem ser tomadas medidas enérgicas para evitar a erosão dos solos, através da implementação de práticas de conservação dos solos, as quais visem melhorar o manejo dos recursos hídricos, e da própria terra.

Os países em desenvolvimento devem fazer um esforço comum, combinando os fatores naturais com os sociais, para compreender melhor seus problemas de erosão dos solos (ANUÁRIO IGEO, 1994). Gerando dessa forma políticas, programas e estratégias de conservação dos solos, que contribuam à preservação e recuperação dos recursos naturais, de modo que exista um desenvolvimento sustentável nos países.

2.4 CRESCIMENTO URBANO

O processo de urbanização é uma das manifestações mais representativas da raça humana, e ainda que tenha existido desde milhares anos atrás, apenas no último século tornou-se uma atividade de crescimento altamente acelerado, sem controle, e com consequências problemáticas.

A FAO (Food and Agriculture Organization) das Nações Unidas (1980) colocou as altas densidades demográficas como uma das causas da erosão dos solos e da própria destruição e extinção de alguns recursos naturais. O acelerado crescimento urbano de regiões subdesenvolvidas está geralmente acompanhado de desigualdades sociais e o agravamento das condições ambientais do povoamento.

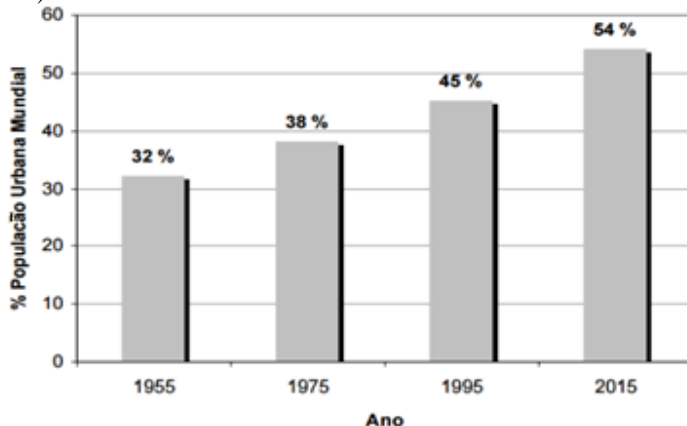
Até o ano de 1800, somente 1% da população mundial vivia em cidades (LEÃO, 2011). Porém, devido à revolução industrial, desde o início do século XIX, a urbanização tem crescido a um ritmo cada vez mais acelerado.

Segundo Guglielmo (1996), durante a primeira metade do século XX a população urbana mundial aumentou em 240%. A Figura 14 ilustra o crescimento constante da população urbana no período 1955 a 2015, segundo o estudo SWP (State of World Population) da UNFPA - United Nations Population Fund.

No caso latino-americano, os governos não têm sido capazes de prover a infraestrutura necessária para garantir a moradia da crescente população urbana, além da inexistência de oportunidades de emprego suficientes.

Segundo Leão (2011), o processo vertiginoso de urbanização dos países em desenvolvimento tem-se caracterizado pela ineficácia no planejamento urbano e no atendimento a necessidades básicas, como trabalho, abastecimento, educação, lazer saúde e habitação.

Figura 14 – Crescimento constante da população urbana mundial (1955 – 2015)



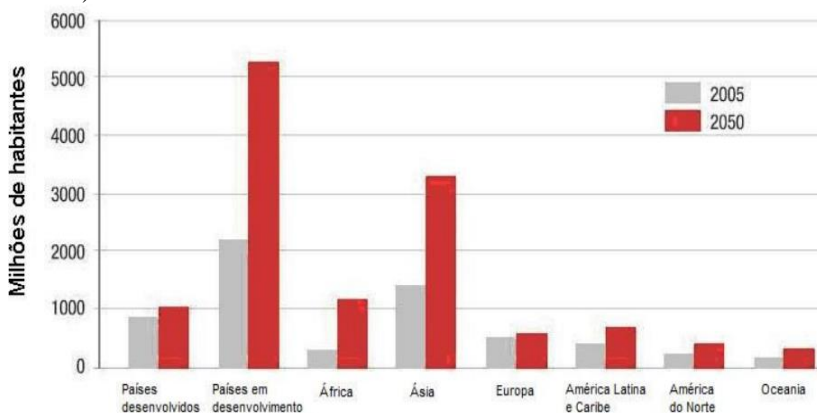
Fonte: SWP, UNFPA (2007)

De acordo com o SWP (2007), ao longo do século XX, a população urbana mundial cresceu de 220 milhões para 2,8 bilhões. Estudos afirmam que os países subdesenvolvidos apresentarão o maior crescimento. Particularmente na África e Ásia, espera-se que a população urbana dobre sua magnitude entre o ano 2000 e 2030, de 1,65 bilhões para 3,36 bilhões. A Figura 15 ilustra o crescimento da população urbana mundial entre 2005 e 2050.

No caso da América Latina, o processo de urbanização se apresentou de forma rápida. Segundo o SWP (2007), a população urbana irá passar de 394 milhões para 610 milhões entre o ano 2000 e 2030. Nessa região, as taxas de crescimento populacional como de migração rural-urbana, chegaram abruptamente a valores elevados, o que transformou em questão de duas décadas países predominantemente rurais em nações predominantemente urbanas (UNCHS, 1996).

No caso específico do Brasil, os níveis de urbanização demonstram um processo de explosão urbana ao longo do século XX. Em 1940 a população urbana no Brasil era apenas 31% do total, anos depois, em 1980 era de 68%, e no ano 2000 chegou a 81% (LEÃO, 2011).

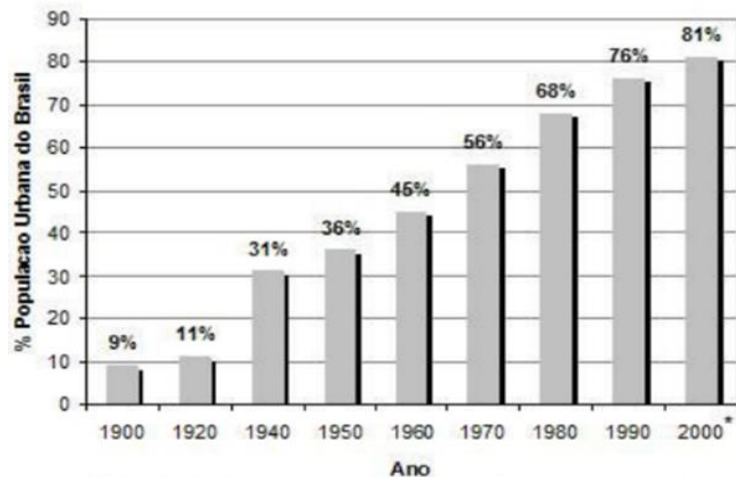
Figura 15 – Crescimento da população urbana no mundo por regiões (2005 – 2050)



Fonte: SWP, UNFPA (2007)

Essa transformação percebe-se de forma mais tangível em números absolutos de população. Entre 1960 e 1996 a população urbana no Brasil aumentou de 31 milhões para 137 milhões, ou seja, em 40 anos as cidades receberam mais de 100 milhões de pessoas (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2002). Isto pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Crescimento da população urbana no Brasil (1900 – 2000)



Fonte: IBGE (1998); apud Leão (2011)

Os problemas habitacionais se tornam cotidianos neste cenário de inflação populacional e inadequada gestão do território urbano.

Estes problemas incluem como características: a segregação espacial da população em assentamentos informais, a carência de moradias, a escassez de serviços de infraestrutura urbana, dificuldades de acesso a oportunidades de emprego e a ocupação de áreas de risco ou protegidas.

Todas estas manifestações denotam a ineficácia do poder público na solução das questões relacionadas ao acesso à moradia. Como resposta a esta postura, predomina nas cidades brasileiras e latino-americanas em geral, uma realidade habitacional marcada pela carência e precariedade.

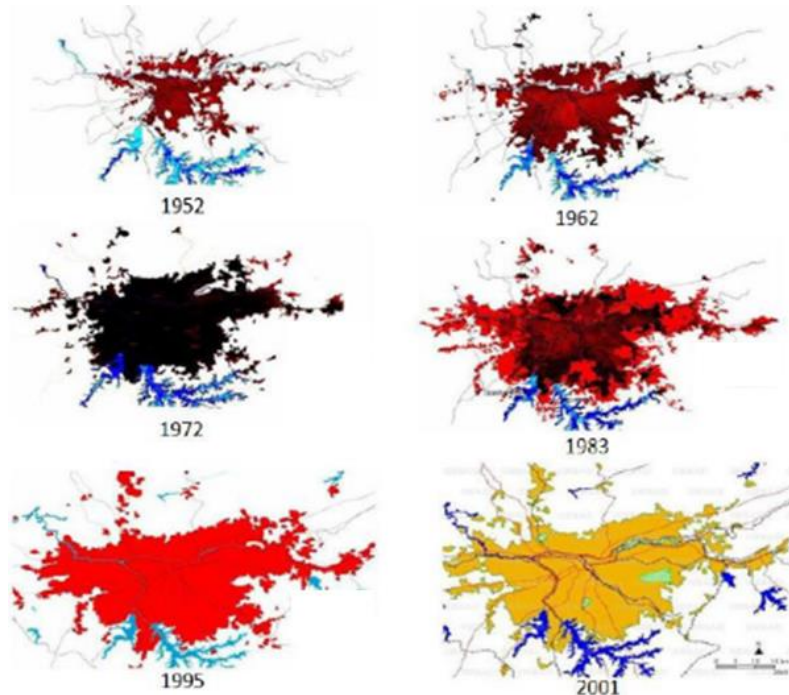
2.4.1 Vetores de Crescimento

A utilização de imagens de satélites se tornou uma ferramenta importante para a análise da expansão das cidades. Segundo Higashi (2006), é necessário no mínimo três imagens da mancha urbana de diferentes épocas, para que seja possível iniciar o seu traçado. Porém, esse valor não deve ser uma referência absoluta, uma vez que depende da complexidade e extensão do tecido urbano.

Para determinadas localidades, a representação da expansão urbana em apenas três períodos pode ser insuficiente para uma análise confiável. Preferencialmente, deve ser utilizada a maior quantidade de dados possível, gerando assim uma série histórica representativa (XAVIER, 2010).

Como pode-se observar na Figura 17, no estudo da expansão da mancha urbana da região metropolitana de São Paulo, foram empregadas imagens correspondentes a 6 períodos distintos, que mostram uma expansão radial da mancha urbana.

Figura 17 – Crescimento da mancha urbana da região metropolitana de São Paulo (1952 – 2001)

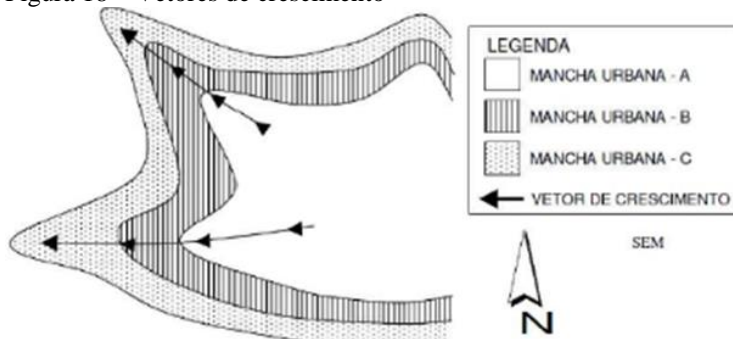


Fonte: CESAD USP; apud Barbosa (2013)

Depois de identificada a mancha urbana para diversos cenários, é importante verificar qual é a tendência da direção do crescimento urbano. O crescimento pode ser caracterizado por meio de vetores de crescimento urbano, indicando a direção que a mancha urbana poderá tomar com o passar dos anos.

Os vetores são traçados nos principais pontos de expansão conforme a Figura 18. De acordo com Higashi (2006), a comparação entre as manchas urbanas pode assumir vários formatos, sendo mais comum o estrelar e o radial uniforme.

Figura 18 – Vetores de crescimento



Fonte: Higashi (2006)

Para a formulação dos vetores de crescimento, segundo Xavier (2010), deve-se ter cuidado especial com a precisão espacial dos dados, já que o uso de mapas em escalas pequenas limita a precisão espacial das análises. Devido a isto, os dados empregados devem ser da maior precisão possível.

Atualmente, as imagens de sensoriamento remoto alcançam resoluções cada vez maiores. Ao mesmo tempo, foram desenvolvidas diversas técnicas de processamento digital que buscam ampliar a capacidade de detectar, realçar e discriminar objetos em imagens digitais. O uso desses novos instrumentos para análise das configurações espaciais urbanas oferece novos pontos de vista dos problemas da evolução da mancha urbana e de forma geral, do planejamento urbano (LEÃO, 2011).

2.5 MAPEAMENTO PARA USO E OCUPAÇÃO DE SOLO

A cartografia geotécnica começou a ser praticada no Brasil a partir da década de 1970, consolidando-se na década de 1980. O desenvolvimento foi conduzido por universidades e instituições de pesquisa, com a aplicação de distintas metodologias, enfoques e escalas de trabalho.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias para o processamento de dados cartográficos, ocorreu paralelamente o desenvolvimento dos sistemas de informação geográfica. Dessa forma,

tornou-se possível capturar, manipular e analisar uma grande quantidade de dados de fontes diversas, referenciados espacialmente, e apresentando-os para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento.

A agilidade das análises e a geração de produtos derivados fomentaram a expansão da cartografia geotécnica, com aplicações diversas entre as que se encontram: planejamento urbano, planejamento ambiental, ordenamento territorial, gestão territorial, gerenciamento de obras civis, e estudos de processos geodinâmicos.

2.5.1 Mapeamento de Aptidão à Urbanização

Para realizar o mapeamento da aptidão à urbanização é preciso uma análise de suscetibilidade para estabelecer as áreas mais adequadas para a ocupação urbana. Nas análises de maior detalhe, nem toda extensão de uma área considerada adequada à ocupação está isenta de problemas de ordem geotécnica, assim como nem toda extensão de uma área inadequada à urbanização representa uma situação de risco.

Por essa razão, as características locais de declividade, drenagem, tipo de solo e substrato, trazem restrições à ocupação, devendo ser analisadas em uma escala compatível com a tomada de decisão em nível local. No caso das áreas suscetíveis já ocupadas, deve-se detalhar cartograficamente estes setores, de forma que sejam obtidos os locais sob maior perigo.

Um instrumento ótimo para dar suporte ao uso e ocupação urbana, é uma carta geotécnica que correlacione as características do meio físico e os processos geodinâmicos que podem ocorrer, sejam de causa natural ou induzidos pela ocupação. Este documento cartográfico deve trazer informações sobre todas as diferentes feições geológicas e geomorfológicas, delimitando unidades quanto aos seus comportamentos geotécnicos frente à ocupação urbana, gerando assim as unidades de aptidão ao uso urbano (SOBREIRA e DE SOUZA, 2012).

O objetivo final deste tipo de mapa é definir as áreas onde não deve ser permitida a ocupação e os setores que podem ser ocupados, desde que sejam seguidos os critérios técnicos estabelecidos para este fim.

Esses produtos devem ser elaborados em escala de detalhe, sendo recomendável o uso da escala 1:10.000 ou maior. Produzir um mapa nessa escala envolve trabalhos de campo, os quais podem ser precedidos de modelagem, dependendo das bases de informação disponíveis. As informações temáticas básicas necessárias no processo de produção destas cartas segundo Sobreira et al. (2012), são as seguintes:

- Base topográfica (em escala 1:10.000 ou maior);
- Base cadastral (em escala 1:5.000 ou maior);
- Fotografias aéreas, ortofotos e imagens orbitais;
- Mapa geológico estrutural;
- Mapa pedológico;
- Representação das bacias de contribuição;
- Identificação dos agentes potencializadores de risco geológico;
- Identificação de indícios de movimentação do terreno;
- Análise dos eventos destrutivos potenciais;
- Identificação das faixas de inundação dos canais;
- Dados de sondagem ou a elaboração de perfis;
- Identificação das redes de drenagem e avaliação do sistema viário;
- Estudo das redes de esgotamento sanitário;
- A avaliação das séries históricas de chuvas.

A análise de informações geotécnicas com dados de sondagens ou ensaios de laboratório, antes do início dos trabalhos de campo, possibilita uma visão prévia do comportamento dos terrenos, assim como, auxilia nos trabalhos de mapeamento e delimitação das unidades geotécnicas.

Cartas representando o substrato rochoso e o tipo de solo são bases imprescindíveis para a elaboração de cartas geotécnicas orientadas a ocupação urbana. Além disso, também são fundamentais os levantamentos pedológicos, que indicam a unidade de solo do local. Todo tipo de informação cartográfica detalhada como topografia, substrato,

coberturas, geomorfologia, processos geodinâmicos, declividades, pode ser utilizada para análises prévias por meio de técnicas de análise espacial em SIG, gerando uma carta preliminar, que deve ser posteriormente verificada e corrigida.

Segundo Sobreira et al. (2012), o produto cartográfico final deve conter unidades com as seguintes características: áreas com aptidão à ocupação, áreas que podem ser ocupadas cumprindo critérios técnicos e áreas inaptas para a ocupação.

Independentemente do método e material utilizado na elaboração do mapeamento e dos nomes que tenham as unidades ao fim do trabalho, deve-se elaborar um documento síntese com as unidades sugeridas, apontando as restrições em cada local e os critérios gerais de ocupação.

Igualmente, os mapas de aptidão devem indicar as restrições relacionadas à legislação do meio físico da área em estudo. No Brasil, o parcelamento do solo para fins urbanos se encontra regida regulada pela LEI No 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a qual dispõe o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. No Parágrafo único descreve o seguinte:

“Não será permitido o parcelamento do solo:

I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;

II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;

III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.”

2.6 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

O mapeamento geotécnico é uma ferramenta utilizada geralmente na área de engenharia para caracterização e análise de grandes áreas como bacias hidrográficas, e com o objetivo de indicar o ordenamento da ocupação e uso do solo em centros urbanos.

Existem definições de numerosos autores entre as quais encontra-se a UNESCO (1976), onde descreve o mapeamento geotécnico como uma espécie de mapa geológico onde são representados todos os componentes significativos para o planejamento do uso do solo e para projetos, construções e manutenção próprias da engenharia civil.

Segundo Prandini et al. (1992), o termo cartografia geotécnica é empregado de forma genérica para aqueles produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo. Por outro lado, Zuquette (1993) aponta que estes buscam avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico e os comportamentos frente aos diferentes tipos de ocupação.

Cerri (1990) afirma que as cartas geotécnicas devem mostrar a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos, suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo e a dinâmica dos principais processos atuantes na área de estudo. Freitas (2000), considera a carta geotécnica como um produto resultante da necessidade de caracterização dos terrenos, visando uma solução para o uso e ocupação do solo, levando em conta atributos ou parâmetros dos seus componentes físicos.

Bittar et al. (1992) defendem a subdivisão em cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Prandini et al. (1992) e Zaine (2000) classificam as cartas geotécnicas em cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros.

Sobreira et al. (2012) classificam as cartas geotécnicas como cartas de aptidão à urbanização, cartas de suscetibilidade e cartas de riscos geológicos, como se observa na Tabela 5.

Tabela 5 – Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações /alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte, assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas para gestão de Riscos	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações /alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares, solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos.

Fonte: Sobreira e De Souza (2012)

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

Segundo Santos (1997), o mapa geotécnico é também um instrumento de gestão territorial, pois estabelece uma forma de zoneamento do solo que é definida segundo critérios do meio físico.

2.6.1 Principais Metodologias de Mapeamento Geotécnico

As primeiras referências da utilização de técnicas de mapeamento geotécnico datam de 1902 com a caracterização geotécnica do substrato geológico da cidade de Nova Iorque (EUA), a partir de informações de 1400 furos de sondagem.

A partir da década de 1960, devido ao acelerado crescimento da degradação causado pela ocupação do solo e à ocorrência de registros de

acidentes com perdas de vidas humanas e enormes prejuízos materiais, surgiu a necessidade de pesquisas e desenvolvimento de técnicas para o estudo do solo e subsolo.

A Tabela 6 mostra algumas das metodologias de mapeamento geotécnico mais empregadas no mundo. Entre as técnicas mais frequentemente utilizadas no Brasil, destacam-se as propostas por Zuquette (1987), Davison Dias (1995) e Higashi (2006). A consolidação dos estudos de mapeamento geotécnico no Brasil se deu na década de 1980, com as metodologias desenvolvidas pelo IPT e a Escola de engenharia de São Carlos – USP.

Tabela 6 – Principais metodologias de mapeamento geotécnico

METODOLOGIA	ESCALA	FINALIDADE	UTILIZAÇÃO
IAEG (Internacional)	<1:100.000 >1:10.000	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
Francesa	<1:100.000 >1:2.000	Específica e Regional	Planejamento urbano e regional
PUCE (Austrália)	<1:2.500.000 >1:2.500	Específica e Regional	Planejamento urbano e regional
Britânica	>1:10.000 <1:2.500	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
Russa	<1:100.000.000 >500.000	Específica e Regional	Planejamento urbano e regional
Hinojosa e Leon	<1:1.000.000 >500.000	Específica	Planejamento e projeto de estradas
ZERMOS	>1:50.000	Específica	Movimento de massa (planejamento)
Espanhola	>1:200.000 <1:2.000	Específica e Regional	Planejamento regional e territorial
USA (Kiefer)	Regional e local	Específica e Regional	Planejamento urbano e regional
Canadá	Regional e local	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional

Fonte: Kopezinski (2000)

A descrição de algumas das metodologias mais empregadas internacionalmente é apresentada a seguir.

2.6.1.1 Metodologia da International Association of Engineering Geology

Metodologia elaborada por uma comissão da IAEG – *International Association of Engineering Geology* em 1976, com o objetivo de formular uma orientação para os primeiros mapeamentos geotécnicos, visando que os meios para sua confecção fossem econômica e tecnicamente viáveis. Os fatores considerados na metodologia são:

- Caráter das rochas e dos solos;
- Condições: hidrogeológicas e geomorfológicas;
- Fenômenos geodinâmicos.

Segundo Miranda (2005) a classificação dos mapas gerados é a seguinte:

1- Quanto a finalidade:

- Mapa de finalidade especial: aspectos específicos do meio físico ou de condições geotécnicas para construção de determinado tipo de obra.
- Mapa de multifinalidade: informações geotécnicas variadas, usado para diversas finalidades do planejamento e engenharia.

2- Quanto ao conteúdo:

- Mapa de zoneamento geotécnico: registra e interpreta as informações geológico-geotécnicas, delimitando áreas homogêneas.

3- Quanto à escala:

- Grande: 1:10.000 ou maiores, para obras específicas.
- Média: 1:10.000 – 1:100.000, para planejamento regional.
- Pequena: 1:100.000 ou menores, para mapeamento em geral.

4- Quanto à litogênese:

- Tipo Geologia de Engenharia (>1:5.000).
- Tipo Litológico (1:5.000 a 1:10.000).
- Complexo Litológico (1:10.000 a 1:200.000).
- Suite Litológica (<1:200.000).

Na aplicação desta metodologia, o usuário deve decidir sua escala, tipo de documento mais adequado, o modo de realizar o mapeamento para atender as condições e as classes estipuladas pelo referido documento.

Teoricamente, para que a metodologia seja adotada por qualquer país, deve-se considerar a compatibilização do número de informações com a exigência da metodologia, assim como estipular a escala e o tipo de documento, ordenar os componentes do meio físico, e definir como obter os atributos e suas classes.

Borges (2003) e Rodrigues (2008), utilizaram a metodologia da IAEG em pesquisas de mapeamento geotécnico.

2.6.1.2 Metodologia Francesa

Foi resultado do levantamento e análise dos trabalhos de mapeamento geotécnico já existentes, realizados principalmente na França. Fatores analisados pela metodologia são as condições geodinâmicas, geomorfológicas e geotécnicas do terreno. Tem como finalidade ser usada para mapas em escala regional e escala de detalhe.

Os produtos elaborados podem ser classificados das seguintes formas:

- a) Quanto à escala, como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação quanto a escala e finalidade

Nível	Escala	Finalidade
Regional	< 1:100.000	Planejamento regional
	1:100.000 a 1:50.000	Áreas metropolitanas
	1:25.000 a 1:10.000	Áreas urbanas
Local	1:10.000 a 1:2.000	Áreas específicas
	> 1:2.000	Áreas de detalhe

Fonte: Miranda (2005)

b) Quanto ao conteúdo e forma:

-Cartas analíticas ou de fatores: Representam um ou mais fatores necessários ao estudo geotécnico. Alguns exemplos são: mapas de substrato rochoso, materiais de cobertura, hidrogeológico e geomorfológico.

-Cartas sintéticas ou de aptidão: Delimitam áreas homogêneas quanto ao tipo de utilização e dados sobre a qualidade dos solos. Alguns exemplos são: cartas de aptidão das fundações, cartas de materiais de construção, cartas para construção de vias de comunicação, entre outras.

Miranda (2005) aponta que a metodologia não estabelece os limites para cada informação considerada ao definir as áreas homogêneas, ficando o critério a escolha dos profissionais. Segundo Zuquette e Nakazawa (1998), a maioria dos trabalhos seguindo esta metodologia foram feitos em áreas inferiores a 1500 km² e escalas superiores a 1:50.000.

2.6.1.3 Metodologia PUCE

Recebe seu nome das siglas em inglês P.U.C.E. (PATTERN, UNITY, COMPONENT, EVALUATION), foi desenvolvido na Austrália por Grant e Finlayson (1978).

Seu objetivo consiste em classificar os procedimentos de coleta e processamento de informação por meio dos estágios de pré-planejamento, planejamento e projeto de obras civis.

A metodologia PUCE utiliza como suporte principal arquivos de engenharia com informações para usos futuros, compatíveis com softwares computacionais. Além disso, fornece a probabilidade de ocorrência de um conjunto de condições particulares em um ponto específico.

Está baseada no conceito de terreno como produto da interação da geologia e o clima através do tempo. Da mesma forma, no princípio de

que os solos que evoluíram de materiais semelhantes, através de processos geológicos semelhantes, possuem propriedades semelhantes.

O sistema de classificação desta metodologia se define pela topografia, características litológicas, solo e vegetação. Este sistema é composto por quatro classes de generalizações:

- Província: Define uma área do meio físico com base na geologia, geomorfologia, drenagem, vegetação e outros. A representação de Província é a indicada para escalas menores que 1:250.000 tais como mapeamentos regionais.
- Padrão de terreno: Baseia-se em critérios geomorfológicos, como topografia; no tipo de solo e de vegetação da área estudada. São classificados os padrões e as densidades de drenagens, as amplitudes de relevo e as formas fisiográficas, e representados em escalas menores que 1:100.000 e maiores que 1:250.000.
- Unidade de terreno: É uma classe definida pela forma do relevo e pela associação de solos e vegetação, o que forma unidades distintas e reconhecíveis. Indicada para mapeamentos em escalas menores que 1:10.000 e maiores que 1:100.000.
- Componente de Terreno: Definida com base nas características geomorfológicas do terreno, como tipo de perfil do solo, tipo e ângulo da encosta, cobertura vegetal, e litologia do substrato rochoso. A classe é indicada para estudos em escalas maiores que 1:10.000.

O programa PUCE tem como vantagens a simples operacionalidade pelo usuário, independentemente de nomes locais e ser compatível com armazenamento de dados em computador.

2.6.1.4 Metodologia de Cottas

Trata-se de uma metodologia, estabelecida por Cottas em 1983, para o desenvolvimento de estudos geológicos visando processos de planejamento de centros urbanos, propondo assim, um novo modelo de abordagem. A fonte principal desta metodologia é a metodologia francesa de Sanejound (1972) e a norte americana de Mathewson e Font (1974).

Esta metodologia indica uma sequência de estudos geológicos e geotécnicos que culminam com a elaboração de uma série de cartas representativas das propriedades geológico-geotécnicas da área a ser ocupada, chamada de mapas de planejamento. Para o autor, os graus de planejamento se classificam em nacional, regional-federal, estadual, regional-estadual, municipal-territorial e urbano.

