



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MAPA DE RISCO DE EROSÃO E ESCORREGAMENTO
DAS ENCOSTAS COM OCUPAÇÕES DESORDENADAS NO
MUNICÍPIO DE CAMARAGIBE-PE**

**AUTORA: ANA PATRICIA NUNES BANDEIRA
ORIENTADOR: ROBERTO QUENTAL COUTINHO
CO-ORIENTADORA: MARGARETH MASCARENHAS ALHEIROS**

RECIFE, AGOSTO DE 2003

**MAPA DE RISCO DE EROÇÃO E ESCORREGAMENTO DAS
ENCOSTAS COM OCUPAÇÕES DESORDENADAS NO
MUNICÍPIO DE CAMARAGIBE-PE**

ANA PATRICIA NUNES BANDEIRA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DO
MESTRADO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL

APROVADA POR:

Roberto Quental Coutinho, D.Sc.
(Orientador)

Margareth Mascarenhas Alheiros, D.Sc.
(Co-orientadora)

Jaime Azevedo Gusmão Filho, Professor Titular

Marcus Peigas Pacheco, Ph.D.

RECIFE, PE – BRASIL
AGOSTO, 2003

B214m *Bandeira, Ana Patrícia Nunes .*

Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe -PE / Ana Patrícia Nunes Bandeira. – Recife: O Autor, 2003.
xxiii, 209 folhas : il., tab., fig. fotos e símbolos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Engenharia Civil, 2003.

Inclui bibliografia.

1.Mapeamento de risco . 2 . Erosão e escorregamento - encostas.
3. Cartografia geotécnica. 4. Mecânica dos solos (Engenharia civil)l. Título.

UFPE

624

CDD (21 .ed)

BCTG/2004-17

Dedicatória:

A meus pais, João N. Ventura e Maria José S. Ventura, pelos seus imensos esforços de graduar seus três filhos, cuja graduação é pré-requisito desta pós-graduação; a meus irmãos João Alberto S. Nunes e Paula Hemília S. Nunes pelo incentivo e valorização deste trabalho; a meu esposo Adriel Espíndola B. Silva pela sua compreensão e colaboração; e ao fruto do meu ventre, em que dedicarei o restante dos dias de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua graça, misericórdia e amor.

Ao professor Roberto Quental Coutinho, pela sua orientação desde de minha iniciação científica, iniciada em agosto de 1998.

À professora Margareth Mascarenhas Alheiros pela orientação nesta dissertação da parte da Geologia Aplicada.

À Prefeitura Municipal de Camaragibe, pelo convênio firmado dando apoio financeiro e logístico, sem os quais este trabalho não seria possível.

Aos técnicos da Prefeitura de Camaragibe, em especial as Eng^{as}. Maria Auxiliadora e Wânia Santiago.

Aos colegas de mestrado, pela amizade, contribuições e incentivo em especial os amigos João Barbosa Souza Neto, Everaldo Paulo da Silva, Joaquim Teodoro Romão de Oliveira, Kalinny Lafayette e Marília Mary da Silva.

Aos bolsistas de iniciação científica pela colaboração, em especial a Alan e Izabela.

Aos técnicos do Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE pela contribuição neste trabalho, especialmente ao técnico Francisco Carlos Moura.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro recebido durante o período de vigência da bolsa, importante para o desenvolvimento desta dissertação.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

O crescimento das cidades associado à falta de política habitacional tem provocado graves problemas sociais como a ocupação desordenada nas encostas e nas áreas alagadas. Este trabalho tem como objetivo principal o estudo das características físicas e ambientais do município de Camaragibe, para avaliação do potencial de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações precárias. Tal estudo faz parte de um convênio entre a Área de Geotecnia, Deptº de Engenharia Civil da UFPE, e a Prefeitura Municipal de Camaragibe, visando auxiliar no Plano Diretor da cidade e contribuir para o planejamento urbano. Camaragibe está localizada na Região Metropolitana do Recife com área de 52,9 km² e população de 128.702 habitantes, com clima tropical chuvoso do tipo As' pela classificação de Köppen. Os morros correspondem a 80% da área do município, onde nas ocupações desordenadas nas encostas é freqüente a ocorrência de escorregamentos e processos de erosão no período chuvoso. Geologicamente a cidade apresenta sedimentos da Formação Barreiras, rochas do Embasamento Cristalino recobertas pelo seu solo residual e os depósitos aluvionais. Foi avaliada a situação de risco de 70 setores de encostas, correspondendo a uma área de 293 ha. Para a avaliação do potencial de risco utilizou-se a metodologia qualitativa de GUSMÃO FILHO et al. (1992), adaptada às características das áreas e às recomendações do Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários, do Ministério das Cidades. O município apresentou cerca de 62 ha de área de risco alto a muito alto (21% dos setores de encostas avaliados), 116 ha de área com risco médio (40%) e 115 ha de área com risco baixo (39%). Nos setores constituídos por sedimentos da Formação Barreiras verificaram-se que o fator predominante de risco é o geológico sendo fortemente induzido pelos fatores topográfico e ambiental, podendo desse modo receber tratamento alternativo. Nos setores constituídos pelo solo residual, o fator antrópico, expresso pelo fator ambiental é o mais importante para a deflagração dos escorregamentos, sendo necessário tratá-lo nesses setores, com obras de macro e microdrenagens, esgotamento sanitário e proteção superficial entre outros. Para dar subsídios a projetos de engenharia nas intervenções, analisou-se o material de três áreas piloto em sedimentos da Formação Barreiras e no solo residual maduro granítico, onde foram realizados ensaios básicos de caracterização geotécnica. Os sedimentos da Formação Barreiras de leque proximal apresentaram camadas predominantemente de silte argiloso e arenoso com alta (MH) e baixa plasticidades (ML) sendo susceptível a

erosão. A Formação Barreiras de canal fluvial apresentou camadas de textura grossa classificada como areia argilosa (SC) e areia siltosa (SM). O solo residual maduro é constituído predominantemente de uma argila de baixa compressibilidade (CL) apresentando camadas intercaladas de areia argilosa (SC). Resultados de ensaios de cisalhamento direto indicaram maiores valores de ϕ' para o solo residual maduro ($\phi' = 37^\circ$), na camada classificada de CL. Para Formação Barreiras, ϕ' foi de 29° , na camada classificada de ML. Os parâmetros de caracterização geotécnica encontrados podem ser utilizados como subsídios técnicos para intervenções nas áreas.

ABSTRACT

The growth of the cities associated to the lack of residential politics has provoked serious social problems as the disorderly occupation in the hillsides and the flooded areas. This work has as objective main the study of the physical and ambient characteristics of the city of Camaragibe, for evaluation of the potential of risk of erosion and landslides of the hill with precarious occupations. Such study it is part of an accord enters the Geotechnical Group, Civil Engineering Department of the UFPE, and local government of Camaragibe, aiming at to assist in the Managing Plan of the city and to contribute for the urban planning. Camaragibe-city is in the Metropolitan Area of Recife, with area of 52,9 km² and 128.702 inhabitants. The climate is of the type As', characterized by W. Köppen like rainy tropical climate with dry summer and rainy season. The hillsides correspond 80% of the area of the city, where in the disorderly occupations the occurrence of landslide and erosion processes in the rainy period it is frequent. Geological aspects of the city present Barreiras Formation sediments, rocks of Crystalline Basement covered by residual soil and alluvial deposits. In the city it was analyzed a total of 70 hillsides sectors, corresponding to an area of 293 ha. For the evaluation of the risk potential it was used qualitative methodology by GUSMÃO FILHO et al. (1992), adapted to the characteristics areas and government technical orientations of the Program of Prevention and Eradication of Risks in Precarious Establishments, of the Ministry of the Cities. The city presented about 62 ha of area of high risk the very high (21% of the evaluated hillsides sectors), 116 ha of area of medium risk (40%) and 115 ha of area of low risk (39%). In the hillsides sectors consisting of Barreiras Formation sediments it were verified the predominant of the geological factor, being strong induced for the topographical and environmental factors, being able in this way to receive alternative treatment. In the hillsides sectors consisting of the residual soil, the human factor express for the environmental factor is most important for deflagration of the landslides, being necessary treats it in these sectors, with workmanships of macro and microdrainings, sanitary exhaustion superficial protection among others. To give to subsidies the projects of engineering, the material of three areas pilot was analyzed in Barreiras Formation sediments and the mature residual soil, where basic geotechnical characterization had been carried through. The Barreiras Formation sediments of proximal fan had presented layers predominantly of clayey silt soil and sandy silt soil with high (MH) and low plasticity (ML) having been

susceptible the erosion. The Barreiras Formation of fluvial channel presented layers of classified thick texture as clayey sand soil (SC) and it silty sand soil (SM). The mature residual soil is constituted predominantly of clay of low compressibility (CL) presenting intercalated layers of clayey sand soil (SC). Results of direct shear tests had indicated greater values of ϕ' for the mature residual soil ($\phi' = 37^\circ$), in layer CL, for the Barreiras Formation ϕ' of 29° , in layer ML. The parameters of geotechnical characterization found in this study point out to the need for a city planning to provide continual political action in order that risk be reduce and an integrated technical intervention (treatment) to prevent erosion and landslide risk.

ÍNDICE

<i>CAPÍTULO I</i> _____	<i>1</i>
1.1 Introdução _____	1
1.2 Objetivos _____	4
1.3 Estrutura da Dissertação _____	5
 <i>CAPÍTULO II - MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA</i> _____	 <i>6</i>
2.1 Movimentos Gravitacionais de Massa _____	6
2.1.1 Fatores que Atuam na Deflagração dos Escorregamentos _____	10
2.1.1.1 A Chuva e os Escorregamentos _____	12
A) Histórico dos Escorregamentos de Encostas na RMR _____	12
B) A Chuva como Fator Deflagrador dos Escorregamentos _____	14
C) Correlação entre Chuva e Escorregamentos _____	19
2.1.1.2 A Cobertura Vegetal na Estabilidade das Encostas _____	29
2.1.1.3 Fatores Antrópicos _____	30
2.2 Processos de Transporte de Massa: Erosão _____	31
2.2.1 Erosão Hídrica Pluvial _____	32
2.2.2 Fatores Condicionantes da Erosão _____	35
2.2.2.1 Fatores Naturais _____	35
2.2.2.2 Fatores Antrópicos _____	41
 <i>CAPÍTULO III - RISCO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO DE EROSÃO E ESCORREGAMENTO</i> _____	 <i>42</i>
3.1 Conceitos e Classificação de Risco _____	42
3.2 Cartografia para Análise de Risco _____	46
3.3 Metodologias para Elaboração dos Mapas de Risco Geológicos/Geotécnicos _____	50
3.3.1 Metodologia de Gusmão Filho et al. (1992) para Elaboração de Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento _____	55
3.3.2 Metodologia Adotada no Mapeamento de Risco do Município de São Paulo (IPE e UNESP) _____	59
3.4 A Ocupação nas Encostas x Risco _____	63
3.5 Riscos de Erosão e Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife _____	68

3.6 Intervenções para Tratamento das Áreas de Risco	74
3.6.1 Intervenções para o Tratamento do Risco Ambiental	76
3.6.1.1 Microdrenagem e Macrodrenagem	76
3.6.1.2 Esgotamento Sanitário	79
3.6.1.3 Proteção Superficial	79
3.6.1.4 Limpeza Urbana: Calhas Desobstruídas, Coleta do Lixo e Educação Ambiental	85
3.6.1.5 Manutenção das Obras	86
3.6.2 Intervenções para Tratamento Topográfico	87
3.6.2.1 Obras de Retaludamento	87
3.6.2.2 Obras de Contenção	88
A) Muros de Gabiões	89
B) Muros de solo-cimento ensacado	90
C) Muros de solo-pneus	91
3.6.3 Drenagem Subterrânea para Tratamento de Risco Geológico	93
3.6.4 Intervenções para Tratamento da Erosão:O Caso do Horto Dois Irmãos	96
 <i>CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</i>	 99
4.1 Localização	99
4.2 Características Territoriais	99
4.3 Modelo de Ocupação das Encostas de Camaragibe	103
4.4 Aspectos Fisiográficos	105
4.4.1 Clima	105
4.4.2. Vegetação	108
4.4.3. Relevo	108
4.4.4. Solo	111
4.4.5. Hidrografia	112
4.5 Características Geológicas	114
4.5.1 Embasamento Cristalino (Com Solo Residual)	114
4.5.2 Formação Barreiras	119
4.5.3 Depósitos Aluvionares	121
4.6 Caracterização Geotécnica dos Materiais das Encostas	121
4.6.1 Introdução	121
4.6.2 Locais de Estudo	122

4.6.3	Investigação de Campo	124
4.6.3.1	Sondagens a Trado para Simples Reconhecimento	124
4.6.3.2	Coletas das Amostras Indeformadas e Deformadas	131
4.6.4	Apresentação dos Resultados dos Ensaios de Laboratório	132
4.6.4.1	Ensaio de Caracterização	132
	A) Análise Granulométrica e Consistência	137
	B) Ensaio de Dispersão SCS	142
	C) Perfil de Umidade	145
4.6.4.2	Resistência ao Cisalhamento	147
<i>CAPÍTULO V - ANÁLISE DO POTENCIAL DE RISCO EM CAMARAGIBE</i>		157
5.1	Etapas de Trabalho	157
5.1.1	Principais Etapas de Trabalho	157
5.2	Definição da Unidade de Estudo	161
5.3	Metodologia Adotada	164
<i>CAPÍTULO VI - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</i>		169
6.1	Introdução	169
6.2	Classificação do Grau de Risco	170
6.3	Comparação Relativa Entre os Fatores de Risco	187
<i>CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS</i>		192
7.1	Conclusões	192
7.2	Sugestões para Novas Pesquisas	194
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>		195
	Bibliografia Consultada	195
	Bibliografia Apenas Citadas	202

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura I.1: Localização da Área de Estudo

CAPÍTULO II – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA

Figura II.1: Diagrama dos Processos dos Fatores de Causas Preparatórias e de Causas Acionantes dos Deslizamentos de Encostas

Figura II.2: Modelo de Análise de Estabilidade de uma Encosta

Figura II.3: Relação entre Chuva e Escorregamento em Hong Kong (LUMB, 1975)

Figura II.4: Correlação entre Chuva Máxima Horária e Escorregamentos em Solos Residuais, durante 1963 à 1982 em Hong Kong (BRAND, 1985)

Figura II.5: Ocorrências Médias de deslizamentos por Chuva de 24 horas em Hong Kong (BRAND, 1985)

Figura II.6: Carta de GUIDICINI e IWASA (1977) Relativa às Encostas do Complexo Cristalino-Metamórfico da Serra Mar – SP

Figura II.7: Gráfico da Envoltória de Escorregamentos Induzidos na Serra do Mar –SP (TATIZANA et al., 1987)

Figura II.8: Correlação entre a Intensidade da Chuva e a Chuva Acumulada para as Encostas da Formação Barreiras da Cidade do Recife-PE (GUSMÃO FILHO, 1997)

Figura II.9: Variação Esquemática da Estabilidade de uma Encosta ao longo do tempo com e sem Vegetação Arbórea (WOLLE, 1986)

Figura II.10: Esquema do Processo de Erosão Hídrica (LLOPIS TRILLO-1999)

Figura II.11: Esquema do Processo de Erosão Induzida por Águas Servidas em Zona Urbana (DAEE, 1990)

Figura II.12: Classificação Espacial das Encostas Quanto ao Tipo de Perfil e de Processos Superficiais Operantes (TROEH, 1965 em BLOOM, 1970. A partir de MOREIRA & PIRES NETO, 1998)

CAPÍTULO III – RISCO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO DE EROSÃO E ESCORREGAMENTO

Figura III.1: Diagrama de Classificação dos Riscos Ambientais - CERRI e AMARAL (1998).

Figura III.2: Ângulo de Sombra (β) (WONG et al., 1997, a partir de PACHECO, 2001)

Figura III.3: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Ambiental em Jabotão dos Guararapes (GUSMÃO FILHO et al., 1992)

Figura III.4: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Ambiental em Jabotão dos Guararapes (GUSMÃO FILHO et al., 1992)

Figura III.5: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Geológico em Jabotão dos Guararapes (GUSMÃO FILHO et al., 1992)

Figura III.6: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Ambiental do Sítio Histórico de Olinda (GUSMÃO FILHO et al., 1994b)

Figura III.7: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Ambiental do Sítio Histórico de Olinda (GUSMÃO FILHO et al., 1994b)

Figura III.8: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Geológico do Sítio Histórico de Olinda (GUSMÃO FILHO et al., 1994b)

Figura III.9: Mapa de Risco ao Patrimônio Natural e Criado do Sítio Histórico de Olinda -1994 (GUSMÃO FILHO et al., 1994b)

Figura III.10: Modelo para Tratamento Integrado de Encostas (GUSMÃO FILHO et al., 1993a)

Figura III.11: Muro em Solo-pneus (GEO-RIO, 2000)

Figura III.12: Dreno Executado com Tubos Plásticos (GEO-RIO, 2000)

Figura III.13: Seção Transversal com as Propostas de Recomposição da Encosta no Horto Dois Irmãos (COUTINHO e OLIVEIRA 1998)

CAPÍTULO IV – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Figura IV.1: Mapa de Regionalização (Camaragibe-PE)

Figura IV.2: Classes de Densidade Demográfica em Camaragibe-PE

Figura IV.3: Médias Pluviométricas Mensais Históricas (posto de São Lourenço)

Figura IV.4: Precipitações Máximas e Médias Mensais (Camaragibe - de 1997 a 2003)

Figura IV.5: Precipitações Mensais de 2003 em Camaragibe.

Figura IV.6: Zoneamento Espacial de Camaragibe

Figura IV.7: Mapa de Unidades de Relevo - Camaragibe

Figura IV.8 Rede de Drenagem de Camaragibe

Figura IV.9: Mapa de Unidades Geológicas.

Figura IV.10: Perfil Típico de Solo Residual de Rocha Granítica (VARGAS, 1981)

Figura IV.11: Perfil de Sondagem de Solo Residual do Município de Camaragibe.

Figura IV.12: Localização das Áreas dos Estudos Geotécnicos.

Figura IV.13: Localização dos Furos de Sondagens Realizados da Área de estudo 1

Figura IV.14: Perfil do Solo e Caracterização – S1- Córrego da Andorinha

Figura IV.15: Perfil típico do Solo da Formação Barreiras da Fácies de Leque Aluvial
Proximal do Córrego da Andorinha – Furo de Sondagem S2

Figura IV.16: Perfil do Solo e Caracterização do Furo S3 - Área de Estudo 1 - Córrego
da Andorinha

Figura IV.17: Localização dos Furos de Sondagens das Áreas de Estudo 2 e 3.

Figura IV.18: Perfil do Solo e Caracterização do furo S1 - Área de Estudo 2 - Alto de
Santo Antônio

Figura IV.19: Perfil do Solo e Caracterização do furo S2 - Área de Estudo 2 - Alto de
Santo Antônio

Figura IV.20: Perfil do Solo e Caracterização - Área de Estudo 3 – Córrego do Desastre

Figura IV.21: Curvas Granulométricas Furo de Sondagem S1 da Área de Estudo 1
(Formação Barreiras: de 0-2,0m / Solo Residual: de 2,0-5,0m)

- Figura IV.22: Curvas Granulométricas Furo de Sondagem S2 da Área de Estudo 1 (Formação Barreiras de Leque Proximal)
- Figura IV.23: Curvas Granulométricas Furo de Sondagem S3 da Área de Estudo 1 (Formação Barreiras de Leque Proximal)
- Figura IV.24: Curvas Granulométricas Furo de Sondagem S1 (Solo Residual)
- Figura IV.25: Curvas Granulométricas do Furo de Sondagem S2 (Solo Residual)
- Figura IV.26: Curvas Granulométricas da Área de Estudo 3 (Córrego do Desastre)
- Figura IV.27: Seção Transversal entre as Sondagens S1 e S3 (Área de Estudo 1 – Córrego da Andorinha)
- Figura IV.28: Seção Transversal entre as Sondagens S2 e S3 (Área de Estudo 1 – Córrego da Andorinha)
- Figura IV.29: Seção Transversal entre as Sondagens S1 e S2 (Área de Estudo 2 –Alto de Santo Antônio)
- Figura IV.30: Curvas Granulométricas em Amostras Ensaçadas com e sem o uso de Defloculante – S2 - Área de estudo 2 (Alto de Santo Antônio)
- Figura IV.31: Perfil de Umidade das Três Áreas de Estudo
- Figura IV.32: Resultados de Cisalhamento Direto (Sucção 0 – Ensaio inundado) Córrego da Andorinha (Formação Barreiras – solo silte arenoso)
- Figura IV.33: Resultados de Cisalhamento Direto (Sucção 0 – Ensaio inundado) - Alto de Santo Antônio (Solo Residual - silte argiloso)
- Figura IV.34: Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto – Área de Estudo 1 – Córrego da Andorinha (Formação Barreiras)
- Figura IV.35: Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto – Área de Estudo 2 – Alto de Santo Antônio (Solo residual)

CAPÍTULO V – ANÁLISE DO POTENCIAL DE RISCO EM CAMARAGIBE

Figura V.1: Fluxograma com as Principais Etapas de Atividade para Avaliação do Risco

Figura V.2: Divisão das Micro-Bacias de Drenagem de Camaragibe

Figura V.3: Exemplo de Setor Homogêneo de Ocupação em Camaragibe

Figura V.4: Ilustração para a Divisão da Faixa do Grau de Risco

CAPÍTULO VI – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura VI.1: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Ocupações Desordenadas das Encostas de Camaragibe.

Figura VI.1a: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 1.

Figura VI.1b: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 2

Figura VI.1c: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 3

Figura VI.1d: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 4

Figura VI.1e: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 5

Figura VI.2: Setor de Encosta com Grau de Risco Baixo (1)

Figura VI.3: Setor de Encosta com Grau de Risco Médio (2)

Figura VI.4: Setor de Encosta com Grau de Risco Alto (3)

Figura VI.5: Setor de Encosta com Grau de Risco Muito Alto (4)

Figura VI.6: Delimitação dos Setores de Encostas na Foto Aérea – (Parte da Região 4)

Figura VI.7: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Ambiental em Relação a Litologia

Figura VI.8: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Ambiental em Relação a Litologia

Figura VI.9: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Topográfico em Relação a Litologia

Figura VI.10: Influência Relativa dos Fatores Geológicos e Ambientais com o Grau de Risco Final

Figura VI.11: Influência Relativa dos Fatores Ambientais e Topográficos com o Grau de Risco Final

Figura VI.12: Influência Relativa dos Fatores Geológicos e Topográficos com o Grau de Risco Final

LISTA DE TABELAS**CAPÍTULO II – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA**

Tabela II.1: Classificação dos Movimentos de Massa - VARNES (1978), a partir de CRUDEN e VARNES (1996).

Tabela II.2: Características dos Tipos de Movimento - VARNES (1978), a partir de CRUDEN e VARNES (1996).

Tabela II.3: Classificação dos Movimentos em Função da Velocidade - (International Union of Geological Sciences Working Group on Landslides, 1995)

Tabela II.4: Características dos Principais Grupos de Processos de Instabilização - AUGUSTO FILHO (1992).

Tabela II.5: Classes de Causas de Deslizamentos de Encostas - CRUDEN e VARNES (1996).

Tabela II.6: Fatores Deflagradores dos Movimentos de Massa - VARNES (1978), a partir de AUGUSTO FILHO (1994).

Tabela II.7: Histórico dos Acidentes Ocorridos na RMR (1984-2003)

Tabela II.8: Categorias de Risco Associadas a Precipitação Pluviométrica (BRAND et al., 1984, a partir de PEDROSA, 1994)

Tabela II.9: Suscetibilidade à Erosão de Acordo com o Tipo de Solo (LOPPIS TRILHO, 1999)

CAPÍTULO III – RISCO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO DE EROSÃO E ESCORREGAMENTO

Tabela III.1: Conceitos de Alguns Termos Referente a Análise de Riscos Segundo ZUQUETE (1993)

Tabela III.2: Mortalidade Esperada em Hong Kong (WONG et al., 1997, a partir de PACHECO, 2001)

Tabela III.3: Fator de Vulnerabilidade Vs (WONG et al., 1997, a partir de PACHECO, 2001)

Tabela III.4: Ficha de Levantamento dos Fatores para Avaliação do Potencial de Risco das Encostas do Recife (ALHEIROS, 1998)

Tabela III.5: Tabela de Grau de Risco (GUSMÃO FILHO et al., 1992)

Tabela III.6: Detalhamento dos Atributos por Graus de Risco Aplicada em Recife (ALHEIROS, 1998)

Tabela III.7: Graus de Risco Finais para o Município de Recife (ALHEIROS, 1998)

Tabela III.8: Critérios para Definição do Grau de Risco de Escorregamentos em Encostas Ocupadas e Solapamento de Margens de Córregos (IPT-SP)

Tabela III.9: Tipologia de Intervenções (IPT-SP)

Tabela III.10: Tipos de Ocupação dos Morros do Sítio Histórico de Olinda (GUSMÃO FILHO et al., 1994a)

Tabela III.11: Situação de Risco das Encostas do Sítio Histórico de Olinda no ano de 1994 (GUSMÃO FILHO et al., 1994a)

Tabela III.12: Formas de Ocupação dos Morros do Recife (GUSMÃO FILHO et al., 1994)

Tabela III.13: Situação de Risco no Recife (ALHEIROS, 1998)

Tabela III.14: Influência da Inclinação do Talude no Estabelecimento da Cobertura Vegetal (GEO-RIO, 2000).

CAPÍTULO IV – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Tabela IV.1: Forma de Ocupação e População em Camaragibe

Tabela IV.2: Composição Granulométrica, Consistência e Classificação do Solo da Área de Estudo 1 - Córrego da Andorinha

Tabela IV.3: Composição Granulométrica, Consistência e Classificação do Solo da Área de Estudo 2 - Alto de Santo Antônio

Tabela IV.4: Composição Granulométrica, Consistência e Classificação do Solo da Área de Estudo 3 - Córrego do Desastre

Tabela IV.5: Resultados dos Ensaios de Dispersão SCS (NBR 13602/96) do Alto de Santo Antônio

Tabela IV.6: Comparação dos Ensaios de Granulometria com e sem Defloculante (Área de Estudo 2 – Alto de Santo Antônio, solo residual)

Tabela IV.7: Condições Iniciais e no Adensamento dos Corpos de Prova

Tabela IV.8: Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento

Tabela IV.9: Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento em Sedimentos da Formação Barreiras e em Solos Residuais

CAPÍTULO V – ANÁLISE DO POTENCIAL DE RISCO EM CAMARAGIBE

Tabela V.1: Fatores e Atributos de Risco Adotados em Camaragibe

Tabela V.2: Grau de Risco Aplicado em Camaragibe

CAPÍTULO VI – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tabela VI.1: Variação dos Valores dos Atributos Numéricos em Camaragibe

Tabela VI.2: Faixas de Grau de Risco de Acordo com os Fatores em Camaragibe

Tabela VI.3: Faixa de Classificação do Risco Final em Camaragibe

Tabela VI.4: Listagem Final do Grau de Risco por Setores de Encostas em Camaragibe

LISTA DE FOTOS

CAPÍTULO II – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA

Foto II.1: Escorregamento em Camaragibe Envolvendo Grande Extensão

Foto II.2: Erosão Devido a Vazamento de Tubulação de Águas Servidas

CAPÍTULO III – RISCO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO DE EROSÃO E ESCORREGAMENTO

Foto III.1: Canaleta de Descida sem Caixa Coletora

Foto III.2: Escadaria com Acúmulo de Água

Foto III.3: Fossa Negra na Borda do Talude

Foto III.4: Águas Servidas Lançadas Diretamente no Solo Córrego da Andorinha – Camaragibe

Foto III.5: Situação Antes e Depois da Cobertura Vegetal de um Talude Construído.