O método de trabalho aborda aspectos inerentes às várias áreas da geociência, ligadas ao mapeamento geotécnico, tais como geomorfologia, pedologia, geofísica, meteorologia e hidrogeologia.

Os objetivos da metodologia são os seguintes:

- Definir áreas adequadas aos tipos de construções urbanas;
- Testar e definir áreas para disposição de rejeitos sólidos e líquidos;
- Localizar as ocorrências minerais na área planejada;
- Determinar os potenciais hídricos, assim como formas seguras e racionais de suas explorações;
- Evidenciar áreas de riscos geológicos e propor como evitar danos sociais e econômicos à população;
- Prever locais onde a urbanização interfira na evolução natural do terreno, procurando minimizar tais consequências.

Na metodologia é apresentada a abordagem dos problemas geológicos no planejamento urbano, estabelecendo-se:

- Estudos geográficos: Cadastramento de dados, Mapas topográficos, e Cartas de declividade.
- Estudos fisiográficos: Mapa de formas de relevo, Mapa de vegetação.
- Estudos geológicos: Mapa geológico, Mapa de solos.
- Estudos geotécnicos e hidrogeológicos: Adequabilidade a fundações, Adequabilidade a instalações viárias, Adequabilidade a instalações subterrâneas, Adequabilidade a disposição de rejeitos, Determinação das áreas de extração de recursos minerais, Determinação de áreas com potencial de risco geológico.

2.6.1.5 Metodologia EESC-USP

Tem como base os trabalhos desenvolvidos por Zuquette (1987 e 1997) e Gandolfi (2004). Foi proposta após uma análise das metodologias de mapeamento geotécnico utilizadas em diversos países. Trata-se do método mais utilizado no âmbito nacional (CERRI et al., 1996).

O conceito fundamental da metodologia é o “atributo”. Segundo Zuquette (1987), atributo é o elemento informativo básico a ser colocado e operado sobre um documento cartográfico. Este representa componentes do meio, como litologia, declividade, uso do solo e distribuição de vegetação. Os atributos são obtidos por observações qualitativas, observações quantitativas, e amostragens em campo.

O objetivo do mapeamento e a escala são definidos no início dos trabalhos, de igual forma, os atributos de interesse do meio físico são definidos a priori, em função do objetivo do mapeamento.

Miranda (2005) aponta os seguintes tipos de documentos como produzidos pela metodologia:

- a) Documentos fundamentais básicos: são documentos que registram as características dos componentes do meio físico, biológico e do meio antrópico por meio da variação dos atributos.

Exemplos de documentos produzidos: Mapa de declividade, Mapa de landforms, Mapa de bacia hidrográfica, Mapa de substrato rochoso, Mapa de materiais inconsolidados, Mapa de profundidade do nível da água, e Mapa climático.

- b) Documentos Fundamentais de Sínteses: são documentos elaborados no sentido de sintetizar as informações de uma região sem elaborar análises para um fim específico. Devem representar as informações em um único documento, sendo escalas pequenas as mais indicadas (ordem de 1:100.000).

Exemplos de documentos produzidos: Carta de zoneamento geotécnico geral, Mapa das condições geológico-geotecnicas.

c) Cartas Derivadas e Interpretativas: São documentos cartográficos elaborados para uma condição pré-definida. Devem refletir sempre o resultado de uma análise considerando as características de cada divisão básica do meio. Cada unidade definida nos documentos produzidos deve refletir uma classificação quanto ao comportamento natural do meio frente à ocupação ou uso do solo.

Exemplos de documentos produzidos: Carta para fundações, carta de potencial à erosão, carta para escavabilidade, carta de potencial agrícola, carta para disposição de rejeitos e resíduos, carta de potencial para estocagem subterrânea, carta para irrigação de cultivos, carta de potencial à corrosividade, carta para planejamento e construção de estradas, carta de potencial para materiais de construção, carta para exploração das águas.

d) Cartas analíticas básicas. Elaboradas a partir de informações sobre os componentes básicos do meio físico considerado. Geralmente, consistem na avaliação da probabilidade de ocorrência de um processo natural.

Exemplos de documentos produzidos: Carta de potencial de erosão, carta de probabilidade de ocorrência de eventos naturais, carta das áreas sujeitas aos eventos perigosos, carta de áreas degradadas, carta de passivos ambientais.

e) Cartas de prognósticos de riscos, de problemas e limitações: são elaboradas considerando a interação dos constituintes do meio ambiente.

Exemplos de documentos produzidos: Carta das áreas com restrições para a ocupação.

f) Cartas de viabilidade. Exemplos de documentos produzidos: Carta de viabilidade para portos, aeroportos, reservatórios e captação de água, Carta de viabilidade para construções residenciais, Carta de viabilidade para construções industriais,

Carta de viabilidade para fins agropecuários, Carta de viabilidade para aterros sanitários.

2.6.1.6 Metodologia empregada por CENDRERO

A proposta idealizada por Cendrero (1975) tem como fundamento principal o mapeamento geológico e o ambiental, definindo parâmetros que possibilitam a comparação das capacidades de suporte de cada unidade.

Cada parâmetro baseia-se em processos ativos, nas formas do terreno, nas propriedades físicas dos materiais rochosos, nos depósitos superficiais e na influência antrópica.

O mapa produzido pode ser utilizado no planejamento, principalmente na definição das unidades para disposição de lixo, preservação ambiental e áreas adequadas para construção de parques.

2.6.1.7 Metodologia de SOBREIRA

Na metodologia de Sobreira (1995) são considerados os aspectos geológicos de maneira mais detalhada para elaboração de uma cartografia de caráter sintético. Além disso, busca quantificar características dos terrenos e os processos geodinâmicos existentes. O autor subdivide a metodologia da seguinte forma:

- Primeira Etapa: -Carta litológica;
-Caracterização geomorfológica.
- Segunda Etapa: -Elaboração de carta de aptidão a construção e carta geotécnica;
-Recursos hídricos;
-Recursos minerais;
-Recursos de interesse científico e cultural.
- Terceira Etapa: -Caracterização dos perigos;
- Movimentos em vertentes;
- Erosão hídrica;
- Sismos.

As unidades geoambientais obtidas nesta carta são cruzadas com as atividades instaladas e possíveis. Desta forma, avalia-se a capacidade de suporte individual de cada unidade, tanto em termos de impactos provocados quanto de adequabilidade.

2.6.1.8 Metodologia do IPT

A metodologia foi desenvolvida por Prandini (1992), onde propôs o significado das cartas geotécnicas como uma ferramenta do conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas próprios do uso e ocupação do solo. Geralmente, com esse método, são efetuados estudos de caracterização do meio físico, uso e ocupação da área, e cartografia geotécnica contemplando as áreas de risco.

Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), os seguintes são produtos cartográficos produzidos pelo método IPT:

- Cartas geotécnicas;
- Cartas de risco;
- Cartas de suscetibilidade;
- Cartas de atributos ou de parâmetros.

As cartas geotécnicas executadas por esta metodologia servem para a concepção e implantação de projetos de ocupação do solo em áreas com problemas geológicos ou geotécnicos. O produto final visa sua aplicação em inventário cartográfico, que pode ser atualizado constantemente, constituindo importante instrumento para subsidiar as ações de planejamento e uso do solo.

A metodologia do IPT foi utilizada por Diniz et al. (1999) com o objetivo principal de estabelecer um zoneamento do meio físico visando identificar áreas potenciais de riscos ao escorregamento em regiões urbanizadas e, a ocupação daquelas destinadas à expansão do município.

2.6.1.9 Metodologia de GRECHI

Foi gerada a partir da proposta da EESC/USP (ZUQUETTE 1987, 1993 e 1997). Grechi (1998) desenvolveu uma carta de suscetibilidade à erosão da região de Piracicaba, no estado de São Paulo. Cruzando mapas

geotécnicos no programa IDRISI e reclassificando as informações de pedologia, de geologia, de declividade e densidade hidrográfica, foram definidos grupos considerados de comportamento semelhante frente ao processo erosivo.

No estudo, foram ponderados os atributos de cada documento cartográfico produzido para fins de elaboração da carta de suscetibilidade à erosão, apresentando três níveis: suscetibilidade baixa, moderada e alta.

Os fatores foram combinados através da função de análise multicritério no IDRISI, atribuindo pesos aos fatores por meio da técnica de ordenação hierárquica proposta por Eastman (1997). Cada peso foi obtido após a construção de uma matriz, comparando a importância relativa de cada atributo frente ao processo em análise. Esse procedimento é realizado dentro do ambiente SIG e processado no IDRISI.

Lopes (2000) seguiu a mesma metodologia para produzir a Carta de suscetibilidade à erosão das bacias do Rio Passa Cinco e do Rio da Cabeça, ambos no estado de São Paulo. Foram utilizadas informações das seguintes cartas: substrato rochoso, declividade, pedologia, CEMPAS (Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial) e materiais não consolidados. Cada carta foi avaliada individualmente, visando uma avaliação específica do atributo responsável pela sua potencialidade frente ao processo erosivo.

A carta resultante considera os processos erosivos quanto à suscetibilidade à erosão por escoamento concentrado. A obtenção da Carta de Suscetibilidade à Erosão, foi através do cruzamento no Módulo de Avaliação Multicritério (MCE) do sistema IDRISI.

Para a atribuição prévia dos pesos a cada fator e a análise de cada parâmetro, foram considerados aspectos teóricos e o conhecimento prévio da área, na tentativa de minimizar a subjetividade da análise e obtenção da carta final de suscetibilidade à erosão.

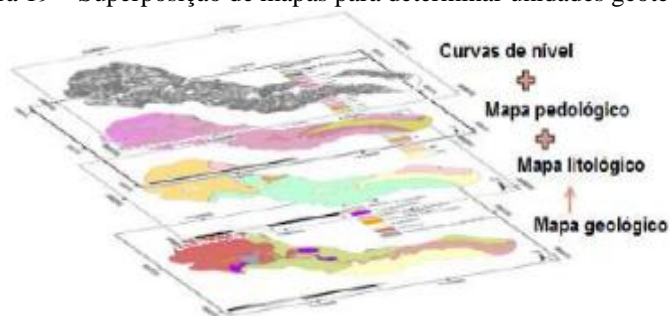
2.6.1.10 Metodologia da UFRGS - Davison Dias

A partir da necessidade de se caracterizar, sobretudo, a mecânica dos solos desenvolvidos, Davison Dias (1995) estabeleceu uma proposta metodológica ao estimar a partir de dados geológicos, pedológicos e topográficos, as unidades geotécnicas de uma determinada área de grande tamanho, onde não há possibilidade de realização de um volume considerável de ensaios.

A metodologia está baseada na superposição de mapas pedológicos e geológicos (Figura 19), realizando trabalhos de campo para análise morfológica, coleta de amostras, descrição dos perfis típicos e comportamento geomecânico e hidráulico no qual o solo é solicitado.

Davison Dias (1995) definiu que para cada unidade geotécnica a geologia permitirá a obtenção de características do horizonte de alteração da rocha (horizonte saprolítico), enquanto a pedologia permitirá inferir características dos horizontes mais superficiais.

Figura 19 – Superposição de mapas para determinar unidades geotécnicas



Fonte: Higashi (2011)

Por outro lado, a topografia auxiliará na definição dos limites de cada unidade, cuja tendência para uma classificação inicial pode ser baseada na aplicação de faixas de declividade, onde de 0 a 3% pode representar solos hidromórficos, 3 a 8% são depósitos de encostas, 8 a 20% são Podzólicos, 20 a 45% são Cambissolos, 45 a 70% são solos Litólicos e acima de 70% representam escarpas.

Para a denominação, utiliza-se a simbologia ABCxyz, onde as letras maiúsculas “ABC” correspondem à classificação pedológica do horizonte superficial, e as minúsculas “xyz” identificam a geologia.

Em resumo, a metodologia segue a seguinte sequência:

- a) inicialmente divide-se a região em grandes unidades de acordo com a geologia;
- b) O resultado do levantamento pedológico utiliza-se para estimar os principais perfis de solos na região;
- c) separam-se os solos hidromórficos dos não hidromórficos (sem presença de lençol freático nos horizontes A e B);
- d) classificam-se os locais dependendo se o relevo é fortemente ondulado, ondulado e suavemente ondulado. A declividade e a geologia são indicadores das unidades geotécnicas;
- e) indicação da presença de falhas e fissuras, além de outros aspectos importantes da estrutura definidos nos mapas geológicos. Se estimam as características do horizonte C a partir da análise geológica;
- f) aplicação das estimativas das unidades geotécnicas com as siglas ABCxyz através de intenso trabalho de campo, baseado na Classificação Pedológica Brasileira (simplificada), adaptada a engenharia de solos, verificando-se a cor do solo, espessura, presença de minerais primários, textura, estrutura e drenagem.

Santos (1997) e Higashi (2006), têm aplicado a metodologia de Davison Dias (1995) com o auxílio de SIG, na última década. Devido às diversas fontes de dados utilizados, a utilização de um SIG se torna uma ferramenta imprescindível para a preparação de mapas geotécnicos, tendo em vista sua rapidez e facilidade de manipulação de dados.

2.6.2 Aplicação do Mapeamento Geotécnico para carta de suscetibilidade à erosão

A crescente urbanização nas cidades brasileiras associada à falta de infraestrutura, além da suscetibilidade natural dos solos, cria uma

situação extremamente favorável ao desenvolvimento de processos erosivos de grande porte.

A falta de planejamento no processo de expansão urbana, principalmente em conjuntos habitacionais de alta declividade e cabeceiras de drenagem, é um dos principais fatores responsáveis pelo começo do processo de erosão. Com o tempo, esses processos dão origem às grandes feições erosivas, tornando-se barreiras ao crescimento urbano e exigindo altos custos para sua recuperação.

O assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, destruição ou entupimento de rede de galerias, dentro e fora das áreas urbanas, agravam ainda mais os problemas causados pela erosão. Estes geram enchentes, concentração de poluentes, e perda de capacidade de armazenamento de água dos reservatórios de abastecimento público (SALOMÃO e IWASA, 1995).

Para Higashi (2006), é possível minimizar, corrigir, e principalmente prevenir e caracterizar efeitos do desenvolvimento de processos erosivos a partir do mapeamento geotécnico.

Diversos autores como Vieira (2008) e Magalhães Filho et al. (2014), elaboraram cartas de suscetibilidade a erosão baseados apenas em cartas de declividade, modelos digitais, análise da pedologia, geologia, e imagens de satélite, não utilizando métodos quantitativos e ensaios de laboratório para a previsão da suscetibilidade a erosão do solo.

Outros estudos obtiveram dados quantitativos como por exemplo Bastos (1999), Higashi (2006), Ide (2009), Grando (2011), Higashi et al. (2012), Basso (2013) entre outros, porém poucos expressaram seus resultados em mapas.

Higashi (2006) usou, além de outros estudos, os critérios de erodibilidade MCT, Inderbitzen modificado, e cisalhamento direto para determinar a suscetibilidade a erosão dos solos da cidade de Tubarão – SC, e assim elaborar em sua tese de doutorado, a metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras.

Ide (2009) fez uma investigação geotécnica na cidade de Bauru – SP, com objetivo de caracterizar o solo local e definir os principais fatores responsáveis pela evolução de processos erosivos usando os critérios de Inderbitzen, erodibilidade MCT, e penetração de cone proposto por Alcântara (1997).

2.7 SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Aronoff (1991) definiu um SIG como qualquer conjunto de procedimentos manuais ou baseados em computador, utilizados para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados.

Segundo Mafra Jr (2007), um SIG pode ser definido como uma vinculação dos dados espaciais com outros dados, de diversas informações, os quais podem ser associados de forma sistemática.

Os SIG tiveram seu início na década de 1960 no Canadá, com o desenvolvimento do CGIS (Canadian Geographic Information System), a partir de refinamentos de técnicas cartográficas utilizando ferramentas computacionais. Nessa época, os SIG eram restritos a um pequeno grupo de cientistas, em função dos elevados custos e limitações técnicas (AGEITEC – EMBRAPA, 2013). A partir do ano 1980, quando houve um crescente desenvolvimento dos sistemas computacionais, foi estimulado o trabalho de numerosos pesquisadores, principalmente pelo surgimento de processadores mais eficientes.

Com os grandes avanços das ferramentas computacionais, a digitalização se converteu na tendência de todos os produtos cartográficos. Uma das grandes vantagens dos mapas digitais é a sua capacidade para serem alterados rapidamente em caso de atualizações, algo comum no tratamento de produtos cartográficos.

Os SIG constituem na atualidade uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento de projetos de engenharia e planejamento regional, devido à facilidade de visualizar e manipular os dados espaciais.

2.7.1 Dados de um SIG

A maioria dos SIG operam 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. Tais formatos de dados são descritos brevemente a seguir.

2.7.1.1 Dados vetoriais

Os dados vetoriais apresentam-se na forma de ponto, linha ou polígono. O formato de arquivo mais comum com este tipo de dados entre os diversos SIG existentes no mercado é o shapefile. De forma geral, os SIG não permitem que um único arquivo vetorial seja composto por mais de uma forma geométrica (ponto, linha ou polígono), no entanto, um mapa pode ser composto pela sobreposição de uma série de camadas de informações geográficas variadas.

A seguir são listados exemplos da aplicação de cada elemento geométrico:

- Pontos: representam apenas a localização de uma informação, pode ser usado para identificar furos de sondagens, a presença de mobiliários urbanos ou pontos de coleta de amostras, como no caso desta pesquisa.

- Linhas: além da localização, informam o comprimento do objeto e são geralmente usadas para representar curvas de nível e falhas geológicas. Também são utilizadas na representação das redes de distribuição de água, energia elétrica, sistema rodoviário, 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, os quais foram utilizados neste trabalho.

A característica comum a todos os elementos vetoriais é a presença da tabela de atributos, onde cada elemento gerado corresponde a uma linha em uma tabela. Esta ferramenta permite ao usuário gerar uma série

de colunas, onde são apresentadas as diversas características dos elementos de um arquivo vetorial.

2.7.1.2 Dados matriciais

De acordo com Miranda (2005), este tipo de dado se assemelha a uma grade regular de células, porque cada célula possui as mesmas dimensões e forma geométrica. Os dados matriciais, ou imagens ráster, muitas vezes representam imagens de satélite, aerofotogramétricas ou cartas de relevo.

Os dados matriciais se assemelham às fotos e imagens digitais em geral, sendo que quanto maior a quantidade de pixels da mesma dimensão, maior a resolução, portanto, maior a definição ou qualidade da imagem. Por se tratar de imagens de grandes dimensões, é usual avaliar o tamanho do pixel.

Quando destinado à representação de fenômenos levantados em campo ou por qualquer outra forma que não seja captura de imagem, deve-se lembrar que quanto maior a confiabilidade do levantamento, menor deve ser o tamanho do pixel.

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

2.7.2 Estrutura de um SIG

Os componentes de um SIG se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface gráfica define como o sistema é operado e controlado pelo homem. No seguinte nível, encontram-se os mecanismos de processamento dos dados espaciais do SIG (entrada, edição, análise, visualização e saída). A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados.

Câmara (2001) identifica a estrutura interna de um SIG como:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Banco de dados geográficos.

Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas sempre devem estar presentes no SIG.

2.7.3 Aplicações dos SIG

Bastos (1996) afirma que dentre a vasta gama de possibilidades de uso da tecnologia SIG, podem-se citar cinco áreas principais:

a) Ocupação Humana

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

b) Uso da terra

- Planejamento agropecuário, classificação de solos e vegetação, gerenciamento de bacias hidrográficas, planejamento de barragens, levantamento topográfico e planimétrico, mapeamento do uso do terreno.

c) Uso dos recursos naturais

-Controle do uso do extrativismo vegetal, mineral, gerenciamento dos recursos hídricos, gerenciamento costeiro.

d) Meio ambiente

-Controle de queimadas, gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.

e) Atividades econômicas

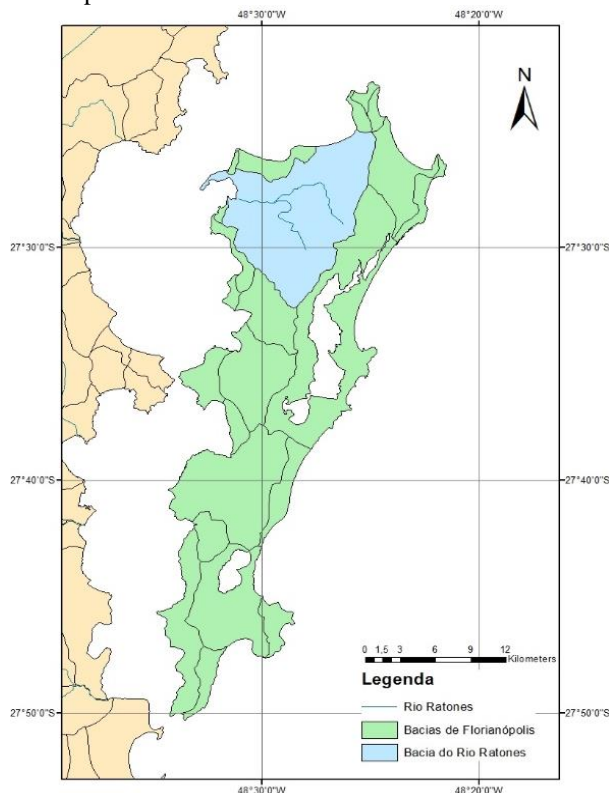
-Planejamento de pesquisas sócio econômicas, distribuição de produtos e serviços, transporte de matéria prima e insumos.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 ILHA DE SANTA CATARINA

A ilha de Santa Catarina encontra-se localizada ao centro do litoral do Estado brasileiro de Santa Catarina (Figura 20). Sendo a maior ilha do Estado, abriga cerca de 96% do território do município de Florianópolis, a capital estadual. Situada entre as coordenadas geográficas 27°22'S e 27°50'S, e, 48°25'W e 48°35'W, a ilha possui uma área aproximada de 425 km² e representa uma das três ilhas-capitais de Estado presentes no Brasil. Aproximadamente 470.000 habitantes residem no município (IBGE, 2010).

Figura 20 – Mapa da ilha de Santa Catarina



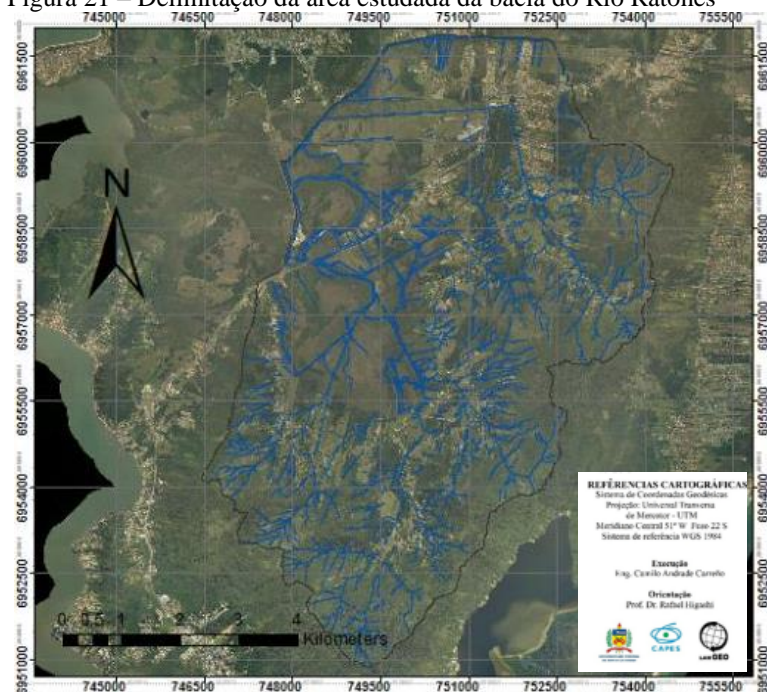
Fonte: O autor (2017)

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RATONES

A bacia de Ratonés está situada na região norte da ilha de Santa Catarina e possui uma área aproximada de 50 km², a qual abrange integralmente o distrito de Ratonés, e parcialmente os distritos de Santo Antônio de Lisboa, Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus. Na Figura 21 encontra-se definida a área da bacia que foi analisada neste trabalho.

Encontra-se delimitada pelas coordenadas 27°26'05" S por 48°28'30" W ao Norte; 27°32'35" S por 48°25'04" W ao Sul; 27°26'32" S por 48°25'45" W ao Leste; 27°28'58" S por 48°31'49" W ao Oeste.

Figura 21 – Delimitação da área estudada da bacia do Rio Ratonés



Fonte: O autor (2017)

3.3 GEOLOGIA DA BACIA

No que diz respeito à geologia, a área de estudo é constituída principalmente pela formação Granito ilha. Os afloramentos rochosos da Ilha de Santa Catarina são compostos em grande parte pelo Granito Ilha, o qual pertence à suíte intrusiva Pedras Grandes, que também reúne os granitos Vila da Penha e Serra do Tabuleiro. Este granito possui coloração cinza rosada, varia de monzogranitos a sienogranitos, com textura equigranular média a grossa, contendo algumas variedades porfíricas. A composição mineralógica desta litologia é composta por biotita, quartzo, k-feldspato e plagioclásio, com teor variável de minerais máficos (ZANINI et al., 1997).

No setor norte da Ilha de Santa Catarina ocorrem dois domínios geológicos principais: o de rochas do embasamento cristalino, com granitos, riolitos, aplitos e cataclásticos de idade neoproterozóica, cortados por diques de diabásio, de idade cretácea, pertencentes ao Enxame Florianópolis (MARQUES, 2001); e os depósitos da planície costeira, da era Cenozoica, de origem e constituição diversa. Os diques de diabásio são preferencialmente afaneríticos, raramente pórfiros, possuem até 3.5 km de longitude, e largura variada, entre 20 e 40 metros.

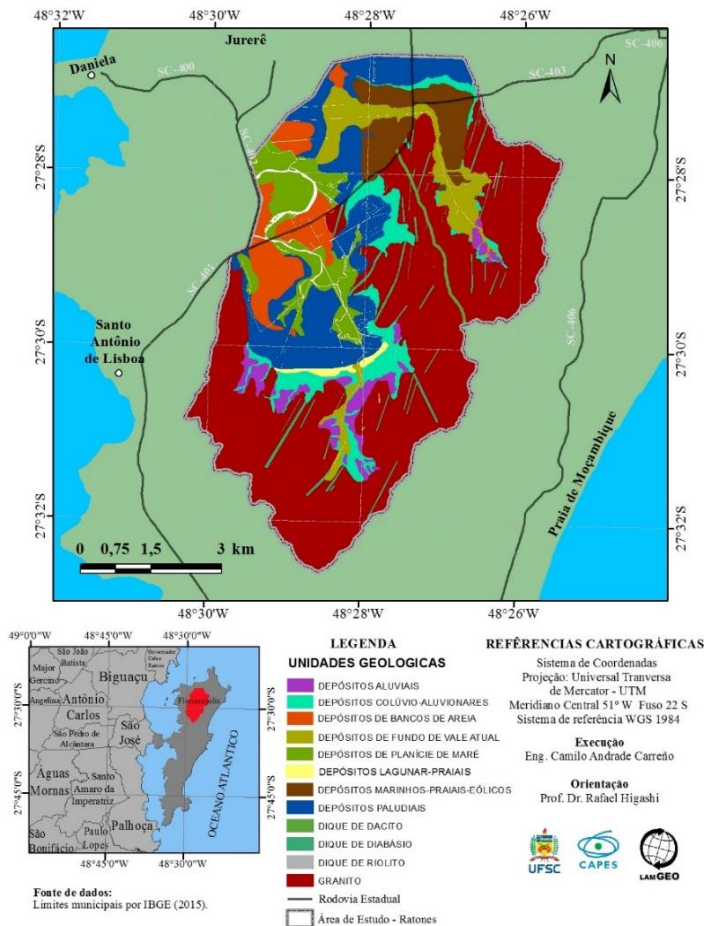
No noroeste da Ilha de Santa Catarina, encontra-se um afloramento de dique composto do tipo corte de estrada. Este possui borda básica e interior ácido, que preservou uma expressão positiva de relevo, enquanto a alteração da borda, menos resistente, forma solo de coloração vermelha.

Segundo Zanini (1991), a rocha do dique possui uma estrutura maciça, cortada por juntas de resfriamento verticais a sub-verticais. Na parte básica, a rocha do dique é de coloração cinza médio com fenocristais de plagioclásio branco de hábito tabular e micro fenocristais escuros, podendo ser de piroxênio ou anfibólio, sob uma matriz afanerítica. Na parte de composição ácida a rocha é um dacito pórfiro com juntas de resfriamento, geralmente transversais ao dique.

Na Figura 22 pode-se observar o mapa geológico da bacia de Ratonés, onde a maior parte da área está constituída pela formação

Granito Ilha, e corresponde às elevações, enquanto a área de planície está composta por depósitos aluviais, paludiais, lagunares e marinhos.

Figura 22 – Mapa Geológico da Bacia do Ratonés



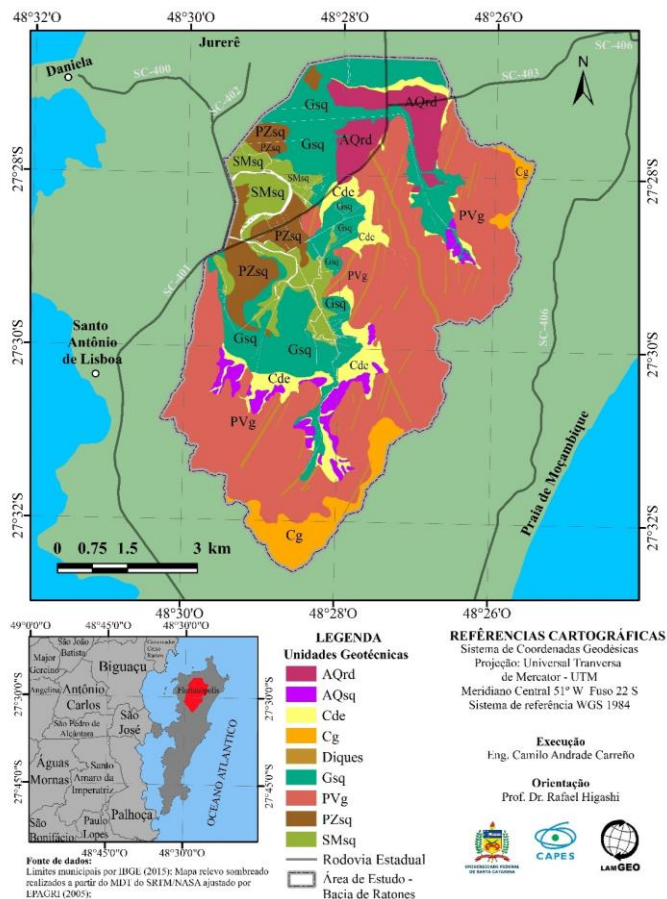
Fonte: Rosniecek e Imai (2013), modificado pelo autor (2017)

3.4 MAPA GEOTÉCNICO

A Figura 23 mostra o mapa geotécnico da área de estudo, onde podem ser observadas as unidades geotécnicas que conformam a bacia, que encontra-se formada por solos residuais originados de granito nas

elevações, que são cortadas por solos argilosos resultantes de diques de riolitos, dacitos e diabásios.

Figura 23 – Mapa Geotécnico da Bacia do Ratonés



Fonte: Rosniecek e Imai (2013), modificado pelo autor (2017)

Por outra parte, a região plana está composta por solos sedimentares eólicos, fluviais e lacustres, enquanto que os solos coluvionares ocorrem no relevo mais ondulado e estão localizados nos pés dos taludes.

Rosniecek e Imai (2013), identificaram as seguintes unidades geotécnicas na bacia: Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito (PVg); Cambissolo de substrato granito (Cg); e Cambissolo depósito de encosta (Cde) são as originadas de solos residuais. Em relação aos solos sedimentares, ocorrem as Areias Quartzosas (AQsq); os Solos Glei (Gsq) e os Solos de Mangue (SMsq).

A Tabela 8 apresenta as unidades geotécnicas geradas para a área de estudo e suas respectivas áreas de ocorrência.

Tabela 8 – Unidades geotécnicas geradas na área de estudo

Unidade Geotécnica	Denominação	Área (km ²)
AQsq	Areia Quartzosa de sedimentos quaternários	5,87
Cde	Cambissolo depósito de encosta	4,58
Cg	Cambissolo de substrato granito	2,98
Gsq	Glei de substrato sedimentos quaternários	10,49
PVg	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito	23,15
SMsq	Solos indiscriminados de mangue	3,46

Fonte: Rosniecek e Imai (2013)

3.5 FATOR RELEVO

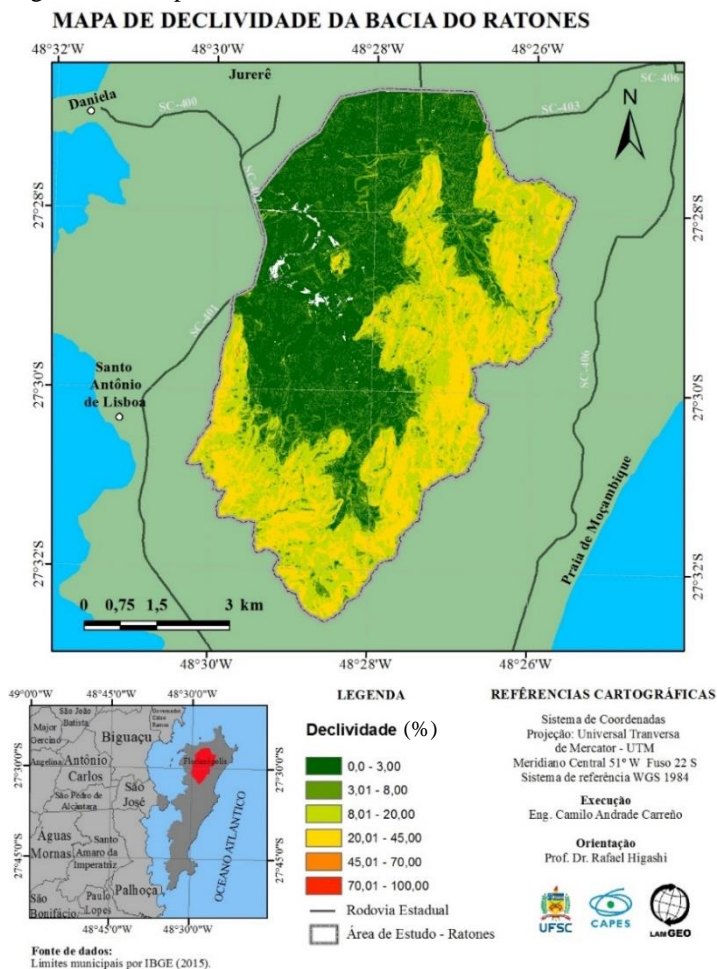
Por meio do Modelo Digital do Terreno da Ilha de Santa Catarina foi gerado, no software Arcgis, o mapa de declividades da bacia de Ratonos como pode-se observar na Figura 24. O mapa tem a sua área classificada em 6 classes segundo o Critério de declividade da Embrapa (1979) como se apresenta na Tabela 9.

Tabela 9 – Classificação do relevo utilizando o critério da Embrapa

Declividade (%)	Denominação
0 - 3	Relevo plano
3 - 8	Relevo suavemente ondulado
8 - 20	Relevo ondulado
20 - 45	Relevo fortemente ondulado
45 - 70	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: Embrapa (1979)

Figura 24 – Mapa de declividades da Bacia do Ratores



Fonte: O autor (2017)

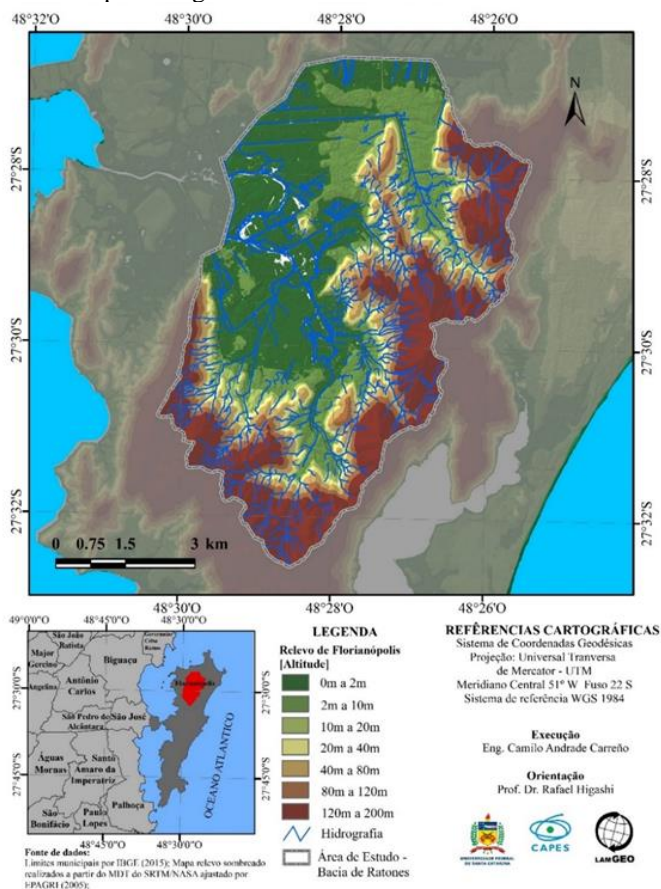
3.6 FATOR HIDROGRAFIA

O Rio Ratores é o principal formador da bacia e deságua em uma pequena enseada, ao noroeste da ilha, delimitada pelo pontal da praia da Daniela. O Rio Papaquara que deságua na parte central do manguezal, é

um afluente de margem direita que apresenta grande volume de água e exerce um importante papel na dinâmica sedimentar deste ambiente (FUSVERK, 2002). O Rio Papaquara se forma nas encostas da Vargem do Bom Jesus.

Atualmente a Bacia Hidrográfica do Rio Ratonos encontra-se bastante alterada, seus afluentes assoreados e poluídos e inúmeros esgotos domésticos têm como destino final os mananciais (FUSVERK, 2002). A Figura 25 mostra os corpos de água presentes na área de estudo.

Figura 25 – Mapa hidrográfico da Bacia do Ratonos



Fonte: O autor (2017)

Segundo Caruso (1990), o Rio Ratonos também apresenta como afluentes de margem direita, o Rio Costa e o Rio Cachoeira, e pela margem esquerda o Rio Ribeirão e Piçarras. O Rio Ratonos e alguns de seus afluentes eram navegáveis em uma parte da extensão de seus cursos, por correrem através de uma planície.

3.7 FATORES ANTRÓPICOS

A ocupação urbana no norte da ilha iniciou no século XVIII e intensificou-se no século XIX. As atividades econômicas na época eram pesca e agricultura com predominância de mandioca, cana, amendoim, e milho. O traslado nessa época era feito pelo mar, o que fez do hoje bairro Ratonos, que tem seu rio principal desaguando na Baía Norte, e de Santo Antônio de Lisboa pelo seu porto movimentado, centros com uma dinâmica atividade econômica justificada pelo movimento contínuo de pequenas embarcações de comércio (CECCA, 1997).

A área circundante da bacia de Ratonos abrange as localidades de Daniela, Forte, Jurerê, Canasvieiras, Vargem Grande, Vargem Pequena, Canto do Lamim, Barra do Sambaqui e parcialmente os bairros de Sambaqui, Santo Antônio de Lisboa e Cachoeira do Bom Jesus. Essa parte da ilha possui ainda grandes áreas de exploração rural e importantes remanescentes da cobertura vegetal nativa, definidas assim pelo plano diretor do município de Florianópolis (SILVA, 2005).

Segundo análise de dados do IBGE (2010), a população do entorno da ESEC (Estação Ecológica) Carijós cresceu 164% entre 1991 e 2000, taxa muito mais elevada do que o município de Florianópolis, que apresentou um crescimento de 33,8%.

O caráter recente e instável das formações existentes na Bacia Hidrográfica do Rio Ratonos demanda maior prudência quanto à sua ocupação. A aceleração de processos erosivos marinhos, e à precariedade das condições sanitárias esboçam um quadro preocupante para a qualidade ambiental (CECCA, 1997).

O crescimento da área urbanizada é produto do adensamento ocorrido devido as migrações para a bacia. Atualmente, a forma de ocupação desordenada na Bacia Hidrográfica do Rio Ratonés e a transição de área rural-urbana, resultaram em enchentes, que começam a ocorrer com o início da descaracterização de uma área essencialmente rural. Para adquirir características urbanas, essa área passa pelo processo de retirada da cobertura vegetal, impermeabilização do solo com construções, abertura de vias principais e secundárias sem planejamento, substituição da drenagem natural por canalização, tubulações subdimensionadas e geralmente mal posicionadas (FIDÉLIS FILHO, 1998).

Outro problema associado à ocupação segundo CECCA (1997) é o esgoto, que na maioria das residências da Bacia Hidrográfica do Rio Ratonés é eliminado através das praias, rios, manguezais, sendo que algumas habitações apresentam sistemas de fossas e sumidouros.

Observa-se que a ocupação desordenada da Bacia Hidrográfica do Rio Ratonés provavelmente resultou, dentre outros fatores, de um Plano Diretor ou uma legislação urbana inadequada à natureza insular da região.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

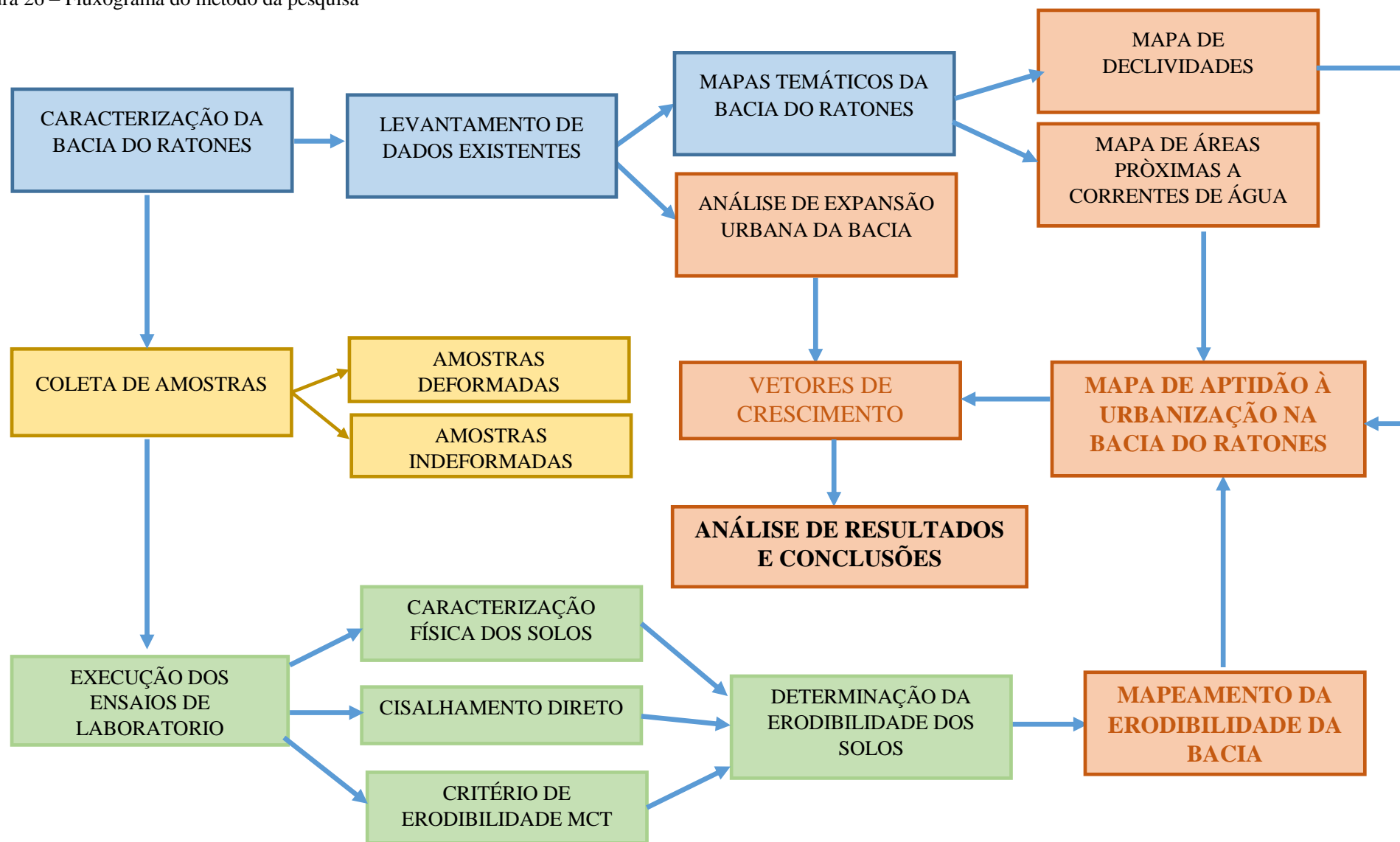
O método proposto está constituído de várias etapas para a execução do trabalho, as quais são: a revisão bibliográfica, a organização e interpretação dos dados preexistentes (geológicos, pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos), e a geração dos novos mapas temáticos.

O mapa de erodibilidade e o mapa de aptidão à urbanização, obtidos com a utilização de técnicas de geoprocessamento no software Arcgis, visam uma urbanização adequada da bacia hidrográfica do Rio Ratonos sob o ponto de vista geotécnico. Nesse sentido um resumo da pesquisa é apresentado a seguir:

- i) **Etapa de gabinete**, onde é levantada a revisão bibliográfica e as bases cartográficas para o desenvolvimento da pesquisa. Nesta etapa foram determinados os universos geotécnicos presentes na área de estudo a partir do mapa geotécnico da ilha de Santa Catarina definido por Santos (1997) e empregado na pesquisa desenvolvida na bacia de Ratonos por Rosniecek e Imai (2013).
- ii) **Etapa de campo**, quando são realizadas as observações in situ georeferenciadas em relação aos processos erosivos, com coleta de amostras de solos para execução dos ensaios de laboratório;
- iii) **Etapa de laboratório**, onde são realizados os ensaios de caracterização e os ensaios de avaliação da erodibilidade (Cisalhamento direto, critério de erodibilidade MCT, método das pastilhas) obtendo os respectivos resultados;
- iv) **Etapa de geoprocessamento**, no software Arcgis, onde foi desenvolvido o mapeamento da erodibilidade, a análise de expansão urbana, e o cruzamento dos mapas temáticos para geração do mapa de aptidão à urbanização.

O fluxograma da Figura 26 apresenta o método utilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 26 – Fluxograma do método da pesquisa



4.1 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo objetivaram o reconhecimento da bacia de estudo, identificando aspectos geológicos, pedológicos, geomorfológicos, presença de lençol freático, confirmando os dados dos mapas de atributos existentes, e seguindo com a coleta das amostras.

Para confirmação dos dados do mapa geotécnico preliminar, foi executada a saída à área de estudo para observação e demarcação dos pontos de coleta com o uso de GPS, verificando a espessura dos horizontes, cor e textura dos perfis de solo, e identificação de alguns tipos de rochas, permitindo assim a distinção entre as unidades geológicas, pedológicas e geotécnicas.

A escolha dos pontos depende da possibilidade de obtenção da amostra na profundidade citada, priorizando-a em cortes ou taludes expostos. Também, deve-se ter em conta a facilidade no acesso aos locais de coleta e no transporte do material coletado.

As expedições à campo direcionaram os trabalhos inicialmente para locais com as seguintes características: taludes expostos ou antigos deslizamentos, visando determinar perfis de solo e zonas limites das unidades, confirmando os dados estabelecidos no mapa geotécnico preliminar.

4.1.1 Coleta das Amostras

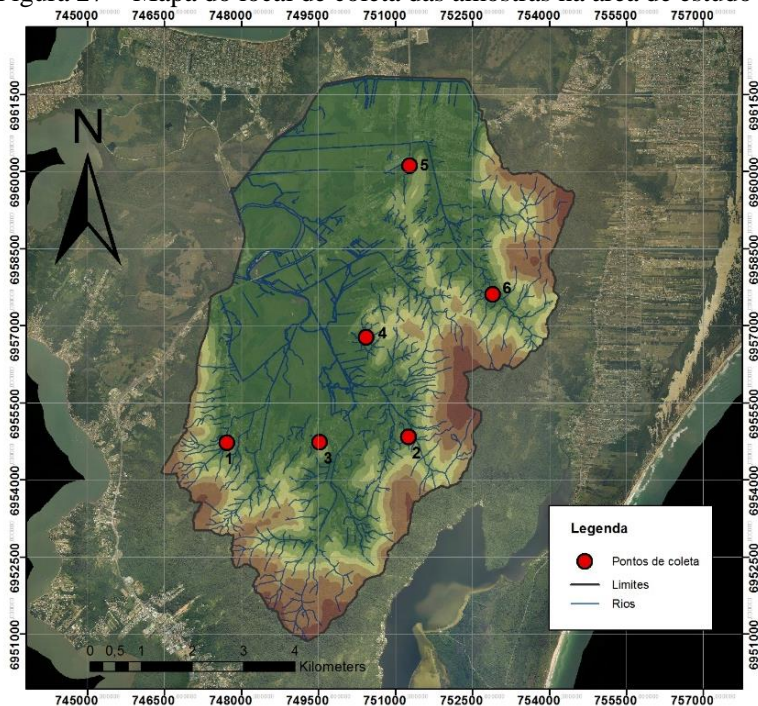
Para determinar os parâmetros do solo requeridos no estudo da erodibilidade, foram procedidas as coletas das amostras (deformadas e indeformadas) nos pontos mostrados na Figura 27. A Tabela 10 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos de coleta.

A amostra deformada refere-se ao solo solto, coletado com pá ou trado, enquanto a amostra indeformada é uma porção do solo no seu estado natural, coletada com moldes de cisalhamento ou em blocos.

Amostras deformadas foram coletadas visando à execução dos ensaios de análise granulométrica, determinação de índices físicos, e densidade real dos grãos. Por outro lado, as amostras indeformadas

destinaram-se à realização dos ensaios para determinação da erodibilidade pelo critério MCT, pelo ensaio de cisalhamento direto e pela classificação expedita dos solos MCT.

Figura 27 – Mapa do local de coleta das amostras na área de estudo



Fonte: O autor (2017)

Tabela 10 – Coordenadas UTM dos pontos de coleta

Ponto	Coordenada Norte	Coordenada Leste
1	6.954.797,01	747.796,31
2	6.954.850,29	751.286,11
3	6.954.770,37	749.554,53
4	6.956.768,34	750.486,92
5	6.960.178,22	751.312,75
6	6.957.674,09	752.911,12

Fonte: O autor (2017)

Todas as amostras indeformadas coletadas foram cuidadosamente preparadas, plastificadas com plástico filme, parafinadas, acondicionadas e transportadas em um isopor para o laboratório, a fim de manter inalteradas as características naturais do solo para posteriormente realização dos ensaios.

Entre a Figura 28 e a Figura 30, observam-se as expedições de campo, feitas desde setembro de 2016 até maio de 2017.

Figura 28 – Coletas das amostras indeformadas – Pontos #1 e #2



a) ponto #1



b) ponto #2



c) ponto #2

Fonte: O autor (2017)

Figura 29 – Coletas das amostras indeformadas – Pontos #3 e #4



a) ponto #3



b) ponto #4

Fonte: O autor (2017)

Todas as coletas foram feitas com pelo menos 30 horas de sol anteriormente a data da saída. Vale ressaltar que durante o período de coleta dos corpos de prova choveu bastante na região de Florianópolis, e por este fator, o teor de umidade natural de algumas amostras encontrava-se com valores consideravelmente altos (20%) para os solos estudados.

Após a chegada ao laboratório, as amostras foram armazenadas em câmara úmida para manter o seu teor de umidade até a realização do ensaio.

Figura 30 – Coletas das amostras indeformadas – Pontos #5 e #6



a) ponto #5



b) ponto #6

Fonte: O autor (2017)

4.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

4.2.1 Caracterização Física dos Solos

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 normas ABNT. A seguir são descritos os procedimentos para a realização dos ensaios de caracterização do solo:

- Limites de Atterberg

Para determinação dos limites de Atterberg foram realizados os ensaios: de limite de plasticidade (LP), normatizado pela NBR 7180/1984, e limite de liquidez (LL) normatizado pela NBR 6459/1984. A partir dos limites de plasticidade e liquidez foi definido o índice de plasticidade (IP) e realizada a classificação do solo por meio do gráfico de plasticidade de Casagrande. Com o valor do IP e dos resultados da análise granulométrica foi possível ainda calcular a atividade da argila. A Figura 31 mostra o procedimento de realização do ensaio.

Figura 31 – Ensaio de limite de plasticidade (LP)

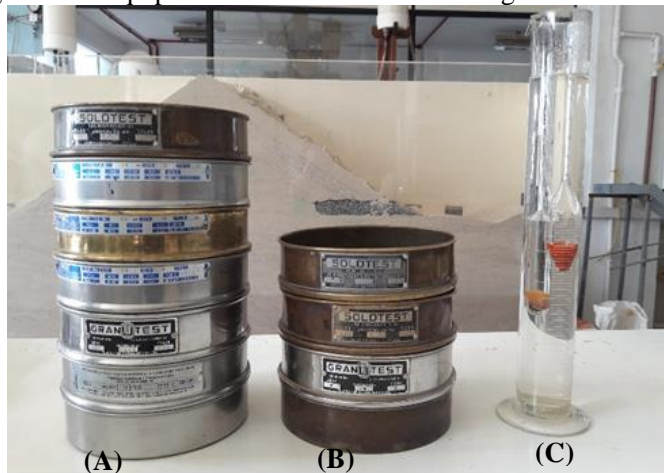


Fonte: O autor (2017)

– Análise Granulométrica

Para a identificação da distribuição das dimensões dos grãos do solo realizou-se a análise granulométrica conforme a norma da ABNT NBR 7181/1984, que consiste, em geral, de duas fases, o peneiramento e a sedimentação, com uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio). A Figura 32 apresenta os equipamentos necessários para a realização do ensaio de análise granulométrica.

Figura 32 – Equipamentos do ensaio de análise granulométrica



Conjunto de peneiras para peneiramento fino (A), peneiramento grosso (B), e equipamentos para sedimentação (C).

Fonte: O autor (2017)

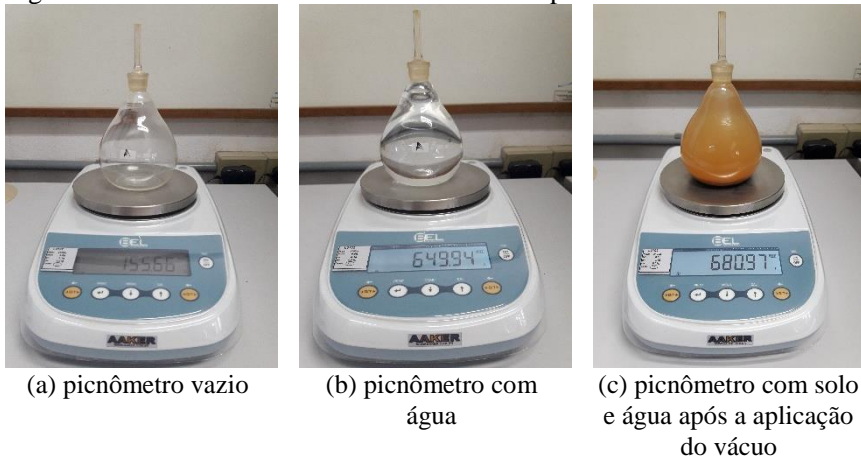
– Teor de umidade natural

O teor de umidade (w) é a relação entre o peso da água (W_a) e o peso das partículas sólidas (W_s) contidos em um certo volume de solo, expresso em percentagem (%). Sua determinação é simples, sendo realizada conforme a NBR 6457/1986 (método da estufa).