Foto III.6: Detalhe da Geocélula com Cobertura Vegetal Estabilizada.

Foto III.7: Placas Educativas nas Áreas de Risco - Camaragibe-PE

Foto III.8: Escadarias e Canaleta de Descida sem Manutenção (Alto Sto Antônio/Camaragibe).

Foto III.9: Tubo da Rede de Água com Vazamento (Córrego da Andorinha/Camaragibe).

Foto III.10: Muro em Gabiões (Foto do catálogo Macaferri)

Foto III.11: Detalhe do Muro em Gabiões

Foto III.12: Muro de Sacos de Solo-Cimento (Córrego da Andorinha – Camaragibe-PE)

Foto III.13: Muro de Solo-Pneus Construídos pelo Morador (Ibura/Recife-PE)

Foto III.14: Talude Tratado com Muro de Arrimo, Proteção Superficial e Barbacãs Mal Executados (Carmelitas/Camaragibe)

Foto III.15: Erosão no Horto de Dois Irmãos – PE (COUTINHO e OLIVEIRA 1998)

Foto III.16: Compactação do Preenchimento das Ravinas – Horto Dois Irmãos
(COUTINHO e FRANÇA, 1998)

Foto III.17: Retaludamento da Encosta em Patamares – Horto Dois Irmãos
(COUTINHO e FRANÇA, 1998)

Foto III.18: Patamar Recuperado, com Proteção Vegetal e Microdrenagem (Horto de
Dois Irmãos – PE) (COUTINHO e FRANÇA 1998)

CAPÍTULO IV – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foto IV.1: Ocupação Formal (Conjunto COHAB – Vale das Pedreiras – Camaragibe)

Foto IV.2: Ocupação Formal (Tabatinga –Camaragibe)

Foto IV.3: Ocupação semiformal e Progressiva (Alberto Maia – Camaragibe)

Foto IV.4: Ocupação por Invasões (Córrego da Andorinha – Camaragibe)

Foto IV.5: Vista Geral da Reserva Florestal de Mata Atlântica - Privê Vermont –
Camaragibe (Zona Especial de Preservação Ecológica)

Foto IV.6: Erosão Provocando Assoreamento da Linha de Drenagem Córrego do
Desastre - Camaragibe

Foto IV.7: Extração de Material Arenoso - Córrego do Desastre (Camaragibe-PE)

Foto IV.8: Afloramento de Rocha Gnaissica/Granito (Vale das Pedreiras - Camaragibe)

Foto IV.9: Antiga Pedreira Borrione (1962 à 1972) (Timbi-Camaragibe)

Foto IV.10: Detalhe de Conglomerado que Caracteriza a Fácies de Leque Proximal da
Formação Barreiras (Ostracil –Camaragibe)

Foto IV.11: Processo Depositional da Formação Barreiras (Fácies de Leque Aluvial
Distal/Planície Aluvial) (Local de Exploração Mineral - Bairro dos Estados
– Camaragibe)

Foto IV.12 Encostas da Formação Barreiras sobre o Solo Residual (Córrego da
Andorinha – Camaragibe)

Foto IV.13: Área de estudo 2 – Alto de Santo Antônio – Solo Residual Maduro

Foto IV.14: Localização dos Furos de Sondagens Realizados na Área de Estudo 1 /
Córrego da Andorinha/ Camaragibe-PE

CAPÍTULO VI – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foto VI.1: Setor de Encosta com Grau de Risco Baixo (1)

Foto VI.2: Setor de Encosta com Grau de Risco Médio (2)

Foto VI.3: Setor de Encosta com Grau de Risco Alto (3)

Foto VI.4: Setor de Encosta com Grau de Risco Muito Alto (4)

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

c' - coesão efetiva do solo

CODECIPE – Comissão de Defesa Civil de Pernambuco

COHAB – Conjunto Habitacional

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DER-PE – Departamento de Estrada e Rodagem de Pernambuco

d_v - deslocamento vertical, mm

d_h - deslocamento horizontal, mm

e_o - índice de vazios inicial

e_{ad} - índice de vazios de adensamento

FIDEM – Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife

FS – fator de segurança

γ_{nat} - peso específico natural, kN/m^3

γ_s - peso específico seco, kN/m^3

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT –SP – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

IP - índice de plasticidade, %

LL - limite de liquidez, %

LP - limite de plasticidade, %

METROREC – Metro do Recife

PD – Porcentagem de Dispersão

PNGC – Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro

QRA – Quantitative Risk Analyses

RMR – Região Metropolitana do Recife

S_N - sondagen N

S_{n-m} (Setor n-m); n= 1,2,3,4,5 (Regiões administrativas); m= 1.....(n° do setor)

σ_n - tensão normal

τ - tensão cisalhante

W_{campo} - umidade do solo no campo, %

W_{LL} - umidade no limite de liquidez, %

W_{LP} - umidade no limite de plasticidade, %

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

As conseqüências provocadas pela ocupação desordenada no Brasil têm demonstrado a necessidade urgente de adotar políticas públicas integradas para o ordenamento urbano. A Lei Federal de Nº 10.257, aprovada em 2001, que trata do Estatuto da Cidade, tem a finalidade de organizar a expansão urbana através de uma política de desenvolvimento urbano, com o objetivo de ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. O Estatuto da Cidade estabelece normas de ordem pública e de interesse social onde, nas cidades com mais de vinte mil habitantes, é obrigatória a aprovação do Plano Diretor até o ano de 2006, que será o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana. Nesse contexto, o mapeamento geológico-geotécnico e o estudo técnico das áreas de risco são de grande importância para subsidiar diretrizes para o Plano Diretor, garantindo que os instrumentos previstos na lei federal considerem as características do município.

Para controlar a ocupação de áreas instáveis, é importante o conhecimento das condições geológico-geotécnicas, caracterizando os processos e os parâmetros envolvidos, obtendo informações sobre a suscetibilidade do meio e representando essas informações em mapas. Quando as áreas já estão ocupadas surge um novo elemento a ser considerado no estudo, a vulnerabilidade, que expressa as perdas materiais e sócio-ambientais envolvidas nos processos. O conjunto das informações da suscetibilidade associado à vulnerabilidade dimensiona o risco. Com a exigência legal de elaboração do Plano Diretor, alguns municípios que convivem com problemas de processos de erosão e/ou deslizamentos em encostas, têm tido a preocupação de avaliar o potencial de risco, elaborando diretrizes para o controle de risco, através do Plano Diretor. O município de Camaragibe-PE (Figura I.1), integrante da Região Metropolitana do Recife, com 128.702 habitantes, cujo Plano Diretor encontra-se em fase de discussão, decidiu elaborar o mapeamento de risco das áreas com ocupação desordenada nos morros. Para tal fim, firmou-se convênio com o departamento de Engenharia Civil da UFPE, através da Área de Geotecnia, para elaboração do mapa de risco de erosão e escorregamento, sendo objeto desta dissertação.

O mapa de risco é um importante instrumento para o planejamento municipal, na medida em que permite a hierarquização dos problemas, a avaliação de custos de investimentos e dão suporte técnico às negociações com a comunidade. Um aspecto importante das informações do mapa de risco é que, as áreas definidas como de alto risco, por não serem objetos de ocupação planejada, estão sempre sujeitas a novas invasões. O Plano Diretor e a lei de uso e ocupação do solo podem definir o destino dessas áreas para urbanização controlada, que garanta a segurança da encosta e impeça a sua ocupação por moradias em situação de risco.

Os mapas podem ser elaborados para dois grandes grupos de objetivos (ZUQUETTE e NAKAZAWA, 1998): a) obras civis; e b) planejamento urbano, territorial e ambiental; desenvolvimento e conservação do meio ambiente. A elaboração do mapa de risco é um papel fundamental da Engenharia Geotécnica e da Geologia de Engenharia. Estas ciências são dedicadas à investigação, estudo e soluções de problemas de engenharia e meio-ambiente, decorrentes da interação entre o meio físico e os trabalhos e as atividades do homem, bem como a previsão e desenvolvimento de medidas técnicas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos-geotécnicos.

Em relação ao papel dessas ciências quanto aos riscos geológicos, WOLLE (1994), no X Congresso Brasileiro da Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, fez o seguinte relato: *“Creio ser parte da obrigação social dos engenheiros geotécnicos e dos geólogos de engenharia, assumir a preocupação com as questões dos riscos [...]. Evidentemente seria ingenuidade acreditar que as soluções para os graves problemas que assolam as populações das periferias das grandes cidades, aglomeradas em favelas ou precárias edificações nas encostas, sejam de ordem geotécnica em princípio. Certamente tais questões têm suas soluções eivadas na administração pública e dependem de vontade política, porém, para serem adequadas, exigem o subsídio da Geotecnia, à qual cabe responder onde ocupar as encostas, como ocupá-las e com que obras ou serviços de estabilização ou proteção e inclusive, quais áreas não devem ser ocupadas ou até devem ser evacuadas e em que condições. Para a adoção de medidas preventivas e, especialmente para subsidiar o planejamento da ocupação urbana, a disponibilidade da cartografia geotécnica é de enorme utilidade, cabe pois os profissionais da área trabalharem em sua produção.*

1.2 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é avaliar e cartografar o risco de erosão e escorregamento nas ocupações desordenadas das encostas do município de Camaragibe-PE, permitindo aos seus gestores conhecer e considerar os riscos dessa ocupação no planejamento municipal.

Desse modo, pretende-se oferecer mais um importante instrumento para o estabelecimento de diretrizes para o uso e ocupação do solo e dar subsídios para o planejamento físico-ambiental, além de fornecer dados para a elaboração de projetos de captação financeira, para atender a programas de intervenções corretivas nas áreas de morros. É um instrumento técnico que permite qualificar e quantificar: as áreas de morros que estão em situação de maior risco; quantas pessoas estão nesta situação; subsídios importantes para obter recursos para investimentos no município, visando o bem-estar da população.

O mapa de risco tem valiosa utilização técnica, social e política, podendo ser utilizado com os seguintes propósitos (GUSMÃO FILHO, 1997a):

- Instrumento de planejamento urbano;
- Definição de áreas prioritárias para intervenções em base técnica, e não política;
- Definição do sistema de controle nos pontos críticos;
- Definição do tipo de tratamento da área em função do seu maior fator de risco (se topográfico, geológico ou ambiental);
- Instrumento de negociação com as comunidades e órgãos de financiamento;
- Orçamento de obras de tratamento.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em 07 capítulos, de acordo com a seguinte distribuição:

O capítulo I é a introdução aqui desenvolvida;

O capítulo II faz uma sucinta descrição dos movimentos gravitacionais de massa e dos processos de transporte de massa.

O capítulo III apresenta uma revisão bibliográfica com os seguintes conteúdos: conceitos e classificação de risco; cartografia geotécnica; metodologias para elaboração das cartas de risco; influência da ocupação no risco de erosão/escorregamento; avaliações de riscos de erosão/escorregamento na Região Metropolitana do Recife; e intervenções para tratamento das áreas de risco.

O capítulo IV descreve as características gerais do município: físicas, administrativas e geotécnicas.

O capítulo V apresenta a metodologia utilizada para o mapeamento de risco de erosão/escorregamento da área de estudo e dos resultados obtidos.

O capítulo VI apresenta e discute os resultados obtidos na avaliação do risco.

O capítulo VII apresenta a conclusão do trabalho desenvolvido, com sugestões para novas pesquisas.

CAPÍTULO II

MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA

2.1 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

HUTCHINSON (1968) define os movimentos gravitacionais de massa como sendo movimentos induzidos pela ação da gravidade, como por exemplo, os escorregamentos de encostas e as quedas e tombamentos de blocos rochosos. Os movimentos regidos por um agente de transporte como água, gelo, neve ou ar, são denominados processos de transporte de massa.

Há na natureza inúmeros tipos de movimentos gravitacionais de massa, envolvendo variados materiais, processos e fatores condicionantes. Um dos critérios mais utilizados para classificação dos movimentos é determinando as seguintes características: tipo de material, velocidade e mecanismo do movimento, modo de deformação, geometria da massa movimentada e conteúdo de água. No nível internacional, dentre as propostas mais aceitas de classificação destacam-se os trabalhos de HUTCHINSON (1968), de VARNES (1978), de SASSA (1989), (a partir de CRUDEN e VARNES, 1996 e de NOGUEIRA, 2000). No Brasil destacam-se os trabalhos de FREIRE (1965), GUIDICINI e NIEBLE (1984) e do IPT (1991).

A classificação de movimentos de massa proposta por VARNES (1978), ainda é uma das mais utilizadas em todo mundo, sendo considerada a classificação oficial da International Association of Engineering Geology – IAEG. Esta classificação é bem simples e baseia-se no tipo de movimento e do material transportado. Os tipos de materiais dessa classificação são: rocha (rock), solos (earth) e detritos (debris); e os tipos de movimento são: quedas (falls), tombamentos (topples), escorregamentos (slides), espalhamentos (spreads), corridas/escoamentos (flows) (CRUDEN e VARNES, 1996). As corridas/escoamentos são subdivididas de acordo com a velocidade e conteúdo de água dos materiais mobilizados. A Tabela II.1 apresenta a classificação dos tipos de movimentos proposta por VARNES (1978) e a Tabela II.2 mostra as principais características dos tipos de movimento.

Tabela II.1: Classificação dos Movimentos de Massa
(VARNES, 1978, a partir de CRUDEN e VARNES, 1996)

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)	
		PREDOMINANTEMENTE GROSSO	PREDOMINANTEMENTE FINO
QUEDA (<i>FALL</i>)	Queda de rocha	Queda de detritos (debris)	Queda de solo
TOMBAMENTO (<i>TOPPLE</i>)	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos (debris)	Tombamento de solo
ESCORREGAMENTO (<i>SLIDE</i>)	Escorregamento em rocha	Escorregamento em detritos (debris)	Escorregamento em solo
ESPALHAMENTO (<i>SPREAD</i>)	Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos (debris)	Espalhamento de solo
CORRIDA/ESCOAMENTO (<i>FLOW</i>)	Corrida de rocha	Corrida de detritos (debris)	Corrida de lama

VARNES (1978) ainda classifica os movimentos de acordo com a velocidade. A International Union of Geological Sciences Working Group on Landslides (1995), no trabalho da Unesco Working Party para o inventário de escorregamento (WP/WLI), sugere outra escala de velocidade, baseada na classe de VARNES (1978). O grupo propõe conservar as sete classes da escala de VARNES (1978), entretanto eles sugerem que os limites sejam ajustados, de modo que todas as divisões sejam múltiplas de 100. A Tabela II.3 apresenta a classe de velocidade proposta por VARNES (1978) e a sugestão do WP/WLI.

Na classificação de VARNES (1978) não são mencionados os processos de rolamento e tombamento de matacões, porém suas ocorrências são muito freqüente na dinâmica das encostas brasileiras, particularmente na Região Sudeste. O crescente trabalho de análise os escorregamentos no Brasil tem provocado a alguns autores adotarem uma classificação, principalmente de caráter regional.

Tabela II.2: Características dos Tipos de Movimento
(VARNES, 1978, a partir de CRUDEN e VARNES, 1996)

TIPOS DE MOVIMENTO	CARACTERÍSTICAS DOS MOVIMENTOS
QUEDAS (<i>FALLS</i>)	Os materiais, rocha ou solo, se desprendem das encostas pela ação da gravidade. O movimento é do tipo queda livre ou de rolamento, com velocidade muito rápida (m/s) que pode atingir grande distância. Nas encostas íngremes o movimento geralmente é em queda livre e nas encostas com declividade 1:1 o movimento é de rolamento de matacões.
TOMBAMENTOS (<i>TOPPLES</i>)	O movimento se dá a partir da rotação de um bloco da encosta em torno de um eixo. Este movimento está condicionado a existência de planos de fraqueza.
ESCORREGAMENTOS (<i>SLIDES</i>)	É o movimento que ocorre geralmente através de uma superfície de ruptura. Os primeiros sinais podem ser observados através de fissuras na superfície do solo. Eles são divididos em rotacionais e translacionais.
ESPALHAMENTO (<i>SPREAD</i>)	Ocorre em materiais mais rígidos sobrejacentes a camadas menos resistente, formando fissuras e fraturas transversais à direção do movimento. O movimento é repentino e se dá pela perda de resistência da camada subjacente, devido a ação da água, como o efeito da liquefação das areias; e pode também ocorrer devido o escoamento plástico como nas argilas sensíveis. O material sobrejacente pode sofrer movimentos de subsidência, translação, rotação, desintegração ou escoamento.
CORRIDAS/ESCOAMENTO (<i>FLAWS</i>)	São formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, provocado pela perda de resistência do material, devido o excesso de água. A massa se desloca semelhante a um líquido viscoso.

AUGUSTO FILHO (1994) afirma que, apesar da aceitação das classificações gerais brasileiras, como a de FREIRE (1965) e a de GUIDICINI e NIEBLE (1976), parece existir uma tendência a se adotar classificações regionalizadas, adaptadas às condições locais, onde os estudos de análise e controle de escorregamentos são realizados. Os trabalhos de BARATA (1969) e COSTA NUNES (1969), baseados na experiência do Rio de Janeiro são destaques de classificação regional.

Tabela II.3: Classificação dos Movimentos em Função da Velocidade
(International Union of Geological Sciences Working Group on Landslides, 1995)

CLASSE DE VARNES (1978)		CLASSE DE WP/WLI (1994)			
Velocidade	Valor em mm/s	Descrição da Velocidade	Velocidade	Valor em mm/s	Tipo de Movimento
>3m/s	3.10^3	Extremamente rápida	>5m/s	5.10^3	Desmoronamento
0,3m/min	5	Muito rápida	3m/min	50	Desmoronamento
1,5m/dia	17.10^{-3}	Rápida	1,8m/hora	0.5	Desmoronamento e escorregamento
1,5m/mês	$0,6.10^{-3}$	Moderada	13m/mês	5.10^{-3}	Escorregamento
1,5m/ano	48.10^{-6}	Lenta	1,6m/ano	50.10^{-6}	Escorregamento e creep
0,06m/ano	$1,9.10^{-6}$	Muito lenta	16mm/ano	$0,5.10^{-6}$	Creep
<0,06m/ano	$<1,9.10^{-6}$	Extremamente lenta	<16mm/ano	$<0,5.10^{-6}$	Creep

Segundo AUGUSTO FILHO (1994) as classificações são baseadas na combinação dos seguintes critérios:

- Cinemática do movimento: velocidade, direção e seqüência dos deslocamentos em relação ao terreno estável;
- Tipo de material: solo, rocha, solos e rochas, detritos, depósitos, etc.; estrutura, textura e percentagem de água;
- Geometria : tamanho e forma das massas mobilizadas.

Para elaboração de mapas de risco no Brasil, a classificação proposta por AUGUSTO FILHO (1992) é um referencial para descrição dos principais tipos de movimentos de massa associados às encostas, na qual descreve as características dos movimentos, materiais e geometria mobilizada. Esta classificação apresenta os processos agrupados em quatro classes: Rastejos (creep), Escorregamentos (slides), Quedas (falls) e Corridas (flows). O escorregamento é, na opinião de AUGUSTO FILHO (1992), um dos processos de movimentos de massa mais importante a ser estudado, devido a sua interferência com as atividades antrópicas, a complexidade de causas e mecanismos, a variabilidade dos materiais envolvidos e a variância de sua escala. A Tabela II.4 apresenta as principais características desses grupos de processos.

Tabela II.4: Características dos Principais Grupos de Processos de Instabilização
(AUGUSTO FILHO, 1992)

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
<p>RASTEJOS (<i>CREEP</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vários planos de deslocamento (internos) ▪ velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade ▪ movimentos constantes, sazonais ou intermitentes ▪ solo, depósitos, rocha alteradas/fraturadas ▪ geometria indefinida
<p>ESCORREGAMENTOS (<i>SLIDES</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ poucos planos de deslocamento (externos) ▪ velocidades médias (m/h) a altas (m/s) ▪ pequenos a grandes volumes de material ▪ geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> – planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; – circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; – em cunha : solos/rochas com dois planos de fraqueza
<p>QUEDAS (<i>FALLS</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sem planos de deslocamento ▪ queda livre ou rolamento através de plano inclinado ▪ velocidades muito altas (vários m/s) ▪ material rochoso ▪ pequenos e médios volumes ▪ geometria variável : lascas, placas, blocos, etc. <p>– ROLAMENTO DE MATAÇÃO E TOMBAMENTO</p>
<p>CORRIDAS (<i>FLAWS</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) ▪ movimento semelhante ao de um líquido viscoso ▪ desenvolvimento ao longo das drenagens ▪ velocidades médias a altas ▪ mobilização de solo, rochas, detritos e água ▪ grandes volumes de material ▪ extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

2.1.1 FATORES QUE ATUAM NA DEFLAGRAÇÃO DOS ESCORREGAMENTOS

Os movimentos gravitacionais de massa envolvem uma série contínua de eventos, com causa e efeito que resultam na ruptura de materiais terrestres (solo/rocha), quando as solicitações são maiores que a resistência ao cisalhamento dos materiais.

Segundo CRUDEN e VARNES (1996), os fatores que contribuem para os deslizamentos de encostas podem ser listados através de quatro classes de causas: geológicas, morfológicas, físicas e antrópicas. A Tabela II.5 lista alguns dos parâmetros dessas classes de causas e a Figura II.1 apresenta os processos relacionados aos fatores de causas preparatórias e acionantes. Os fatores de causas preparatórias incluem a geologia, morfologia, as características físicas e antrópicas, que tornam a encosta susceptível ao movimento, tendendo a coloca-la num estado de estabilidade marginal. Os fatores de causas acionantes incluem a morfologia, as características físicas e antrópicas, nos quais iniciam o movimento. Estes agentes modificam o talude de um estado de estabilidade marginal para um estado ativamente instável.

Tabela II.5: Classes de Causas de Deslizamentos de Encostas
(CRUDEN e VARNES, 1996)

CAUSAS GEOLÓGICAS	CAUSAS MORFOLÓGICAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perfil geotécnico / materiais problemáticos: sensitivo, colapsível, plástico / mole; ▪ Orientação desfavorável da descontinuidade de massa (clivagem, acamamentos, xistosidades, falhas, contatos sedimentares); ▪ Contraste na permeabilidade e seus efeitos na poro-pressão; ▪ Contraste na rigidez (material denso sobre material plástico); ▪ Material de preenchimento de juntas alteradas (fissuras). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geometria, declividade e forma da encosta / relevo; ▪ Atividades geológicas: terremotos, vulcanismo, etc.; ▪ Depósito de carregamento no topo do talude; ▪ Remoção da vegetação (por erosão, queimadas, secas); ▪ Erosão fluvial no pé do talude / erosão na face do talude; ▪ Erosão subterrânea (“pipping”).
CAUSAS FÍSICAS	CAUSAS ANTRÓPICAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chuvas intensas em períodos curtos; ▪ Chuvas intensas de longa duração; ▪ Inundações ▪ Terremotos; ▪ Contração e expansão de solos expansivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escavação na base da encosta ▪ Sobrecarga na encosta ou no topo ▪ Remoção vegetal; ▪ Vibração artificial (incluindo tráfego, máquinas pesadas); ▪ Falta de manutenção de drenagem; ▪ Vazamento de rede de abastecimento (água e esgoto)

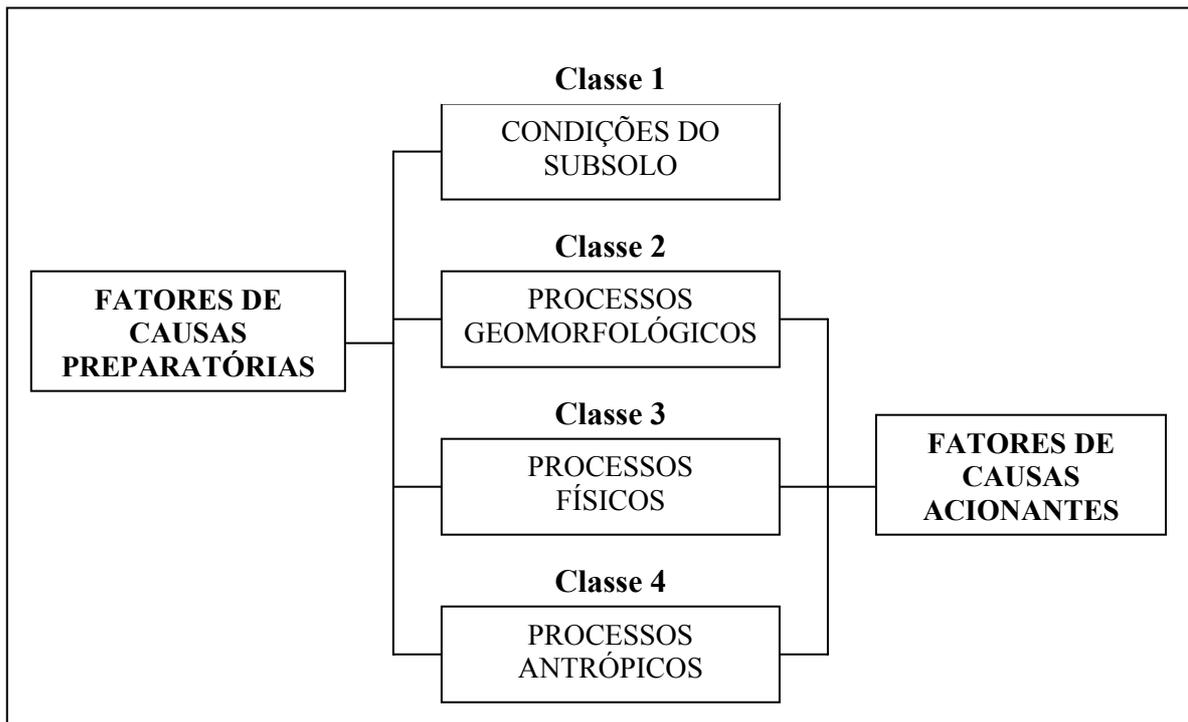


Figura II.1: Diagrama dos Processos dos Fatores de Causas Preparatórias e de Causas Acionantes dos Deslizamentos de Encostas

Segundo VARNES (1978), citado por AUGUSTO FILHO (1994), é possível agrupar os fatores deflagradores dos movimentos de massa em dois grupos: a) os que aumentam as solicitações; e b) os que diminuem a resistência ao cisalhamento (Tabela II.6).