– Densidade real das partículas

O ensaio para determinação da massa específica dos grãos menores que 4,8 mm, é procedida por meio da utilização de picnômetro, conforme a NBR 6508/1984 (Figura 33).

Figura 33 – Procedimento do ensaio de massa específica



Fonte: O autor (2017)

– Método expedito das pastilhas - MCT

O método do ensaio é baseado na moldagem do solo passante na peneira nº 40 com adição de água em 5 pastilhas de 20 mm de diâmetro por 5 mm de altura (Figura 34).

Após a mesma permanecer em estufa a 60°C por 12 horas no mínimo, é medida a contração da pastilha com ajuda do paquímetro. Em seguida, as pastilhas são submetidas à saturação por duas horas. Neste momento, são analisadas qualitativamente características de inchamento, abaulamento e fissuração. Ao fim, um penetrador padrão é solto com o peso próprio na pastilha, onde é feita a medida da penetração, em milímetros.

Maiores detalhes, podem ser observados nos trabalhos desenvolvidos por Higashi (2006), Rosniecck e Imai (2013).

Figura 34 – Ensaio método expedito das pastilhas (MCT)



Fonte: O autor (2017)

4.2.2 Cisalhamento Direto

Com os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, pôde-se calcular os parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito, para cada uma das unidades geotécnicas residuais da área de estudo.

A primeira etapa é o processo de consolidação, sendo possível proceder ao seguinte estágio após a estabilização do volume do corpo de prova. Para este estudo, foram utilizados três estágios de tensões normais de consolidação, de 32 kPa, 75 kPa e 124 kPa. A Figura 35 apresenta o equipamento utilizado para a realização do ensaio.

Após a consolidação, deve-se romper o corpo de prova por cisalhamento, com a movimentação da caixa inferior. A caixa de cisalhamento impõe uma superfície de ruptura à amostra, ficando a carga da amostragem e moldagem a confiabilidade dos resultados obtidos, como se observa na Figura 36.

Figura 35 – Ensaio de cisalhamento direto / LabSolos UFSC



Fonte: O autor (2017)

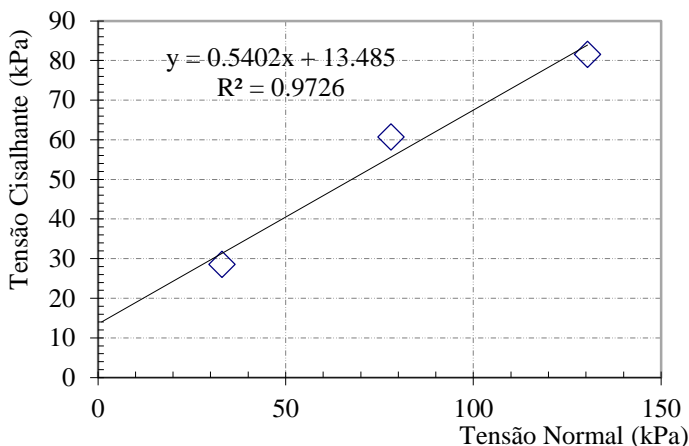
Figura 36 – Corpo de prova após o ensaio de cisalhamento direto



Fonte: O autor (2017)

Os dados obtidos foram plotados em um gráfico de tensão cisalhante versus tensão normal como observa-se na Figura 37, e com a análise do gráfico foram obtidos o intercepto coesivo C e o ângulo de atrito (ϕ).

Figura 37 – Gráfico da envoltória de resistência do solo



Fonte: O autor (2017)

Nessa pesquisa foram feitos dois tipos de ensaios de cisalhamento, em amostras com teor de umidade natural e em amostras saturadas. Desta forma, pode-se determinar o potencial erodível do solo mediante o método proposto por Bastos et al. (2002), onde uma mudança na coesão maior ou igual a 85% ($\Delta c \geq 85\%$) indica que o solo é potencialmente erodível (equação 8).

$$\Delta c = \frac{(c_{nat} - c_{inu})}{c_{nat}} \quad [8]$$

4.2.3 Critério Erodibilidade pela metodologia MCT

A metodologia desenvolvida por Nogami e Villibor (1979) para determinação da erodibilidade em solos tropicais, está baseada na correlação de dois parâmetros obtidos mediante a utilização de dois ensaios explicados a seguir; infiltrabilidade e perda de massa por imersão. Com este critério MCT também foi feito a classificação dos solos da área em relação ao grau de erodibilidade.

4.2.3.1 Infiltrabilidade

O ensaio de infiltrabilidade consiste na medida da quantidade de água que infiltra em corpos de prova de 5cm de diâmetro, pela sua base, em função da raiz quadrada do tempo. É possível medir o deslocamento da água através de uma régua colocada junto ao tubo capilar, como observa-se na Figura 38.

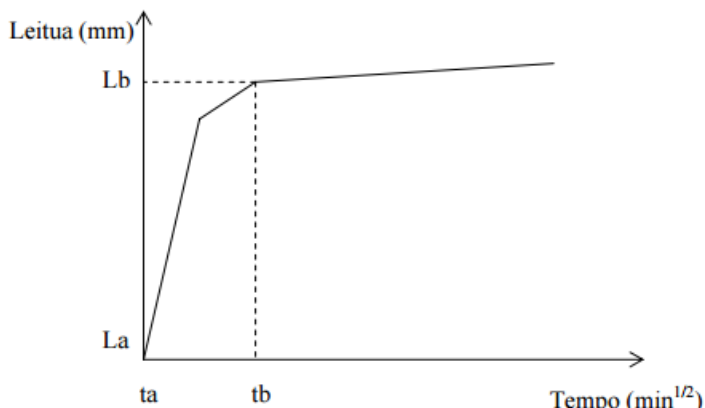
Figura 38 – Ensaio de infiltrabilidade



Fonte: O autor (2017)

O deslocamento foi medido nos seguintes tempos: 15", 30", 45", 1', 1'15", 1'30", 1'45", 2', 4', 9', 16', 25', 36', 49', 64', 81', 100', 121' e 144', os quais seguem uma relação quadrática. Os dados obtidos foram plotados em um gráfico de deslocamento versus raiz do tempo, como observado na Figura 39.

Figura 39 – Curva típica do ensaio de infiltrabilidade



Fonte: Bastos (1999)

O coeficiente de sorção s é obtido com a equação 9, mediante a análise do gráfico, onde se observa a tendência linear dos pontos.

$$s = \frac{(Lb - La)S}{10(tb - ta)A} \quad [9]$$

Onde:

s : coeficiente de sorção ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$);

S : seção do tubo horizontal de vidro (cm^2);

A : área da seção da amostra (cm^2).

4.2.3.2 Ensaio de perda de massa por imersão

Neste ensaio o corpo de prova é imerso em água para determinação da massa desprendida nestas condições, como observa-se na Figura 40. O fenômeno de perda de massa por imersão é associado ao parâmetro Pi , que representa a porcentagem da massa seca desprendida do corpo de prova.

Figura 40 – Ensaio de perda de massa por imersão



Fonte: O autor (2017)

O parâmetro Pi foi definido pela equação 10.

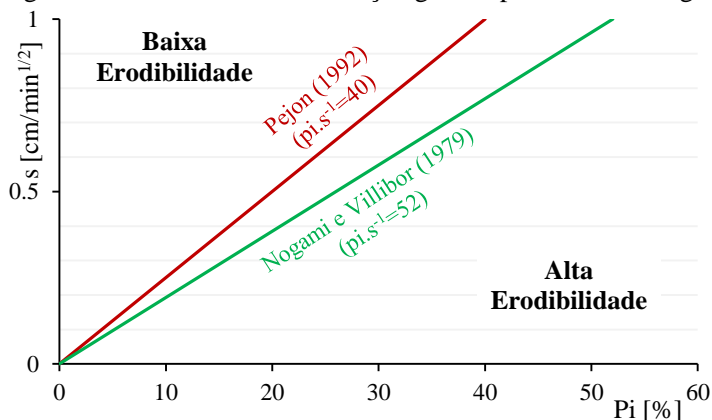
$$Pi = 100\% * \frac{M_i}{M_e} \quad [10]$$

Onde: Pi : Perda de massa por imersão (%); M_e : Massa seca da parte extrudada do CP; M_i : Massa seca desprendida (g).

A partir dos resultados destes dois ensaios, Nogami e Villibor (1979) estabelecem que a relação $pi/s = 52$ é o limite do critério de erodibilidade, onde solos que possuem $pi/s > 52$ são considerados erodíveis e os solos com $pi/s < 52$ são considerados de baixa erodibilidade (Figura 41).

O valor limite do critério de erodibilidade de Nogami e Villibor (1995) foi modificado por Pejon (1992), assumindo o valor de $pi/s = 40$, como observa-se na Figura 41.

Figura 41 – Critério de classificação gráfica para a metodologia MCT



Fonte: Nogami e Villibor (1995)

Com esses resultados foi realizado o mapeamento de erodibilidade da bacia de Ratoles utilizando o Software Arcgis.

4.2.3.3 Método expedito das pastilhas MCT

O ensaio de classificação MCT, foi realizado exatamente como apresentado no item 2.2.2.7, sendo usadas 5 pastilhas para a caracterização do solo em cada ponto. A Figura 42 apresenta os materiais empregados no ensaio e as amostras antes (A) e depois (B) de 24 horas na estufa.

Figura 42 – Ensaio de caracterização método expedito (MCT)

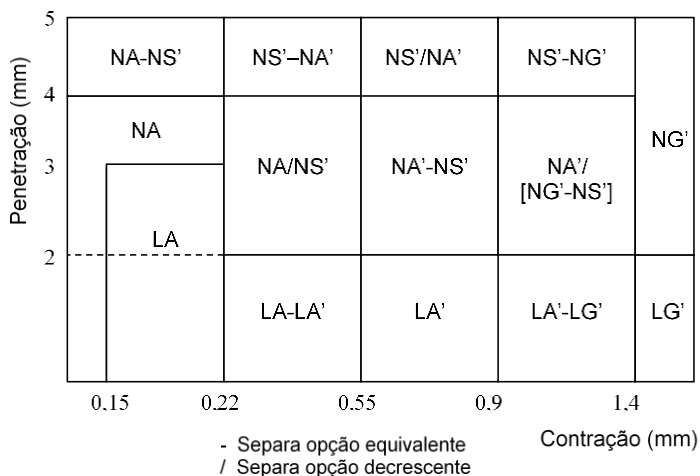


Fonte: O Autor (2017)

Os dados de contração diametral e penetração foram usados na carta elaborada por Nogami e Villibor (Figura 43) para determinar a classe à qual cada amostra pertence.

Considerando a Tabela 4 no item 2.2.2, a erodibilidade foi definida por este método como baixa para os solos classificados como lateríticos, e como erodibilidade média para solos classificados como não lateríticos.

Figura 43 – Carta das classes para determinação expedita MCT



Fonte: Nogami e Villibor (1994)

4.2.4 Critério de Erodibilidade Geral

O presente trabalho utiliza-se de quatro critérios de erodibilidade diferentes para a definição da suscetibilidade a erosão dos solos. Todos os critérios utilizados no presente trabalho foram apresentados anteriormente no item 2.2.2.

Com o objetivo de definir o grau de erodibilidade de cada ponto coletado, foi adotado um sistema de ponderação para avaliar a importância de cada um dos quatro critérios utilizados na pesquisa.

Os pesos assignados foram os seguintes:

- Critério de erodibilidade MCT – Peso = 0,40
- Cisalhamento Direto – Peso = 0,30
- Classificação MCT – Peso = 0,15
- Densidade Real das Partículas – Peso = 0,15

Ressalta-se que este sistema de ponderação é subjetivo, já que o peso atribuído a cada método depende da representatividade que este autor julga ser mais adequada para cada um.

Os pesos assignados a cada método foram estimados de acordo com a sua relevância acadêmica, sendo que os mais estudados e utilizados têm por sua vez uma relevância maior. A Tabela 11 ilustra o modelo proposto.

O critério de erodibilidade MCT é o mais importante, pois foi desenvolvido para solos brasileiros e já foi amplamente usado por diversos autores. Bastos (1999) avaliou diferentes critérios de erodibilidade em solos residuais e concluiu que dentre outros métodos de avaliação indireta, o critério de erodibilidade MCT foi o método que apresentou maior correspondência com a erodibilidade observada em campo.

Por sua parte, o critério de cisalhamento direto também foi amplamente utilizado, como pode-se observar nas pesquisas desenvolvidas por Bastos (1999), Higashi (2006), Higashi et al. (2012), e Fernandes (2015), por esta razão foi atribuído um peso de 0,3.

Tabela 11 – Critério de erodibilidade geral da pesquisa

Método de avaliação da Erodibilidade	Peso método	Alto (1) Baixo (0)	Produto
Erodibilidade MCT	0,40	1,0	0,40
Cisalhamento Direto	0,30	1,0	0,30
Densidade Real das Partículas	0,15	1,0	0,15
Classificação Expedita MCT	0,15	1,0	0,15
Total	1,0	-	1,0
Valor final de Erodibilidade			1,0

Fonte: O Autor (2017)

Para cada um dos critérios empregados, a erodibilidade em cada ponto é classificada como alta ou baixa, sendo adotados para esta classificação valores de 0 (zero, baixa) e 1 (um, alta), segundo os resultados dos ensaios de laboratório.

Finalmente, obtém-se a somatória dos fatores e é obtido um valor final para cada ponto coletado, e da mesma forma, para cada unidade geotécnica. Este valor pode ser classificado como erodibilidade baixa, média ou alta, seguindo a classificação proposta a seguir.

$$0 \leq \text{Erodibilidade Baixa} > 0,4$$

$$0,4 \leq \text{Erodibilidade Média} > 0,6$$

$$0,6 \leq \text{Erodibilidade Alta} > 1$$

4.3 ETAPA DE GEOPROCESSAMENTO

A representação espacial dos dados levantados e dos resultados dos ensaios de laboratório foi feito no Software “ARCGIS”.

A caracterização da área de estudo foi elaborada com os seguintes mapas temáticos, levando assim à criação de uma base de dados georeferenciada e atualizada.

- Mapa de declividades;
- Mapa geotécnico;
- Mapa hidrográfico;
- Mapa de erodibilidade.

4.3.1 Mapeamento da Erodibilidade

O mapa de erodibilidade foi gerado a partir dos resultados obtidos nos ensaios dos 4 critérios de erodibilidade empregados. Nesse contexto, as duas unidades geotécnicas estudadas (PVg e Cde) foram mapeadas e classificadas segundo o valor do critério de erodibilidade geral apresentado no item 4.2.4.

Para classificar o valor da erodibilidade das unidades residuais mencionadas, foi utilizado a seguinte classificação.

$$0,0 \leq \text{Erodibilidade Baixa} > 0,4$$

$$0,4 \leq \text{Erodibilidade Média} > 0,6$$

$$0,6 \leq \text{Erodibilidade Alta} > 1,0$$

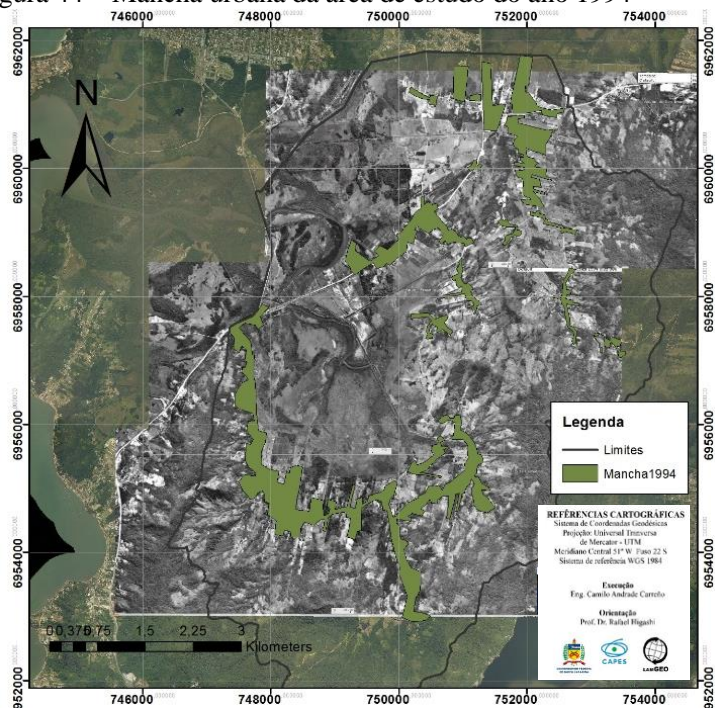
Com o intuito de distinguir uma classe da outra foram escolhidas três cores diferentes. As áreas com baixa erodibilidade são representadas com a cor verde. Áreas com média erodibilidade são representadas com a cor amarela. Por último, áreas com alta erodibilidade são representadas com a cor vermelho.

4.3.2 Análise de Expansão Urbana da Bacia

Para realizar a análise de expansão urbana foi preciso obter pelo menos 3 imagens de satélite ou fotos aéreas da área de estudo, de 3 épocas diferentes. Neste caso, foram obtidas imagens de 1994 (IPUF), 2002 (Landsat/Google Earth), 2010 (Aerolevantamento/Defesa civil-SC) e 2015 (Landsat/Google Earth). As manchas urbanas destes anos foram desenhadas por meio de fotointerpretação utilizando o software ArcGis.

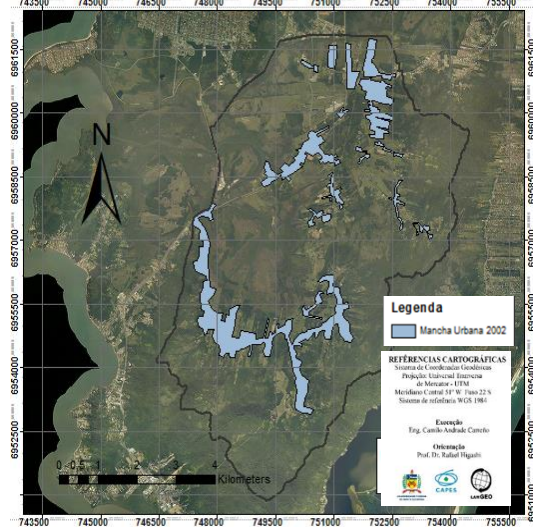
Após a obtenção das imagens de satélite, foram delimitadas as áreas urbanizadas da área de estudo para quatro diferentes épocas: ano 1994 (Figura 44), ano 2002 (Figura 45), ano 2010 (Figura 46) e ano 2015 (Figura 47).

Figura 44 – Mancha urbana da área de estudo do ano 1994



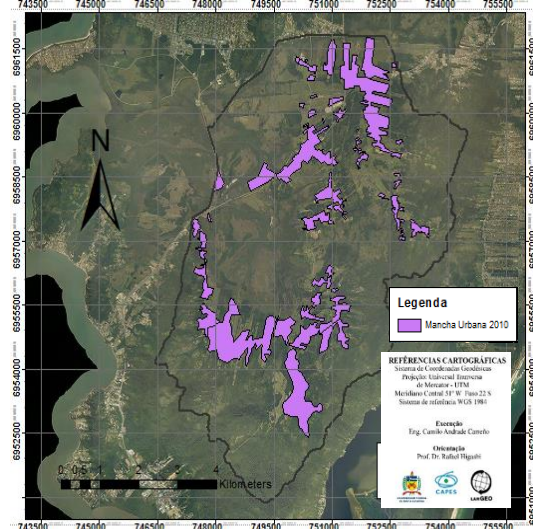
Fonte: O autor (2017)

Figura 45 – Mancha urbana da área de estudo do ano 2002



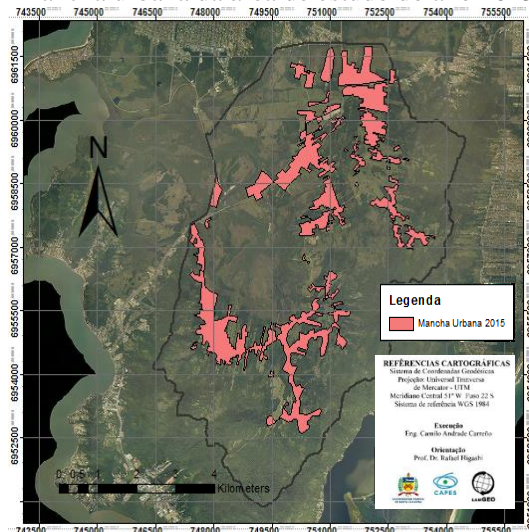
Fonte: O autor (2017)

Figura 46 – Mancha urbana da área de estudo do ano 2010



Fonte: O autor (2017)

Figura 47 – Mancha urbana da área de estudo do ano 2015



Fonte: O autor (2016)

Após este processo, foi elaborada a análise de expansão urbana da bacia de Ratoles com o objetivo de determinar os vetores de crescimento. Para executar esta etapa, foram projetadas as quatro manchas das áreas urbanizadas sobre um mesmo mapa, de forma que foi possível perceber os locais que apresentam crescimento, obtendo assim os vetores de crescimento da área urbanizada na bacia do Rio Ratoles como se observa na Figura 66 e na Figura 67 no item 5.2 deste trabalho.

4.3.3 Mapeamento de Aptidão à Urbanização

O presente trabalho utiliza o cruzamento de dois mapas temáticos da bacia para a definição da aptidão à urbanização: mapa de erodibilidade e mapa de declividade.

Com o intuito de definir o grau de aptidão à urbanização foi adotado um sistema de cruzamento simples onde cada uma das camadas possui o mesmo peso.

Para cada critério, a aptidão a urbanização foi classificada com um coeficiente representando a aptidão à urbanização de cada polígono no mapa, sendo atribuídos valores de 0,0 (baixa) a 1,0 (alta). A Tabela 12 e Tabela 13 ilustram os coeficientes associados a cada classe.

Tabela 12 – Coeficiente de aptidão segundo erodibilidade

Erodibilidade	Coeficiente de aptidão
Média	0,5
Alta	0,0

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 13 – Coeficiente de aptidão segundo declividade

Declividade (%)	Coeficiente de aptidão
0 - 3	1,0
3 - 8	0,8
8 – 20	0,6
20 – 45	0,4
45 - 70	0,2
> 75	0,0

Fonte: O Autor (2017)

Por fim, foi desenvolvido o cruzamento das duas camadas por meio de ferramentas de geoprocessamento no Arcgis, onde o mapa gerado é o mapa de aptidão à urbanização. Esse mapa possui inúmeros novos polígonos, os quais têm um valor específico de aptidão, segundo a sua erodibilidade e sua declividade. A classificação final da aptidão será então a média desses dois valores.

Tabela 14 – Exemplo da obtenção do coeficiente de aptidão à urbanização final

Atributo	Polígono 1	Polígono 2
Erodibilidade	0,5	0,0
Declividade	0,8	0,2
Coeficiente de Aptidão Final	0,65	0,1

Fonte: O Autor (2017)

A classificação da aptidão da área de estudo é feita tendo em consideração o coeficiente de aptidão final dos polígonos, como se apresenta a seguir, gerando assim o Mapa de Aptidão à Urbanização da Bacia.

$$0,0 \leq \text{Aptidão Baixa} < 0,4$$

$$0,4 \leq \text{Aptidão Média} < 0,6$$

$$0,6 \leq \text{Aptidão Alta} < 1,0$$

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A apresentação e análise dos resultados está dividida em duas etapas: trabalhos de laboratório e trabalhos de mapeamento ou geoprocessamento.

5.1 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios de laboratório de caracterização, infiltrabilidade, perda de massa por imersão, método expedito das pastilhas e cisalhamento direto foram realizados no período entre setembro de 2016 e maio de 2017, no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da UFSC.

Ressalta-se que, os resultados obtidos abrangem as duas unidades geotécnicas de origem residual cujo relevo é mais acentuado, ou seja, que varia de ondulado a forte ondulado, sendo essas: Podzólico Vermelho-Amarelo substrato de granito (PVg) e Cambissolo de depósito de encosta (Cde). A unidade geotécnica Cambissolo com substrato de granito (Cg), também de origem residual, não foi investigada por localizar-se em uma região inacessível. As demais unidades geotécnicas presentes na bacia do Rio Ratoles são de origem sedimentar e apresentam-se localizadas predominantemente em relevo plano, logo não correspondem a uma área de interesse em termos de erodibilidade do solo.

A seguir, são apresentados os resultados destes ensaios e suas discussões.

5.1.1 Ensaios de Caracterização dos Solos

Os parâmetros físicos dos solos coletados nesse estudo, obtidos através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e massa específica, são apresentados na Tabela 15 e na Tabela 16.

Dos seis pontos coletados, apenas os pontos 3 e 6 apresentaram uma fração fina maior do que a fração grossa, com 59% e 58% de material

fino, respectivamente. Destaca-se que os dois pontos mencionados são compostos predominantemente por argila.

Os quatro pontos restantes (1,2,4,5) provaram ser compostos principalmente por solos arenosos, sendo o ponto 4 aquele com a maior percentagem de material grosso (70%).

Tabela 15 – Parâmetros físicos dos solos obtidos nos ensaios de granulometria

Ponto	1	2	3	4	5	6
Unidade Geotécnica	PVg	PVg	PVg	Cde	PVg	Cde
Argila [%]	25,79	32,32	45,12	20,45	35,08	37,44
Silte [%]	16,94	11,79	14,03	9,60	13,98	20,97
Areia Fina [%]	9,21	5,61	4,05	3,24	6,98	17,83
Areia Média [%]	30,58	38,66	14,73	32,91	19,43	18,57
Areia Grossa [%]	13,56	11,47	12,81	22,61	17,51	5,04
Pedregulho [%]	3,92	0,15	9,26	11,20	7,03	0,16
Total [%]	100	100	100	100	100	100
SUCS	SC	SC	CH	SC	SC	

Fonte: O autor (2017)

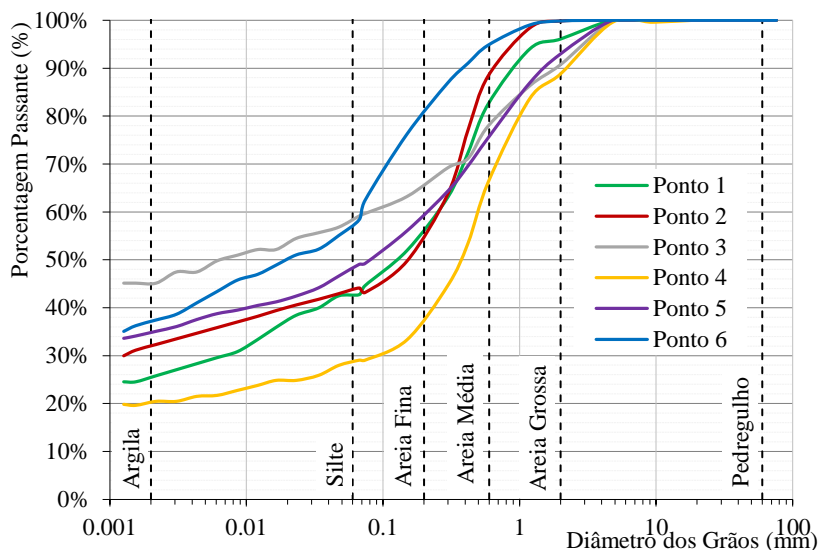
Tabela 16 – Parâmetros físicos dos solos obtidos nos ensaios de consistência, teor de umidade e massa específica

Ponto	Unidade geotécnica	Massa específica	Teor de umidade natural	Limites de consistência [%]		
		[g/cm ³]	[%]	LL	LP	IP
1	PVg	2,11	23,07	43	29	14
2	PVg	2,46	23,34	49	36	13
3	PVg	2,12	13,60	59	30	29
4	Cde	2,34	11,46	30	18	12
5	PVg	2,14	17,99	64	38	26
6	Cde	2,10	20,80	38	26	12

Fonte: O autor (2017)

A Figura 48 ilustra as curvas granulométricas dos 6 pontos analisados. Observa-se um comportamento similar entre os pontos 1, 2 e 5; sendo estes, areias com grande quantidade de finos. Da mesma forma, o ponto 3 e 6 são argilas e possuem a maior percentagem de finos. Finalmente, percebe-se que o ponto 4 apresenta a curva granulométrica típica de uma areia média.

Figura 48 – Curvas granulométricas dos seis pontos coletados

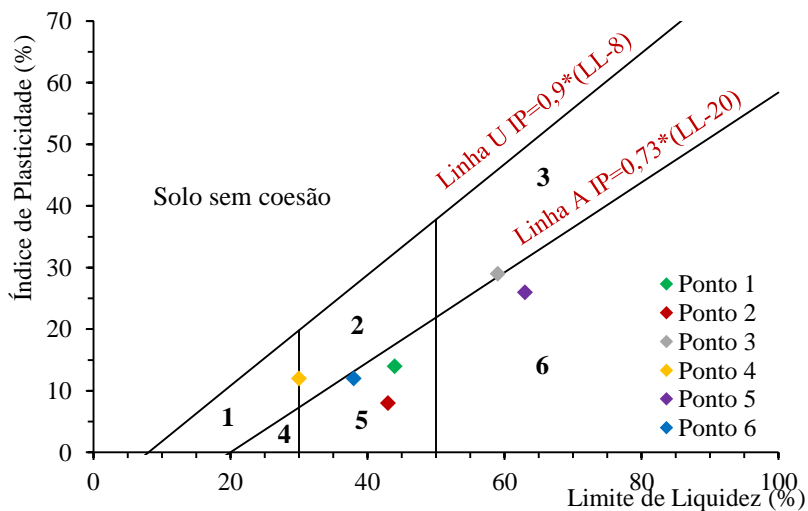


Fonte: O autor (2017)

Com base nos resultados obtidos (granulometria e índices de consistência) os solos foram classificados segundo o Sistema Universal de Classificação dos solos (SUCS).

Segundo a carta de plasticidade na Figura 49, os pontos 1, 2, e 6 são classificados como Siltes inorgânicos de media compressibilidade. O ponto 3 é classificado como Argila inorgânica de alta plasticidade. O ponto 4 é classificado como Argila inorgânica de media plasticidade, e finalmente, o ponto 5 foi classificado como Silte inorgânico de alta compressibilidade.

Figura 49 – Carta de plasticidade dos pontos coletados



Fonte: O autor (2017)

Classificação da carta de plasticidade:

- 1 Argilas inorgânicas de baixa plasticidade
- 2 Argilas inorgânicas de média plasticidade
- 3 Argilas inorgânicas de alta plasticidade
- 4 Siltes inorgânicos de baixa compressibilidade
- 5 Siltes inorgânicos de média compressibilidade e siltes orgânicos
- 6 Siltes inorgânicos de alta compressibilidade e argilas orgânicas

5.1.2 Ensaios Cisalhamento Direto

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos coletados nesse estudo, ou seja, a coesão e o ângulo de atrito, foram obtidos a partir de ensaios de cisalhamento direto na condição inundada e não inundada, e são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Parâmetros de resistência dos ensaios de cisalhamento direto

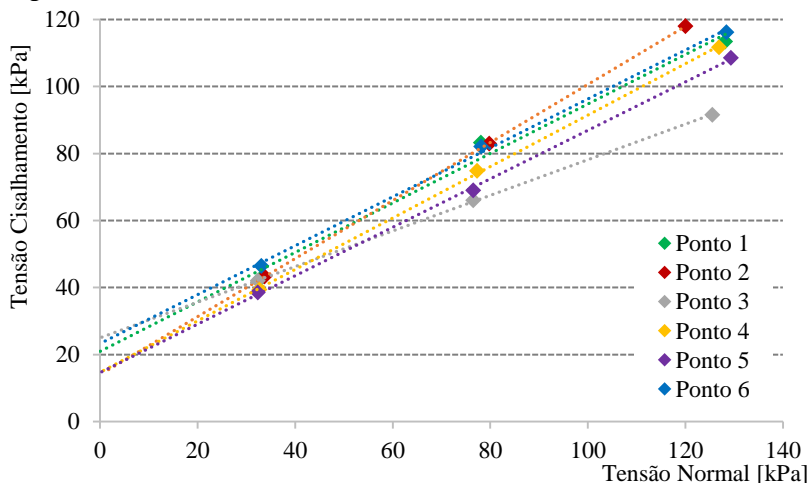
Ponto	Unidade Geotécnica	Não inundado		Inundado	
		Coesão [kPa]	Ângulo de atrito [°]	Coesão [kPa]	Ângulo de atrito [°]
1	PV _g	20,95	36	12,14	26
2	PV _g	14,18	41	8,46	32
3	PV _g	25,00	28	11,66	29
4	Cde	14,71	38	1,78	28
5	PV _g	14,61	36	8,98	32
6	Cde	23,29	36	11,90	33

Fonte: O autor (2017)

A média da coesão para unidade PV_g é 18,67 kPa na condição de umidade natural, é 10,31 kPa na condição de amostra inundada. A média da coesão para unidade Cde é 19,0 kPa na condição de umidade natural, é 8,64 kPa na condição de amostra inundada. A redução dos valores de coesão com a inundação dos solos era esperada, uma vez que a sucção diminui significativamente quando as amostras são inundadas.

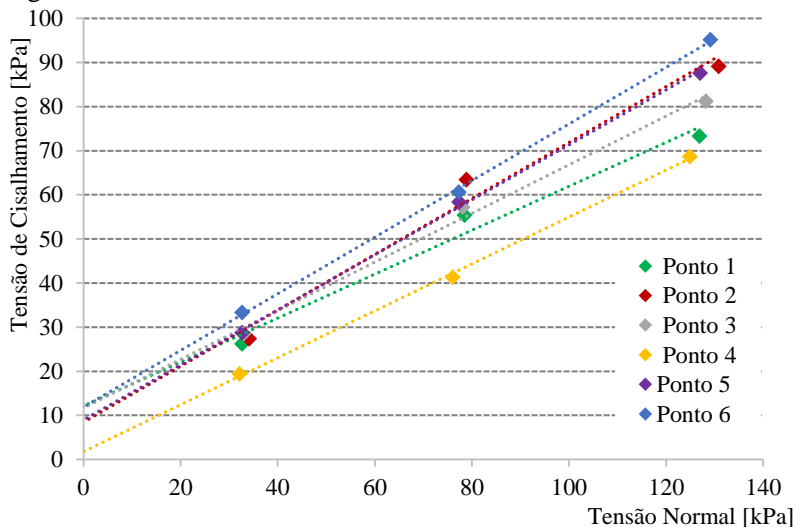
Na Figura 50 e Figura 51 observam-se as envoltórias de ruptura dos ensaios de cisalhamento nas condições mencionadas anteriormente, e na Tabela 18 as equações das envoltórias.

Figura 50 – Ensaios Cisalhamento não inundado



Fonte: O autor (2017)

Figura 51 – Ensaios Cisalhamento inundado



Fonte: O autor (2017)

Tabela 18 – Equações de tendência das envoltórias de ruptura

Ponto	Não inundado	Inundado
1	$y = 0,7383x + 20,949$	$y = 0,4981x + 12,136$
2	$y = 0,8661x + 14,182$	$y = 0,6341x + 8,4562$
3	$y = 0,5315x + 24,996$	$y = 0,5516x + 11,661$
4	$y = 0,7675x + 14,713$	$y = 0,532x + 1,7772$
5	$y = 0,7231x + 14,607$	$y = 0,6236x + 8,9818$
6	$y = 0,730x + 23,287$	$y = 0,6419x + 11,896$

Fonte: O autor (2017)

Com base nesses parâmetros os pontos foram classificados de acordo ao seu potencial de erodibilidade, conforme a proposta de Bastos (2002) apresentada no item 2.2.2.4.

5.1.3 Critério de erodibilidade pelo ensaio de cisalhamento direto

A erodibilidade é definida pelo resultado da equação 4. Segundo Bastos et al. (2002), um valor de Δc maior ou igual a 85% representa um solo com elevado potencial erodível.

$$\Delta c = \frac{(c_{nat} - c_{inu})}{c_{inu}} \quad [4]$$

Na Tabela 19 se apresentam os resultados para cada um dos 6 pontos coletados.

Tabela 19 – Classificação da erodibilidade segundo o critério do ensaio de cisalhamento direto

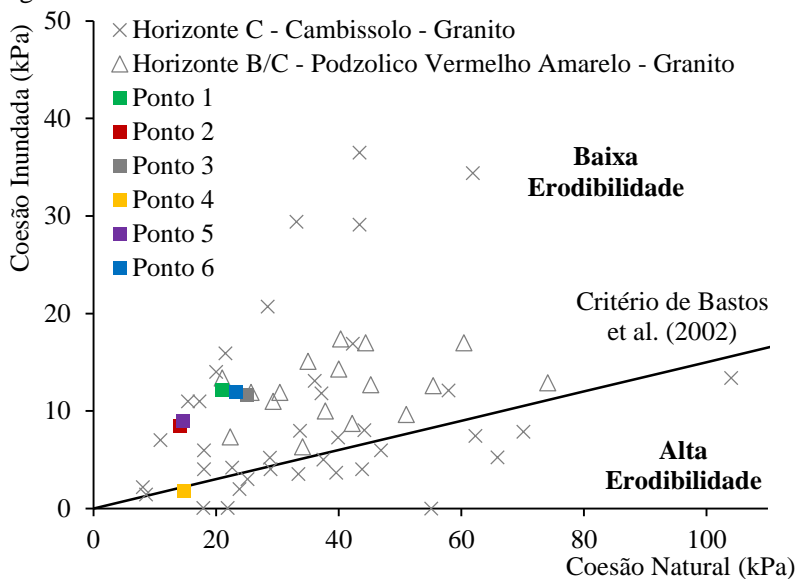
PONTOS	Δc	Erodibilidade
1	42,05%	Baixa
2	40,34%	Baixa
3	53,36%	Baixa
4	87,96%	Alta
5	38,54%	Baixa
6	48,91%	Baixa

Fonte: O autor (2017)

Como pode-se observar nos resultados dos ensaios de cisalhamento direto apresentados na Figura 52, apenas o ponto 4 (Cde) foi classificado com um potencial erodível elevado.

Em comparação com outros resultados apresentados por Higashi (2011), é observado como os solos deste estudo cumprem com o comportamento geral dos Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos, onde os Cambissolos são classificados com alta erodibilidade, e os solos da unidade PV são classificados como de baixa erodibilidade.

Figura 52 – Critério de erodibilidade do método de cisalhamento direto



Fonte: Adaptado de Higashi (2011)

5.1.4 Critério erodibilidade pela metodologia MCT

A metodologia deste critério é fundamentada em dois parâmetros, esses são: o coeficiente de perda de massa por imersão (ρ_i), obtido no ensaio de perda de massa por imersão, e o coeficiente de sorção (s), obtido no ensaio de infiltrabilidade.

5.1.2.1 Ensaio de perda de massa por imersão

O coeficiente ρ_i está definido pela relação entre a massa desprendida do corpo de prova imerso após 20h, pela massa seca total do corpo de prova. A Tabela 20 apresenta os dados resultantes dos ensaios realizados para os dois estágios estudados, amostra com 0 horas (umidade natural) e com 48 horas (secagem ao ar).

Tabela 20 – Resultados do ensaio de perda de massa por imersão

Ponto	0 horas			48 horas		
	Mi [g]	Me [g]	Pi [%]	Mi [g]	Me [g]	Pi [%]
1	1,25	75,26	1,66	18,74	75,24	24,91
2	4,02	78,03	5,15	28,52	79,78	35,75
3	0,70	68,14	1,03	2,95	65,36	4,51
4	6,46	84,46	7,64	53,71	73,83	72,75
5	1,20	72,73	1,65	11,23	47,48	23,65
6	0,50	60,76	0,82	42,20	79,42	53,14

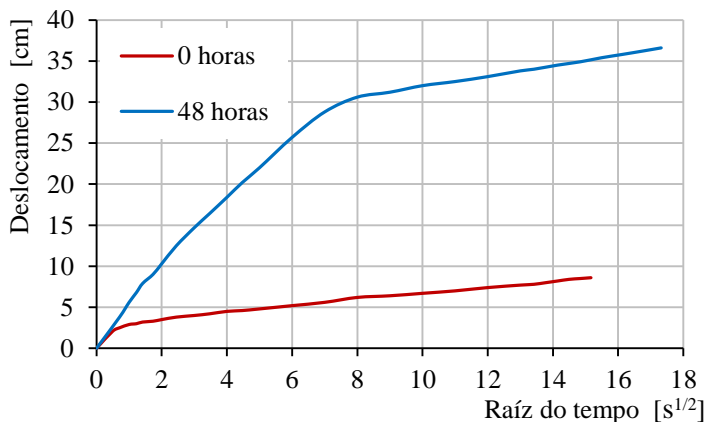
Fonte: O autor (2017)

Onde: Pi: Percentagem de perda de massa por imersão; Me: Massa seca do CP (g); Mi: Massa seca desprendida (g).

5.1.2.2 Infiltrabilidade

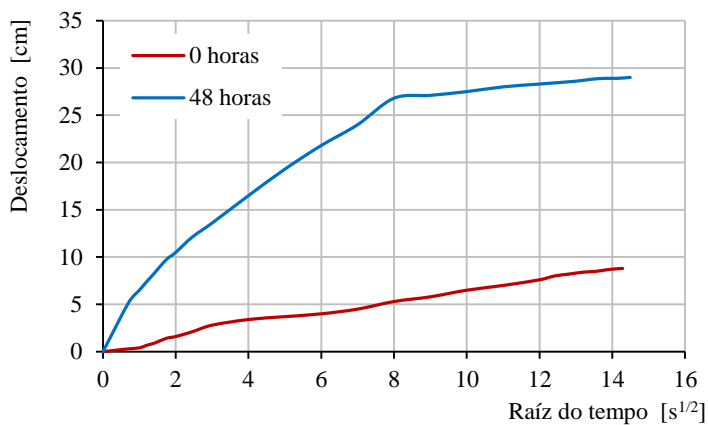
Da Figura 53 à Figura 58 são apresentados os resultados dos ensaios de infiltrabilidade para os 6 pontos de estudo nos dois estágios de secagem (0h e 48h).

Figura 53 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 1



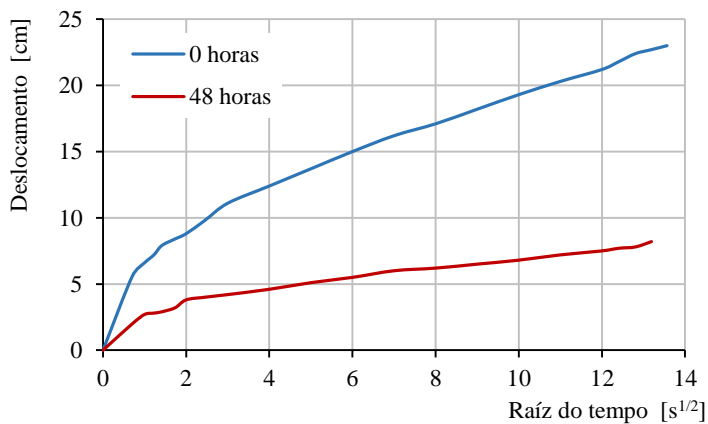
Fonte: O autor (2017)

Figura 54 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 2



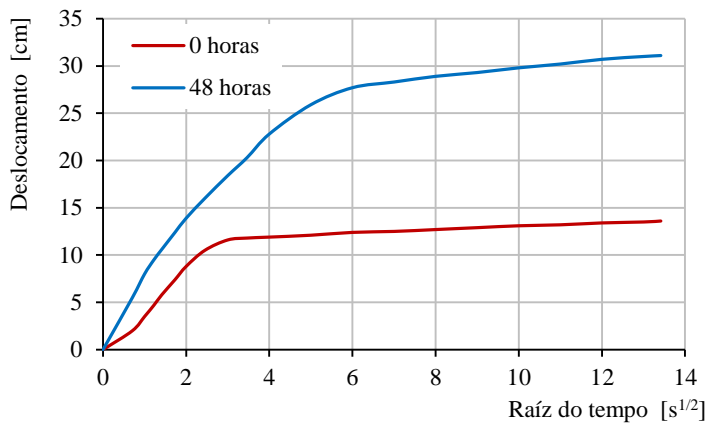
Fonte: O autor (2017)

Figura 55 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 3



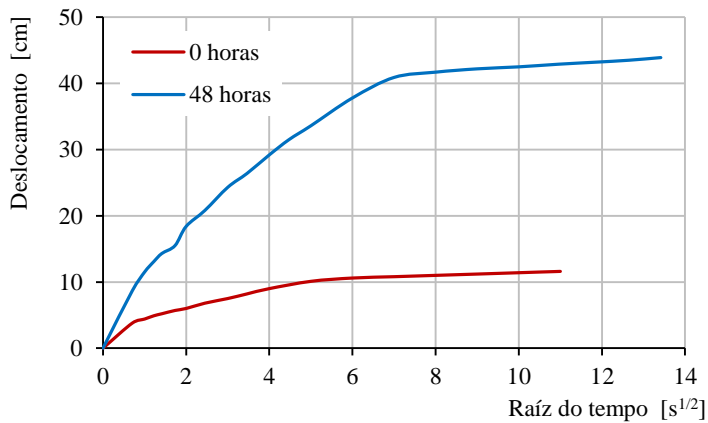
Fonte: O autor (2017)

Figura 56 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 4



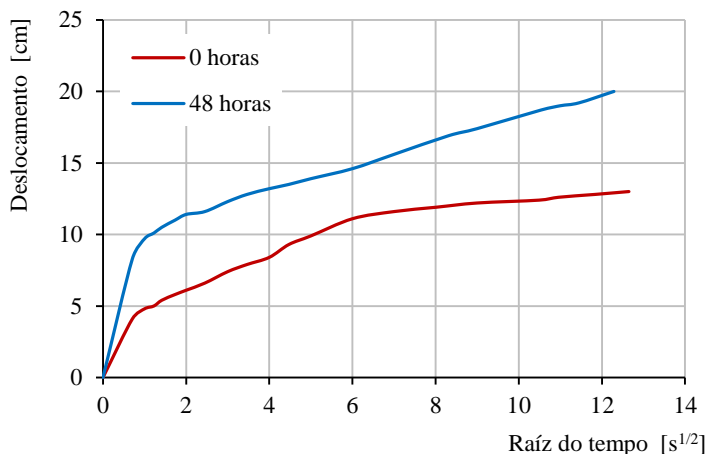
Fonte: O autor (2017)

Figura 57 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 5



Fonte: O autor (2017)

Figura 58 – Ensaio de infiltrabilidade MCT – Ponto 6



Fonte: O autor (2017)

O coeficiente de sorção s é obtido de acordo com a equação 9 do item 4.2.3.1, mediante a análise do gráfico de infiltrabilidade. A Tabela 21 apresenta os resultados para os ensaios realizados nos estágios de secagem de 0 e 48 horas para os 6 pontos coletados.

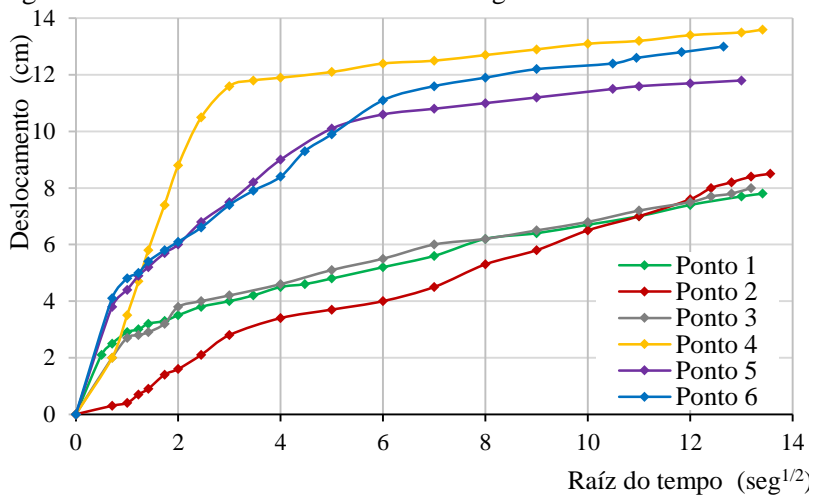
Tabela 21 – Resultados do ensaio de infiltrabilidade

Ponto	0 horas	48 horas
	s [cm/min ^{1/2}]	s [cm/min ^{1/2}]
1	0,0072	0,01217
2	0,0028	0,0099
3	0,0056	0,0130
4	0,0114	0,01366
5	0,0067	0,01729
6	0,0062	0,00976

Fonte: O autor (2017)

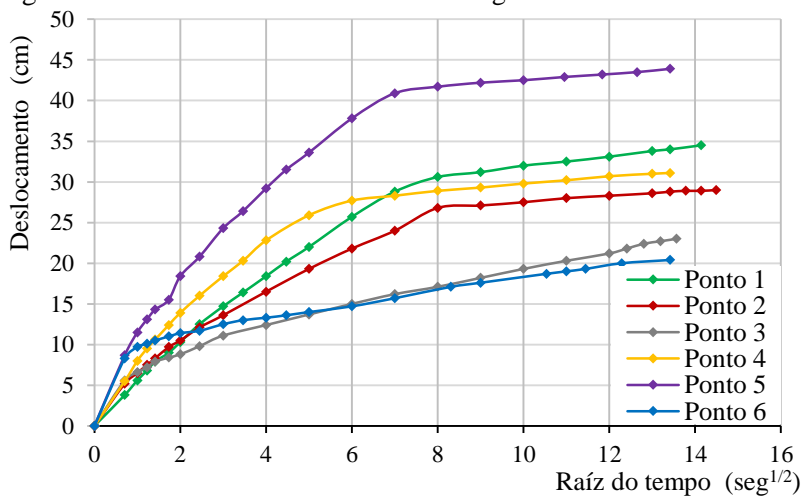
A Figura 59 apresenta as curvas de infiltrabilidade no estágio de secagem de 0 horas, enquanto a Figura 60 apresenta as curvas de infiltrabilidade para o estágio de 48 horas de secagem.

Figura 59 – Curvas de infiltrabilidade - estágio de 0 horas



Fonte: O autor (2017)

Figura 60 – Curvas de infiltrabilidade - estágio de 48 horas



Fonte: O autor (2017)

Pode-se concluir que as 6 amostras de solo infiltram água mais rapidamente no estágio de secagem de 48 horas. Isto devido ao fato que os poros do solo se encontram menos preenchidos de água.

5.1.2.3 Critério de erodibilidade MCT

Segundo o item 4.2.3, o critério de erodibilidade MCT é definido pela relação entre o coeficiente de perda de massa por imersão pelo coeficiente de sorção ($E = pi/s$). A Tabela 22 apresenta os resultados dos parâmetros de erodibilidade para os dois estágios avaliados.

Tabela 22 – Parâmetro de erodibilidade segundo a metodologia MCT

Ponto	0 hrs			48 hrs		
	Pi	s	E	Pi	s	E
1	1,66	0,0072	229,120	24,91	0,01217	1989,256
2	5,15	0,0028	1847,041	35,75	0,0099	2815,156
3	1,03	0,0056	177,906	4,51	0,0130	350,3122
4	7,64	0,0114	668,756	72,75	0,01366	5326,569
5	1,65	0,0067	247,897	23,65	0,00976	2422,411
6	0,82	0,0062	131,981	53,14	0,01729	3074,164

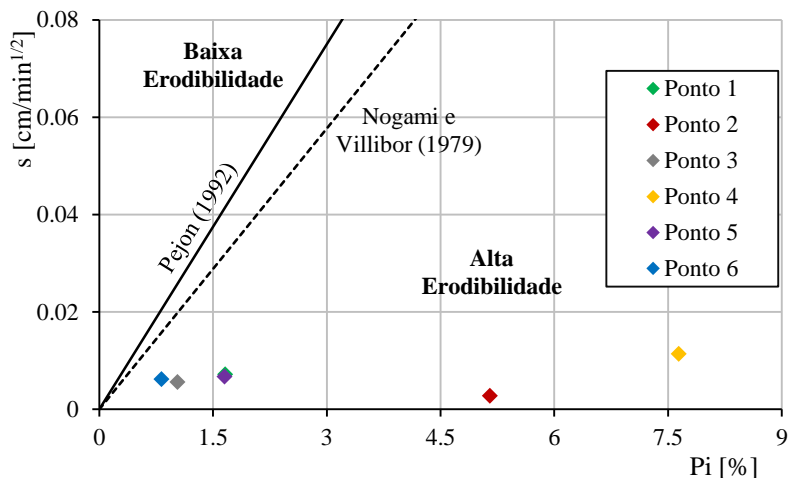
Fonte: O autor (2017)

A Figura 61 apresenta o critério de erodibilidade MCT para as amostras no estágio de secagem de 0 horas, enquanto a Figura 62 apresenta o critério de erodibilidade MCT para as amostras no estágio de secagem de 48 horas.

Nogami e Villibor (1979) estabeleceram a relação $pi/s = 52$, como critério limite de erodibilidade, sendo considerados solos erodíveis quando esta relação for superior ao valor 52.

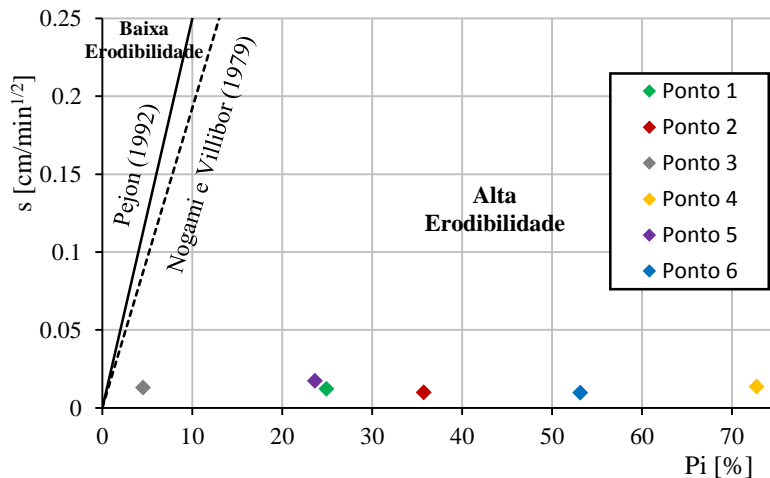
Para Pejon (1992), a relação entre pi e s deve ser superior a 40 para que os solos sejam classificados como erodíveis.

Figura 61 – Critério de erodibilidade MCT - estágio de 0 horas



Fonte: O autor (2017)

Figura 62 – Critério de erodibilidade MCT - estágio de 48 horas



Fonte: O autor (2017)

Segundo as duas classificações (Nogami e Villibor, Pejon), baseados nos resultados obtidos nos dois estágios, determinou-se que os solos dos 6 pontos de coleta são altamente erodíveis. O solo do ponto 3 (PVg) apresentou a menor erodibilidade, e o solo do ponto 4 (Cde) apresentou a maior erodibilidade dos pontos coletados.

5.1.5 Critério de erodibilidade pelo ensaio de massa específica (Pejon 2007, Higashi 2011)

A classificação de erodibilidade está baseada no resultado do ensaio de massa específica dos grãos, como explicado no item 4.2.1. A seguir, na Tabela 23, são apresentados os resultados do ensaio e sua classificação de erodibilidade pelo critério proposto.