2.1.1.1 A Chuva e os Escorregamentos

A) Histórico dos Escorregamentos de Encostas na RMR

Nos últimos dez anos, os escorregamentos de encostas mataram mais de cem pessoas em toda a Região Metropolitana do Recife (RMR) durante períodos chuvosos. Dados da CODECIPE e dos jornais locais revelam que de 1990 a 2000 ocorreram cerca de 150 óbitos na RMR e mais de 9.000 desabrigados devido a escorregamentos (adaptado de BARROS E SILVA, 2001).

Tabela II.6: Fatores Deflagradores dos Movimentos de Massa
(VARNES, 1978, a partir de AUGUSTO FILHO, 1994)

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
AUMENTO DA SOLICITAÇÃO	REMOÇÃO DE MASSA (lateral ou da base)	– Erosão, escorregamentos – Cortes;
	SOBRECARGA	– Peso da água de chuva, etc; – Depósito de material – Peso da vegetação – Construção de estruturas, aterros, etc.
	SOLICITAÇÕES DINÂMICAS	– Terremotos, ondas, etc; – Explosões, tráfego, sismos induzidos;
	PRESSÕES LATERAIS	– Água em trincas, congelamento, material expansivo;
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	CARACTERÍSTICAS INERENTES AO MATERIAL (textura, geometria, estruturas, etc.)	– Características geomecânicas do material, tensões iniciais;
	MUDANÇAS OU FATORES VARIÁVEIS	– Intemperismo → redução da coesão, ângulo de atrito; – Elevação do nível d'água – Aumento da umidade com redução da sucção.

Em abril de 1996, a chuva provocou deslizamentos de encostas em quase todos os morros da RMR, registrando 52 mortes. No Alto da Brasileira, no Bairro de Nova Descoberta – Recife (PE), cerca de 1000 pessoas ficaram desabrigadas e 16 pessoas morreram, devido a um deslizamento ocorrido no inverno de 1996, que mobilizou cerca de 50.000 m³ de solo (LIMA, 2002).

Em agosto de 2000, após três anos de invernos moderados (de 1997 a 2000), uma chuva atípica de 300mm em 72 horas (a maior chuva registrada nos últimos 40 anos na RMR) provocou vários escorregamentos, registrando mais de 20 vítimas e cerca de 1.050 famílias desabrigadas em toda Região Metropolitana do Recife. Em Camaragibe 02 mortes ocorreram devido aos escorregamentos provocado pela precipitação atípica ocorrida no mês. A chuva de 313 milímetros registrada em 48 horas no município foi um fenômeno que superou todas as expectativas da defesa civil municipal.

Recentemente, em junho deste ano, uma precipitação pluviométrica, com 99,4 milímetros em 24 horas, tornou a deixar várias pessoas desabrigadas em toda RMR, provocando vários deslizamentos em encostas. As defesas civis de Jaboatão dos Guararapes e Camaragibe registraram, respectivamente, 60 e 12 famílias desabrigadas. Em Recife, o número foi de 137 famílias desabrigadas com 23 deslizamentos de encostas, e em Olinda registrou-se o maior número de desabrigados (352), com uma vítima devido a esse processo. A Tabela II.7 apresenta um histórico dos acidentes ocorridos na RMR desde 1990.

B) A Chuva como Fator Deflagrador dos Escorregamentos

A pluviosidade é notadamente o componente climático mais importante no processo de instabilização de encostas. Os movimentos de massa tendem a apresentar uma forte correlação com as chuvas intensas e duradouras. As chuvas agem com os seguintes mecanismos para instabilizar as encostas:

- Elevação do lençol freático, reduzindo a pressão efetiva e gerando forças de percolação;
- Preenchimento temporário das fendas, trincas e/ou estruturas em solos saprolíticos e rochas (fraturas, juntas, etc.), com geração de pressões hidrostáticas; Algumas vezes gerando artesianismo e, por conseqüências, rupturas hidráulicas;
- Aumento da umidade sem a elevação/formação de nível d'água (solos não saturados), reduzindo a resistência dos solos pela perda de sucção - “coesão aparente”.

Em função da umidade, o solo pode apresentar-se em três situações distintas: seco, não-saturado ou saturado. O solo saturado pode apresentar peso específico submerso ou não submerso, dependendo do nível d'água. Os solos não saturados geralmente apresentam nível d'água mais profundo. Nesta segunda situação, a água no solo está sofrendo pressão neutra negativa, conhecida por sucção. A sucção dos solos não saturados tende a aumentar a tensão efetiva, a rigidez e a resistência, ou seja, o fator de segurança.

Tabela II.7: Histórico dos Acidentes Ocorridos na RMR (1984-2003)

MUNICÍPIO	MÊS/ANO	ÁREA AFETADA	MORTES	DESABRIGADOS
Recife	1984	-	12	-
Recife	1989	-	8	-
Recife	04/1990	Zona Sul	1	sem informação
Recife	05/1990	Zona Norte	1	60
Recife	06/1990	Zona Norte	5	12
Recife	06/1990	Zona Sul	0	12
Abreu e Lima	07/1990	Fosfato	1	3
Igarassu	07/1990	Cruz de Rebouças	1	sem informação
Recife	07/1990	Zona Norte	9	730
Camaragibe	07/1990	-	0	400
Olinda	07/1990	-	4	32
Recife	07/1990	Zona Norte	17	sem informação
Recife	08/1990	Zona Norte	0	100
Recife	04/1991	Zona Norte	1	sem informação
Recife	05/1991	Zona Norte	0	7
Recife	07/1991	Zona Norte	0	11
Recife	04/1992	Zona Norte	0	10
Cabo	06/1992	S. Francisco	0	10
Recife	06/1992	Zona Sul	0	28
Recife	07/1992	Zona Norte	0	10
Jaboatão	07/1992	Vila Rica	2 feridos	12
Camaragibe	04/1994	Bairro dos Estados	6	sem informação
Recife	04/1994	Zona Sul	0	7
Jaboatão	04/1994	Socorro	0	4
Jaboatão	05/1994	Alto da Goiabeira	1	4
Recife	05/1994	Zona Sul	0	5
Recife	05/1994	Zona Norte	1 + 6 feridos	90
Recife	05/1994	Zona Oeste	0	3
Recife	06/1994	Zona Norte	8 + 12 feridos	10
Camaragibe	06/1995	Tabatinga	0	4
Cabo	07/1995	-	0	8
Recife	07/1995	Zona Oeste	0	2
Recife	07/1995	Zona Norte	1 + 6 feridos	29
Olinda	04/1996	Morros Zona Sul	9	1.200
Camaragibe	04/1996	-	8	525
Recife	04/1996	Zona Norte	42	2.000
Recife	04/1996	Zona Sul	1	260
Recife	05/1996	Zona Sul	0	8
Recife	05/1996	Zona Norte	0	3
Recife	06/1996	Zona Norte	0	9
Recife	08/1996	Zona Norte	0 + 3 feridos	sem informação
Recife	04/1997	Zona Norte	0	25
Recife	05/1997	Zona Norte	1	9
Recife	05/1997	Zona Sul	0	5
Jaboatão	05/1997	-	0	5
Abreu e Lima	05/1997	Matinha	4	sem informação
São Lourenço	05/1997	Barro Vermelho	1	sem informação
Recife	06/1997	Zona Norte	0 + 2 feridos	sem informação

Tabela II.7: Histórico dos Acidentes Ocorridos na RMR (1984-2003) (continuação)

MUNICÍPIO	MÊS/ANO	ÁREA AFETADA	MORTES	DESABRIGADOS
Recife	08/2000	Nova Descoberta (Córrego da Areia)	-	11 deslizamentos 1 casa destruída -
Recife	09/2000	-	-	23 deslizamentos 46 ocorrências
Jaboatão	09/2000	-	-	5 deslizamentos
Camaragibe	08/2000	-	02	deslizamentos
Olinda	06/2000	Águas Compridas	01	32 ocorrências
Olinda	08/2000	Águas Compridas	01	
Recife	06/2000	Jd. Monte Verde	02	10 famílias desabrigadas 4 casas destruídas
Camaragibe	11/2000	Alto Santo Antônio	01	Deslizamento de barreira
Recife	03/2001	UR-2 Ibura	(01?)	3 casas destruídas
Olinda	07/2001	Alto Nova Olinda Alto da Conquista	-	2 casas destruídas
Olinda	05/2002	Alto da Bondade	-	Deslizamentos
Recife	05/2002	UR-7 Várzea	-	Deslizamentos 47 ocorrências
Recife	07/06/2002	-	-	24 deslizamentos
Jaboatão	07/06/2002	Eng. Velho	01	deslizamento
Recife	04/07/2002	Zona Norte (Dois Unidos e outros)	-	26 ocorrências
Recife	04/07/2002	Zona Norte (Córrego da Areia)	-	11 deslizamentos 1 casa destruída
Recife	04/07/2002	Zona Sul	-	4 ocorrências
Olinda	04/07/2002	-	-	20 deslizamentos
Olinda	22/02/2003	-	-	
Recife	20/03/2003	Ibura	-	19 deslizamentos maré alta - palafitas
Jaboatão 147,5 mm de chuva Atingiu 4.000 casas no município todo	20/03/2003	Jd. São Paulo	-	1 casa desabou Canal Guarulhos transbordou
Jaboatão	20/03/2003	Areias	-	alagamentos
Jaboatão	20/03/2003	Jd. Muribeca	-	2.500 casas atingidas
Cabo	20/03/2003	-	-	43 deslizamentos s/ casas
Olinda	20/03/2003	Córrego do Abacaxi	-	1 casa desabou
Olinda	20/03/2003	Ouro Preto	-	2 deslizamentos
Recife	21/03/2003	Beberibe, Nova Descoberta, Linha do Tiro	-	37 ocorrências 4 deslizamentos
Recife	21/03/2003	Ibura	-	
Olinda	21/03/2003	Córrego do Abacaxi	-	46 ocorrências
		Águas Compridas	-	
Recife	02/05/2003	Córrego Antonio Rodrigues (Bomba do Hemetério)	01	3 famílias desabrigadas

fonte: CODECIPE; IPT; Jornal do Comércio e Diário de Pernambuco (1984 – 2003)

O fator de segurança define o estado da estabilidade de uma encosta. Os métodos de análise de estabilidade mais empregados são os analíticos, baseados no equilíbrio limite, em que considera que as forças que induzem a ruptura são balanceadas pelas forças resistentes (LIMA, 2002). O fator de segurança consiste na relação entre as forças resistentes e as forças solicitantes ao escorregamento. Quando a fator de segurança tem valor unitário, a encosta encontra-se na condição de equilíbrio limite. A Figura II.2 mostra um modelo simples de análise de estabilidade de uma encosta, em que agem as cargas externas, o peso próprio (W), a pressão da água (U) e a resistência do solo (τ).

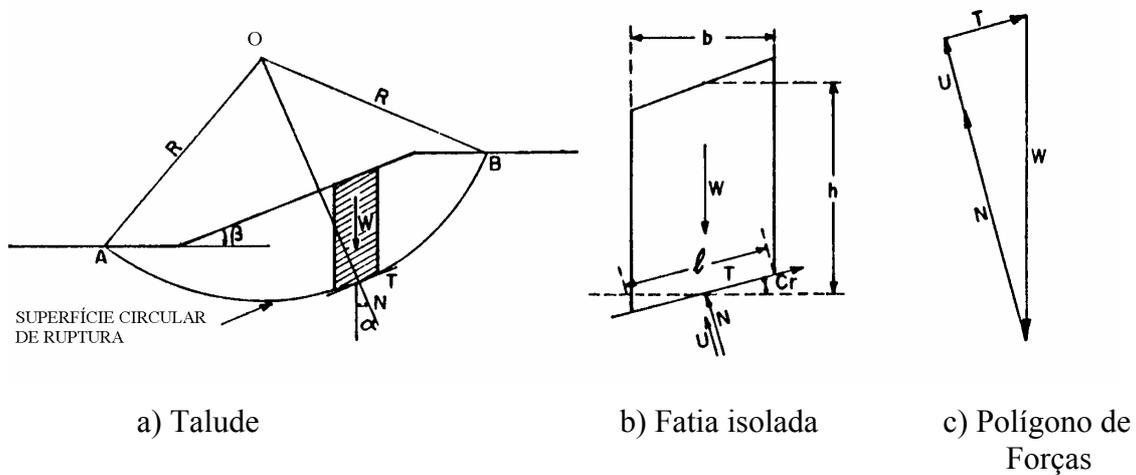


Figura II.2: Modelo de Análise de Estabilidade de um Encosta

A encosta permanece estável quando o fator de segurança é maior que 1 ($FS > 1$), ou seja, as forças que dão momento no ponto O (Figura II.2), favorável à rotação da cunha AB no sentido horário (forças solicitantes), são contidas pelas forças que dão momento contrário (forças resistentes). Em suma, o fator de segurança é dado pela relação entre o momento resistente e o momento atuante.

A água da chuva que se infiltra no solo age das seguintes formas: aumentando o peso próprio (W) e a pressão da água (U); e reduzindo a resistência do solo (τ). Estas mudanças devido à infiltração reduzem as forças resistentes e conseqüentemente o fator de segurança do talude. Quando o fator de segurança é igual a um (1), o talude atinge o equilíbrio limite ocorrendo o deslizamento. Isso explica a importância de um bom sistema de drenagem, cobertura vegetal e/ou impermeabilização das encostas, dificultando a infiltração das águas superficiais, para evitar escorregamentos.

Nas encostas não saturadas, a água intersticial permanece sob ação das forças capilares, em condições de pressão neutra negativa, ou seja, sob tensões de sucção. Com as precipitações pluviométricas intensas, a infiltração da água da chuva gera uma frente de umedecimento, que avança no interior do maciço, em direção ao lençol freático. Segundo WOLLE (1988), a maioria das encostas naturais encontra-se no estado não saturado, com baixo grau de saturação e, mesmo sob fortes precipitações pluviométricas, a profundidade da frente de saturação não é grande.

Segundo GUSMÃO FILHO (1997), tem sido observado que a maioria dos escorregamentos da RMR não são profundos e a sua superfície de ruptura é translacional, paralela ao talude. Observações da variação de umidade e sucção, em perfis levantados no Alto do Reservatório, bairro do Recife (PE), mostraram que a diferença ocorre apenas nos primeiros 3m de profundidade do solo, indicando ser esse o limite da frente de saturação e da superfície de ruptura. LIMA (2002) analisou a estabilidade do Alto do Reservatório, simulando diferentes condições de umidade no solo correspondente às estações de verão, inverno e inverno intenso. Ela comprovou que a infiltração da água de chuva reduz a resistência do solo e em consequência, reduz o fator de segurança. Na simulação de verão, o fator de segurança foi de 2,2, reduzindo para 1,5 no inverno. Já na simulação de inverno intenso, este valor caiu ainda mais, atingindo o valor de 1,0. Este valor caracterizou a encosta como instável, com superfície de deslizamento mais superficial, em torno de 6,0 m, em que se constatou fissuras no solo. A permanência do evento pluviométrico satura o solo, destrói as tensões de sucção e, conseqüentemente, gera mecanismos de instabilização.

Nos solos mais secos, com baixos graus de saturação, a quantidade de água necessária para provocar um avanço da frente de saturação, tal que deflagre escorregamentos, é muito grande. Por outro lado, áreas que recebem chuvas mais freqüentes e contínuas, elevando a umidade do solo para a condição próxima da saturação, é muito provável deflagrar escorregamentos devido a eventos pluviométricos típicos.

C) Correlação entre Chuva e Escorregamentos

O Objetivo principal das correlações entre chuvas e escorregamentos é a busca de um índice representativo da previsão da chuva crítica, a partir da qual seja possível alertar a população das áreas de risco da possibilidade de escorregamentos.

A chuva precedente a um evento é muito importante quanto ao potencial de provocar escorregamentos. Esta relação entre os escorregamentos e os índices pluviométricos tem levado alguns pesquisadores a tentarem estabelecer relações empíricas, probabilísticas ou físico-matemáticas entre esses dois parâmetros. Dentre muitos autores que correlacionam pluviometria com os deslizamentos, vários percebem a importância da chuva precedente ao evento.

Nos Estados Unidos, SCHUSTER & KOCKELMAN (1996) mostram um sistema de alerta nas áreas de risco realizado através da correlação entre a chuva e os escorregamentos. Esta correlação é baseada em: a) relações empíricas e teóricas entre a intensidade e duração da chuva com os escorregamentos; b) determinação das características geológicas das áreas susceptíveis ao escorregamento; c) monitoramento das chuvas nas áreas de risco (instalação de pluviômetros); e d) acompanhamento das previsões de chuva através do serviço nacional de meteorologia.

Em Hong Kong também se utiliza o sistema de monitoramento das chuvas para indicar o potencial de escorregamentos de encostas, sendo uma das mais importantes contribuições para as regiões tropicais. Este sistema de monitoramento é mantido pelo Geotechnical Control Office (GCO) no Engineering Department of the Hong Kong Government. O trabalho de LUMB (1975), citado por PEDROSA (1994), foi pioneiro na correlação entre deslizamentos e chuva antecedente, estudando o caso de Hong Kong. Ele analisou o avanço da frente de saturação no interior dos solos residuais e concluiu que, a infiltração das chuvas no solo que provoca o aumento do grau de saturação, reduz gradativamente a resistência, onde a chuva acumulada é importante na deflagração de escorregamento.

Analisando a frequência e distribuição das rupturas com os dados de chuvas acumuladas desde o dia primeiro de janeiro até a data da ruptura do ano, no período de

1950 a 1973, LUMB (1975) associou a precipitação pluviométrica acumulada relativa à média anual, aos dias imediatamente antecedentes e durante o evento. Após várias análises ele chegou a conclusão que é mais satisfatório associar categorias de risco de deslizamento com a precipitação pluviométrica nas 24 horas do dia do evento e a chuva acumulada nos 15 dias que antecedem ao evento (a partir de PEDROSA, 1994). Através destas análises, LUMB (1975) propôs uma classificação em quatro zonas de previsibilidade de escorregamentos, segundo o número de escorregamentos ocorridos: evento desastroso (>50), evento severo (10-50), evento menor ou secundário (<10) e evento isolado.

Um exemplo de evento desastroso citado por LUMB (1975) foi os escorregamentos ocorridos em junho de 1972, quando a precipitação diária excedeu a 100mm e a acumulada de 15 dias excedeu a 350mm. Neste evento, ocorreram em Hong Kong, 185 deslizamentos com 138 vítimas fatais. Segundo LUMB (1975), uma chuva de 24 horas maior que 100mm e a chuva acumulada dos 15 dias que antecedem o evento maior que 200mm é uma combinação que pode deflagrar escorregamentos.

Classificando o evento em função da chuva acumulada (Pac) de 15 dias, LUMB (1975) propôs as seguintes configurações de eventos: evento menor ($Pac < 200mm$), evento severo ($200mm < Pac < 350mm$) e evento desastroso ($> 350mm$). A Figura II.3 apresenta os resultados dessa análise.

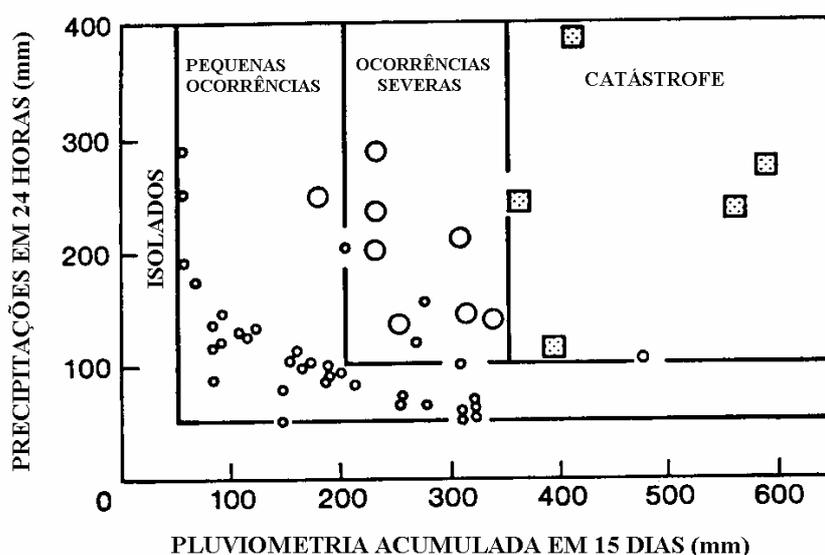


Figura II.3: Relação entre Chuva e Escorregamento em Hong Kong (LUMB, 1975)

BRAND et al. (1984), estudando os escorregamentos também em Hong Kong, chegaram a conclusões contraditórias de LUMB (1975). Eles afirmam que as correlações entre precipitação e os escorregamentos são dependentes da chuva horária, com valores críticos em torno de 70mm/h, e a precipitação acumulada anterior tinha pouca influência nos eventos em Hong Kong. Associando as precipitações pluviométricas ocorridas em uma hora e 24 horas com o número de deslizamentos, os autores propõem apenas duas categorias de risco: principal (maior), com mais de 10 deslizamentos em 01 dia; e o secundário (menor), com menos de 10 deslizamentos em 01 dia. Os parâmetros para cada uma dessas categorias estão apresentadas na Tabela II.8.

Tabela II.8: Categorias de Risco Associadas a Precipitação Pluviométrica
(BRAND et al., 1984, a partir de PEDROSA, 1994)

EVENTO	CHUVA (mm)		FREQÜÊNCIA (anos)
	01 hora	24 horas	
PRINCIPAL (maior)			
- Desastroso	>100	>300	1 em 5 anos
- Severo	>70 e <100	>200 e <300	1 em 2 anos
SECUNDÁRIO (menor)	>40 e <70	>100 e <200	3 em 1 ano

As Figuras II.4 e II.5 ilustram os resultados das análises de BRAND et al (1984) apresentando as correlações entre deslizamentos e suas conseqüências com as chuvas horárias e diária respectivamente em Hong Kong. A característica de alta permeabilidade dos solos residuais e o modo de ruptura do tipo rápida dos escorregamentos são creditadas, pelos autores, como as possibilidades principais de deslizamentos induzidos pela intensidade de chuva horária. A chuva de 350mm em 24 horas, 110mm em 01 hora e 25mm em 05 minutos, ocorrida em maio de 1992 em Hong Kong, induzindo mais de 300 deslizamentos reafirmaram as propostas de BRAND et al (1984), relacionadas com as chuvas de grande intensidade e curta duração.

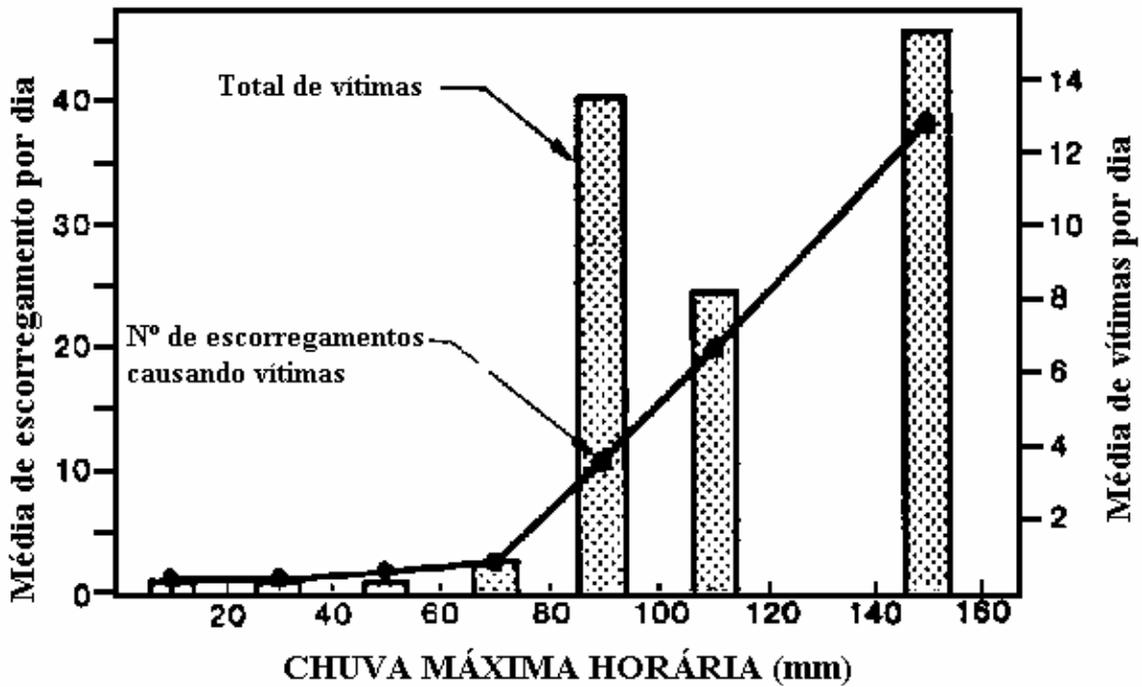


Figura II.4: Correlação entre Chuva Máxima Horária e Escorregamentos em Solos Residuais, durante 1963 à 1982 em Hong Kong (BRAND, 1985)

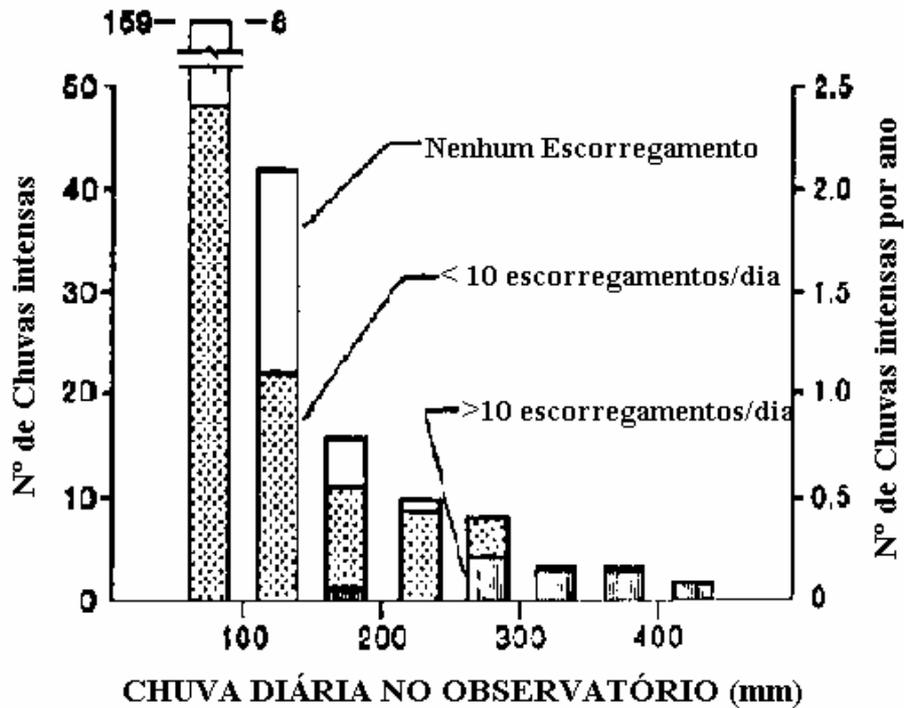


Figura II.5: Ocorrências Médias de Deslizamentos por Chuva de 24 horas em Hong Kong (BRAND, 1985)

No Brasil, poucos foram os estudos realizados que obtiveram esta correlação, além do mais que, cada um possui características próprias de análise. Essas características estão normalmente associadas aos diferentes fatores geológicos, geotécnicos e morfológicos do maciço. No entanto, a grande dificuldade de correlação reside na falta da série histórica de dados pluviométricos da área a ser estudada e na falta de registros históricos dos escorregamentos. Deve-se também observar as características de relevo, materiais naturais, vegetação e uso do solo. Estas características impõem um modelo regional de interação que deve ser pesquisado em cada caso (GUSMÃO FILHO, 1997).