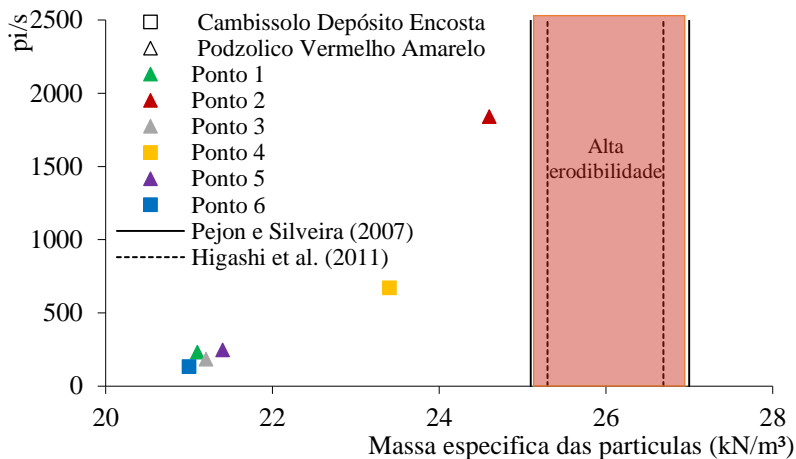
Tabela 23 – Classificação da erodibilidade segundo o ensaio de massa específica

Ponto	Unidade geotécnica	Massa específica [g/cm ³]	Grau de erodibilidade
1	PVg	2,11	Baixa
2	PVg	2,46	Média
3	PVg	2,12	Baixa
4	Cde	2,34	Baixa
5	PVg	2,14	Baixa
6	Cde	2,10	Baixa

Fonte: O autor (2017)

A Figura 63 apresenta a classificação dos solos segundo o método da massa específica. Observa-se que todos os pontos estão fora da área classificada como de alta erodibilidade.

Figura 63 – Classificação da erodibilidade segundo o ensaio de massa específica



Fonte: O autor (2017)

No entanto, Pejon e Silveira (2007) enfatizam que existe uma relação entre a gravidade específica das partículas na faixa entre 25,1 a 27 kN/m³ e alto índice de erodibilidade. Higashi et al. (2011) classificam a região de alta erodibilidade entre 25,31 e 26,69 kN/m³.

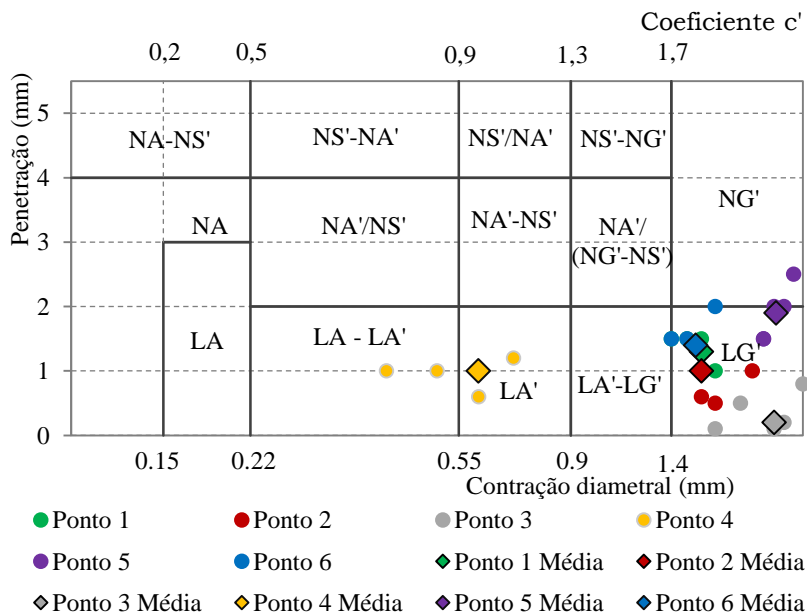
Com base nos dados apresentados pela Figura 63 e na comparação com os resultados obtidos pelos trabalhos dos autores mencionados anteriormente, concluiu-se que o ponto 2 pode ser classificado como o solo de maior erodibilidade segundo este critério, já que encontra-se mais perto do que o resto da região estabelecida como de maior erodibilidade.

5.1.6 Critério de erodibilidade segundo o método expedito das pastilhas

A classificação da erodibilidade foi baseada também no resultado do ensaio do método expedito das pastilhas da metodologia MCT, como explicado no item 4.2.3.3. A seguir, na Figura 64 são apresentados os

resultados do ensaio e na Tabela 24 a classificação de erodibilidade pelo critério proposto para os 6 pontos coletados.

Figura 64 – Erodibilidade segundo o método expedito das pastilhas



Fonte: O autor (2017)

Tabela 24 – Classificação da erodibilidade segundo o método expedito das pastilhas MCT

Ponto	Contração (cm)	Penetração (cm)	Classificação MCT
1	1,6	1,3	LG'
2	1,6	1,0	LG'
3	2,2	0,2	LG'
4	0,6	1,0	LA'
5	2,2	1,9	LG'
6	1,5	1,4	LG'

Fonte: O autor (2017)

Neste critério, a classificação da erodibilidade foi definida em dois grupos, para solos lateríticos foi dado o nível de erodibilidade baixo, e, nível alto para não lateríticos. Nesse contexto, é possível afirmar que os 6 pontos coletados foram classificados como solos com erodibilidade baixa.

5.1.7 Critério de erodibilidade geral

Com o objetivo de definir o grau de erodibilidade geral de cada ponto coletado, e visando o mapeamento da erodibilidade no SIG, foi adotado o seguinte sistema de ponderação como foi explicado no item 4.2.4.

O peso atribuído a cada método depende da representatividade que cada um possui no Âmbito Acadêmico segundo este autor julga. Para cada critério, a erodibilidade é classificada como alta ou baixa, sendo para esta classificação adotados valores de 0 (zero, baixa) ou 1 (um, alta).

Finalmente, realizou-se a somatória dos valores dos 4 critérios e se obteve um valor final de erodibilidade. A seguir, na Tabela 25 se observam os valores finais de erodibilidade para cada um dos pontos coletados.

Tabela 25 – Critério de erodibilidade geral da pesquisa

		Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4		Ponto 5		Ponto 6	
Crítérios	Peso	Alto (1) Baixo (0)	Produto	Alto / Baixo	Produto	Alto / Baixo	Produto	Alto / Baixo	Produto	Alto / Baixo	Produto	Alto / Baixo	Produto
Erodibilidade MCT	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4
Cisalhamento Direto	0,3	0	0	0	0	0	0	1	0,3	0	0	0	0
Densidade Real dos Grãos	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Classificação Exp. MCT	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1	1	0,4	1	0,4	1	0,4	2	0,7	1	0,4	1	0,4

Fonte: O autor (2017)

5.2 ETAPA DE GEOPROCESSAMENTO

A etapa de geoprocessamento está dividida em 3 partes principais. Primeiramente, o mapeamento da erodibilidade dos solos da bacia, depois, a análise do crescimento da mancha urbana, e finalmente, a geração do mapa de aptidão à urbanização da área de estudo.

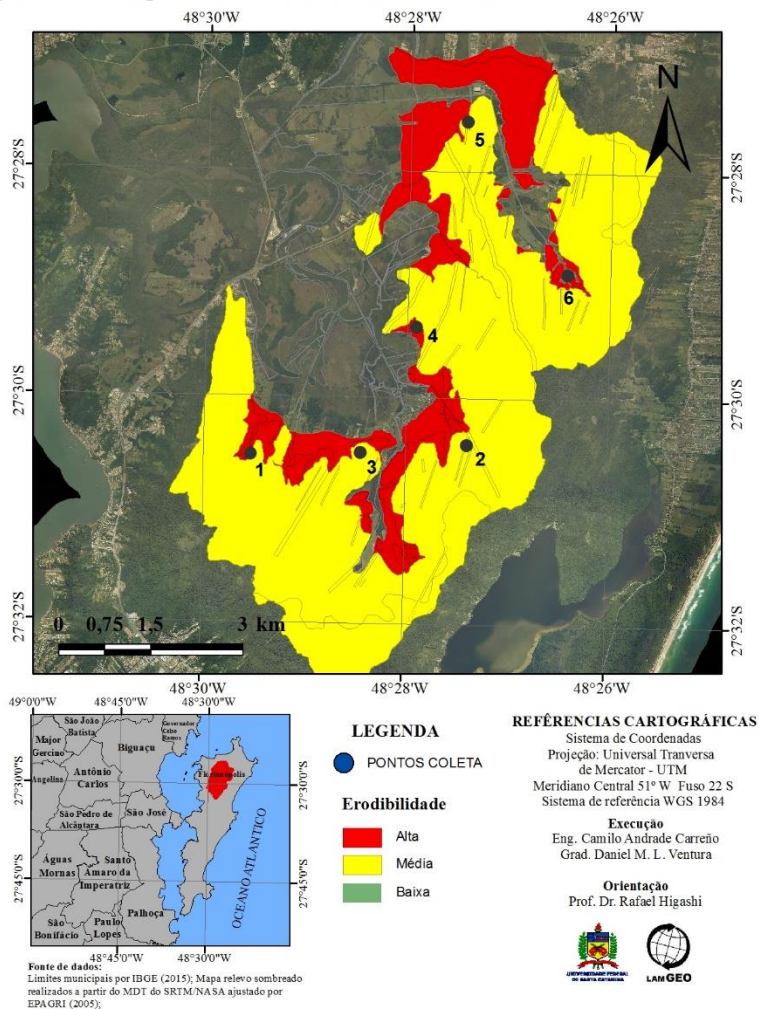
5.2.1 Mapeamento da erodibilidade

Para desenvolver o mapa de erodibilidade da bacia foi utilizado um sistema para classificar a erodibilidade em três categorias, como explicado no item 4.2.4.

Nesse contexto, as unidades geotécnicas residuais (PVg e Cde) foram classificadas de acordo com o resultado do critério de erodibilidade geral. Na Figura 65 se distinguem as duas classes de erodibilidade que foram mapeadas para área de estudo. A classe erodibilidade média está representada com a cor amarela. A cor vermelha representa a classe erodibilidade alta. Não foram mapeadas unidades geotécnicas classificadas com erodibilidade baixa.

Como foi determinado no item 5.1.7, a unidade PVg obteve um valor de 0,4; ou seja, foi classificada com média erodibilidade. Por sua vez, a unidade Cde obteve um valor de 0,7 e foi classificada como alta erodibilidade.

Figura 65 – Mapa de erodibilidade da área de estudo



Fonte: O autor (2017)

5.2.2 Análise de expansão urbana da bacia

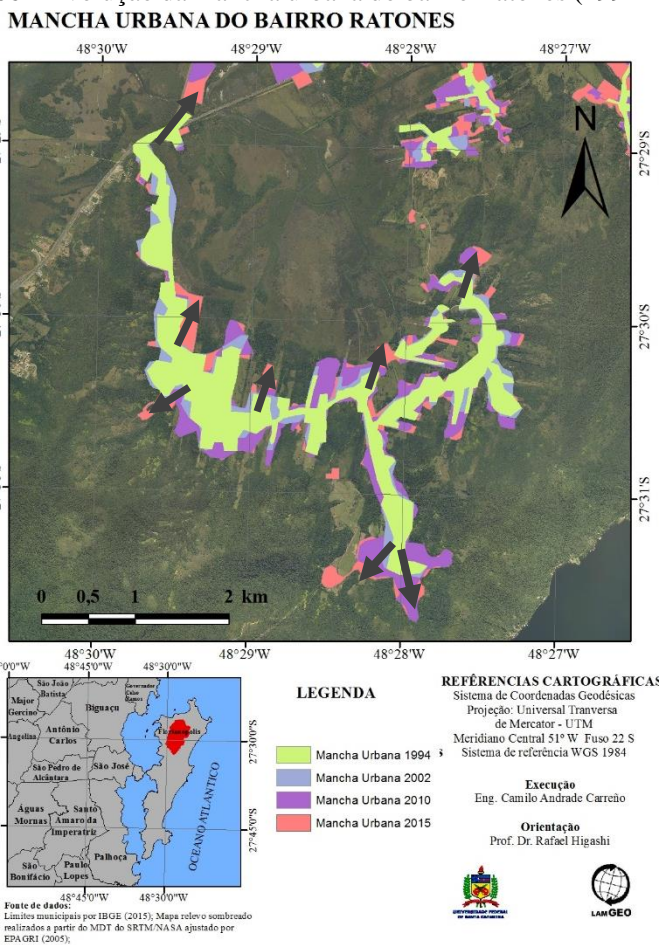
Para realizar a análise de expansão, primeiramente foram delimitadas as áreas urbanizadas da área de estudo, de quatro épocas diferentes, com a utilização do software Arcgis: ano 1994 (Figura 44), ano 2002 (Figura 45), ano 2010 (Figura 46) e ano 2015 (Figura 47).

A seguir, para determinar o crescimento das áreas urbanizadas durante os últimos 25 anos, foram projetadas no Arcgis, as 4 áreas urbanizadas sobre um mesmo mapa e determinados os vetores de crescimento, como se observa na Figura 66 e na Figura 67.

Na Figura 66 se observa o crescimento urbano da região do bairro Ratonos. Identifica-se que o bairro cresceu principalmente em direção do Canto do Moreira, no setor mais ao sul do bairro. De igual forma, apresenta-se crescimento do bairro em sentido norte, na direção do manguezal do rio Ratonos.

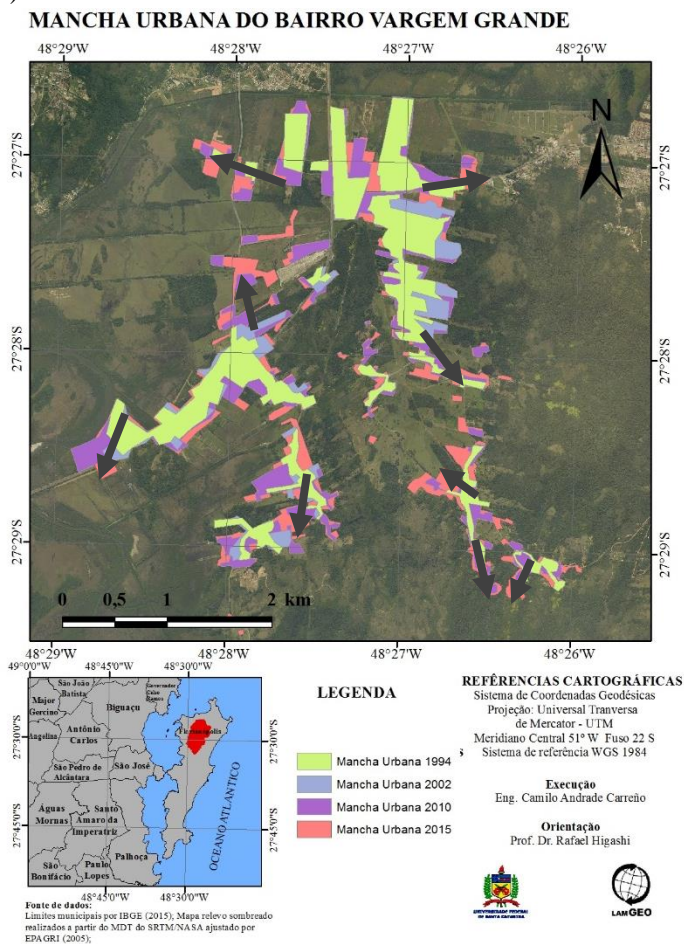
Na Figura 67 se observa o crescimento urbano da região do bairro Vargem Grande. Identificou-se que o bairro cresceu em várias direções, apresentando um crescimento uniforme. Percebe-se maior ênfase na região norte, com crescimento em direção noroeste; e, na região sul, crescimento em direção a Rio Vermelho (sudeste).

Figura 66 – Evolução da mancha urbana do bairro Ratoões (1994 – 2015)



Fonte: O autor (2017)

Figura 67 – Evolução da mancha urbana do bairro Vargem Grande (1994 – 2015)



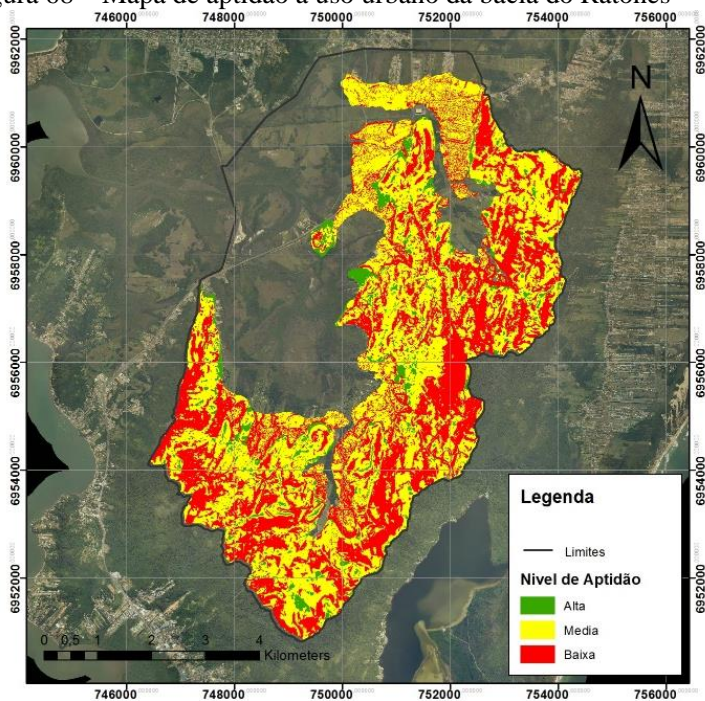
Fonte: O autor (2017)

5.2.3 Mapeamento de aptidão à urbanização

O cruzamento do mapa de erodibilidade com o mapa de declividades permitiu obter o mapa da aptidão à urbanização da Figura 68, definindo importantes conclusões para o planejamento dos loteamentos futuros.

Para realizar o cruzamento das duas camadas adotou-se o procedimento descrito no item 4.3.3. Como resultado dos trabalhos no Arcgis foi obtido um novo mapa com uma nova tabela de atributos. No fim, cada polígono dentro de cada unidade geotécnica obteve um valor que representa a aptidão do solo frente ao processo de urbanização da bacia.

Figura 68 – Mapa de aptidão a uso urbano da bacia do Ratores



Fonte: O autor (2017)

A classificação da aptidão é feita em três classes, considerando o coeficiente de aptidão final das unidades, como se apresenta a seguir, gerando assim o Mapa de Aptidão à Urbanização da Bacia.

$0,0 \leq \text{Aptidão Baixa} < 0,4$ (cor vermelha)

$0,4 \leq \text{Aptidão Média} < 0,6$ (cor amarela)

$0,6 \leq \text{Aptidão Alta} < 1,0$ (cor verde)

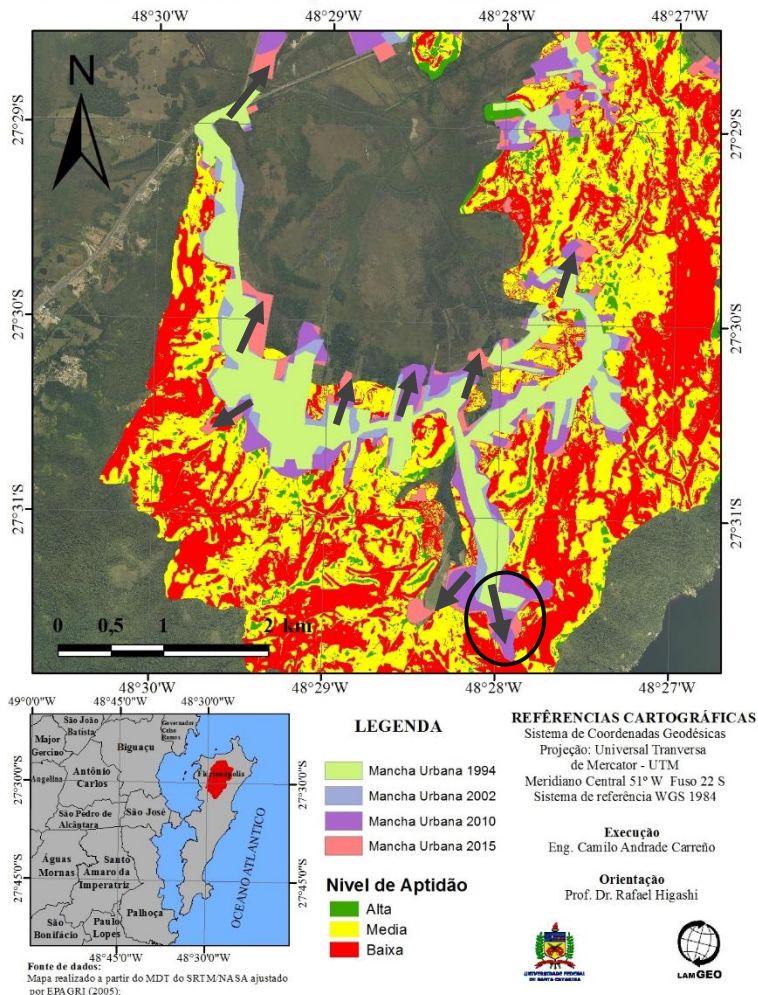
Dessa forma, as unidades foram agrupadas e classificadas como:

- ✓ Áreas de baixa aptidão à urbanização, sendo aquelas áreas onde não há possibilidade de consolidação urbana desde o ponto de vista geológico-geotécnico;
- ✓ Áreas de média aptidão, que representam os setores onde existem as condições para a consolidação da ocupação corrigindo alguns aspectos geotécnicos do terreno;
- ✓ Áreas de alta aptidão a urbanização, que representam uma condição de recepção total de projetos urbanos, podendo ser ocupadas sem restrições; gerando assim a mapa de aptidão à urbanização da bacia.

Finalmente, é sobreposto o mapa de expansão urbana no mapa de aptidão à urbanização para analisar as áreas que serão ocupadas nos próximos anos, como apresentado na Figura 69 e Figura 70 a seguir.

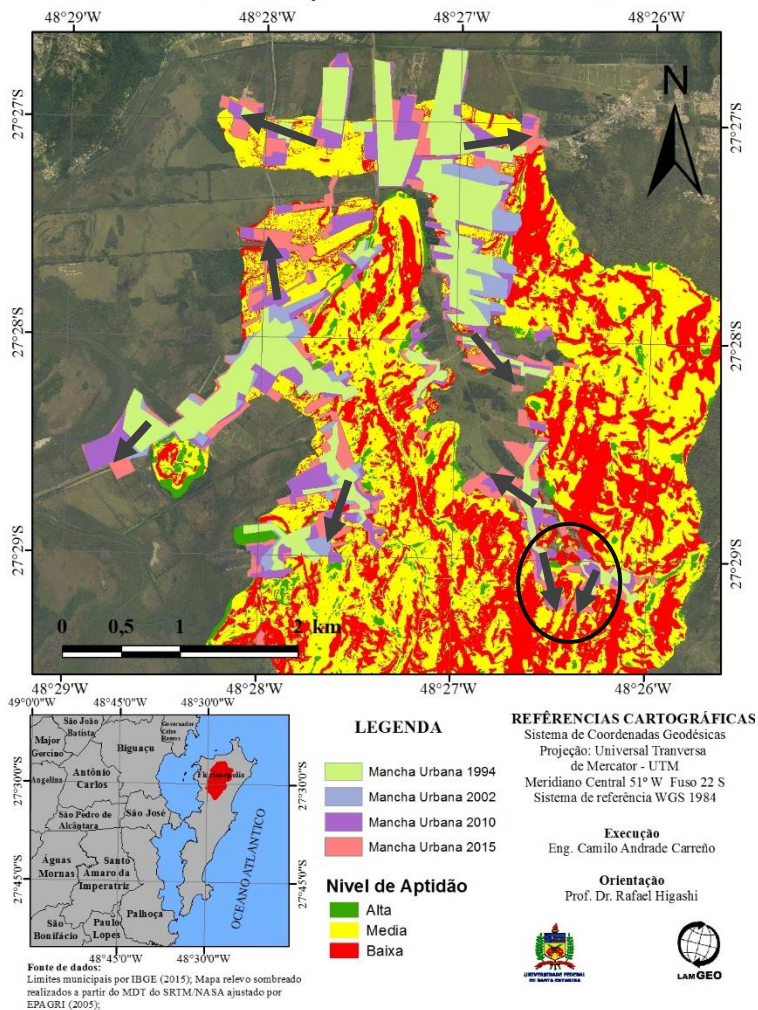
Ainda que a maior parte dos vetores de crescimento dos bairros analisados se encontram na direção de áreas de meia e alta aptidão, foram identificados nos mapas, os vetores de crescimento em risco de ocupar áreas de baixa aptidão à urbanização nos próximos anos.

Figura 69 – Mapa de aptidão a uso urbano com vetores de crescimento
APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DO BAIRRO RATONES



Fonte: O autor (2017)

Figura 70 – Mapa de aptidão a uso urbano com vetores de crescimento
APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DO BAIRRO VARGEM GRANDE



Fonte: O autor (2017)

6 CONCLUSÕES

Com informações obtidas em mapas produzidos em trabalhos anteriores e nas expedições em campo foi caracterizada a área de estudo. A bacia do rio Ratonos se encontra dividida em dois setores principais, uma área plana coberta de mangue, a oeste, e uma área de relevo fortemente ondulado, ao sul e ao este.

Os universos geotécnicos da bacia foram definidos com base no mapa geotécnico desenvolvido por Rosniecek e Imai (2013), desta forma a área de estudo foi dividida em unidades geotecnicas residuais e solos sedimentares. A pesquisa foi restrita ao estudo dos solos residuais por se encontrar na área com as maiores declividades. As maiores declividades se encontram na faixa de 45% - 70%, o que é considerado relevo montanhoso.

O ensaio de cisalhamento permitiu determinar os parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito, para cada uma das amostras. Foi demonstrado que os solos estudados reduziram em 40% o valor da coesão na condição saturada respeito do solo com umidade natural.

A erodibilidade foi determinada por 4 metodologias diferentes. O critério do ensaio de cisalhamento direto mostrou resultados de erodibilidade baixa para 5 dos 6 pontos de coleta, deixando apenas o ponto #4 (Cde) com nível de erodibilidade alto. Os ensaios do critério erodibilidade MCT, classificaram os resultados com nível de erodibilidade alto para os 6 pontos de coleta. O ensaio de densidade real dos grãos classificou os resultados com erodibilidade baixa para os 6 pontos de coleta, porém apenas o ponto #2 (Cde) apresentou um nível de erodibilidade médio por se encontrar perto da faixa de 25 a 27 kN/m³, definida como alta erodibilidade por Pejon (2007). O ensaio da classificação expedita MCT (método das pastilhas) classificou os resultados como erodibilidade baixa para os solos dos 6 pontos.

Dessa forma, o critério de erodibilidade geral proposto definiu que as unidades geotécnicas da área de estudo se caracterizam por apresentar um nível de erodibilidade médio no caso da unidade PVg e erodibilidade alta no caso da unidade Cde, o que era de se esperar visto o seu processo de origem e formação.

Com o apoio das ferramentas de geoprocessamento SIG foi possível a geração dos mapas de declividade e erodibilidade. O mapa de erodibilidade foi utilizado como a base do mapeamento de aptidão à urbanização, sendo este o resultado do cruzamento do mapa de erodibilidade e o mapa de declividades.

A área de estudo é principalmente rural, e apresenta uma urbanização controlada, com pouca ocupação das encostas, e tendência à expansão nas áreas planas próximas aos rios.

A análise da expansão urbana da região do bairro Ratoles identificou que a unidade geotécnica PVg tende a ser urbanizada em sentido norte-sul nos próximos anos. O crescimento urbano se apresenta principalmente em direção ao Canto do Moreira, no setor sudeste do bairro, local que apresentou maior suscetibilidade a ocorrência de processos erosivos, sendo classificado como área de alta erodibilidade. Da mesma forma, observa-se que o crescimento do bairro também ocorre para o norte, na direção do manguezal do rio Ratoles, área essa que não foi analisada em termos de erodibilidade.

A análise do crescimento urbano da região do bairro Vargem Grande identificou que esse bairro cresceu em várias direções, apresentando um crescimento uniforme. Percebe-se que o crescimento na região sudeste do bairro, na direção do Rio Vermelho, tende a apresentar problemas de erodibilidade, por ser ter sido classificado como área de alta erodibilidade.

O caráter recente e instável das formações existentes na Bacia do Rio Ratonês demanda maior prudência quanto à sua ocupação. Por essa razão, o mapa de erodibilidade e o mapa de aptidão à urbanização, obtidos com técnicas de geoprocessamento no software ARCGIS, visam uma urbanização adequada da bacia hidrográfica do Rio Ratonês sob o ponto de vista geotécnico.