Um dos trabalhos pioneiros, neste tema, realizado no Brasil foi o de GUIDICINI e IWASA (1976), que desenvolveram correlações em nove áreas: quatro no Estado de São Paulo; duas no estado do Rio de Janeiro, uma no Estado do Ceará, uma no sul de Minas Gerais e uma no Estado de Santa Catarina. As propostas subseqüentes foram de COSTA NUNES (1982), VARGAS et al. (1986), TATIZANA et al. (1987), ALMEIDA e NAKAZAWA (1991), ELBACHÁ et al. (1992), CERRI (1993), PEDROSA (1994) e GUSMÃO FILHO (1997).

GUIDICINI e IWASA (1976) analisando a correlação dos dados disponíveis em diferentes localidades, eles introduziram os seguintes coeficientes: Cc (coeficiente de ciclo = razão entre o registro acumulado até a data do evento e a média anual da pluviosidade); e Ce (coeficiente do episódio = razão entre o registro pluviométrico do episódio e a média anual da pluviosidade). A soma dos termos Cc e Ce fornece o coeficiente final Cf, no qual estabelece as condições de identificação da fenomenologia da ruptura. Eles definiram 04 faixas de risco no gráfico do Cf: A, B, C e D, para caracterizar as zonas de concentração de episódios com percentagens correspondentes a 100, 85, 33 e 0% respectivamente. A Figura II.6 apresenta a carta de GUIDICINI e IWASA (1977) relativa às encostas do complexo cristalino-metamórfico da Serra do Mar - SP. Para uma chuva acumulada até um certo dia (Cf), normalizada pela chuva anual média de 2200mm, obtém-se a probabilidade de ocorrências de escorregamentos. Nesta figura as zonas A, B, C e D correspondem a 100, 50, 33 e 0% respectivamente.

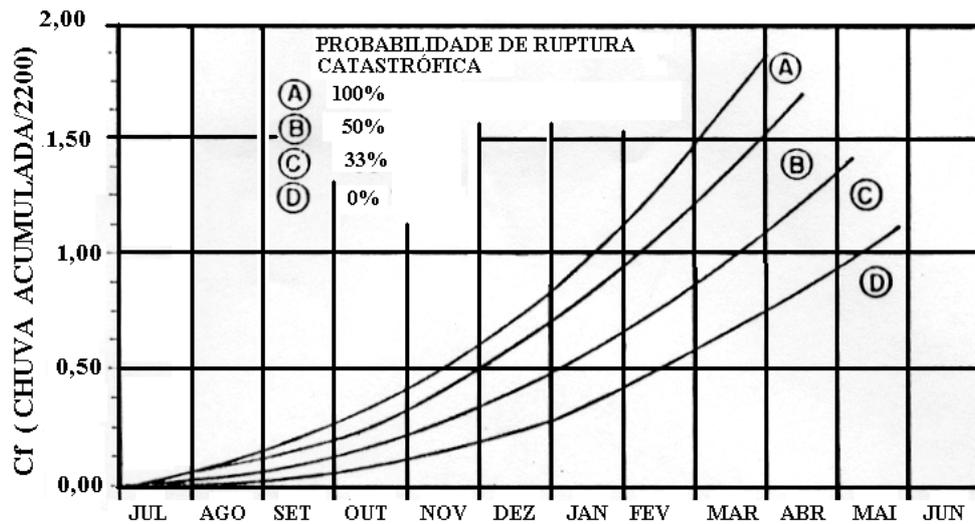


Figura II.6: Carta de GUIDICINI e IWASA (1977) Relativa às Encostas do Complexo Cristalino-Metamórfico da Serra Mar – SP

COSTA NUNES (1982) baseou-se em dados de escorregamentos ocorridos em situações de intensa pluviosidade para estudos de recuperação de rodovias, propondo o valor de 40mm/h como suficiente para deflagrar os escorregamentos, a partir da qual é possível o fechamento de estradas.

VARGAS et al. (1986) baseou-se em estudos de estabilidade de taludes em solos residuais condicionados pelo processo de infiltração das águas de chuva e pelo conseqüente mecanismo de avanço da frente de saturação. Ele sugere o valor de 50mm/h como a precipitação crítica a partir da qual pode desencadear deslizamentos.

TATIZANIA et al. (1987) desenvolveram correlação entre escorregamentos e índices pluviométricos para a Serra do Mar, região de Cubatão (SP). Eles obtiveram uma curva exponencial que define a envoltória correspondente à condição pluviométrica, a partir da qual a possibilidade de ocorrência de escorregamentos induzidos pela ocupação é elevada (Figura II.7). Eles correlacionam a chuva acumulada de 04 dias com a chuva horária.

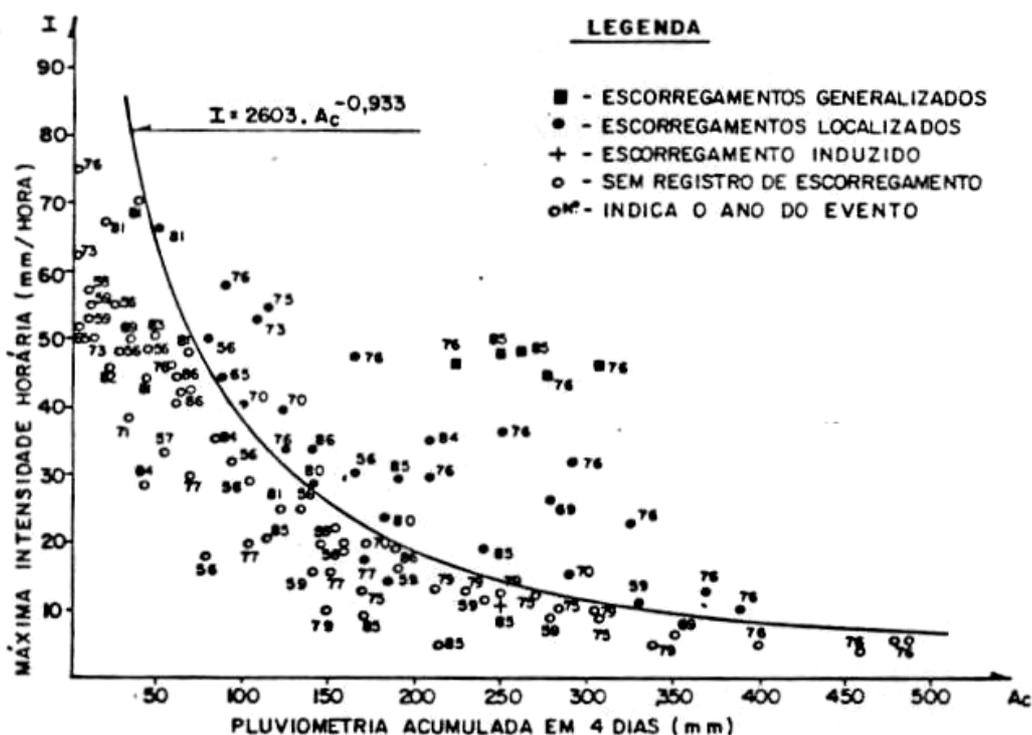


Figura II.7: Gráfico da Envoltória de Escorregamentos Induzidos na Serra do Mar -SP
(TATIZANA et al., 1987)

ALMEIDA e NAKAZAWA (1991) estudaram o município de Petrópolis através de estudo probabilístico do risco de escorregamento baseado em índices pluviométricos. Eles classificaram o evento em 05 categorias de acordo com o número de ocorrências de deslizamento, denominadas de: A (1 ocorrência), B (02 a 05), C (6 a 15), D (16 a 30) e E (acima de 30 ocorrências). Os eventos são considerados mais significativos quando o número de ocorrências é superior a 30 escorregamentos por evento. Analisando o período de 1976 a 1989, os autores concluíram que uma precipitação acumulada de 04 dias, superior a 30mm, representava melhor a probabilidade de risco de escorregamento (a partir de PEDROSA, 1994).

ELBACHÁ et al. (1992) estudaram a cidade de Salvador (BA). As envoltórias de escorregamentos obtidas por eles esses autores são semelhantes as obtidas por TATIZANIA et al. (1987), sendo que os índices horários e os acumulados críticos de ELBACHÁ et al. (1992) são relativamente menores que os de TATIZANIA et al. (1987).

A proposta de CERRI (1993) baseia-se nas propostas de GUIDICINI e IWASA (1976) e TATIZANIA et al. (1987). Com base na proposta de TATIZANIA et al. (1987), o autor estabelece o coeficiente de precipitação crítica expresso de forma adimensional e modifica o valor da chuva acumulada, sendo considerado o intervalo de 84 horas (03 dias e meio). Baseado na proposta de GUIDICINI e IWASA (1976), CERRI (1993) estabelece o coeficiente de ciclo móvel como sendo a relação entre a chuva acumulada de junho até a data do evento e a chuva acumulada média no mesmo período.

PEDROSA (1994) avaliou a correlação entre chuvas e deslizamentos para a cidade do Rio de Janeiro com objetivo de propor um sistema de alerta para a cidade. Utilizando os dados de Hong Kong, que apresentam características semelhantes com a cidade do Rio de Janeiro, a autora fez a seleção de 543 escorregamentos registrados pelo GCO, no período de 1982 a 1989. PEDROSA (1994) analisou as propostas de KIM et al. (1991), LUMB (1975), BRAND et al. (1984), TATIZANIA et al. (1987) e GUIDICINI e IWASA (1976). Das análises ela concluiu que, apesar de existir várias possibilidades de estimar a ocorrência de deslizamentos induzidos por chuvas, a escolha do método não deve ser considerada definitiva, devendo ser sistematicamente verificada e comparada com outros índices disponíveis.

PEDROSA (1994) avaliou a proposta de GUIDICINI e IWASA (1976) também com os dados do Rio de Janeiro, utilizando registros de 1966 e 1967, com objetivo de analisar os coeficientes C_c e C_f . A autora redefiniu o coeficiente de ciclo (C_c) como sendo a razão entre a chuva acumulada até o dia anterior ao episódio e a média anual do posto pluviométrico da área e propôs um sistema de alerta dividido em três níveis:

- Nível de Alerta I: o coeficiente de ciclo e o coeficiente final modificado estão localizados na faixa “C” (30% de possibilidade de ocorrência de deslizamentos), e o coeficiente de segurança na faixa “B” (70% de possibilidade de ocorrência de deslizamentos) – consulta ao banco de dados da área (registros anteriores de deslizamentos e chuvas críticas), vistorias técnicas e veiculação de informativos técnicos aos moradores de áreas de risco;

- Nível de Alerta II: o coeficiente de ciclo está na faixa “C” e os coeficientes final modificado e de segurança estão na faixa “B” – consulta ao banco de dados (registros anteriores de deslizamentos e chuvas críticas), vistorias técnicas e veiculação de informativos técnicos aos moradores de áreas de risco;
- Nível de Alerta III: os coeficientes de ciclo e final modificado estão situados na faixa “B” e o coeficiente de segurança está localizado no início da faixa “A” (100% da possibilidade de ocorrência de deslizamentos).

Para a cidade do Recife, os estudos realizados nos morros de Olinda-PE por GUSMÃO FILHO (1997), levaram uma significativa contribuição de correlacionar a pluviosidade com os escorregamentos. Os morros de Olinda têm características geológicas similares às dos morros da zona norte do Recife (Formação Barreiras). Durante três anos foi monitorada a variação do nível piezométrico e foi observado que a estabilidade da encosta é reduzida com a elevação desse nível. Concluiu-se porém que, a instabilidade das encostas resulta da ação combinada entre a intensidade de chuva acumulada (Pac), de janeiro até aquela data, com a ocorrência de uma chuva diária de intensidade mínima (I) naquela data. Definiu-se então o parâmetro R como sendo o produto da chuva de 24 horas pela chuva acumulada até o dia do evento ($R = Pac \times I$). Na pesquisa encontrou-se o valor de $R = 60.000 \text{ mm}^2$ como representativo de movimento iminente. A partir desse valor de R, o nível d'água permanece no seu valor máximo. Então se a chuva acumulada é de 600mm, basta uma chuva de 100mm para instabilizar o maciço (GUSMÃO FILHO, 1997). A Figura II.8 apresenta a correlação entre a chuva acumulada e intensidade de chuva do dia.

Segundo LIMA (2002), monitorar as precipitações para prever os escorregamentos, torna-se mais fácil e de baixo custo que acompanhar o nível de água e o grau de saturação do solo. Conhecida a correlação local e mapeada as áreas de risco, o monitoramento das chuvas, a partir da previsão meteorológica, permite estabelecer os diversos níveis de alerta a emergência para mobilização de defesa civil, em apoio à população ameaçada.

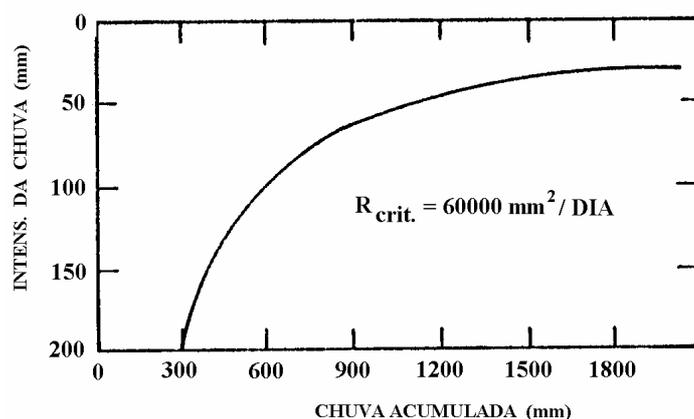
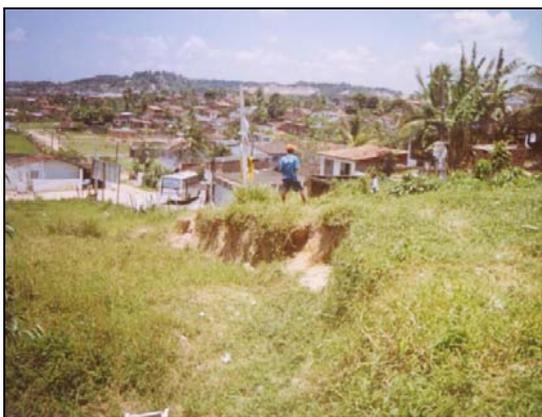


Figura II.8: Correlação entre a Intensidade da Chuva e a Chuva Acumulada para as Encostas da Formação Barreiras da Cidade do Recife-PE (GUSMÃO FILHO, 1997)

SCHUSTER e KOCKELMAN (1996) advertem que o monitoramento e sistema de alerta são utilizados para proteger as pessoas e propriedades, e não para evitar os escorregamentos. Porém estes sistemas de alerta advertem sobre os processos, a tempo possível de se realizar medidas preventivas, reduzindo o perigo de imediato ou em longo prazo.

Em Camaragibe, os deslizamentos estão mais associados aos solos residuais e as fácies mais argilosas da Formação Barreiras. No local denominado Vale das Pedreiras, foi identificada uma encosta constituída por solo residual de granito, com um aparente comportamento de ruptura progressiva, formando degraus na superfície e um grande número de fendas (Foto II.1). Esse movimento está ativo a alguns anos, agravando-se nos invernos de 2000 e 2002, quando uma linha de ruptura mais elevada atingiu diretamente três moradias, causando um abatimento de cerca de três metros. Esta área será objeto de estudo de tese de doutorado de Marília Mary da Silva, dando continuidade ao convênio firmado entre a UFPE e a prefeitura de Camaragibe-PE.

É importante salientar que o registro de acidentes, embora tenha uma relação direta com o rigor do inverno e as precárias condições das ocupações das áreas de encostas, tem relação inversa com a eficiência do sistema de defesa civil, revertendo os índices de acidentes fatais. No caso de Camaragibe, que desde 1997 criou-se e implantou-se um sistema de defesa civil, diretamente ligado ao gabinete do prefeito, o panorama de acidentes em encostas no município mudou, reduzindo consideravelmente o número de vítimas fatais.



(a) Vista do degrau formado na superfície

(b) Detalhe da fissura no solo

Foto II.1 Escorregamento em Camaragibe Envolvendo Grande Extensão

2.1.1.2 A Cobertura Vegetal na Estabilidade das Encostas

Segundo GRAY e LEISER (1982), a cobertura vegetal apresenta efeitos favoráveis e desfavoráveis em relação a estabilidade das encostas, descritos a seguir.

a) Efeitos favoráveis:

- *Redistribuição da água proveniente das chuvas*: as copas das árvores impedem, em parte, o impacto direto da chuva na superfície do terreno e retardam e diminuem a quantidade efetiva de água que penetra no solo, além disso, a evapotranspiração também retira água do solo, atuando favoravelmente à estabilidade;
- *Acréscimo da resistência do solo devido às raízes*: As raízes da vegetação de porte arbóreo podem aumentar a resistência ao cisalhamento do solo de duas formas principais: pelo reforço mecânico do solo, onde existe uma transferência parcial da tensão de cisalhamento atuante no solo para as raízes; e por escoramento, quando as raízes são profundas de sustentação dos horizontes superficiais;

b) Efeitos desfavoráveis:

- *Efeito de alavanca*: força cisalhante transferida pelos troncos das árvores ao terreno, quando suas copas são atingidas por ventos;

- *Efeito de cunha*: pressão causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha;
- *Sobrecarga vertical*: causada pelo peso das árvores.

A Figura II.9 apresenta o fenômeno estudado por BROWN e SHEU (1975), sendo reproduzida por WOLLE (1986). Ela ilustra a aceleração dos processos de instabilização de encostas, após a retirada da cobertura vegetal. Observa-se que logo após o desmatamento, há um acréscimo na estabilidade devido à eliminação dos efeitos desfavoráveis de sobrecarga e efeito de alavanca. Este acréscimo na estabilidade tende a se perder com o tempo, devido decomposição das raízes e à eliminação do efeito favorável de redistribuição da água proveniente das chuvas.

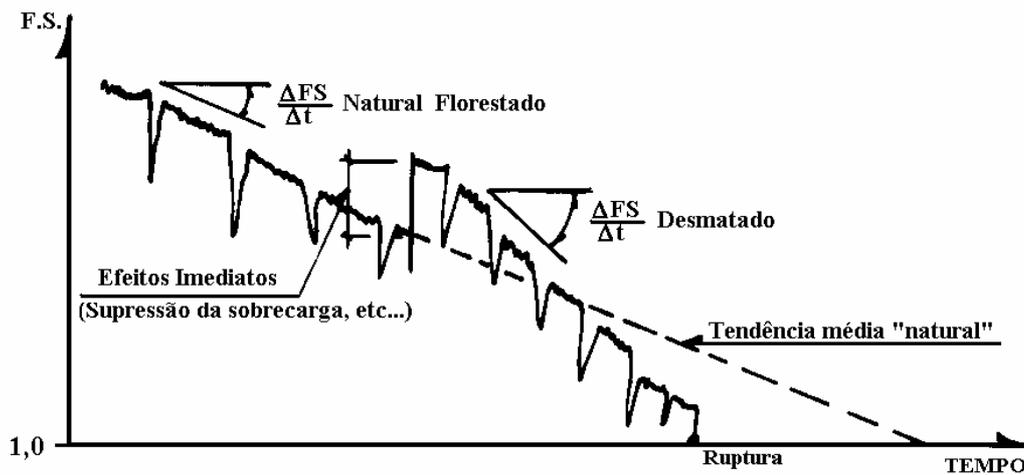


Figura II.9: Variação Esquemática da Estabilidade de uma Encosta ao Longo do Tempo Com e Sem Vegetação Arbórea (WOLLE, 1986)

2.1.1.3 Fatores Antrópicos

A ação antrópica é toda e qualquer intervenção no meio físico provocada pelo homem. Ela é impulsionada por necessidades originadas do modo de vida e modeladas por aspectos políticos, econômicos, culturais e sociais, os quais caracterizam essas ações. Entre as ações causadas pela ação antrópica destacam-se: desmatamento, construção de estradas, criação/expansão de vilas e cidades, execução inadequada de cortes e aterros e execução deficiente do sistema de drenagem.

Os fatores antrópicos têm papel fundamental nos escorregamentos. NUNES et al. (1990) e NAKAZAWA e CERRI (1990) afirmam que mais de 90% dos escorregamentos em Petrópolis-RJ, em 1988, foram induzidos pela ocupação desordenada nas encostas (a partir de LIMA, 2002). Nos sedimentos da Formação Barreiras da Região Metropolitana do Recife, a relação entre a ação antrópica e risco é evidente, onde a alta frequência dos acidentes não se deve apenas as suas características geológicas, nem as suas feições topográficas, mas principalmente à forma como as áreas são ocupadas, com cortes e aterros, lançamento de águas servidas e lixo. Estudos realizados por GUSMÃO FILHO et al. (1992), em Jaboatão dos Guararapes, mostraram que nestes sedimentos, os fatores ambientais (antrópicos) são os mais importantes para a deflagração dos escorregamentos. O Capítulo III, item 3.4, faz um comentário sobre a relação entre a ocupação das encostas e o risco de erosão e escorregamento.

2.2 PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA: EROSÃO

Segundo SALOMÃO e IWASA (1995), erosão é o processo de degradação e remoção de partículas do solo, rochas ou fragmentos, através da ação combinada da gravidade com a água, o vento, o gelo e outros organismos (plantas e animais).

Os processos erosivos podem ser classificados de acordo com a sua origem (natural ou antrópica) e com o agente deflagrador. Dentre os fatores de origem natural que determinam a intensidade dos processos erosivos, destacam-se como os mais importantes: a ação da chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solos e o substrato rochoso. Como ação antrópica temos o desmatamento e as formas de uso e ocupação do solo (SILVA e GIACHETI, 2001). Com relação ao agente deflagrador destacam-se dois tipos de erosão: eólica e hídrica (costeira, fluvial e pluvial). A erosão eólica ocorre quando o desgaste e transporte das partículas se dão pela ação dos ventos, enquanto a erosão hídrica se dá pela ação das águas. A erosão costeira se caracteriza por uma série de processos complexos que resultam no recuo da linha de costa em direção ao continente. A erosão fluvial se caracteriza pela ação das águas na calha de rios e nas suas margens. A erosão pluvial está associada ao escoamento imediato de água proveniente de precipitações pluviométricas. Esta revisão bibliográfica se limitará a

uma descrição sucinta sobre a erosão hídrica pluvial, visto que é a que traz riscos na área do presente estudo.

2.2.1 EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL

A erosão hídrica tem a chuva como agente erosivo. Ela se inicia com o impacto das chuvas sobre o solo provocando ruptura dos agregados. Em seguida, dependendo da intensidade e duração da chuva, ocorre o aumento do grau de saturação do solo e diminuição da infiltração da água. À medida que ocorre o aumento da saturação já se inicia a formação de poças. A partir desse momento começa a ocorrer o escoamento superficial (*runoff*), promovendo a remoção, o transporte das partículas e em determinados locais, a deposição de sedimentos.

Ao longo de uma vertente, dependendo do processo do escoamento superficial (*runoff*), pode-se desenvolver a erosão laminar (em lençol) e a linear (em sulcos). A erosão laminar é causada pelo escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo. Esse tipo de erosão se desenvolve quando há poucos obstáculos no caminho das águas, permitindo que a lâmina d'água escoe, sendo um fenômeno muito comum em regiões semi-áridas. Sua observação é difícil, mas pode ser percebida pelo aparecimento de raízes de plantas ou marcas das estruturas (GOMES, 2001).

A erosão linear, causada pela concentração das linhas de fluxo de água, provoca sulcos que se aprofundam e formam ravinas. Estas ravinas, por sua vez, se aprofundadas e associadas a processos erosivos, combinados da ação das águas superficiais e subsuperficiais, alcançando o lençol freático, podem alcançar grandes dimensões dando origens às voçorocas (VIEIRA, 1978). A Figura II.10 apresenta um esquema do processo de erosão hídrica por águas pluviais, segundo LLOPIS TRILLO (1999). A voçoroca é palco de diversos fenômenos tais como: erosão superficial e interna (*piping*), solapamento, escorregamento e desabamento que se conjugam e conferem a esse tipo de erosão características de rápida evolução e elevado poder destrutivo (SALOMÃO e IWASA, 1995).

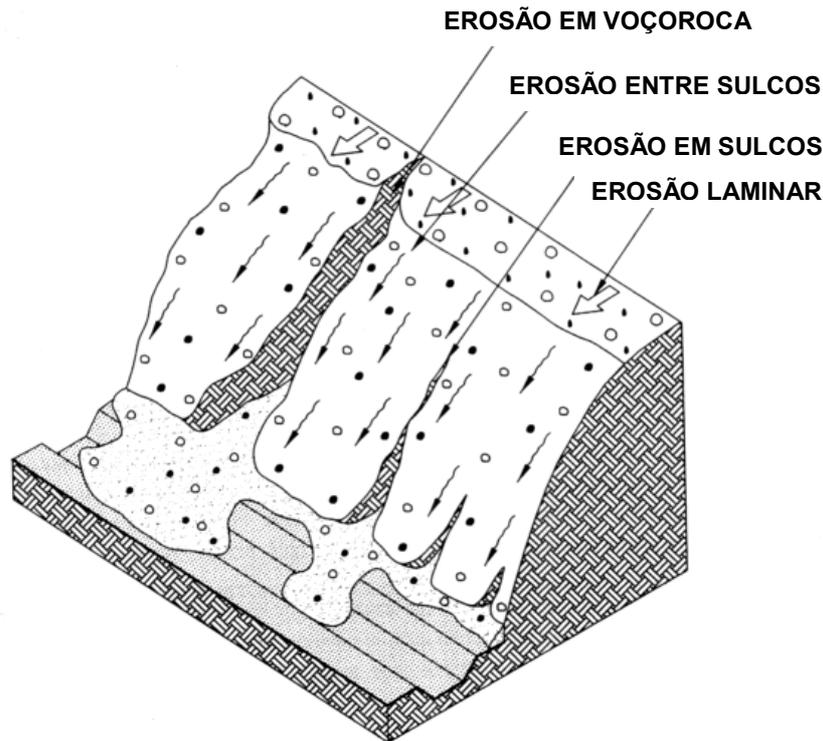


Figura II.10: Esquema do Processo de Erosão Hídrica (LLOPIS TRILLO, 1999)

Segundo o Manual de Ocupação de Encosta do IPT (CUNHA, 1991), as voçorocas consistem no estágio mais avançado da erosão, sendo caracterizadas pelo avanço em profundidade das ravinas até estas atingirem o lençol freático. A partir daí a água subterrânea passa a contribuir para a evolução do processo. A erosão por *piping* é um processo que avança para o interior do solo na forma de tubos levando a formação de voçorocas. Quando os vazios começam a surgir no interior do solo, de forma significativa, podem gerar colapsos com desabamentos que alargam as voçorocas. Em alguns casos a ação antrópica pode induzir situações de fuga de solo por ruptura de tubulações, acentuando o processo de erosão, podendo causar acidentes (Figura II.11 e Foto II.2)

Segundo OLIVEIRA (1999) o que distingue uma ravina de uma voçoroca são as dimensões da incisão no terreno. As ravinas seriam incisões de até 50 cm de largura e de profundidade. Caso a erosão tenha incisões com valores acima desse, ela será classificada como voçoroca.

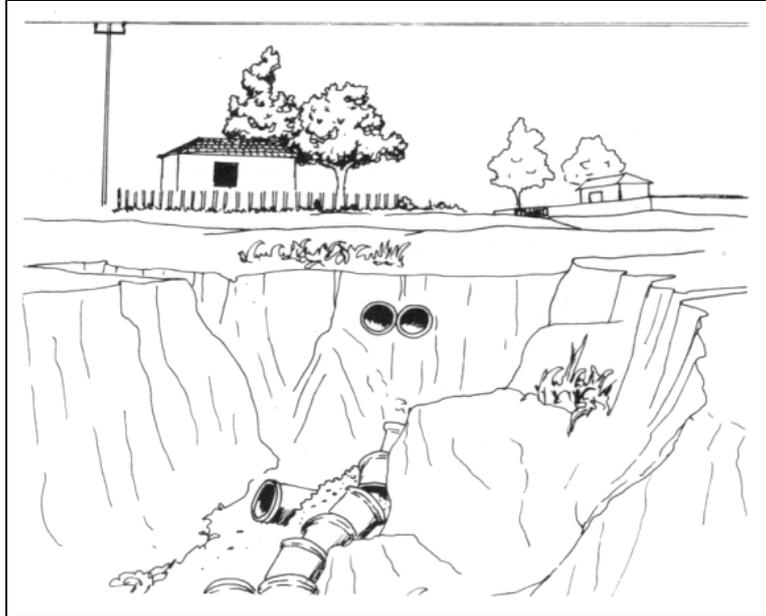


Figura II.11: Esquema do Processo de Erosão Induzida por Águas Servidas em Zona Urbana (DAEE, 1990)



Foto II.2: Erosão Devido a Vazamento de Tubulação de Águas Servidas

2.2.2 FATORES CONDICIONANTES DA EROSÃO

2.2.2.1 Fatores Naturais

A) Chuva

A chuva provoca erosão no solo pelo impacto das suas gotas sobre a superfície e através da infiltração e do escoamento da água. As águas de infiltração dão lugar a movimentos de remoção de materiais quando a umidade excessiva provoca a perda de coesão do solo. As águas de escoamento ocorrem de forma difusa, laminar ou concentrada. Sua força de arraste e de percolação varia com diferentes fatores físicos (GOMES, 2001).

Denomina-se erosividade da chuva a sua capacidade de provocar erosão, a qual depende do total de chuva, da intensidade, do momento e da energia cinética. Chuvas concentradas, associadas aos fortes declives, aos espessos mantos de intemperismo e ao desmatamento podem criar áreas potenciais de erosão.

B) Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é um dos principais fatores de defesa natural do solo contra erosão, pelo aumento da evapotranspiração e da infiltração; e pela redução do escoamento superficial, no qual transportaria consigo os sedimentos.

Ao ocorrer uma precipitação, parte da água da chuva é interceptada pelas folhas da vegetação, outra parte é evaporada diretamente e outra parte escoia pelos ramos e troncos lentamente, infiltrando-se no solo (GOMES, 2001). Mudanças no regime de escoamento superficial e subterrâneo são observados como consequência do desmatamento e da alteração nas formas de uso do solo. A ausência da cobertura vegetal pode também contribuir para o aumento da velocidade de escoamento superficial, fazendo surgir ravinas e voçorocas.

Entre os principais efeitos da cobertura vegetal nos processos erosivos, destacam-se os seguintes (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985):

- Proteção contra o impacto direto das gotas de chuva;
- Dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial;
- Aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes;
- Aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica;

C) Relevo

A forma do relevo expressa o estágio de equilíbrio entre os processos naturais exógenos e os tipos de materiais expostos à transformações, sob o controle do clima. Nos climas quentes e úmidos, os relevos maduros (estáveis) mostram formas sinuosas com colinas arredondadas e vales abertos em forma de “U”. Os relevos imaturos (instáveis, ainda em construção), mostram tabuleiros com vales verticalizados em forma de “V” e cabeceiras de drenagem ativa (ALHEIROS et al., 2003).

A influência do relevo na intensidade da erosão é verificada pela declividade e comprimento da rampa da encosta, que interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial das águas. Terrenos com maiores declividades e comprimentos de rampa apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva.

D) Morfologia

A forma da encosta tem um papel importante na erodibilidade do solo. Segundo GUERRA (1998), encostas de perfis convexos com topo plano, de tal forma que permita o armazenamento de água, ou seja, com curvas de níveis côncavas (Figura II.12a), podem gerar a formação de ravinas e voçorocas quando a água é liberada (a partir de SANTOS et al., 2001).

Os arranjos dos perfis transversais e longitudinais das encostas definem quatro tipos de vertentes, conforme a Figura II.12 de MOREIRA e PIRES NETO (1998), que se caracterizam pela atuação de diferentes processos erosivos. Segundo AZAMBUJA et al. (2001), encostas com perfis e curvas de níveis convexas (Figura II.12-c), o fluxo se dá por canais que se dispersam, onde as equipotenciais se afastam uma das outras na direção da base da encosta, ou seja, o gradiente hidráulico reduz-se em direção à base da encosta. Nas encostas de perfis e curvas de níveis côncavas (Figura II.12-b), os fluxos são convergentes, aumentando os gradientes hidráulicos na direção dos vértices da encosta, sendo responsável por forças de percolação elevadas que são importantes na deflagração dos movimentos.

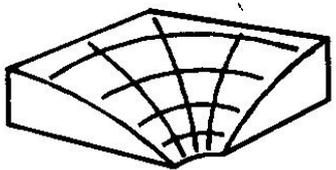
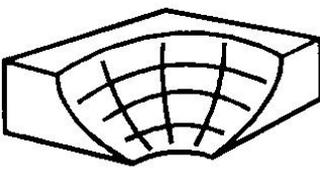
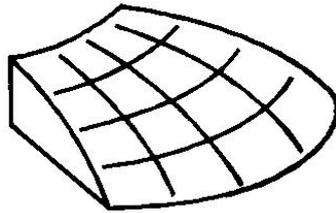
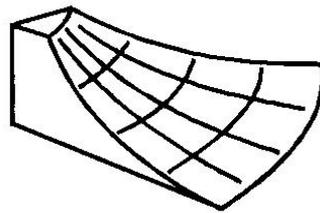
CURVAS DE NÍVEL	PERFIS	
	PERFIL CONVEXO (encostas de rastejamento)	PERFIL CÔNCAVO (encostas de lavagem)
CURVAS DE NÍVEL CÔNCAVA (encostas coletoras de água)	a) 	b) 
CURVAS DE NÍVEL CONVEXA (encostas distribuidoras de água)	c) 	d) 

Figura II.12: Classificação Espacial das Encostas Quanto ao Tipo de Perfil e de Processos Superficiais Operantes (TROEH, 1965 em BLOOM, 1970. A partir de MOREIRA & PIRES NETO, 1998)

E) Propriedades do Solo (Textura, Estrutura e Permeabilidade)

As propriedades do solo condicionam a infiltração e a resistência à erosão. A erodibilidade é um dos principais fatores condicionantes da erosão dos solos. Ela é definida como a propriedade do solo que retrata a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo, é a susceptibilidade do solo à erosão. O fator erodibilidade do solo tem seu valor quantitativo, determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso como a perda de solo, por unidade de índice de erosão da chuva. A erodibilidade de um solo é diretamente proporcional a ocorrência de erosão do solo, ou seja, quanto maior a erodibilidade, maior será a erosão.

Vários são os modelos para prever a perda dos solos. Os modelos mais antigos são os empíricos, dentre os quais o mais aceito é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*) representada por (BASTOS, 1999):

$$A=R.K.L.S.C.P, \text{ onde} \quad (II.1)$$

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;

P é o fator de práticas de cultivo e manejo.

Na Equação II.1, a erodibilidade dos solos é representada pelo fator K. Várias pesquisas voltam-se a tentativa de relacionar o valor de K a outras propriedades do solo. Apesar destas relações serem consideradas muito complexas, a busca de correlações deste tipo ocorre porque a medida direta do fator erodibilidade em parcelas experimentais é considerada dispendiosa e demorada (BASTOS, 1999). Apesar de bastante difundida, a USLE apresenta uma série de limitações relacionadas com seu caráter empírico, por não considerar as leis físicas envolvidas nos processos erosivos,

por não se adaptar a erosão em voçoroca e a previsões durante períodos de chuvas intensas (SANTOS, 1997, a partir de CHAMECKI, 2002).

O uso de ensaios específicos para avaliação da erodibilidade, ou simplesmente chamado ensaios de erosão, ainda não é muito difundido no meio geotécnico. Na literatura, os métodos de laboratório são variados. Segundo BASTOS (1999) esta variedade é devido à quantidade de áreas de conhecimentos que envolvem os estudos de erosão. Os métodos de laboratório para avaliação da erodibilidade podem ser classificados como diretos e indiretos (a partir de CHAMECKI, 2002). Os métodos diretos permitem avaliar diretamente a erodibilidade, como o ensaio de Inderbtizen ou o de resistência dos agregados ao impacto da gota. Os indiretos buscam correlação entre a erodibilidade e outra característica dos solos, como a coesão, a granulometria ou os Limites de Atterberg, entre outros.

HEAD (1994) descreve cinco métodos de ensaios de erodibilidade dos solos, são eles: furo de agulha (“pinhole test”), do torro (“crumb test”), sedimentométrico comparativo, análises químicas da água intersticial e de dispersão do cilindro. Os quatro primeiros são padronizados no Brasil pela norma da ABNT.

BASTOS (1999) cita os seguintes ensaios para avaliar a erodibilidade dos solos:

a) ensaios diretos:

- Ensaio de Inderbtizen;

b) ensaios indiretos:

- metodologia MCT, através de infiltrabilidade e erodibilidade específica (ou perda de massa por imersão);
- metodologia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de Portugal, através de expansibilidade LNEC e limite de absorção;
- sedimentométrico comparativo, conhecido como dispersão SCS, do Soil Conservation Service (SCS/USDA);
- desagregação (“slaking test”);
- cone de laboratório;
- estabilidade de agregados.

Várias são as propriedades que afetam a erodibilidade de um solo. Entre elas destacaremos a textura, a estrutura e a permeabilidade. Com relação à textura do solo, algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras. Solos de granulometria média apresentam maior facilidade de remoção que os solos de granulometria grossa ou fina (FARMER, 1973). Segundo BRYAN (1974) e POESEN (1981) solos arenosos apresentam maiores índices de erodibilidade. Os siltes também afetam a erodibilidade dos solos sendo mais erodíveis devido à alta percentagem de areia fina. As argilas, por sua vez, diminuem a infiltração das águas e são mais difíceis de serem removidas. A Tabela II.9 apresenta a maior e menor suscetibilidade à erosão de acordo com o tipo de solo segundo LOPPIS TRILHO (1999).

Tabela II.9: Suscetibilidade à Erosão de Acordo com o Tipo de Solo
(LOPPIS TRILHO, 1999)

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ERODIBILIDADE
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos	Menos erodível  Mais erodível
GP	Pedregulhos e mistura de pedregulho e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos	
SW	Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras	
OL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos	
SC	Areias argilosas,	
SM	Areias siltosas	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plástico.	

A estrutura representa o arranjo das partículas e o agrupamento dessas mesmas partículas, influenciando na capacidade de infiltração e no transporte de partícula do solo. Solos com estrutura micro-agregada têm alta porcentagem de poros e alta permeabilidade, o que favorece a infiltração das águas. Por esta alta capacidade de infiltração, o escoamento superficial é reduzido e por consequência, a erosão. Solos com estrutura micro-agregada também têm maior agregação entre partículas, aumentando a resistência do solo.

F) Características Litológicas

As características litológicas, associadas ao intemperismo e ao grau de fraturamento, condicionam a suscetibilidade do material à erosão.

Em áreas de rochas pré-cambrianas, modeladas em relevo de colinas, as voçorocas e ravinas estão geralmente associadas à natureza e constituição dos solos de alteração de rochas xistosas e graníticas que, quando apresentam textura siltosa e micácea, são bastante porosos, permeáveis e friáveis, favorecendo o desenvolvimento de intenso processo erosivo.

2.2.2.2 Fatores Antrópicos

A ação antrópica pode ser danosa à natureza e ao homem. A interferência humana altera o processo natural da erosão, em geral acelerando sua ação e aumentando sua intensidade. Entre as ações causadas pela ação antrópica pode-se destacar: desmatamento, cultivo de terras, queimadas, construção de estradas, criação/expansão de vilas e cidades, execução inadequada de cortes e aterros, execução deficiente do sistema de drenagem (concentração de águas pluviais, servidas, etc.) e o traçado inadequado do sistema viário. O Capítulo III, item 3.4, faz um comentário sobre a relação entre a ocupação das encostas e o risco.

CAPÍTULO III

RISCO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO DE EROSÃO E ESCORREGAMENTO

3.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

A discussão dos conceitos básicos de evento, acidente, desastre e risco, é presente na maior parte da literatura. Entre os autores que definem esses conceitos podemos citar: VARNES (1984), BUARQUE DE HOLANDA (1985), WATERSTONE (1989), AUGUSTO FILHO et al. (1990a e 1990b), ZUQUETE (1993), CARDONA (1993 e 1996), WILCHES-CHAUX (1993), CARVALHO (1996), EINSTEIN (1997), IUGS-WGL (1997), RODRIGUES (1998), RAGOZIN (1998) e ALHEIROS (1998).

VARNES (1984) define os seguintes termos:

- *Natural hazard*: probabilidade de ocorrência de um fenômeno dentro de um certo período de tempo e de uma determinada área (susceptibilidade);
- *Risco (Risk)*: número de perda de vida, de danos à pessoas e propriedades, e de atividades econômicas interrompidas devido ao fenômeno;
- *Zoneamento*: divisão de áreas homogêneas com graus de perigo atual ou potencial devido a movimentos de massa;
- *Vulnerabilidade*: grau de perda de um determinado elemento ou conjunto de elementos de risco, devido a ocorrência de um fenômeno natural;
- *Elemento de risco*: população, propriedades e atividades econômicas em uma determinada área de risco;
- *Risco específico*: grau esperado de perda devido a um fenômeno natural;

Para a avaliação do risco em uma determinada situação, devem ser considerados: a susceptibilidade da área ao tipo de desastre em foco, o perigo potencial, o grau de exposição e a vulnerabilidade dos sistemas ali encontrados.

AUGUSTO FILHO et al. (1990b) tiveram duas conclusões a respeito dos termos em artigos internacionais:

- a) Existem dois conjuntos gerais de termos/conceitos: os “natural events” e os “hazard/disasters”. A diferença está relacionada à ocorrência ou não de danos socio-econômicos. Os “natural events” associa-se à ocorrência de processos naturais onde não há conseqüências, ou seja, é a suscetibilidade do meio;
- b) Existe uma diferença temporal entre o termo “hazard” e “disaster”. O primeiro refere-se a uma condição potencial e o segundo, ao acontecimento em si.

AUGUSTO FILHO et al. (1990a) propõem uma homogeneização nacional da terminologia e conceitos. Esta proposição é apoiada por um conjunto posterior de trabalhos (AUGUSTO FILHO et al., 1991; CERRI, 1992 e 1993; AUGUSTO FILHO, 1994; CERRI & AMARAL, 1998).

Segundo AUGUSTO FILHO et al. (1990a): *evento* trata de um fato já ocorrido, no qual não foram registradas conseqüências danosas sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente a ele. *Acidente* refere-se a um fato já ocorrido, onde foram registradas conseqüências danosas sociais e/ou econômicas (perdas e danos). *Risco* representa a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos) ou a um segmento da mesma. É uma condição potencial de ocorrência de um acidente.

Estes conceitos podem ser expressos por uma relação simples (AUGUSTO FILHO et al., 1990a): $R = P \times C$, onde R é o risco; P é a probabilidade (se quantificada) ou freqüência (F) ou possibilidade da ocorrência de um evento; ou seja, P é a suscetibilidade (S) de uma área à ocorrência de um determinado evento; e C representa as conseqüências sociais ou econômicas potenciais (vulnerabilidade).

ZUQUETE (1993) discute uma série de conceitos e definições dos termos empregados em trabalhos de análise de riscos (Tabela III.1).

Tabela III.1: Conceitos de Alguns Termos Referente a Análise de Riscos Segundo
ZUQUETE (1993)

TERMOS	CONCEITOS
EVENTO	Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo;
EVENTO PERIGOSO (HAZARD)	Representa um perigo (latente) que se associa a um fenômeno de origem natural, que se manifesta em um lugar específico, em tempo determinado, produzindo efeitos adversos nas pessoas, nos bens e/ou no meio ambiente;
PROCESSO PERIGOSO	Conjunto de fenômenos que antecedem o evento perigoso puro hazard, e que é tomado erroneamente como sinônimo deste.
VULNERABILIDADE	Característica intrínseca de um sujeito, sistema ou elemento que estão expostos a um evento perigoso (hazard), correspondendo à predisposição destes em serem afetados ou suscetíveis a perdas. É expressa em uma escala que varia de 0 (sem perdas) a 1 (perdas totais)
RISCO	É a probabilidade de que ocorram perdas (econômicas, sociais e ambientais), além de um valor limite (considerado normal ou aceitável), para um lugar específico, durante um período de tempo determinado. É considerado o resultado da relação entre um “hazard” e vulnerabilidade dos elementos (seres humanos, residências, etc.) expostos.

SOETERS e WESTEN (1996) relatam que os termos “*hazard*” e *susceptibilidade* são frequentemente utilizados como sinônimos. A vulnerabilidade é representada pela densidade populacional, a infra-estrutura e as atividades econômicas que estão em risco sobre os efeitos de um fenômeno.

EINSTEIN (1997) utiliza os seguintes conceitos: *Perigo (danger)*: o fenômeno de escorregamento é caracterizado geométrica e mecanicamente, utilizando procedimentos classificatórios existentes, mas não envolve qualquer prognóstico; *Ameaça (Hazard)*: trabalha com a incerteza de um perigo, com a sua previsibilidade limitada. É a probabilidade de que um perigo particular ocorra em um determinado período de tempo; *Risco (Risk)*: como a mesma ameaça (*hazard*) pode conduzir a conseqüências completamente diferentes dependendo do uso do terreno afetado.

Segundo ALHEIROS (1998), eventos geológicos são ocorrências naturais que resultam da ação dos processos exógenos ou endógenos, que provocam mudanças no ambiente geológico com uma certa magnitude, durante um certo tempo, em uma determinada área, na busca do equilíbrio do sistema terrestre. Esses eventos ocorrem contínua e quotidianamente em nosso planeta, e nem sempre podem ser registrados, dependendo do local em que se processam e da sua magnitude. Os acidentes ou desastres naturais são eventos catastróficos, envolvendo perdas materiais ou perdas de vidas. São fatos consumados, cujo estudo permite entender o comportamento do meio frente aos processos que nele atuaram, avaliar as perdas materiais e humanas resultantes e conhecer a maior ou menor fragilidade dos sistemas ali implantados.

Com respeito à classificação de risco, há uma vasta bibliografia com grande diversidade de enfoques. Diferentes processos são classificados como riscos geológicos, principalmente os associados à dinâmica externa como erosão e escorregamentos. Alguns autores utilizam para estes processos o termo risco geomorfológico. Quando os processos são associados à dinâmica interna, como terremotos, vulcanismo, tsunamis, a divergência não é tão grande, sendo que alguns autores utilizam para estes processos o termo risco geofísico. O termo risco geotécnico é geralmente empregado para o caso de perigo associado a obras de engenharia.

KATES (1980) caracteriza os processos de nevasca, seca, enchentes, ciclones tropicais, tornados e tempestades como riscos climáticos.

LEVILLAIN (1987) identifica as inundações e as erosões como riscos hidráulicos.

AUGUSTO FILHO et al. (1990a) subdividem os riscos naturais levando em consideração a geosfera em que são gerados:

- a) *Riscos atmosféricos*: relacionados aos processos do domínio da atmosfera;
- b) *Riscos geológicos*: relacionados aos processos do domínio da hidrosfera e astenosfera.

BUSTAMANTE e HERMELIN (1990) utilizam o termo risco hidrológico referindo-se às inundações e enchentes.

ZUQUETE (1993) divide os riscos quanto à origem em naturais, incluindo os geológicos, hidrológicos e atmosféricos; e em tecnológicos, como aqueles provocados pelo homem ou decorrentes de falhas de elementos de ocupação.

CERRI (1993) faz uma revisão bastante abrangente das classificações de risco e propõe três classes de riscos ambientais:

- a) *Riscos naturais*: relativos ao meio ambiente natural e associados a processos da dinâmica natural do planeta. Embora ocorram independentemente do homem, podem ser induzidos ou intensificados pela atividade antrópica.
- b) *Riscos sociais*: relativos ao meio ambiente antrópico (ou sócio-econômico) e associados a circunstâncias que envolvem diretamente as atividades econômicas e as relações sociais.
- c) *Riscos tecnológicos*: relativos às atividades modificadoras do meio ambiente e associados a processos produtivos, opções e concepções técnicas.

Segundo ALHEIROS (1998), é comum se falar em risco geotécnico ou risco geomorfológico, como sinônimos de risco geológico. Neste trabalho adotou-se para os processos de erosão e escorregamento como sendo de risco geológico/geotécnico.

A Figura III.1 apresenta um diagrama com classificação dos riscos ambientais segundo CERRI e AMARAL (1998).

3.2 CARTOGRAFIA PARA ANÁLISE DE RISCO

Mapas e cartas são documentos cartográficos que reúnem as informações de um ou mais aspectos do meio ambiente (meio físico, meio biótico e meio antrópico). Os mapas registram as informações (atributos) obtidas de um aspecto do meio ambiente, enquanto que as cartas apresentam as interpretações de informações contidas em mapas para uma finalidade específica. As cartas e os mapas podem ser utilizados com objetivos de obras civis e para planejamento territorial, urbano e ambiental.

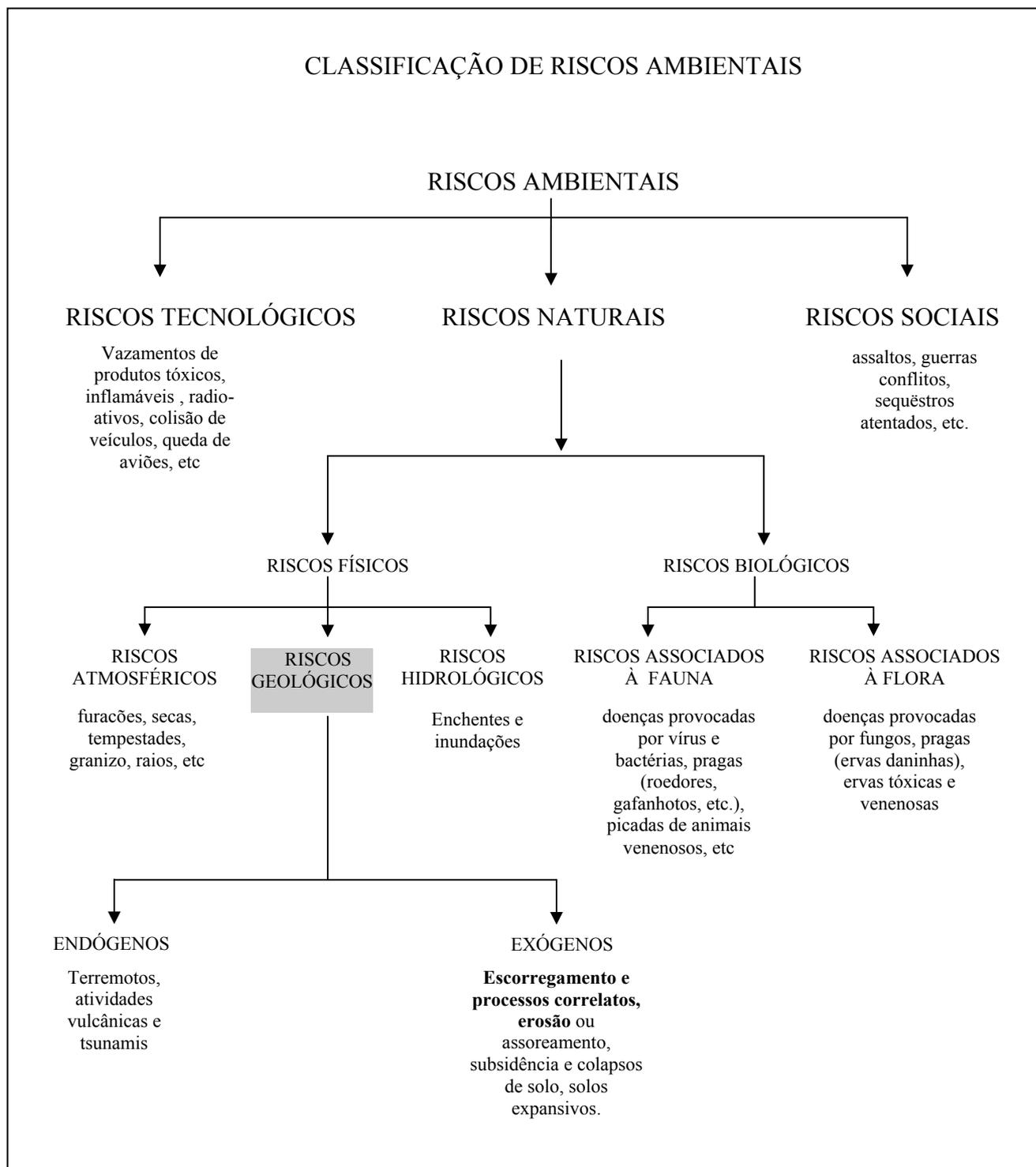


Figura III.1 Diagrama de Classificação dos Riscos Ambientais
CERRI e AMARAL (1998).