O mapa de Aptidão à Urbanização gerado neste trabalho serve como um instrumento básico para o planejamento urbano dos novos loteamentos dentro da área de estudo, da mesma forma, funciona para escolher as opções de reaproveitamento das áreas já habitadas.

7 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) - Norma: Solo - Análise granulométrica: Terminologia (NBR 7181/84)

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: solo – determinação do limite de liquidez – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: solo – determinação do limite de plasticidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ALCÂNTARA M.A.T. Estudo da erodibilidade de alguns solos do Estado de São Paulo. São Carlos. 129f Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1997.

ALCÂNTARA, M. A. T.; VILAR, O. M. (1998). Aplicação de Métodos de Análise para Avaliação da Erodibilidade de Alguns Solos do Estado de São Paulo. In: VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Presidente Prudente-SP. 1998.

AMORIM, A. S. F. Contribuição à cartografia geotécnica: sistema de informações geográficas dos solos expansivos e colapsíveis do Estado de Pernambuco (SIGSEC – PE). 2004. 244p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Ciência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

ANUÁRIO IGEO, A erosão dos solos no contexto social. 1994. Visualizado em: http://www.anuario.igeo.ufrrj.br/anuario_1994/vol_17_14_23.pdf

ARONOFF, S. Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications, Ottawa, 2º, 1991, 294 p.

BARBOSA, F. S. Análise de concepção de projeto de urbanização de assentamento precário e detalhamento de projeto de drenagem. Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. São Paulo, 2013. 112 p.

- BASSO, L. Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares de uma voçoroca na cidade De São Francisco de Assis-RS, 2013.
- BASTOS, G. (1996) Estudos em Sistemas de Informação Geográfica para o Mapeamento Geotécnico de Feira de Santana – BA. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. UnB, Brasília, 1996.
- BASTOS, C. A. B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BASTOS, C.A.B. Caracterização geotécnica de solos da Planície Costeira Sul do RS visando o mapeamento geotécnico. ARD - FAPERGS. Porto Alegre/RS, 2002. 66p.
- BENTLEY, O. G. Soil erosion and crop productivity: a call for action. In: Soil erosion and productivity. Editores: R. F. FOLLET e B. A. STEWART. 1985.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO. F. Conservação do solo. Piracicaba; Livroceres, 1985. 372 p.
- BERTONI, J; NETO, F. L. Conservação dos solos. São Paulo: Icone, 1999.
- BEVILÁQUA, F. Z. Estudo do Comportamento Geomecânico dos Solos Residuais de Granito de Florianópolis. 2004. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.
- BITTAR, O.Y; CERRI, L. F. S.; NAKAZAWA, V. A. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2, 1992. São Paulo: ABGE, 1992. p. 35-41.
- BOARDMAN, J. Soil erosion on the South Downs: a review. In: Soil erosion on agricultural land. Editores: Boardman J., Foster I. D. L. e Dearing J. A. 1990.
- CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. Cap. 3.

- CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações: vol. 1 – Fundamentos. Rio de Janeiro: LTC, 1988.
- CARUSO, M. M. L. O desmatamento da Ilha de Santa Catarina de 1500 aos dias atuais. 2. Ed. UFSC, 1990.
- CECCA - CENTRO DE ESTUDOS CULTURA E CIDADANIA. Unidades de Conservação e Áreas protegidas da Ilha de Santa Catarina: caracterização e legislação. Ed. Insular, Florianópolis. 1997.
- CENDRERO. A. Environment Geology of the Santander by Area. Northern Spain. Environmental Geology, Springer Verlag. New York. V.1. p.97-114. 1975.
- CERRI, L. E. S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 6. Salvador: ABGE. 1990.
- COTTAS, L. R. Estudo geológico aplicado ao planejamento urbano de Rio Claro. SP. 1983. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 171p. 1983.
- DAEE/IPT. Controle de erosão. Secretaria de Energia e Saneamento – Departamento de Águas e Energia Elétrica. São Paulo, SP. 92p. 1990.
- DAS, B. M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Cengage Learning, São Paulo, 2011.
- DAVISON DIAS, R. Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais. In: Revista do Instituto Geológico, São Paulo, SP, 1995, p.51- 55.
- DAVID, R. B. Estudo Preliminar de Zoneamento Ambiental para Ocupação Urbana da Bacia do Rio Ratonas. Dissertação de Mestrado - Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2004.
- DERISIO, J.C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 2.Ed. São Paulo. Signus Editora. 2000. 164p.
- DINIZ, N. C.; et al. Mapeamento geoambiental em base de dados georreferenciados como suporte de análise de riscos e avaliação ambiental regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL. 4, 1999. São José dos Campos. Anais ... São José dos Campos: 1999. p. 49-62.

- EASTMAN. IDRISI for Windows users guide version 2.0 introduction. Worcester – Ma. Clark University. 1997.
- FIDÉLIS, F. N. L. Uma abordagem sobre as profundas modificações na morfometria fluvial da bacia hidrográfica do Rio Ratonés - Florianópolis/SC, em um período de quarenta anos e suas consequências. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 1998. 255p.
- FOSTER, G. R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C. T., JOHNSON, H. P., BRAKENSJENK, D. L. Hydrologic modelling of small watersheds (Eds.). Michigan: ASAE, 1982. p. 296-380.
- FREIRE, E. P. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSIÃO, 7. 2001, Goiânia. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.
- FREITAS, C. G. L. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica. 2000. 238p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2000.
- FUSVERK, R.C. Diagnóstico ambiental e proposta de otimização e planejamento subsidiários ao programa de gerenciamento costeiro integrado da bacia hidrográfica do Rio Ratonés, Ilha de Santa Catarina (Brasil). Tese (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas), Universidade Federal de Santa Catarina. 2002. 173p.
- GANDOLFI, N.; ZUQUETTE, L. V. Cartografia geotécnica. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- GRANDO, A. Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental. UFSC, Florianópolis, 2011.
- GRANT, K., FINLAYSON, A.A. The application of terrain analysis to urban and regional planning. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 3., Madrid, 1978. P.79-91.
- GRAZIANO NETO, F. Questão agrária e ecologia-crítica da moderna agricultura. Editora Brasiliense S.A., São Paulo. 1986. 154p.
- GRECCHI R.C. Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba – SP, com auxílio de geoprocessamento. Escala 1:100.000. 1998. Dissertação

(Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. 132p.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, 1998. p. 17-55.

GUGLIELMO, R. Les grandes métropoles du monde et leur crise, Ed. A. Colin, Paris. 1996.

HIGASHI, R. A. R.; DAVISON DIAS, R.; MACCARINI, M. *On the erosive potential of some weathered soils from southern Brazil*. Soils and Rocks, São Paulo, 2012, p. 219-225.

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. Tese - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 2006. 486 p.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. *The landslide handbook: A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia, EUA. Geological Survey, 2008. 129 p.

INDERBITZEN, A.L. An erosion test for soils. Materials Research & Standards, Philadelphia, v.1, n.7, p.553-554, 1961.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Anuario Estatístico do Brasil – 1997, Rio de Janeiro. <http://www.ibge.gov.br/>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2010. <http://www.ibge.gov.br/>

IDE, D. M. Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana. 2009. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 131-152.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISAS ECONOMICAS APLICADAS (2002). Instrumentos de planejamento e gestão urbana: Porto Alegre.

Volume 6, Série Gestão e uso do solo e disfunções do crescimento urbano. IPEA, Brasília, Brasil, 2002.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Procedimentos Metodológicos para o Mapeamento de Riscos de Escorregamento em Assentamentos Precários no Município de São Paulo, SP. Comunicação Técnica, Nº171036. São Paulo, 2012.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In TEIXEIRA, W. et. Al. (org). Decifrando a terra. São Paulo. Oficina de Textos. Cap. 7, 2000.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, Â.; REGINATTO, G.M.P. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Florianópolis: GEDN, 2004. p. 834-846.

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

LAL, R. Soil Erosion in the Tropics: Principles and management. McGraw-Hill, Inc, 1990. 580p.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (ed.) Soil erosion research methods. Ankeny. Iowa: Soil and Water Conservation Society,. Cap. 7, 1988. P.140-160.

LEÃO, D. Z. (2011). *Análise de textura urbana para mapeamento da precariedade habitacional*. (Thesis). Universidade do Rio Grande do Sul.

LOPES P. M. S. Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental das bacias do Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça - escala 1:50.000. 136p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2000.

MAFRA JR, C. S. Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG. Florianópolis, 2007, 123 pg.

MARQUES, L.S. Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do

Paraná. São Paulo, Tese (Livre Docência em Geociências) – Instituto de Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo. 2001. 86 p.

MAURO, J.R. Carta de susceptibilidade à erosão para a área da bacia do Prosa, Campo Grande, MS, escala 1:15.000. Dissertação de mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambientais. UNESP, Ilha Solteira, SP, 2001. 73p.

MATHEWSON, C.C.; FONT, R.G. Geologic environment: Forgotten aspects in the land use planning process. The Geological Society of America. Engineering Geology case histories, Boulden, v.10. 1974. p.23-28.

MENDONÇA, M.B.; GUERRA, A.T. A Problemática dos Processos Geodinâmicos frente à Ocupação de Encostas. In: Anais of the 2nd Panamerican Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, vol. 2, 1997, p.935-940.

MIRANDA, J. G. de. Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala 1: 100.000. 2005. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MORIWAKI, Y.; MITCHELL, J.K. The role of dispersion in the slaking of intact clay. ASTM Special Technical Publication, Philadelphia, n.623, p.172–190, 1977.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. Longman group limited, Essex, Inglaterra, 298p. 1986.

NASCIMENTO, U., CASTRO, E. Erosão, critérios de seleção de solos. Geotecnia, v.20. 1976.

NISHIYAMA, L. Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. 1995. São Carlos. 95p. Revisão bibliográfica, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor, 1995.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F.: Soil Characterization of Mapping Units for Highway Purposes in Tropical Areas”. - Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld – 1979.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da, BOTELHO, R. G. M.(org.). Erosão e Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicáveis. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 57-99p.

PEJON, O.L. Mapeamento Geotécnico de Piracicaba. Escala 1:100.000: Estudo de Aspectos Metodológicos de Caracterização e de Apresentação dos Atributos. Tese de Doutorado, EESC/USP. São Carlos, 1992.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. Oficina de Textos, São Paulo, 2000. 247p.

PRANDINI, F. L.; FREITAS, C. G. L. de; NAKAZAWA, V. A. A cartografia geotécnica na prevenção e mitigação dos impactos ambientais. Anu. Inst. Geociências, vol.15, p.173-180. 1992.

QUEIROZ, R. C. Geologia e geotécnia básica para engenharia civil. São Carlos: RiMa, 2009. 406p.

RAIMUNDO, H. A.; SANTOS, G. T.; DAVISON DIAS, R. Aspectos Geotécnicos do Contato Granito/Diabásio Associados à Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC. In: GEOSUL – III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Joinville, SC, p. 251 – 263, 2002.

RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES G.A., et al. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agricultural Handbook No. 703, 1997. 404 p.

RODRIGUES, J.E. Estudo de fenômenos erosivos acelerados – Boçorocas. São Carlos/SP, 1982. 162p. Tese de Doutorado em Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ROSNIECEK, A., NAMBA IMAI, H. Mapeamento Geotécnico e Análise de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Rasos da Bacia do Rio Ratones – Aplicação do Modelo *Shalstab*. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SALOMÃO, F. X. de T. & IWASA, O. Y. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. ABGE/IPT – DIGEO. 1995. p.31-57.

SANEJOUND R. La cartographie géotechnique em France. Paris: Ministère de l'Équipement et du Logement. D.A.F.U.; A.R.M.I.N.E.S.; L.C.P.C. 1972. 96p.

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, R. V. A da Instrumental para definição de zonas de amortecimento de Unidade de Conservação: o caso da Estação Ecológica de Carijós-IBAMA. Florianópolis/SC. 2005. 140 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Santa Catarina.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. de A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, 2012. p. 79-97.

SOUZA, M. L. Estudos geológico – geotécnico de feições erosivas voltadas a tomada de procedimentos de decisões quanto a medidas correlativas, mitigadoras e preventivas: aplicação no Município de Umuarama (PR). 2001. Tese. 284p.

SWP: State of World Population da UNFPA - United Nations Population Fund. 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

UNESCO – IEAG. Engineering geological maps. A guide to their preparation. Paris: The Unesco, press, 79p, 1976.

UNCHS - United Nations Centre for Human Settlements. An Urbanizing World: Global Report on Human Settlements, 1996. UN Habitat. Oxford University Press. 1996.

VILAR, O.M.; PRANDI, E.C. *Erosão dos solos*. In: Solos do interior de São Paulo. São Carlos/SP: ABMS / EESC–USP, 1993. Cap.7, p.177–206.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal soil equation using runoff energy factor. In: WILLIAMS, J. R. Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources (ARS-S-40). Washington, D.C.: U.S. GPO, 1975. p.244-252.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions American Geophysical Union, Washington, D.C., 39(2):285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, D.C, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537)

XAVIER S. O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: estudo de caso para pelotas (RS). FURG. 2010.

ZAINE, J. E. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). 2000. 149p. Tese (Doutorado em Geociência e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZANINI, L.F.P.; BRANCO, P.M.; CAMOZZATO, E. & RAMGRAB, G.E. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Florianópolis (FolhaSH.22-Z-D-V) e Lagoa (Folha SH.22-Z-D-VI). CPRM, Brasília, 252p., mapas. Escala 1:100.000. 1997.

ZUQUETTE, L. V. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. 1993. 256p. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1993.

ZUQUETTE, L. V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. Tese - Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987, 3v., 657p.

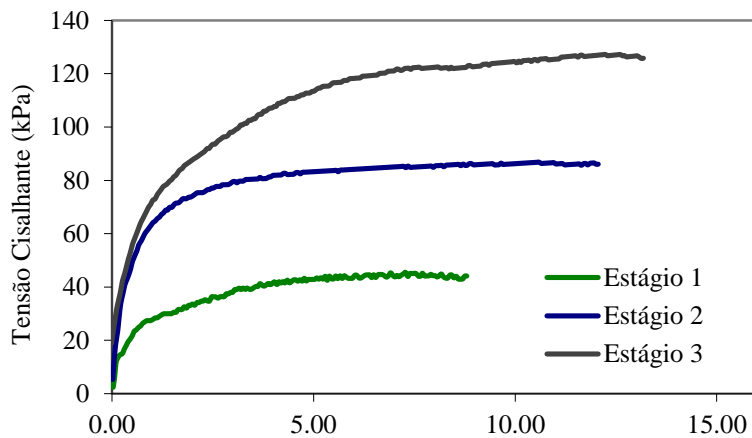
ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. Mapeamento: análise das metodologias e sistemáticas mais utilizadas. In: VII Congresso Latino-Americano de Geologia. Belém – PA, 1988, v1.

ZUQUETTE, L. V. e NAKAZAWA, V. A. Cartas de Geologia de Engenharia. Geologia de Engenharia, São Paulo, 1998, ABGE, p. 282-300.

8 ANEXOS

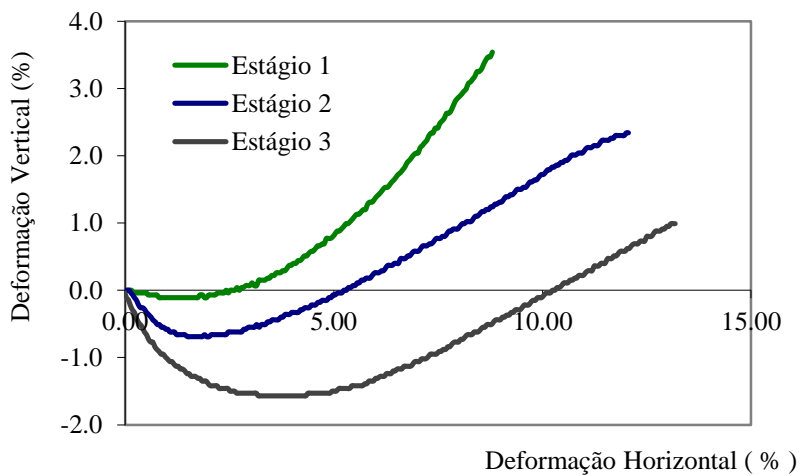
PONTO 1 - ENSAIO NÃO INUNDADO

Figura 71 – Ensaio Cisalhamento do ponto 1 não inundado



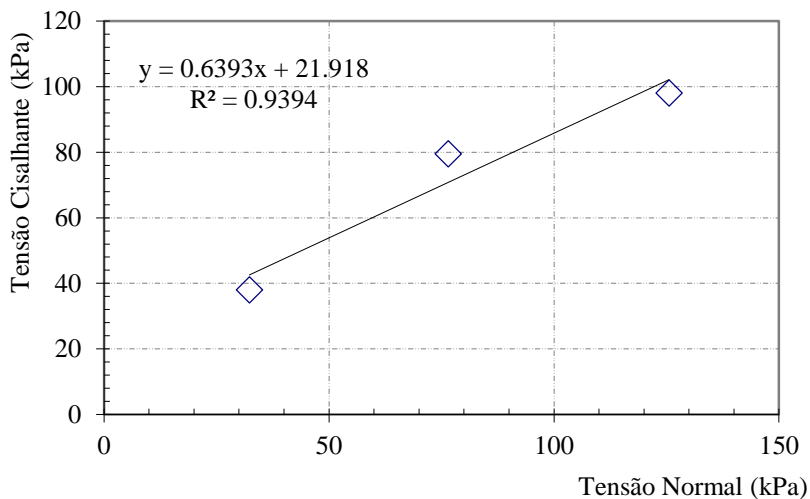
Fonte: O autor (2017)

Figura 72 – Deformação H vs Deformação V do ponto 1 não inundado



Fonte: O autor (2017)

Figura 73 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 1 não inundado



ENSAIO INUNDADO

Figura 74 – Ensaio Cisalhamento do ponto 1 inundado

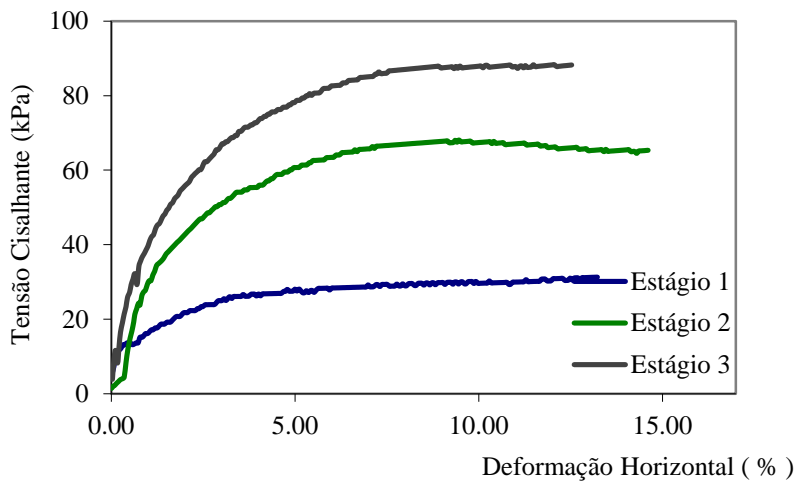


Figura 75 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 1 inundado

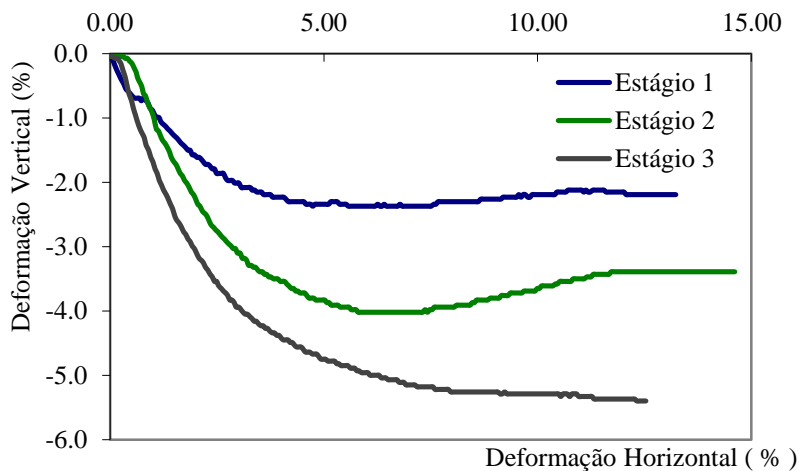
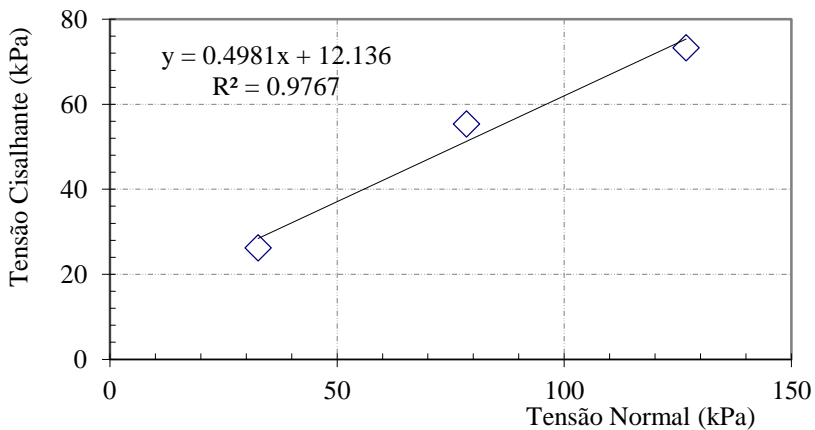


Figura 76 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 1 inundado



PONTO 2 - ENSAIO NÃO INUNDADO

Figura 77 – Ensaio Cisalhamento do ponto 2 não inundado

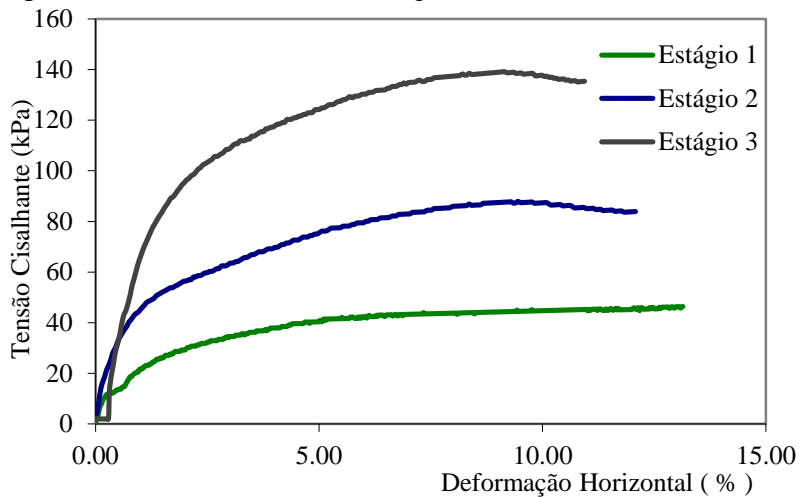


Figura 78 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 2 não inundado

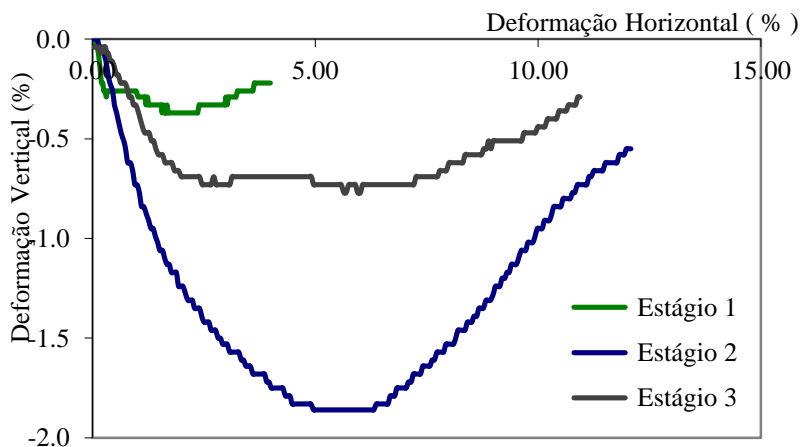
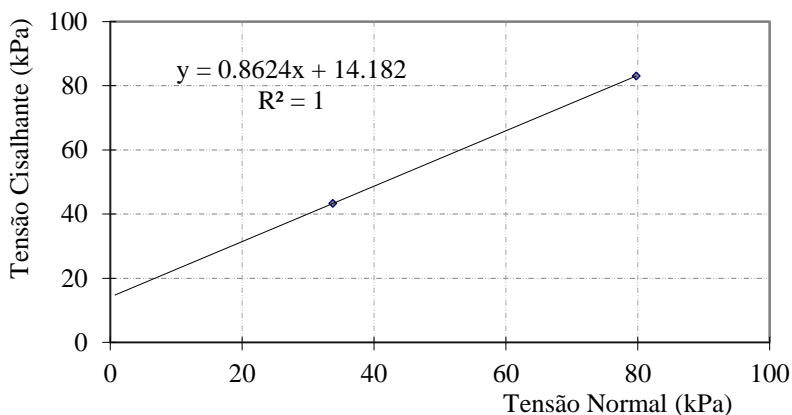


Figura 79 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 2 não inundado



ENSAIO INUNDADO

Figura 80 – Ensaio Cisalhamento do ponto 2 inundado

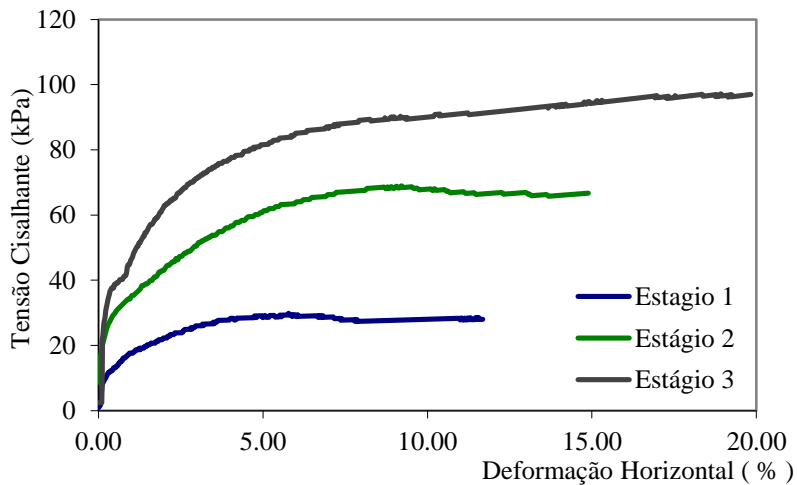


Figura 81 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 2 inundado

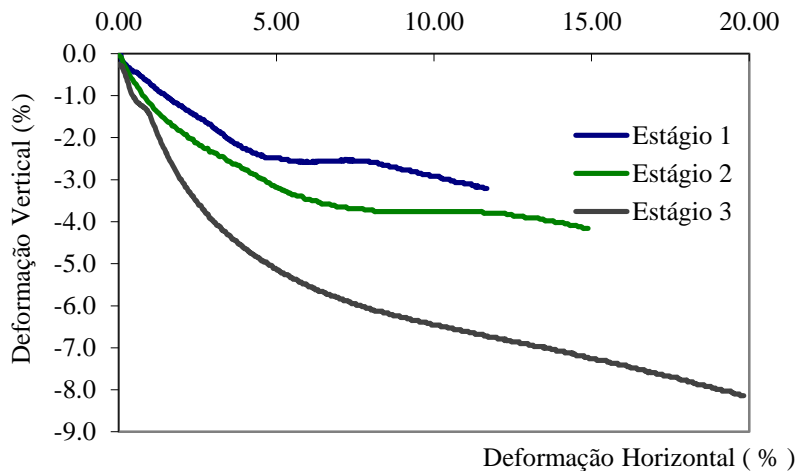
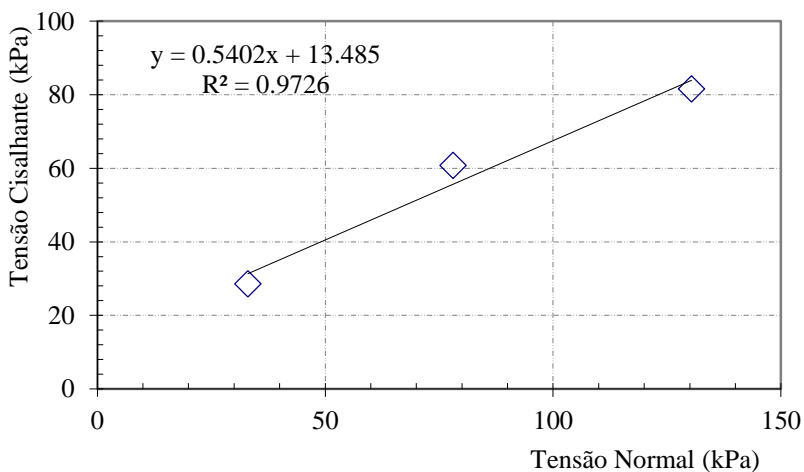