A Cartografia Geotécnica é um dos instrumentos para o planejamento e direcionamento da ação humana sobre o meio ambiente. Constitui uma representação gráfica da descrição, potencialidade e limitações do meio físico, em face de determinados tipos de intervenções e obras, concernentes à urbanização (COUTINHO et al., 1990).

ZUQUETTE (1987) afirma que o mapeamento geotécnico obedece ao princípio de traçar linhas delimitando cartograficamente porções do meio físico que sejam homogêneas ante um grupo de atributos, e tem como função básica a transmissão de informações para serem usadas nas mais diversas situações de engenharia e planejamento.

PRANDINI, NAKAZAWA e FREITAS (1992) reconhecem dois objetivos básicos na cartografia geotécnica:

- a) Prever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial; e
- b) Orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar as “deseconomias” e os riscos nos empreendimentos de uso do solo.

A escala de apresentação da cartografia depende de seu objetivo. Nos projetos de engenharia visando a estabilização de encostas, onde exige o conhecimento direto da área, implicando em metodologias específicas para o trabalho de detalhe, a escala de apresentação é de 1:5.000 ou maiores; Para a gestão de problemas causados pela ocupação dos morros urbanos, onde deve ser conhecida os aspectos do ambiente (físico-biótico-antrópico), as escalas de trabalho mais adotadas ficam entre 1:10.000 e 1:25.000. O relatório da ONU (UNDRO, 1978), sugere as seguintes escalas de acordo com o trabalho a ser desenvolvido:

- Escala nacional (1:250.000 a 1:1.000.000) - macrozoneamento de riscos, visando o planejamento do uso do solo a longo prazo;
- Escala regional (1:250.000 a 1:62.500) - macrozoneamento visando o planejamento regional;

- Escala de detalhe (1:24.000 a 1:12.000) - microzoneamento voltado para o planejamento urbano e análise de vulnerabilidade;
- Escala de projeto (1:12.000 a 1:2.000) - microzoneamento para a regulamentação de construções e planejamento detalhado de uma área.

No trabalho aqui desenvolvido, para análise de risco de erosão e escorregamento, adotou-se como escala de apresentação final de 1:5.000, tendo em vista o foco dado às ocupações desordenadas, para atender às necessidades do planejamento urbano do município estudado. Alguns temas utilizados na definição dos setores, como é o caso das micro-bacias e unidades de relevo, serão apresentados na escala 1:10.000.

Vários trabalhos de cartografia geotécnica e de análise de risco estão sendo elaborados em todo o Brasil. Em Pernambuco podemos citar os trabalhos de: COUTINHO et al. (1990), com a Carta Geotécnica do Recife; GUSMÃO FILHO et al. (1992) que estudaram o risco das encostas ocupadas em Jaboatão dos Guararapes; GUSMÃO FILHO et al. (1994b) com o risco de deslizamento no Sítio Histórico de Olinda; ALHEIROS (1998) que estudou o risco de escorregamento para a cidade do Recife e a suscetibilidade ao escorregamento para a Região Metropolitana do Recife; e o trabalho de VASCONCELOS (2001), com mapas de suscetibilidade de solos colapsáveis e expansivos do estado de Pernambuco.

BRABB (1984) apresenta exemplos de vários tipos de mapas de escorregamentos: inventário, susceptibilidade, avaliação de perdas e determinação do grau de risco. SCHUSTER e KOCKELMAN (1996), afirmam que os mapas de escorregamentos podem indicar locais de ocorrências passadas e áreas susceptíveis a novos escorregamentos.

O mapa de risco geológico/geotécnico é um instrumento cartográfico que apresenta a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológico/geotécnicos, visando a definição de medidas de prevenção de acidentes. A sua representação pode ser de dois tipos: *por cadastramento de risco*, consta da apresentação dos pontos notáveis sujeitos ao risco, com indicação de seu grau; e *por zoneamento de risco*, onde são delimitadas zonas homogêneas em relação ao grau de risco geológico/geotécnico, estabelecendo as

classes de áreas de risco. A codificação dos graus de risco pode utilizar números (1,2,3, etc.), termos linguísticos (baixo, médio, etc.), cores ou hachuras. O uso de cores semafóricas (verde, amarelo, vermelho) vem sendo recomendado, tendo em vista sua relação imediata com a noção implícita de referencial de perigo.

3.3 METODOLOGIAS PARA ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO GEOLÓGICOS/GEOTÉCNICOS

BOLT et al. (1975) definem duas formas para determinar o grau de risco geológico/geotécnico de uma área: a) análise probabilística (quantitativa): através da apresentação da probabilidade de ocorrência do acidente geológico/geotécnico, em determinado intervalo de tempo - *risco probabilístico*; e b) análise relativa (qualitativa): através da simples comparação entre as situações de riscos identificadas, sem cálculos probabilísticos quanto à ocorrência - *risco relativo*.

As análises quantitativas de risco incorporam ao cálculo, a probabilidade de ocorrência do processo e a distribuição probabilística das conseqüências. Segundo CARVALHO (1996) este tipo de análise é essencial para o estabelecimento de programas racionais de gerenciamento de risco que considerem custo e benefícios resultantes de intervenções de segurança.

Nas análises qualitativas, em que o grau de risco é estabelecido por níveis literais, ou seja, por termos lingüísticos (baixo, médio, alto), as conseqüências podem ser definidas de forma similar, englobando intervalos de valores relacionados ao número de moradias expostas ao risco. Segundo CERRI e CARVALHO (1990), estas análises são adequadas para o levantamento preliminar do quadro de risco de uma região, onde o importante é estabelecer uma hierarquia de setores que sirva de base para implantação de ações não-estruturais como os planejamentos urbanos.

CARVALHO et al. (1998) afirmam que, nos projetos de urbanização de favelas, mais do que comparar setores de encostas, o importante é identificar a situação de risco de cada moradia, permitindo estabelecer as intervenções necessárias e as ações da defesa civil, sendo nestes casos avaliada a probabilidade de destruição de cada moradia, que pode ser feita também qualitativamente.

PACHECO (2001) apresenta uma distribuição de frequência de mortalidade em taludes de corte e de aterro, utilizando os procedimentos de análise de risco quantitativo (QRA) local, através de cálculo probabilístico. Neste trabalho ele apresenta uma tabela de mortalidade esperada em Hong Kong, reproduzida aqui (Tabela III.2), referente ao modelo desenvolvido pelo Geotechnical Engineering Office (GEO), por WONG et al. (1997). O modelo é baseado em levantamentos estatísticos provenientes de um banco de dados de cerca de 35.000 taludes, que incluem mais de 5.000 deslizamentos de encostas em Hong Kong.

Tabela III.2: Mortalidade Esperada em Hong Kong
(WONG et al., 1997, a partir de PACHECO, 2001)

NÚMERO DE GRUPO	OBJETO	MORTALIDADE ESPERADA E/N_R
1	<ul style="list-style-type: none"> - Edifícios com alta densidade de ocupação; - Áreas abrigadas com alta densidade de ocupação; - Rodovias principais com alta densidade de tráfego e de pedestres 	3.0
2-a	<ul style="list-style-type: none"> - Edifícios com baixa densidade de ocupação; - Áreas abrigadas com baixa densidade de ocupação; 	2.0
2-b	<ul style="list-style-type: none"> - Estradas (que não rodovias principais) com alta densidade de tráfego e pedestres; - Instalações de infra-estrutura e locais de construção 	1.0
3	<ul style="list-style-type: none"> - Estradas com moderada densidade de tráfego veicular ou de pedestres; - Espaços públicos abertos densamente utilizados 	0.25
4	<ul style="list-style-type: none"> - Estradas com baixa densidade de tráfego ou de pedestres; - Espaços públicos abertos pouco utilizados 	0.03
5	<ul style="list-style-type: none"> - Estradas com baixíssima densidade de tráfego ou de pedestres; - Áreas remotas 	0.001

Na Tabela III.2, E/N_R representa a mortalidade esperada de um deslizamento de referência, no qual corresponde a um deslizamento de 10m de largura e 50m³ de volume. Segundo WONG et al. (1997), a partir de PACHECO et al. (2001), a

mortalidade esperada $E[N]$ em decorrência de um deslizamento em corte ou aterro pode ser estimada conforme a seguinte fórmula:

$$E[N] = E[N_R] \cdot S \cdot V_s \quad \text{onde,} \quad (\text{II.1})$$

$E[N_R]$ é a mortalidade esperada em um deslizamento de referência, com 10m de largura e 50m^3 de volume;

S é um fator de escala (relação entre a largura do deslizamento real e a largura do deslizamento de referência);

V_s é o fator de vulnerabilidade espacial

O fator vulnerabilidade espacial (V_s) é calculado a partir do ângulo de sombra (β), conforme Figura III.2 e Tabela III.3.

Tabela III.3: Fator de Vulnerabilidade V_s
(WONG et al., 1997, a partir de PACHECO, 2001)

INSTALAÇÕES	INTERVALOS DO ÂNGULO DE SOMBRA (β)					
	$>50^\circ$	$45^\circ - 50^\circ$	$40^\circ - 45^\circ$	$35^\circ - 40^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$25^\circ - 30^\circ$
Edifícios	0.95	0.83	0.48	0.17	0.04	0.0025
Estradas	0.95	0.95	0.83	0.48	0.15	0.01

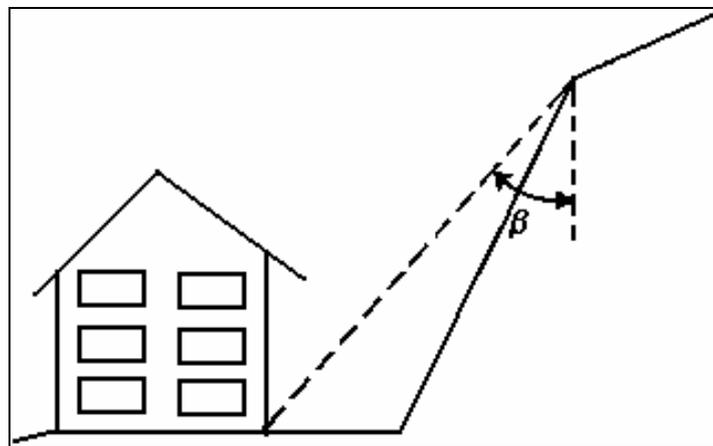


Figura III.2: Ângulo de Sombra (β)
(WONG et al., 1997, a partir de PACHECO, 2001)

Segundo PACHECO et al. (2001) esses valores podem ser utilizados, cautelosamente, na ausência de estatísticas locais, na maioria dos taludes de corte e aterro em ambientes urbanos tropicais úmidos no Brasil, onde prevaleçam os deslizamentos provocados por chuvas intensas, sob condições climáticas, geológicas, geomorfológicas e antrópicas semelhantes àquelas em Hong Kong. Análises realizadas por AMARAL e PALMEIRO (1997) mostraram que as proporções de escorregamentos em taludes de cortes e aterros ocorridos na cidade do Rio de Janeiro, entre os anos de 1986 e 1991, em função do volume de massa deslizado possuem, na maioria dos eventos, volumes similares ao deslizamento de referência de Hong Kong, servindo, portanto de base aos valores mostrados na Tabela III.2. Segundo PACHECO et al. (2001) os métodos probabilísticos são essenciais para o planejamento de estratégias de defesa civil e para prover procedimentos racionais no desenvolvimento de projetos de engenharia.

No contexto de elaboração das cartas de risco de escorregamentos, LU (1985) reconhece dois métodos: sobreposição de mapas com os fatores pertinentes ao risco (método overlay) e o método de índices. No método de sobreposição de mapas, a carta de risco resulta do entrecruzamento de mapas temáticos dos fatores determinantes dos processos de escorregamentos (geologia, declividade, vegetação, uso do solo, etc). No método índice, para cada parâmetro utilizado é associado um índice numérico, em que o grau de risco final será calculado através de uma expressão matemática.

RODRIGUES, B.B. (1998) faz uma ampla revisão e análise das metodologias de elaboração de cartas de risco associado a movimentos gravitacionais de massa. São as seguintes: Metodologia ZERMOS (Zones Exposées aux Risques liés aux Mouvements du Sol et du Sous-sol, desenvolvida na França na década de 70); a de STEVENSON (1977), desenvolvida na Tamânia; a metodologia de HINOJOSA e LEON (1978), utilizada na Espanha; GASP (Geotechnical Area Studies Programme), utilizada em Hong Kong (BRAND et al.,1982; BURNETT et al.,1985; BURNETT e STYLES, 1982); de SESHAGIRI et al. (1982); de CARRARA (1983); de KIENHOLZ (1985), aplicada em áreas montanhosas da Suíça; de BRABB (1984/1985) e de EINSTEIN (1988), desenvolvidas nos Estados Unidos; de BARISONE e BOTINO (1990), aplicadas na Itália; de BERGGREN et al. (1991) desenvolvida na Suécia; de CHOUBEY e LITORIA (1990) e de AMBALAGAN (1991/1992), aplicadas na Índia;

CARRARA et al. (1991/1995), desenvolvida na Itália; de GUSMÃO FILHO et al. (1992), aplicada às Encostas de Jaboatão dos Guararapes-PE, Olinda e Recife; de AUGUSTO FILHO (1994) aplicada no município de Ilhabela-SP; e do IPT (1994) (citados por RODRIGUES, B.B., 1998).

Os trabalhos citados acima contêm roteiros para a elaboração de cartas de risco, que envolvem a construção de mapas-base (topográficos) e de mapas temáticos intermediários, produzidos com o auxílio de fotointerpretação e controle de campo (geológicos, geotécnicos, morfológicos, uso e ocupação do solo), que são interrelacionados para a obtenção dos mapas finais.

A metodologia desenvolvida por GUSMÃO FILHO et al. (1992) é um método índice de caráter qualitativo. Esta metodologia foi aplicada em algumas cidades da Região Metropolitana do Recife, como Jaboatão dos Guararapes-PE, Olinda e Recife. Para as encostas do município de Camaragibe, local de estudo da presente dissertação, também se utilizou esta metodologia, sendo porém necessário adapta-la para as características do município. Mais adiante se encontra esta metodologia descrita em detalhes e no Capítulo V encontra-se as modificações realizadas na metodologia para aplicação no município de Camaragibe.

A metodologia de AUGUSTO FILHO (1994) caracteriza bem a suscetibilidade na escala 1:10.000. A partir da retroanálise dos eventos de escorregamento, da caracterização geológica-geotécnica das unidades litológicas e dos condicionantes climáticos e topográficos, o zoneamento de suscetibilidade mostrou-se bastante consistente em sua área de estudo. A vulnerabilidade foi considerada apenas em duas situações: áreas urbanas e não-urbanas. Desse modo, o zoneamento final de risco consiste na caracterização do meio físico, tendo dois sub-conjuntos de suscetibilidades: o risco atual e o risco potencial, respectivamente associados às áreas urbanas e não-urbanas.

3.3.1 METODOLOGIA DE GUSMÃO FILHO ET AL. (1992) PARA ELABORAÇÃO DE MAPA DE RISCO DE EROSÃO E ESCORREGAMENTO

A metodologia desenvolvida por GUSMÃO FILHO et al. (1992) é um método índice, por utilizar um índice numérico associado a cada fator; e de análise relativa, em que se compara as situações de riscos sem cálculo probabilísticos tendo, porém resultados de caráter qualitativo.

Esta metodologia é aplicada a setores individualizados de encostas. Em campo observa-se uma determinada área, verificando suas características de ocupação e infraestrutura, dividindo-a em setores homogêneos de encostas. A elaboração de uma ficha permite uniformizar os dados a serem coletados, considerando os fatores geológico, topográfico e ambiental, levando em conta os principais grupos de atributos que afetam a estabilidade das encostas. A Tabela III.4 apresenta a ficha de levantamento dos fatores para análise de risco aplicada no município do Recife.

O fator topográfico e o fator geológico têm como atributos os elementos da suscetibilidade; e o fator ambiental envolve os atributos relacionados à suscetibilidade e à vulnerabilidade da área. O fator meteorológico, nesta metodologia, é considerado uniforme para toda a área de estudo, considerando-se os mesmos índices pluviométricos para toda região. Na avaliação dos riscos de cada fator isoladamente, eles são considerados sob condições de chuvas intensas.

Com a ficha para levantamento dos fatores previamente formulada, avaliam-se em campo e em escritório os valores e características dos atributos. Após coletar as informações de todos os setores de encostas, cada atributo recebe uma avaliação qualitativa para o seu grau de risco conforme a Tabela III.5. A Tabela III.6 apresenta o detalhamento dos atributos dos fatores por graus de risco aplicado no município de Recife.

Tabela III.4 - Ficha de Levantamento dos Fatores para Avaliação do Potencial de Risco das Encostas do Recife (ALHEIROS, 1998)

FICHA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCO		
No. _____ localização: _____ avaliador: _____ data: _____		
Fatores Topográficos		
Altura da encosta (m): (A) < 5 (B) 5 – 10 (C) 10 – 20 (D) 20 – 30 (E) > 30	Perfil da encosta: (A) côncavo (B) retilíneo (C) convexo (D) côncavo-convexo	Morfologia da encosta: (A) côncava (B) retilínea (C) convexa (D) côncava-convexa
Extensão da encosta (m): (A) < 100 (B) 100 – 250 (B) 250 – 350 (D) 350 – 500 (E) > 500	Declividade da encosta (%): (A) < 20 (B) 20 – 30 (C) 30 – 40 (D) 40 – 50 (E) > 50	OBS:
Fatores Geológicos		
litologia: (A) solo residual (B) Saprolito (C) Fm. Cabo (D) Fm. Beberibe (E) Fm. Gramame (F) Fm Barreiras (fluvial) (G) Fm Barreiras (leque aluvial)	textura: (A) areno-argilosa (B) argilo-arenosa (C) arenosa / argilosa (D) argilosa / arenosa (E) topo arenoso (E) topo argiloso	estrutura: (A) maciça (B) mergulho oposto (C) subvertical (D) subhorizontal (E) mergulho concordante
evidências de movimento: (A) ravinamento sup. (B) rav. prof. (C) cicatrizes (D) erosão no pé da enc (E) voçorocas (F) fendas (G) surgências N.A. (H) ausentes	OBS:	
Fatores Ambientais		
vegetação (%): (A) 100 (B) 100-70 (C) 70-30 (D) 30-0 (E) ausente	drenagem: (A) extensiva (B) parcial (C) insuficiente (D) tópica (E) inexistente	cortes: (A) próx. a crista (B) próx. ao pé (C) próximos (D) desordenados (E) em patamares
densidade populacional (hab/ha): (A) <100 (B) 100-200 (C) 200-300 (D) 300-500 (E) >500	tratamento: (A) extensivo (B) parcial (C) insuficiente (D) tópico (E) inexistente	OBS:

Tabela III.5: Tabela de Grau de Risco

GUSMÃO FILHO et al. (1992)

TERMO LINGUÍSTICO	GRAU DE RISCO
Muito Baixo	1
Baixo	2
Médio	3
Alto	4
Muito alto	5

Tabela III.6 - Detalhamento dos Atributos por Graus de Risco Aplicado em Recife (ALHEIROS, 1998)

Graus de Risco	Muito Baixo	Baixo	Mediano	Alto	Muito Alto
Atributos	1	2	3	4	5
Fator Topográfico					
Altura (m)	< 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	> 30
Extensão (m)	< 100	100 - 250	250 - 350	350 - 500	> 500
Decividade (%)	< 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	> 50
Perfil	côncavo	retilíneo	cônc. - conv.	convexo	convexo
Morfologia	convexa	retilínea	sinuosa	côncava	côncava
Fator Geológico					
Litologia	calcário (Fm. Gramame)	conglomerado (Fm. Cabo)	solo residual (emb. crist.)	sedimento (Fm. Beberibe)	sedimento (Fm. Barreiras)
Estrutura	maciça	merg. oposto	subhorizontal	subvertical	merg. concord.
Textura	arenosa	areno-siltosa	areno-siltosa	areno-argilosa	areno-argilosa
Evidências	ausentes	ravinamento	cicatrizes -	cicatrizes +	fenda/barriga
Fator Ambiental					
Vegetação (%)	100	100 - 70	70 - 30	30 - 0	ausente
Drenagem	extensiva	parcial	insuficiente	tópica	inexistente
Cortes	isolados	dispersos -	dispersos +	desordenados -	desordenados +
Dens. Pop. (hab/ha)	< 100	100 - 200	200 - 300	300 - 500	> 500
Tratamento	extensivo	parcial	insuficiente	tópico	inexistente

Após obter os valores associados de graus de risco de cada atributo, calcula-se os graus de risco de cada fator (topográfico, geológico e ambiental), através da média aritmética dos valores de seus atributos, ou seja, a nota do fator topográfico, geológico e ambiental será a média aritmética de seus respectivos atributos. Em seguida calcula-se a nota de cada setor de encosta através da média aritmética ou ponderada, dependendo

dos pesos que lhes são atribuídos, entre os fatores topográfico, geológico e ambiental, conforme a seguinte fórmula:

$$GRF_{ENC} = \left[\frac{(P1 * GRT) + (P2 * GRG) + (P3 * GRA)}{(P1 + P2 + P3)} \right], \text{ onde} \quad (III.1)$$

GRF_{ENC} = Grau de risco de cada setor de encosta;

GRT = grau de risco topográfico (média aritmética dos atributos topográficos);

GRG = grau de risco geológico (média aritmética dos atributos geológicos);

GRA = grau de risco ambiental (média aritmética dos atributos ambientais);

P1, P2 e P3 são respectivamente os pesos do fator topográfico, geológico e ambiental

No estudo das encostas de Jaboaão dos Guararapes, GUSMÃO FILHO et al. (1992) utilizou, para o cálculo do grau de risco final, a média aritmética entre os três fatores (topográfico, geológico e ambiental).

No Sítio Histórico de Olinda, GUSMÃO FILHO et al. (1994a) também utilizou a média aritmética para o cálculo do grau de risco final. Como o local tratava-se de uma área de preservação, o tratamento podia ou não ser eficaz na redução do risco. GUSMÃO FILHO et al. (1994a) avaliaram o fator tratamento como autônomo, sendo analisado separado do fator ambiental. Eles ainda consideraram o fator histórico, referente à antecedentes conhecidos e documentados de danos e ameaça de vítimas fatais, no qual compôs outro fator de risco. Neste caso, o grau de risco final em Olinda foi a média aritmética entre os cinco fatores analisados.

Para as encostas do Recife, no sentido de ressaltar a importância relativa dos fatores de risco na deflagração dos acidentes de deslizamentos, o grau de risco final neste município foi calculado através de uma média ponderada, com peso 2 para topografia, 1 para geologia e 3 para o ambiente (GUSMÃO FILHO et al., 1993).

Com o valor do grau de risco de cada setor de encostas, observa-se a faixa de seus valores, para então distribuí-los em 05 intervalos, atribuindo-lhe seus

equivalentes numéricos (de 1 a 5), que serão associados aos termos linguístico (Tabela III.5), para a definição do grau de risco final. Para o município de Recife, por exemplo, a faixa dos graus de risco final variou de 1,66 (muito baixo) a 3,55 (muito alto). A normalização desses valores permitiu a obtenção dos intervalos numéricos mostrados na Tabela III.7.

Tabela III.7: Graus de Risco Finais para o Município de Recife
(ALHEIROS, 1998)

CLASSIFICAÇÃO	GRAU DE RISCO	RISCO OBTIDO
Muito Baixo	1	<1,74
Baixo	2	1,74-2,24
Médio	3	2,25-2,74
Alto	4	2,75-3,24
Muito alto	5	>3,24

3.3.2. METODOLOGIA ADOTADA NO MAPEAMENTO DE RISCO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (IPT e UNESP)

Tendo em vista a intenção do Ministério das Cidades quanto à uniformização dos procedimentos técnicos para o mapeamento de risco dos municípios brasileiros e as considerações apresentadas e debatidas durante o 1º Seminário Nacional de Controle de Risco, realizado em agosto/2003 em Recife, é apresentada neste item a metodologia adotada pelo IPT e UNESP para o mapeamento de risco do município de São Paulo, sugerido pelo Programa de Controle de Risco, que vem coordenando essas ações no âmbito nacional, como um modelo a ser adotado no Brasil.

Os pressupostos do referido modelo são a cartografia no nível de detalhe (1: 1.000 a 1:5.000) para permitir ações corretivas e investimentos focados na redução do risco das áreas já ocupadas e a definição de Setores de Risco, baseados na possibilidade de ocorrência dos acidentes, tendo como ênfase na definição de modelos para os diferentes processos. O risco é avaliado segundo graus de possibilidade de ocorrência do acidente.

O mapeamento realizado em São Paulo cobriu 192 favelas e loteamentos irregulares sendo analisados os processos adversos associados a escorregamentos de encostas e solapamentos de margens de córregos. O Diagnóstico atualizado destes riscos específicos identificou e analisou 522 setores nos 192 assentamentos subnormais estudados.

A metodologia compreende quatro etapas de trabalho:

- Obtenção dos dados básicos pré-existentes e definição das áreas a serem mapeadas;
- Realização de sobrevôo com helicópteros para a obtenção de fotografias oblíquas de baixa altitude;
- Trabalho de campo, para investigações geológico-geotécnicas, definição dos procesos adversos e identificação dos setores de risco;
- Elaboração dos relatórios e banco de dados.

Nessa metodologia, o mapa final de risco não chega a ser elaborado, sendo substituído pelo traçado dos setores sobre as fotografias obtidas. A escala para a caracterização do risco final foi definida em quatro níveis: R1 (baixo), R2 (médio), R3 (alto) e R4 (muito alto), conforme apresentado na Tabela III.8.