Figura 82 – Tensão cisalhante vs tensão normal do ponto 2 inundado



PONTO 3 - ENSAIO NÃO INUNDADO

Figura 83 – Ensaio Cisalhamento do ponto 3 não inundado

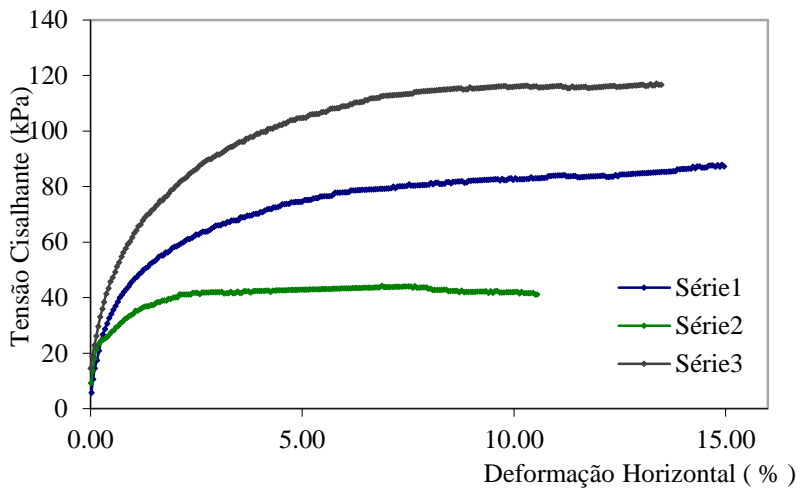


Figura 84 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 3 não inundado

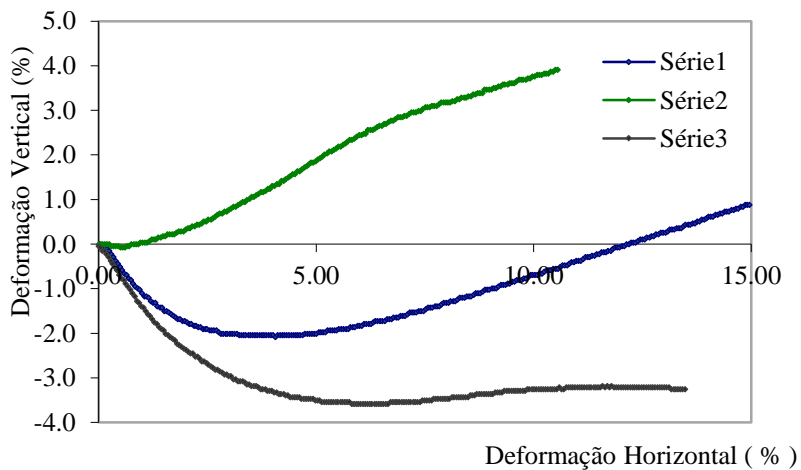
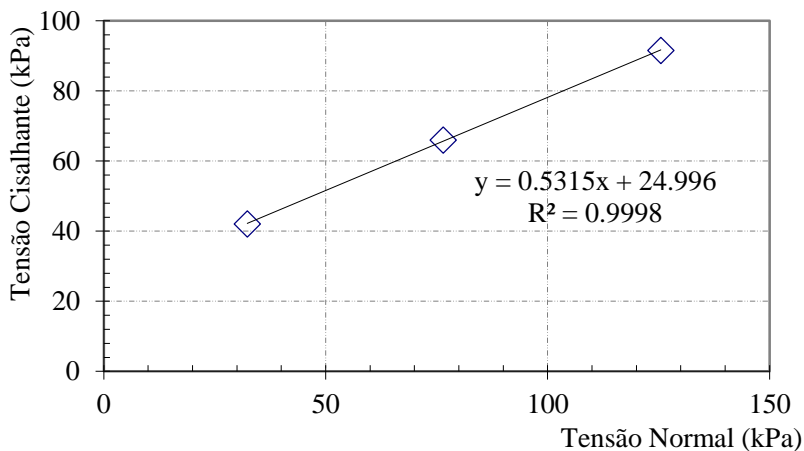


Figura 85 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 3 não inundado



ENSAIO INUNDADO

Figura 86 – Ensaio Cisalhamento do ponto 3 inundado

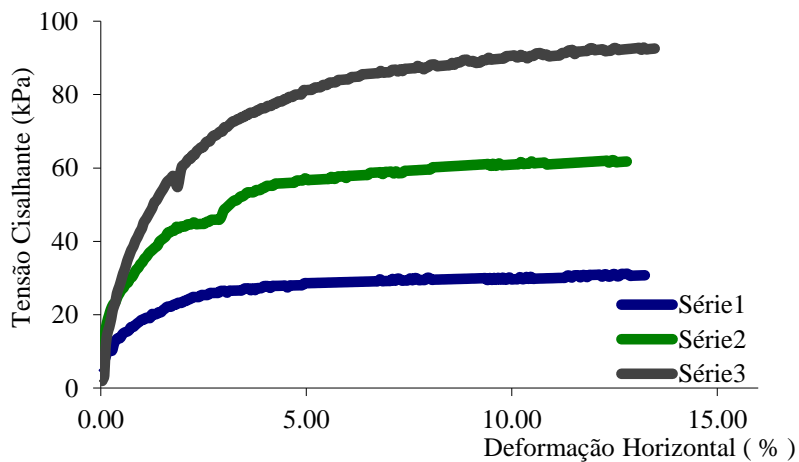


Figura 87 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 3 inundado

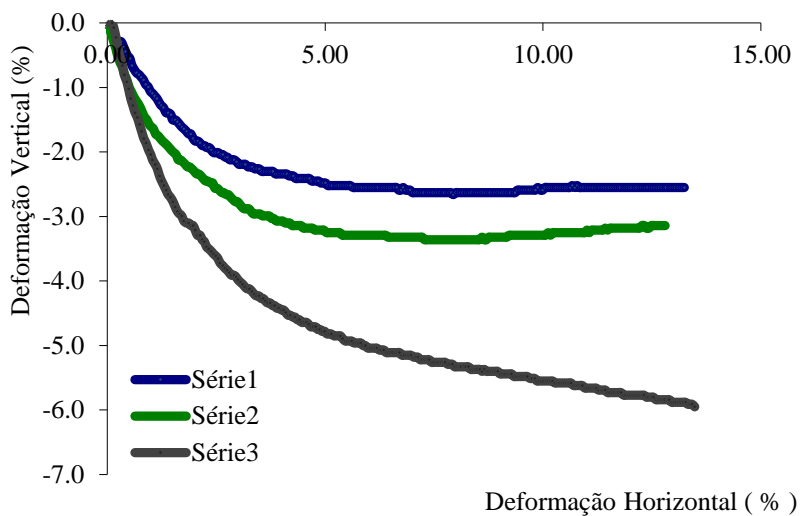
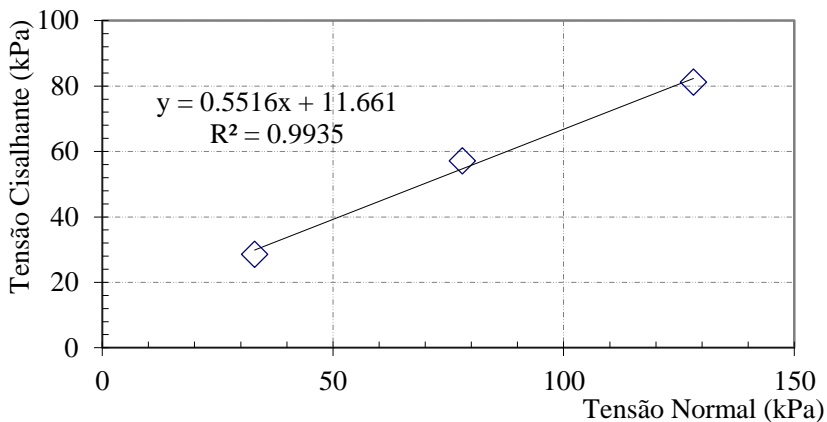


Figura 88 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 3 inundado



PONTO 4 - ENSAIO NÃO INUNDADO

Figura 89 – Ensaio Cisalhamento do ponto 4 não inundado

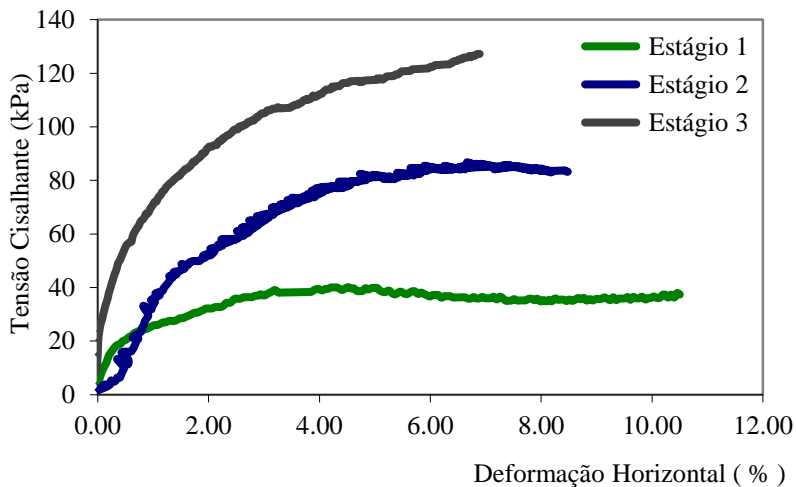


Figura 90 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 4 inundado

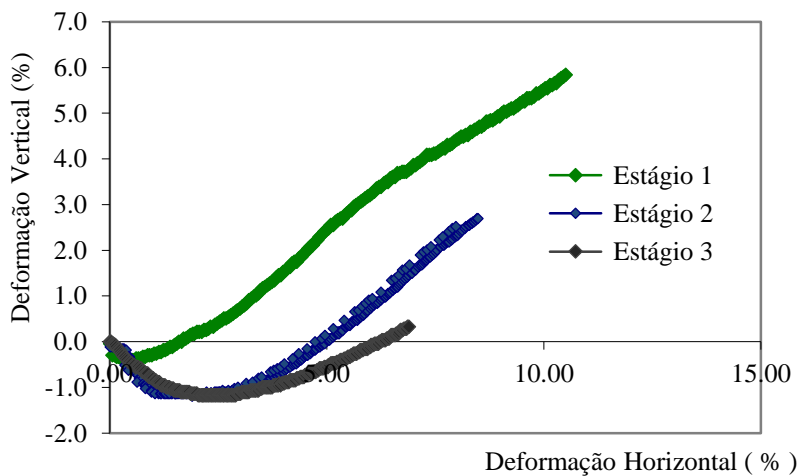
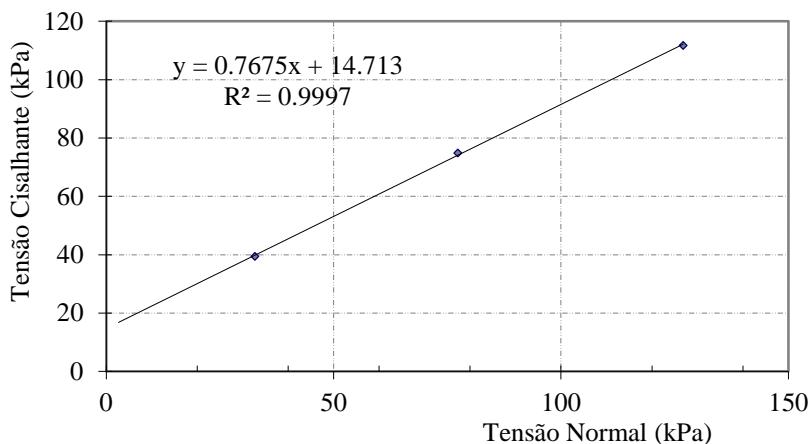


Figura 91 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 4 não inundado



ENSAIO INUNDADO

Figura 92 – Ensaio Cisalhamento do ponto 4 inundado

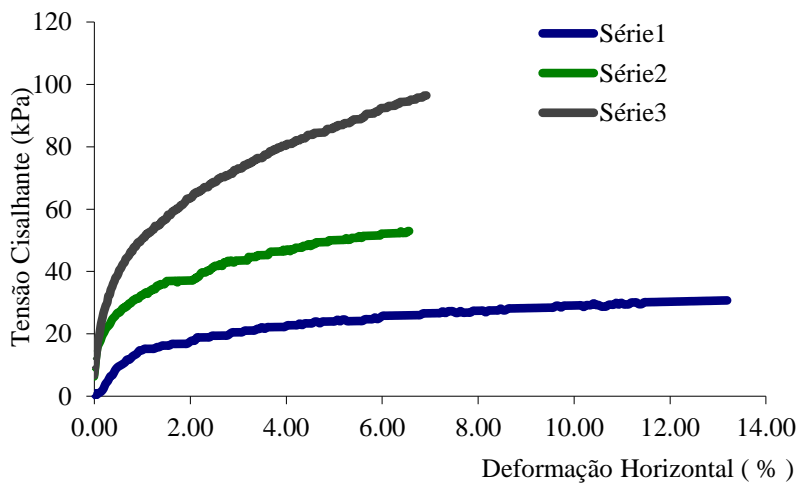


Figura 93 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 4 inundado

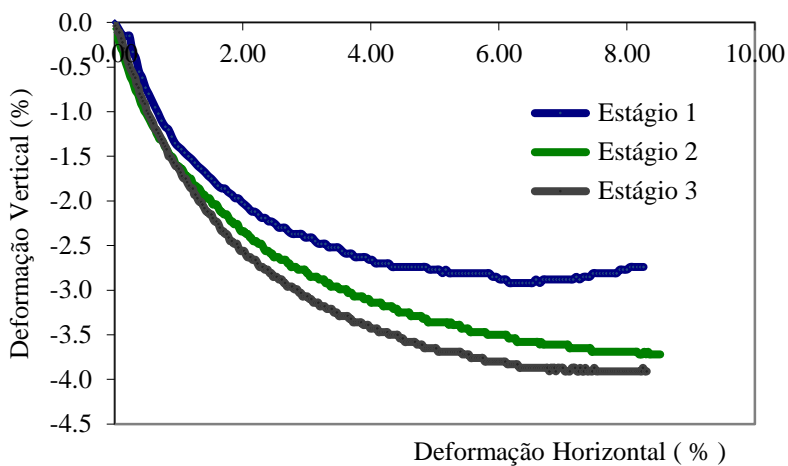
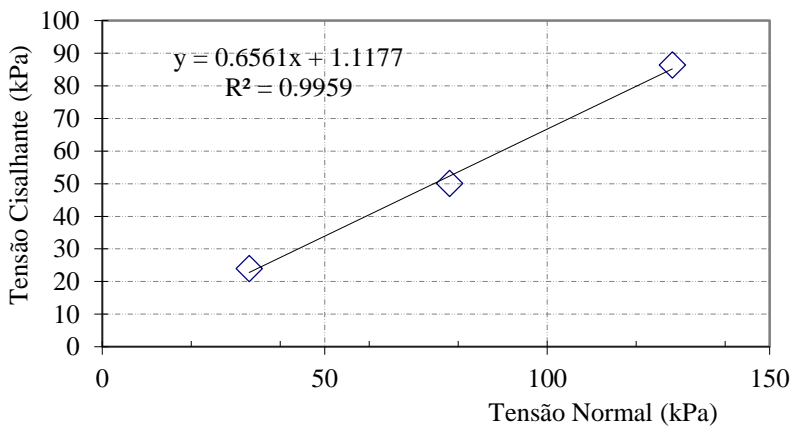


Figura 94 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 4 inundado



PONTO 5 - ENSAIO NÃO INUNDADO

Figura 95 – Ensaio Cisalhamento do ponto 5 não inundado

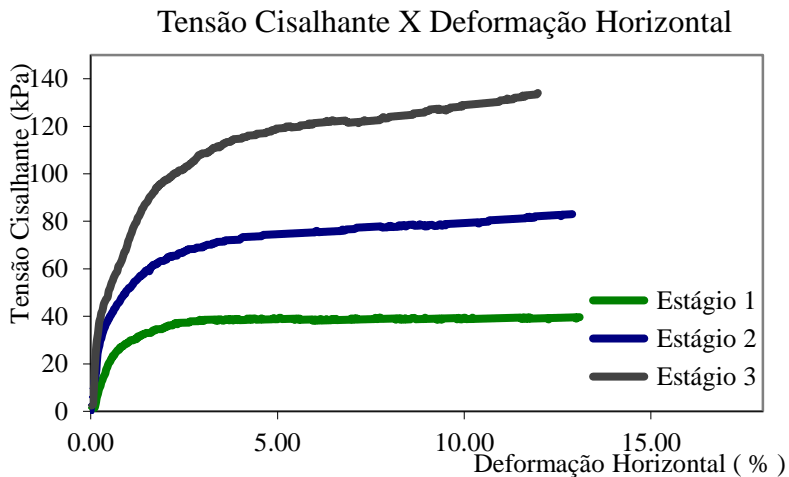


Figura 96 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 5 não inundado

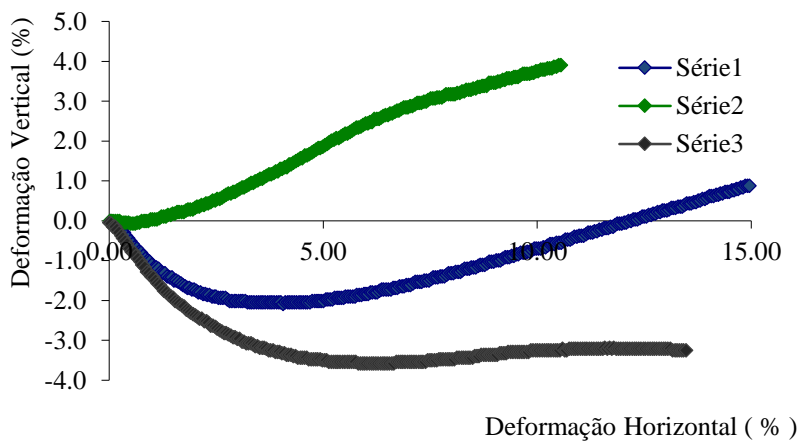
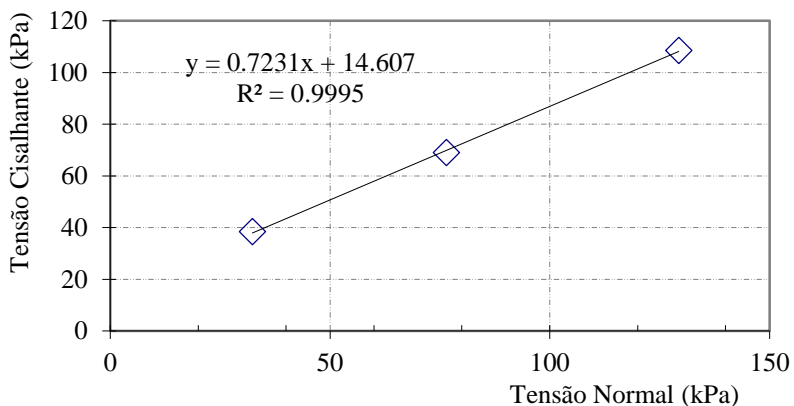


Figura 97 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 5 não inundado



ENSAIO INUNDADO

Figura 98 – Ensaio Cisalhamento do ponto 5 inundado

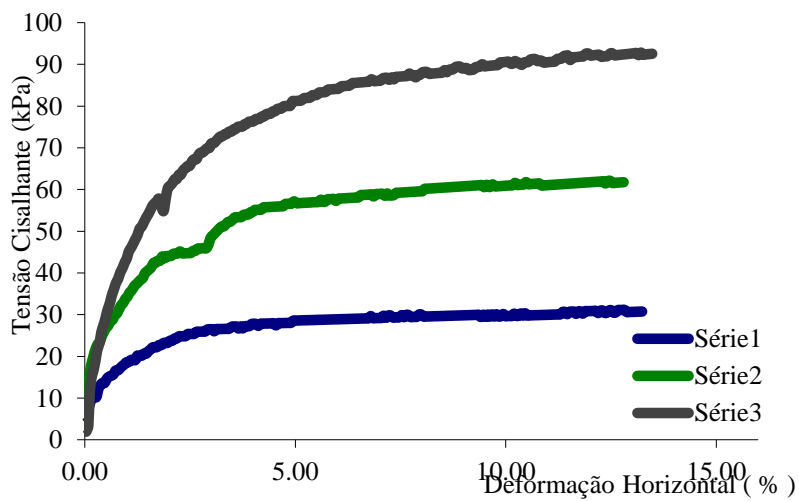


Figura 99 – DeformaçãoH vs DeformaçãoV do ponto 5 inundado

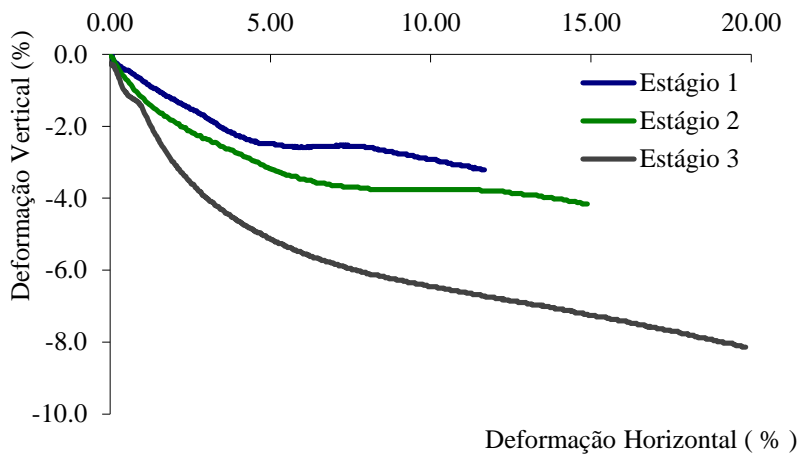
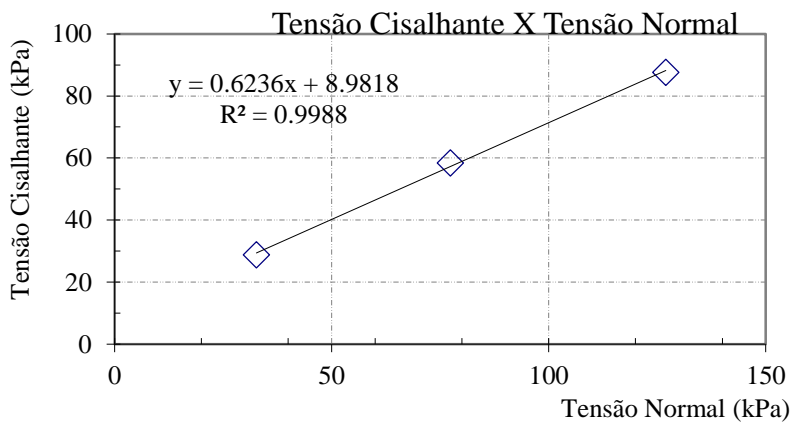


Figura 100 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 5 inundado



PONTO 6 - ENSAIO NÃO INUNDADO

Figura 101 – Tensão cisalhamento vs Deformação H do ponto 6 não inundado

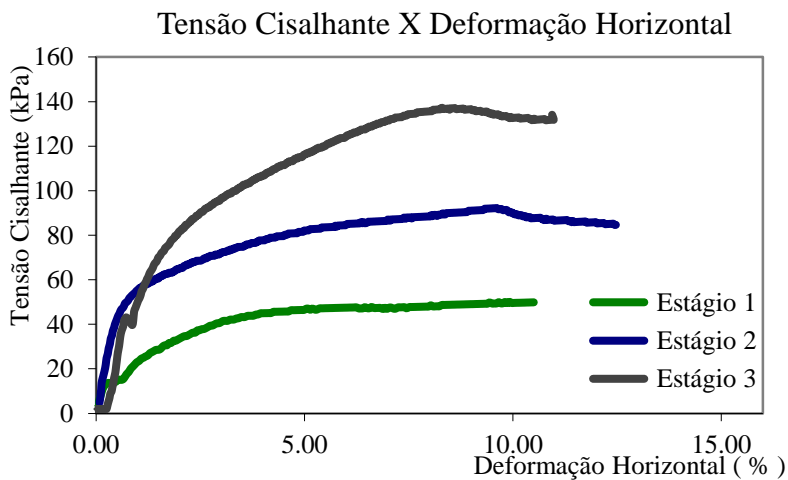
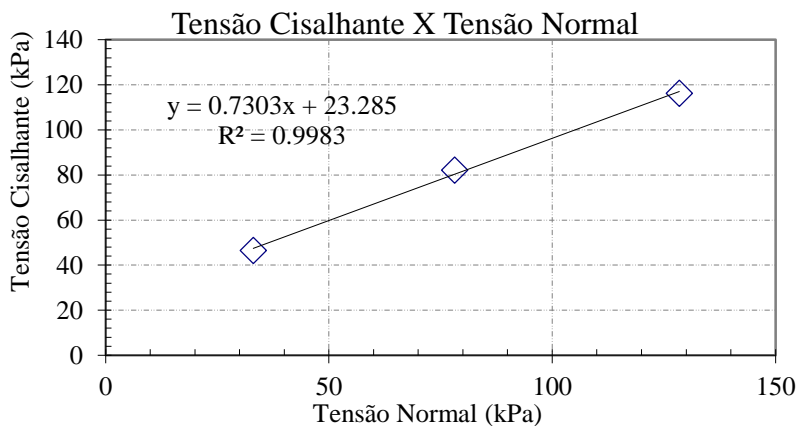


Figura 102 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 6 não inundado



ENSAIO INUNDADO

Figura 103 – Tensão cisalhamento vs Deformação H do ponto 6 inundado

Tensão Cisalhante X Deformação Horizontal

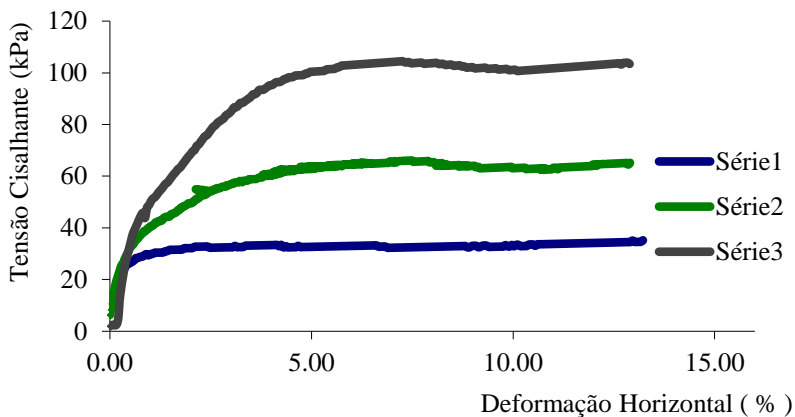


Figura 104 – Tensão cisalhamento vs tensão normal do ponto 6 inundado

Tensão Cisalhante X Tensão Normal