Nesse trabalho de São Paulo foram ainda indicadas as principais intervenções a serem realizadas nos setores mapeados, tendo como princípio a redução do risco com ações eficientes e de baixo custo e a manutenção dos moradores em suas áreas, sempre que possível, evitando as remoções indiscriminadas de moradias. A Tabela III.9 mostra as alternativas de intervenção padronizando diferentes tipos de intervenção, para possibilitar o emprego de uma terminologia uniforme.

Tabela III.8: Critérios para Definição do Grau de Risco de Escorregamentos em Encostas Ocupadas e Solapamento de Margens de Córregos (IPT-SP)

GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO
<p>R1 Baixo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos; - Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens; - É a condição menos crítica; - Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
<p>R2 Médio</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. - Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). - Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
<p>R3 Alto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. - Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). - Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
<p>R4 Muito Alto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. - As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. - É a condição mais crítica. - Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

Tabela III.9: Tipologia de Intervenções (IPT-SP)

TIPO DE INTERVENÇÃO	DESCRIÇÃO
Serviços de limpeza e recuperação	<ul style="list-style-type: none"> - Serviços de limpeza de entulho, lixo, etc. Recuperação e/ou limpeza de sistemas de drenagem, esgotos e acessos. Também incluem obras de limpeza de canais de drenagem. Correspondem a serviços manuais e/ou utilizando maquinário de pequeno porte.
Obras de drenagem superficial, proteção vegetal (gramíneas) e desmonte de blocos e matacões	<ul style="list-style-type: none"> - Implantação de sistema de drenagem superficial (canaletas, caixas de passagem, escadas d'água, etc.); - Implantação de proteção superficial vegetal (gramíneas) em taludes com solo exposto; - Eventual execução de acessos para pedestres (calçadas, escadarias, etc.) integrados ao sistema de drenagem; - Proteção vegetal de margens de canais de drenagem; - Desmonte de blocos rochosos e matacões. Predomínio de serviços manuais e/ou com maquinário de pequeno porte.
Obras de drenagem de subsuperfície	<ul style="list-style-type: none"> - Execução de sistema de drenagem de subsuperfície (trincheiras drenantes, DHP, poços de rebaixamento, etc.). Correspondem a serviços parcial ou totalmente mecanizados.
Estruturas de contenção localizadas ou lineares	<ul style="list-style-type: none"> - Implantação de estruturas de contenção localizadas, como chumbadores, tirantes, microestacas e muros de contenção passivos de pequeno porte ($h_{max} = 5$ m e $l_{max} = 10$ m); - Obras de contenção e proteção de margens de canais (gabiões, muros de concreto, etc.). Correspondem a serviços parcial ou totalmente mecanizados.
Obras de terraplenagem de médio a grande portes	<ul style="list-style-type: none"> - Execução de serviços de terraplenagem; - Execução combinada de obras de drenagem superficial e proteção vegetal (obras complementares aos serviços de terraplenagem). - Obras de desvio e canalização de córregos. Predomínio de serviços mecanizados.
Estruturas de contenção de médio a grande portes	<ul style="list-style-type: none"> - Implantação de estruturas de contenção de médio a grande porte ($h > 5$ m e $l > 10$ m), envolvendo obras de contenção passivas e ativas (muros de gravidade, cortinas, etc.). Poderão envolver serviços complementares de terraplenagem. Predomínio de serviços mecanizados.
Remoção de moradias	<ul style="list-style-type: none"> - As remoções poderão ser definitivas ou não (para implantação de uma obra, por exemplo). Priorizar eventuais relocações dentro da própria área ocupada, em local seguro.

3.4 A OCUPAÇÃO NAS ENCOSTAS X RISCO

De todos os organismos vivos, o homem é o responsável pelas maiores e mais importantes transformações ocorridas no relevo da terra. Com o crescimento demográfico acelerado e o domínio tecnológico, o homem transformou a paisagem natural em paisagens rurais e urbanas. As ações necessárias para alterar as paisagens (mudanças na topografia, na drenagem, na vegetação) tornaram o homem um poderoso agente modificador do relevo (LIMA, 2002).

Até a década de 50, menos de 40% da população brasileira concentrava-se nas grandes cidades, onde desempenhava funções econômicas e sociais bem definidas. Até então, sob moderada pressão de crescimento, os melhores terrenos eram ocupados e ficavam sem ocupação os visivelmente problemáticos. Normas de urbanização e edificação espelhavam esta realidade física e sócio-econômica. A urbanização acelerada é fenômeno mundial, que se manifestou no Brasil nos anos 60, atingindo uma intensidade maior na década seguinte. Hoje as cidades abrigam mais de 70% da população brasileira. Passaram a ser ocupados os terrenos diversos, sejam em novas periferias e até mesmo os que tinham ficado para trás na urbanização antiga. Surgiram assim, entre os gestores da cidade e os reais responsáveis pela sua expansão, práticas contaminadas de vícios, equívocos e ilegalidades cujos resultados marcaram a falência das políticas urbanas.

GUSMÃO FILHO et al. (1992), desenvolvendo estudos nas encostas de Jabotão dos Guararapes, afirmam que: “A ocupação de encostas urbanas pela população, especialmente de baixa renda, tem sido nas últimas décadas, um dos aspectos mais relevantes do meio físico no planejamento urbano”.

MENDONÇA e GUERRA (1997) enfatizaram que sem o respaldo governamental, o processo de ocupação nas encostas se dá de forma aleatória, ignorando os critérios técnicos que deveriam ser respeitados no seu planejamento. A partir de observações de áreas desordenadamente ocupadas, eles afirmam que as principais ações antrópicas que podem modificar a geodinâmica das encostas são: desmatamento, implantação inadequada de moradias, execução de cortes ou aterros, abertura aleatória de vias de acesso, despejo de detritos (lixo, entulho, etc), obstrução da

drenagem natural, despejo de águas servidas e esgotos, e execução de drenagem nociva à estabilidade da encosta. Interferir em tais práticas, puramente mecânicas, ajustando-as a critério mais técnico e natural constitui um dos maiores desafios para a atuação da engenharia geotécnica e da geologia de engenharia nos meios urbanos.

A cartografia geotécnica vem sendo cada vez mais utilizada no planejamento urbano onde, infelizmente, nem sempre suas recomendações são materializadas. Inúmeros são os artigos técnicos que salientam a questão, onde se destaca, BARROSO et al. (1987): “[...] *As relações políticas entre os governos e as chamadas comunidades carentes foram de tal forma problemáticas que as indicações de soluções apontadas pelo meio técnico nem sempre agradam as partes envolvidas*”.

Segundo ANJOS (1999), no Brasil não existe nenhum programa sistemático para controle de ocupação de áreas de risco, há apenas ações isoladas de alguns poucos profissionais. De acordo com o IBGE (Censo 2000), há no Brasil um déficit habitacional de 60 milhões de moradias, refletindo em ocupação de áreas não tratadas pela população de baixa renda.

O envolvimento do poder público nas áreas de risco, muitas vezes é realizado apenas por ocasião dos acidentes e isso se deve a vários fatores (ANJOS,1999):

- Falta de conhecimento sobre controle de riscos na ocupação de encostas por parte dos planejadores urbanos;
- Desorganização, nos níveis federal, estadual e municipal, do controle de ocupação de encostas urbanas;
- Pouca informação técnica sobre o assunto no âmbito da graduação em engenharia;
- A pluralidade temática que envolve o assunto exige a interdisciplinaridade dos pesquisadores, e isto torna o estudo restritivo, e assim, pouco conhecido;
- Forte desgaste político quando da necessidade de evacuar a população de uma área de risco;
- Falta de educação da população sobre habitação em áreas de encostas.

No Brasil a legislação faz entender que a ocupação nas encostas é um ato de “degradação ambiental” como ação que provoca alteração adversa das características do meio ambiente. A análise dos instrumentos legais (leis, decretos, portarias, etc) evidencia que as encostas com declives superiores a 30% constituem áreas impróprias à ocupação (Lei Federal Nº 6.766/77). Nesse sentido, a legislação delega competência ao poder público para coibir a população que convive com o risco, protegendo-a enquanto preserva o ambiente. Contudo, as encostas são ocupadas ao arrepio da lei e com a omissão e conivência do poder público.

O trabalho técnico de cunho científico é instrumento competente para funcionar como orientações para o legislador. Neste sentido, tem sido grande o esforço para colocar o conhecimento técnico e científico à disposição da comunidade de várias cidades brasileiras à fim de resolver, objetivamente, os problemas de identificação, análise, tratamento e controle dos riscos em áreas urbanas.

Os órgãos municipais geralmente trabalham sobre o impacto das pressões e dos fatos consumados, e não através de ações programadas (GUSMÃO FILHO, 1990). Isto pode ser observado devido às seguintes ações:

- Intervenções tópicas, isoladas, sem se interligarem na lógica de um tratamento ambiental da área em questão;
- Ênfase na construção de muros de arrimo de pedra atrás das habitações, sem que fossem parte de uma intervenção global;
- Atendimento a pleitos individuais dos moradores, encaminhados por políticos;
- Trabalho concentrado na estação das chuvas em decorrência dos seus efeitos calamitosos.

ROSSI et al, 1982 apontam três opções fundamentais para administrar os perigos naturais: a) ignorar os fatos; b) executar ações após os desastres; e c) realizar programas de controle de risco antes dos danos.

SWANSTON e SHUSTER (1989) analisaram o risco de escorregamento em vários países (Áustria, Canadá, França, Itália, Japão, Nova Zelândia, União Soviética) e em Hong Kong, onde os escorregamentos constituem um problema sócio-econômico.

Baseados nas experiências desses países e nos estados Unidos, verificou-se que o programa nacional para redução de risco de escorregamento foram fundamentados nos seguintes aspectos:

- Identificação de uma organização central para administrar o programa nacional de redução de escorregamentos de encostas;
- Estabelecer limites e responsabilidades dos governos federal, estaduais e municipais e entidades privadas;
- Esforço nacional para identificar mapas de risco, definindo os processos adversos característicos de cada área e determinar o grau de risco;
- Desenvolvimento de um padrão mínimo para aplicação e prática do profissional;
- Regular o padrão mínimo do profissional, revisando periodicamente e melhorando as diretrizes para novas construções;
- Suporte entre o governo federal e centros de pesquisa que lidam com os equipamentos mecânicos e técnicas de redução e sistema de alerta;
- Deixar acessível para profissionais, agências e governos locais as publicações das diretrizes;
- Programas de compensação através de fundos de seguro federal, nacional e privado;

Nos Estados Unidos, o programa de redução de risco de escorregamento tem sido próspero devido à quatro fatores (U.S. Geological Survey, 1982, a partir de SCHUSTER e KOCKELMAN, 1996): a) Base de dados confiáveis; b) Pessoal técnico treinado; c) Interesse do Governo local; e d) Investimento em programas de saúde, segurança e do bem-estar da comunidade. O programa de redução de risco neste país envolve:

- Restrição de ocupação em áreas susceptíveis a escorregamentos, utilizando o mapa de susceptibilidade;
- Criação de códigos para as áreas de risco: licença para executar corte/aterro e construção; controle da geometria dos taludes; fiscalização; e manutenção dos sistemas de drenagem e da cobertura vegetal;

- Proteção das áreas de risco através de:
 - Intervenções: drenagem; retaludamento, bermas de equilíbrio e estruturas de contenção;
 - monitoramento por meio de instrumentação;
 - sistema de alerta: utiliza a correlação entre a chuva e os escorregamentos.

Segundo KOCKELMAN (1986), esses fatores podem ser utilizadas individualmente ou combinando-as para reduzir os riscos. Os dois primeiros métodos podem ser promovidos por meio de legislação.

Segundo SCHUSTER e KOCKELMAN (1996), a avaliação de risco de escorregamento tem se tornado um importante fator para a redução dos escorregamentos, sendo necessário o envolvimento dos engenheiros, geólogos, planejadores, da população e de entidades governamentais.

O controle de riscos exige um compromisso político, coerente com a democratização das condições de habitabilidade. O quadro de exclusão territorial e degradação ambiental das nossas cidades tem mostrado que é necessário um programa urgente para o controle de risco. O combate a essa exclusão nas cidades brasileiras, finalmente está sendo um dos objetivos centrais das políticas de desenvolvimento urbano desse novo Governo Federal. O primeiro passo dado pelo Governo, através do Ministério das Cidades, foi realizar o 1º Seminário Nacional de Controle de Risco em Assentamentos Precários nas Encostas Urbanas, para a elaboração de um Programa Nacional de Apoio aos Municípios em Ações de Controle de Risco. O seminário contou com a participação de gestores públicos, técnicos das administrações municipais, estaduais e federais; especialistas e pesquisadores de universidades e instituições de pesquisas; entidades profissionais e Organizações não Governamentais, que discutiram a construção de uma agenda para subsidiar o programa. O evento foi realizado em Recife-PE, em agosto/2003, sob os auspícios do Ministério das Cidades.

3.5 RISCOS DE EROÇÃO E ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

A grave situação social e a ausência de uma política habitacional resultaram em ocupação desordenada das encostas na Região Metropolitana do Recife, favorecendo a deflagração de deslizamentos e processos erosivos com as chuvas.

No Município de Jaboatão dos Guararapes-PE a distribuição populacional é bastante heterogênea, apresentando densidades populacionais muito variáveis. Os morros ocupados pela população representam 30% da área total das encostas do município. Estudos realizados por GUSMÃO FILHO et al. (1992) revelaram que a ocupação das encostas foi efetuada de três formas distintas: ocupação informal e legal, ocupação formal e ocupação por invasões. Geologicamente tem-se a Formação Cabo e a Formação Barreiras, além dos solos residuais de rochas graníticas, caracterizando as encostas de Jaboatão dos Guararapes. A Formação Cabo apresenta encostas estáveis pela sua coesão e pré-adensamento natural e as encostas da Formação Barreiras apresentam escorregamentos mais localizados e em pequena proporção nesta área.

O resultado da análise de risco nas encostas de Jaboatão dos Guararapes mostrou que está dentro da faixa de grau de risco mediano a alto. Não houve grau de risco muito baixo ou muito alto, ou seja, valores extremos da escala de cinco faixas adotada. Da área estudada concluiu-se que os fatores ambientais prevalecem sobre fatores geológicos e topográficos (Figuras III.3, III.4 e III.5).

Em Olinda, a instabilidade das encostas representa um sério risco ao seu patrimônio histórico, artístico e cultural. Geologicamente, os morros do Sítio Histórico de Olinda são caracterizados pela Formação Barreiras e pela Formação Marinha Farinha. A Tabela III.10 apresenta o tipo de ocupação nos morros do Sítio Histórico de Olinda, e a Tabela III.11 a situação de risco de suas encostas nos estudos realizados por GUSMÃO FILHO et al. (1994a).

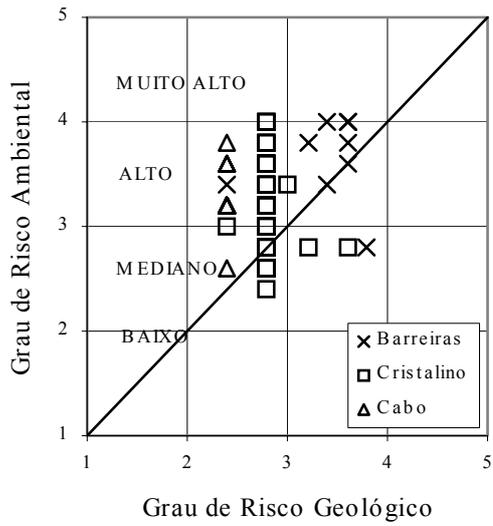


Figura III.3: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Ambiental

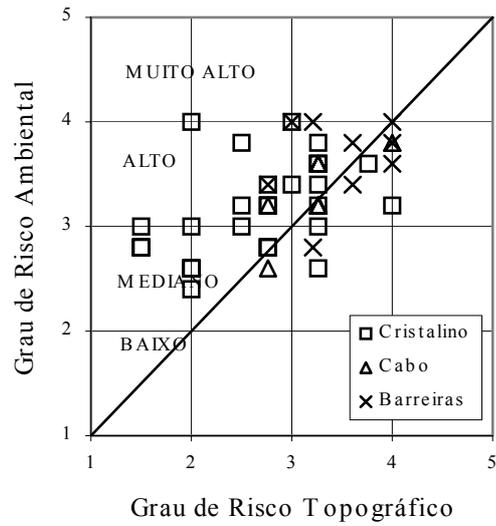


Figura III.4: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Ambiental

(Jaboatão dos Guararapes, GUSMÃO FILHO et al., 1992)

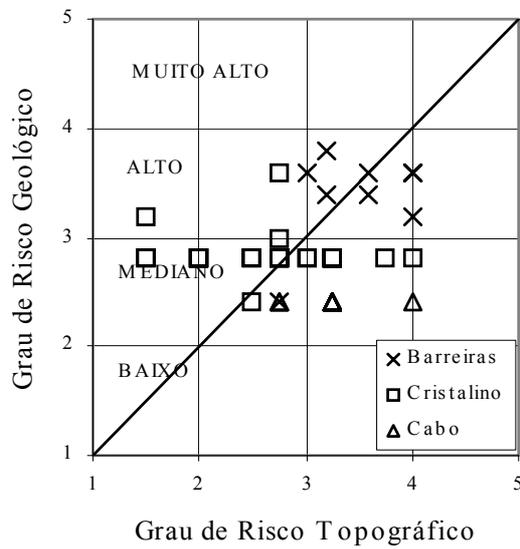


Figura III.5: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Geológico

(Jaboatão dos Guararapes, GUSMÃO FILHO et al., 1992)

Tabela III.10: Tipos de Ocupação dos Morros do Sítio Histórico de Olinda
(GUSMÃO FILHO et al., 1994a)

CLASSE	Encostas Verdes (EV)	Encostas de Ocupação Formal Centenária (EOFC)	Encostas de Ocupação Formal Recente (EOFR)	Encostas de Ocupação Informal (EOI)
Modelo de ocupação	com preservação da vegetação e drenagem naturais	efetuada pelos colonizadores e com os benefícios urbanos atuais	efetuada com urbanização planejada	efetuada de forma ilegal (invasões) entorno das encostas do Sítio Histórico
Área (ha)	44,06	44,66	26,52	37,89

Tabela III.11: Situação de Risco das Encostas do Sítio Histórico de Olinda
no ano de 1994 (GUSMÃO FILHO et al., 1994a)

RISCO	ÁREA (ha)	% ÁREA
Baixo	72,21	47
Mediano	19,74	13
Alto a muito alto	61,18	40
TOTAL	153,13	100

Para analisar o risco das encostas no Sítio Histórico de Olinda, a área foi dividida em 20 sítios urbanos e considerou-se cinco faixas de grau de risco: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. O resultado da análise mostrou que o risco está dentro da faixa de grau baixo a muito alto. Não houve grau de risco muito baixo. Em todas as encostas, exceto nas de Ocupação Informal (EOI), os fatores topográficos prevalecem sobre os ambientais. Nas Encostas de Ocupação Informal (EOI) prevalecem os fatores ambientais. Nas Encostas Verdes (EV) e em algumas Encostas de Ocupação Formal Centenária (EOFC), para situações de risco alto, são mais importantes os fatores geológicos (GUSMÃO FILHO et al., 1994b). As Figuras III.6, III.7 e III.8 apresentam a prevalência dos fatores de risco e a Figura III.9 apresenta o mapa de risco ao patrimônio natural e criado do Sítio Histórico de Olinda para o ano do estudo.

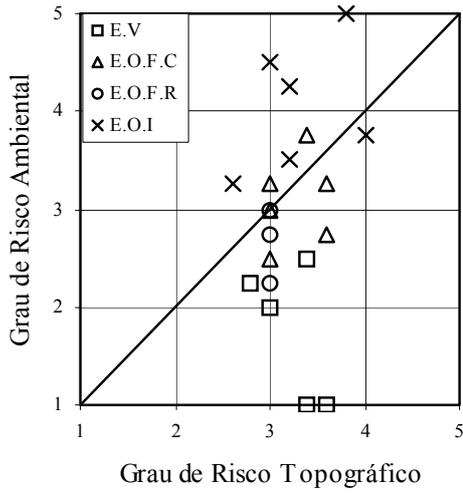


Figura III.6: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Ambiental

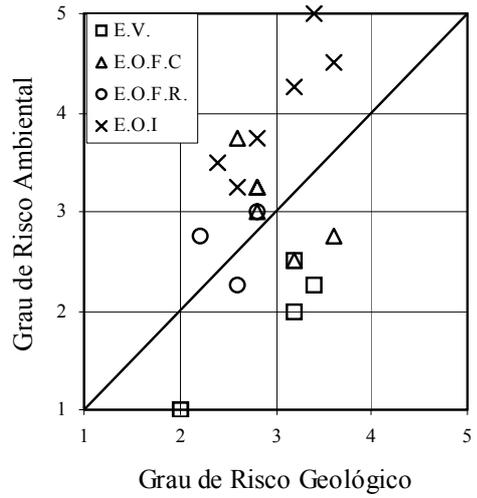


Figura III.7: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Ambiental

(Sítio Histórico de Olinda, GUSMÃO FILHO et al., 1994b)

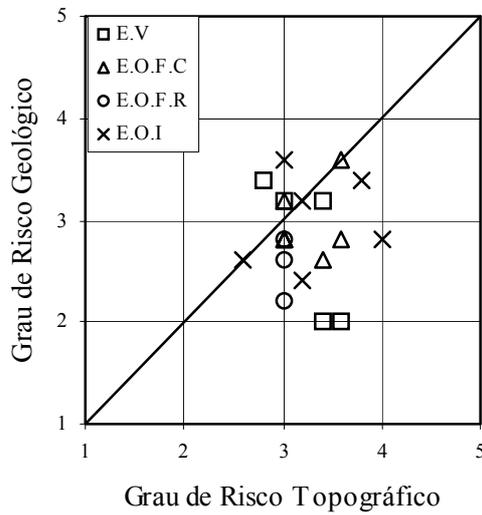


Figura III.8: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Geológico

(Sítio Histórico de Olinda, GUSMÃO FILHO et al., 1994b)

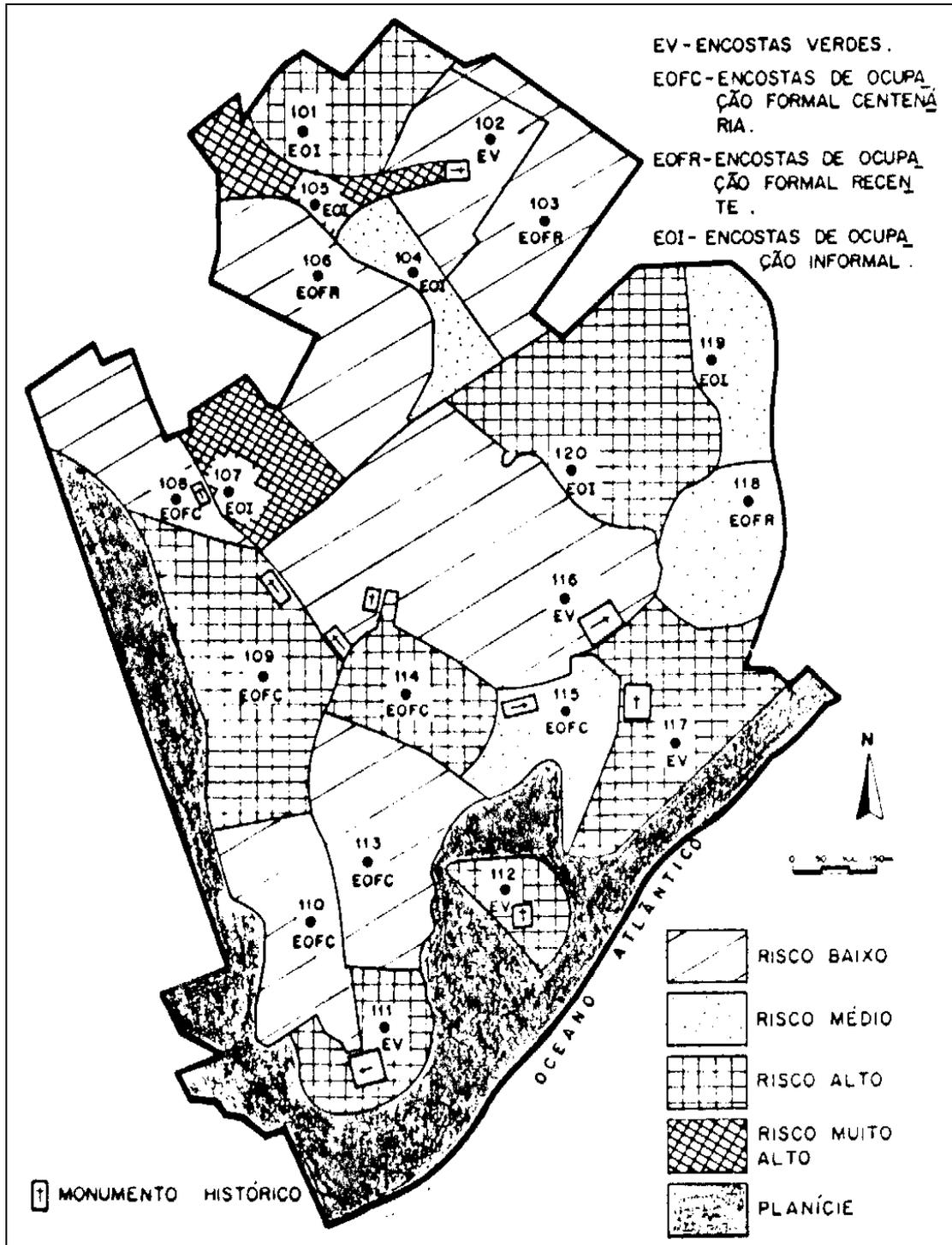


Figura III.9: Mapa de Risco ao Patrimônio Natural e Criado do Sítio Histórico de Olinda -1994

(GUSMÃO FILHO et al., 1994b)

Estudos realizados por GUSMÃO FILHO et al. (1993) no mapeamento de risco de escorregamento de todas as encostas ocupadas em 1993 no Recife, revelaram que, os morros ocupados pela população equivalem a 31 km² (cerca de 18% da cidade), abrigando cerca de 400.000 habitantes. Nesses estudos os autores concluíram que 1/3 dos habitantes que ocupam os morros estão em áreas de sedimentos da Formação Barreiras, consideradas de risco alto a muito alto. LAFAYETTE (2000) faz uma revisão bibliográfica sobre a Formação Barreiras e afirma que esta unidade representa a maior extensão na área de morros da cidade do Recife, com potencial de risco elevado, devido à alta erodibilidade do solo arenoso e a alta suscetibilidade de escorregamento das camadas argilosas. A Tabela III.12 mostra o modelo de ocupação dos morros do Recife com sua densidade demográfica, e a Tabela III.13 a situação de risco para os estudos realizados na época.

Segundo ALHEIROS (1998), o mapa de risco das encostas ocupadas do Recife mostrou uma boa confiabilidade em relação à situação real observada nas encostas. Acidentes posteriores ocorreram em áreas mapeadas como de grau de risco alto a muito alto, como foi o caso dos escorregamentos ocorridos em abril de 1996, em que se incluiu o Córrego do Boleiro, que deixou 21 vítimas fatais.

Tabela III.12: Formas de Ocupação dos Morros do Recife
(GUSMÃO FILHO et al., 1994)

PARÂMETROS	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUL
Modelo de ocupação	Desordenada, por população de baixa renda, dominância de invasões	Conjuntos habitacionais, ocupação informal e algumas invasões	Conjuntos habitacionais, nos topos planos e invasões nas encostas
Área Ocupada (ha)	1.850	425	1.025
População (hab)	280.000	8.000	92.000
Dens. Média (hab/ha)	150	>50	90

Tabela III.13: Situação de Risco no Recife
(ALHEIROS, 1998)

RISCO	ÁREA (ha)	% de Área	POPULAÇÃO
Baixo a muito baixo	1580	48	160.000
Mediano	1320	40	140.000
Alto a muito alto	400	12	50.000
TOTAL	3251	100	360.000

3.6 INTERVENÇÕES PARA TRATAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO

Qualquer que seja a alternativa de tratamento adotada é muito importante que as obras tenham como objetivo final a estruturação da encosta como um todo, observando o contexto da micro-bacia, como foi ressaltado no 1º Seminário Nacional de Controle de Risco em Assentamentos Precários nas Encostas Urbanas. Isso significa buscar formas de tratamento integradas, adequando as habitações aos sistemas viários e de drenagem, respeitadas as características da micro-bacia.

A ocupação de encostas deve ser realizada dentro de moldes técnicos adequados, para que não a transforme em áreas de risco. Nesse sentido a efetiva intervenção do poder público, com objetivo de orientar a ocupação ordenada das encostas, deve ser primordial, procurando contribuir com a segurança e a preservação do meio ambiente urbano.

Para transferir as informações técnicas de ocupação ao poder público e aos que convivem com os problemas de encostas estão sendo produzidos manuais de ocupações em várias cidades brasileiras. Entre os manuais existentes tem-se o Manual de Ocupação de Encostas de São Paulo, produzido pelo IPT (1991), o Manual Técnico de Encostas do Rio de Janeiro, produzido pela Fundação GEO-RIO (2000) e o Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife (2003), que foi produzido no âmbito do programa Viva o Morro, através de um convênio firmado entre o Governo do Estado de Pernambuco e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste.

As recomendações técnicas dos manuais de ocupação nas encostas são essenciais para o tratamento das áreas de riscos, mas qualquer que seja a alternativa de tratamento adotada, é muito importante que as obras tenham como objetivo final a estruturação da encosta como um todo, observando o contexto da microbacia. Isso significa buscar formas de tratamento integradas, adequando as habitações aos sistemas viários e de drenagem, respeitadas as características da micro-bacia.

GUSMÃO FILHO et al. (1992), fez uma comparação relativa entre os fatores de risco (ambiental, topográfico e geológico) dos setores de encosta do município de Jaboatão dos Guararapes. Esta comparação permite estabelecer as prioridades de intervenção para o controle global. De acordo com os fatores de risco, algumas intervenções foram propostas as quais serão detalhadas em seguida.

A) Intervenções para redução do risco ambiental:

- Microdrenagem;
- Macrodrenagem;
- Escadaria;
- Esgotamento sanitário;
- Proteção superficial (revestimento vegetal; impermeabilização);
- Limpeza urbana: calhas desobstruídas, coleta do lixo e educação ambiental;
- Manutenção das obras;

B) Intervenções para redução do risco topográfico:

- Retaludamento;
- Obras de contenção;
- Remoção de casas;

C) Intervenções para redução do risco geológico:

- Drenagem subterrânea;
- Injeções;
- Armação do solo;
- Ancoragem profunda;

3.6.1 INTERVENÇÕES PARA O TRATAMENTO DO RISCO AMBIENTAL

3.6.1.1 Micro-drenagem e Macro-drenagem

A água é o principal agente deflagrador dos movimentos gravitacionais de massa e de transporte de massa (erosão), visto que a maioria dos acidentes ocorre em períodos chuvosos. Os processos de infiltração decorrentes da precipitação podem alterar as condições hidrológicas de talude, reduzindo a sucção e/ou aumentando a magnitude da poro-pressão. Em ambos os casos, estas mudanças reduzem a tensão efetiva e conseqüentemente a resistência ao cisalhamento do solo, tendendo a causar instabilidade das encostas. Independente das soluções adotadas para estabilização de encostas, o controle das condições de drenagem é fundamental, garantindo a redução dos esforços a serem suportados pela estrutura. Um simples sistema de drenagem combinado com elementos de proteção superficial pode em muitos casos ser solução suficiente para estabilizar uma encosta.

As soluções que envolvem o escoamento superficial são divididas em dois sub-sistemas: o sistema de micro-drenagem, formado por valetas, calhas e canaletas, além dos dissipadores de energia e as caixas coletoras; e o sistema de macro-drenagem, formado por galerias subterrâneas e canais, completado por rios, lagos e pelo mar, que recebe todo o volume escoado. Esses sub-sistemas recebem tratamentos diferenciados pelos setores responsáveis pela sua execução e conservação. Enquanto a macro-drenagem é formalmente reconhecida pelo poder público e dispõe de registro nos setores municipais de obras, com recursos para manutenção, a micro-drenagem é precariamente conhecida e administrada, sendo hoje um desafio para o município, o seu cadastramento para permitir o monitoramento e controle (ALHEIROS et al., 2003).

Os projetos de drenagem superficial têm o objetivo de melhorar as condições de estabilidade, reduzindo a infiltração no solo e a força de percolação pela captação e condução das águas superficiais do talude para um sistema coletor, considerando não só a área estudada como toda a bacia de drenagem. Um sistema eficiente para os morros, deve ser planejado para a micro-bacia em questão, para evitar transbordamento nas ocorrências de chuvas intensas. A drenagem superficial se faz pelas linhas d'água

naturais e pelo sistema formal construído, que deve obedecer à forma do relevo para que o escoamento das águas seja efetivo.

O sistema de drenagem deve ser dimensionado em função da vazão e da declividade. A vazão depende da área de captação, da precipitação, das características geométricas e das condições superficiais. As canaletas de descida agregadas às escadarias devem levar em consideração as condições topográficas, para garantir a eficiência da micro-drenagem. Nas vistorias realizadas em Camaragibe, foi freqüente encontrar canaletas de descida agregadas às escadarias sem a caixa coletora em seu pé, causando foco de erosão (Foto III.1). Observou-se ainda o acúmulo de águas nas escadarias, tornando sua função inadequada (Foto III.2).

A rede de drenagem deve ser planejada por micro-bacias, interligando todas as casas, a partir das calhas ou biqueiras até as canaletas de descida, de bordo e de pé de talude, as quais devem chegar as canaletas principais ou de escadarias e finalmente aos canais.

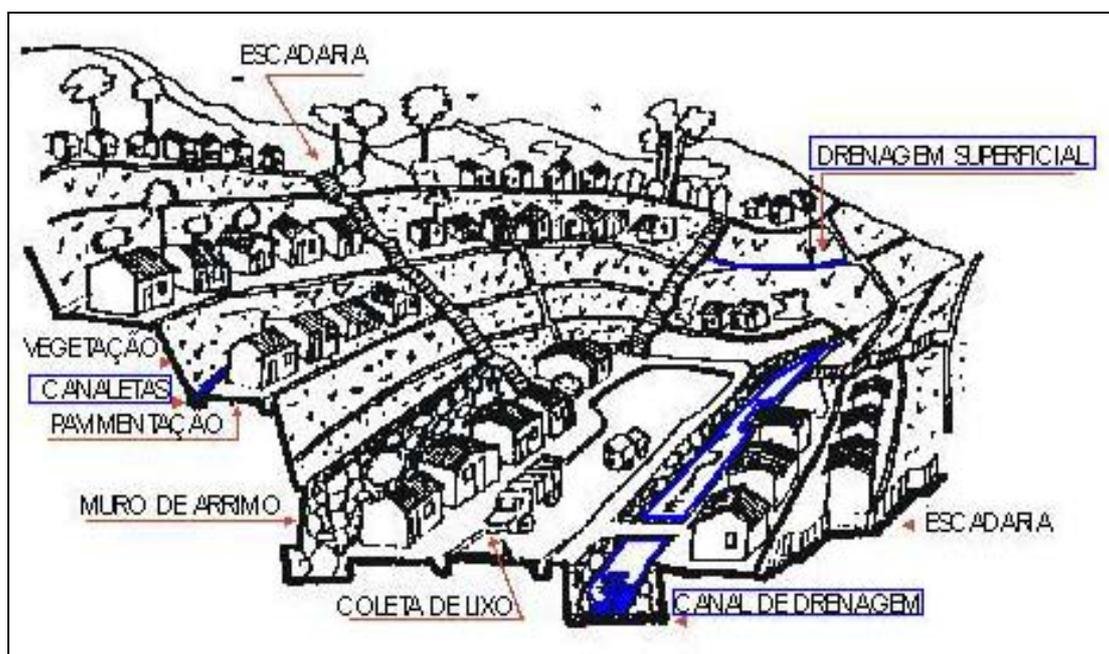


Foto III.1: Canaleta de Descida sem Caixa Coletora

A Figura III.10 apresenta um modelo para tratamento integrado de encostas, com intervenção global, não incluindo obras de grande porte, envolvendo ações sobre o sistema de drenagem, cobertura vegetal, retaludamento e obras de contenção.



Foto III.2 Escadaria com Acúmulo de Água



Fonte: GUSMÃO FILHO et al., 1993a (a partir de ALHEIROS, 1998)

Figura III.10: Modelo para Tratamento Integrado de Encostas

3.6.1.2 Esgotamento Sanitário

Embora os acidentes estejam relacionados a períodos chuvosos, eles são potencializados pela concentração de águas servidas ou de vazamento de tubulações do sistema de abastecimento de água sobre as encostas. Nos morros, o lançamento de águas servidas é uma das práticas inadequadas, que aumenta o risco de acidente nas encostas. As fossas negras são comuns nestas áreas (Foto III.3). A infiltração cotidiana das águas domésticas tem sido a causa de vários acidentes.

A falta de esgotamento sanitário faz com que os moradores lancem as águas servidas diretamente no solo (Foto III.4a e 4b), agravando as condições de estabilidade das encostas pela saturação do solo.

As intervenções em saneamento básico nos morros pressupõem um planejamento inicial que considere as microbacias de esgotamento como unidade de coleta independente e de tratamento descentralizado, podendo ter vida própria para sua operação, de forma a permitir uma implantação por etapas (ALHEIROS et al., 2003).

A drenagem de águas pluviais, assim como os serviços de coleta e tratamento de lixo, devem também ser considerados na estruturação do sistema de esgotamento sanitário, possibilitando o saneamento integrado e a melhoria da qualidade de vida. Nos morros não é recomendada a utilização de fossas individuais, causando infiltração no solo. As fossas filtro individuais só devem ser empregadas provisoriamente, em casos isolados e devidamente justificadas. Deve-se, porém buscar para essas áreas o tratamento coletivo, com emprego de fossas filtro ou reator anaeróbio, localizado em áreas planas e fora das encostas, e de fácil acesso para operação e manutenção.

3.6.1.3 Proteção Superficial:

O desmatamento e a retirada das camadas superficiais do solo expõe o solo à ação da água, sendo uma das causas das erosões e dos escorregamentos nos morros. A proteção superficial tem a função de reduzir o impacto da chuva no solo, o seu transporte e a infiltração.



Foto III.3: Fossa Negra na Borda do Talude



(a) Tubo de águas servidas

(b) Lançamento de águas servidas

Foto III.4: Águas Servidas Lançadas Diretamente no Solo

Córrego da Andorinha - Camaragibe

As alternativas de proteção superficial podem ser classificadas em dois grupos: proteção com vegetação (material natural) e proteção com impermeabilização (material artificial).

A) Proteção com Vegetação:

A aplicação da cobertura vegetal é uma alternativa eficiente de controle de erosão e de deslizamento. A vegetação interfere no aspecto mecânico e no aspecto hidrológico. A interceptação da água precipitada reduz o volume de escoamento superficial e a infiltração. Quanto ao aspecto mecânico, a malha das raízes reforça o solo, atuando como agente estabilizador. Ensaios de cisalhamento “in situ”, realizado

em blocos moldados em solos contendo raízes vivas, mostraram um incremento de resistência diretamente proporcional à densidade das raízes existentes. Com a morte da camada vegetal, esse efeito cessa gradualmente (4 a 5 anos), pela decomposição das raízes (PRANDINI et al., 1976, a partir de ALHEIROS et al., 2003).

No caso de árvores de grande porte, o efeito mecânico principal é o de alavanca, como resultado da ação da gravidade, combinada à ação dos ventos mais fortes, sendo um fator prejudicial para a estabilidade das encostas. No Capítulo II, item 2.1.1.2, foi descrito os efeitos favoráveis e desfavoráveis para a estabilidade das encostas. Árvores de grande porte (coqueiros, mangueiras, jambeiros, ...) no terço superior das encostas de alta declividade, devem ser erradicadas e substituídas por outras de pequeno e médio porte (pitangueira, acerolas e goiabeiras, por exemplo), mais compatíveis com as condições topográficas do local. As bananeiras, muito comuns nos morros e com presença freqüentes nos acidentes ocorridos na Região Metropolitana do Recife, também devem ser erradicadas. Elas têm um efeito negativo quando instaladas nas encostas. É muito comum seu desenvolvimento nos colúvios ou em aterros não compactados, acompanhados de lixo orgânico, aproveitando sua porosidade para acumular água necessária ao seu metabolismo, deixando o terreno encharcado no qual reduz a resistência do solo (ALHEIROS et al., 2003).

A eficiência do estabelecimento da cobertura vegetal em taludes construídos depende da escolha da época adequada para o plantio, do tipo de solo e principalmente da inclinação do talude. A Tabela III.14 apresenta a influência da inclinação do talude para o estabelecimento da cobertura vegetal (GEO-RIO, 2000).

Tabela III.14: Influência da Inclinação do Talude no Estabelecimento da Cobertura Vegetal (GEO-RIO, 2000).

INCLINAÇÃO	GRAMA	ARBUSTO/ÁRVORE
0° – 30°	- Dificuldade baixa - Técnicas usuais de plantio	- Dificuldade baixa - Técnicas usuais de plantio
30° – 45°	- Dificuldade média - Recomenda-se hidrossemeadura	- Dificuldade elevada
>45°	- Dificuldade elevada	- Recomenda-se plantio em bermas

Em taludes recém-construídos, o plantio deve se iniciar com grama, podendo depois ser implantada vegetação de maior porte. As Fotos III.5a e 5b apresentam as situações antes e depois da cobertura vegetal de um talude construído.

A grama para manutenção de encostas deve ser (SUPAN-MG, 1983):

- Portadora de raízes profundas para travar o solo;
- De elevada densidade de cobertura para que se obtenha um tapete denso e uniforme;
- Rasteira, a fim de evitar caminhos com cobertura alta que poderá ocasionar o acúmulo de água;
- Dura e agressiva;
- Resistente ao fogo, calor e seca;
- De fácil adaptação aos diversos tipos de solos;

Entre as gramíneas podem ser citadas algumas espécies, como: Capim Rhodes, Capim Vitivert, Capim Cidreira, Caniço ou Bambuzinho.

A tela vegetal e as geomembranas também são soluções para proteção superficial com cobertura vegetal, atendendo os requisitos necessários para cada tipo de solução. A tela vegetal tem como função proteger o solo contra a erosão e proporcionar ambiente adequado para a revegetação de taludes. Ela constitui de um biotêxtil translúcido, flexível, composto por material vegetal fibroso, desidratado, entrelaçado por fibras têxteis 100% degradáveis, com densidade, resistência e degradação variáveis, dependendo a especificação da tela.



a) Antes da Cobertura Vegetal



b) Depois da Cobertura Vegetal

Foto III.5: Situação Antes e Depois da Cobertura Vegetal de um Talude Construído.

A camada superficial do talude deve ser preparada, antes da execução, com fertilizante, sementes e corretivos para facilitar a revegetação. A tela deve ser fixada com grampos de aço, bambu ou madeira, dependendo do solo. Independente da inclinação do talude esta técnica pode ser utilizada, tendo baixo custo e rapidez de execução (GEO-RIO, 2000).

Os tipos de geomembramas são: geomantas, biomantas e geocélulas. As geomantas atuam como elementos de proteção contra a erosão superficial durante o período de desenvolvimento e fixação da capa vegetal. As telas são de material sintético, não degradável, oferecendo ancoragem adequada para as raízes após o crescimento da vegetação. As biomantas desenvolvem a mesma função das geomantas, porém seu material é biodegradável, apresentando baixo impacto ambiental. As geocélulas são recomendadas em taludes de solo árido, onde não se consegue um bom desenvolvimento de vegetação. Nestes casos esta alternativa possibilita a obtenção de uma cobertura estável de solo vegetal, a partir do preenchimento das geocélulas com solo adequado para este fim (GEO-RIO, 2000). As Fotos III.6a e 6b apresentam o detalhe da geocélula e a cobertura vegetal estabilizada.

B) Proteção com Impermeabilização:

A impermeabilização superficial mostra melhor resultado quando executada em conjunto com o retaludamento e a microdrenagem, tratando o talude de modo completo.



a) Detalhe da Geocélula



b) Cobertura Vegetal Estabilizada

Foto III.6: Detalhe da Geocélula com Cobertura Vegetal Estabilizada.

A impermeabilização deve ser executada em toda a superfície a ser protegida, estendendo-a para além do topo do talude até o sistema de drenagem implantado na crista. Recomenda-se a instalação de drenos (barbacãs) que permitam a dissipação de excessos de poro-pressão que possam ocorrer no interior da placa de impermeabilização.

A impermeabilização superficial pode ser dos seguintes tipos (ALHEIROS et al. (2003):

- *Impermeabilização com cimentado*: constitui de uma mistura de cimento Portland e areia, no traço 1:3, aplicada sobre o talude a partir do pé até a crista. A superfície deve ser preparada, limpa e aplainada. No final executa-se uma compactação da mistura. Esse tipo de revestimento deve ser acompanhado por barbacãs.
- *Impermeabilização com tela argamassada*: consiste no preenchimento e revestimento de uma tela galvanizada com argamassa de cimento Portland e areia no traço 1:3. A tela galvanizada é fixa no solo com ganchos de ferro instalados a cada 1,0 m, nas duas direções, sendo necessário colocar drenos de PVC com filtro de geotêxtil na parte interna.
- *Impermeabilização com pedra ou lajotas*: Neste revestimento, os blocos de pedra rachão são arrumados sobre o talude, com maior travamento na interface pedra/solo natural, e rejuntados com argamassa de cimento e areia (1:3). Pode-se também utilizar lajotas pré-moldadas (40cmx40cm) aplicadas com argamassa. Neste caso deve-se realizar o retaludamento para reduzir a declividade do talude, já que este material apresenta menor condição de travamento no solo. Qualquer que seja o material deve-se executar os barbacãs e o sistema de microdrenagem superficial.
- *Impermeabilização asfáltica ou com polietileno*: Este tipo de revestimento tem carácter emergencial. Consiste na aplicação de uma camada delgada de asfalto diluído a quente. Exige manutenção constante por a película sofrer deterioração por calor solar e não por resistir a impactos ou cargas. O polietileno é aplicado por jatos e mostra boa aderência com os solos areno-argiloso, suportando cargas de até $1,8 \text{ kg/m}^2$.

- *Impermeabilização com lonas plásticas*: utilizadas no inverno, em caráter emergencial, nos morros da Região Metropolitana do Recife. Elas devem ser aplicadas antes da saturação total da encosta e corretamente colocadas; e só devem ser retiradas quando as condições de segurança permitirem. A encosta deve ser preparada com roçagem, remoção de arbustos e destocamento, deixando apenas gramíneas e vegetação rasteira. Na crista da encosta deve-se escavar uma valeta, servindo de canaleta e de fixação superior da lona. A lona deve ser fixa com estacas de madeira a cada 2,0 m, no máximo, na parte superior e em suas laterais.

3.6.1.4 Limpeza Urbana: Calhas Desobstruídas, Coleta do Lixo e Educação Ambiental

O lixo acumulado nas encostas absorve grande quantidade de água e desenvolve seu processo bioquímico de degradação e produção de chorume, favorecendo a sua interação com o solo. À medida que o volume aumenta e absorve água, a massa de lixo pode perder o equilíbrio e se deslocar, arrastando consigo grande volume de solo. Em encostas instáveis, a massa de lixo pode induzir deslizamentos de encostas e, ainda, provocar deslizamento apenas da massa de lixo, provocando acidentes consideráveis, dependendo do seu volume. O lixo lançado nas canaletas de drenagem impede o escoamento das águas, permitindo extravasamentos e o aumento de infiltração no solo.

Um trabalho de conscientização da população, sobre as ações que contribuem para os escorregamentos, deve ser implantado nos municípios através de programas de educação ambiental. Orientação sobre as formas de acondicionamento do lixo, locais de disposição e horário da coleta, podem evitar a prática generalizada de lançar lixo nas encostas.

Formas alternativas de transportes têm sido utilizadas para a coleta de lixo nas áreas de morros: veículos de pequeno porte, como caminhonetes de carroceria aberta, tipo toyota, carroças, carro-de-mão e banguê (feito com metade de um tonel metálico de 200 l); e a coleta alternativa manual.

Em Camaragibe o gari comunitário, criado no município, faz a coleta de lixo nos morros de forma manual associada ao banguê, visto que não é possível o acesso dos caminhões, tradicionalmente utilizados nas demais áreas do município. Trabalhos de conscientização estão sendo aplicados na cidade através de palestras. Placas educativas estão espalhadas em todas as áreas de risco alertando sobre o lixo nas encostas, os cortes e plantações inadequadas (Foto III.7).

3.6.1.5 Manutenção das Obras

A manutenção das obras de infra-estrutura deve ser realizada constantemente pelos órgãos competentes. Nas vistorias em áreas de morros, não é difícil encontrar escadarias danificadas, canaletas de drenagem com vegetação obstruindo o caminho das águas (Foto III.8), e vazamentos dos tubos da rede de abastecimento de água (Foto III.9). A concentração de águas servidas (banheiro, cozinha e lavanderia) e vazamentos do sistema de abastecimento d'água potencializam os acidentes nos morros, principalmente quando a rede é improvisada pelos moradores.



Foto III.7: Placas Educativas nas Áreas de Risco.
Camaragibe-PE



Foto III.8: Escadarias e Canaleta de Descida sem Manutenção
(Alto Sto Antônio/Camaragibe).



Foto III.9: Tubo da Rede de Água com Vazamento
(Córrego da Andorinha/Camaragibe).

3.6.2 INTERVENÇÕES PARA TRATAMENTO TOPOGRÁFICO

3.6.2.1 Obras de Retaludamento

O retaludamento pode ser realizado em um talude isolado ou em todo o perfil de uma encosta. A estabilização do talude se dá pela mudança de sua geometria, através de cortes nas partes mais elevadas. Muitas vezes combinam-se os cortes superiores com os aterros compactados na base da encosta para funcionar como carga estabilizadora. Indispensavelmente os retaludamentos devem ter cobertura superficial, natural ou

artificial, e devem ser associados a um sistema de drenagem eficiente. (ALHEIROS et al., 2003). Quando não é possível uma declividade única, que garanta a estabilidade do talude, ele pode ser estabilizado com um recorte escalonado (em patamares). Neste caso, recomenda-se que o comprimento máximo da rampa seja de 5,0 metros e deve-se instalar um sistema de microdrenagem, por meio de canaletas longitudinais, no pé e na borda de cada talude, além das canaletas transversais. Esse sistema de microdrenagem evita o armazenamento e a infiltração de água no talude.

Este tipo de solução associado com elementos de microdrenagem e cobertura vegetal é uma solução de estabilização permanente, além de ser de menor custo, desde que garantidos os cuidados com a manutenção e a fiscalização para evitar novos cortes.

3.6.2.2 Obras de Contenção

No tratamento de áreas de risco de escorregamento, quando o fator de maior importância é a topografia, comumente utilizam-se como obras de contenção, o muro de gravidade, que deve ser construído com largura suficiente para evitar o surgimento de tensões de tração em seu interior. Os muros de gravidade ou de arrimo, construídos com blocos de pedras, são naturalmente os mais antigos e numerosos, devido a sua simplicidade de construção e ao custo reduzido, no caso de pequenas alturas.

Entre os tipos de obras de contenção de encostas pode-se citar os seguintes:

- Muros de pedra rachão;
- Muros de alvenaria de pedra;
- Muros de concreto ciclópico;
- Muros de concreto armado;
- Muros de alvenaria armada;
- Muros de terra armada;
- Cortinas ancoradas;
- Solo grampeado;
- Muros de gabiões;
- Muros de solo-cimento ensacado;
- Muros de solo-pneus.

Estes três últimos estão descritos a seguir por serem alternativas não usuais e de fácil de execução.

A) Muros de Gabiões

Os gabiões são gaiolas metálicas preenchidas com pedras, arrumadas manualmente e construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção (GEO-RIO, 2000). As dimensões usuais dos gabiões são: comprimento de 2m e seção transversal quadrada com 1m de aresta. A sua execução é simples, não requerendo equipamentos ou mão-de-obra especializados. O preenchimento pode ser executado manualmente, com blocos de rocha naturais (seixos rolados) ou artificiais (brita ou blocos de pedreira). A base do muro de gabiões tem normalmente cerca de 40 a 60% da altura total. No entanto, do ponto de vista da estabilidade, é recomendável a existência de degraus na face externa, com recuo mínimo em torno de 20 cm entre camadas sucessivas de gabiões.

Em muros de gabiões com retroaterro de solo argiloso, deve-se executar uma camada de filtro de areia e pedrisco, com cerca de 50 cm de espessura, adjacente ao tardo. Suas principais características são: flexibilidade e resistência elevada, permeabilidade elevada devido a granulometria dos blocos, garantindo a drenagem da encosta e a ausência do empuxo hidrostático no tardo do muro (Foto III.10 e III.11).



Foto III.10 - Muro em Gabiões (Foto do catálogo Macaferrri)



Foto III.11 - Detalhe do Muro em Gabiões

B) Muros de solo-cimento ensacado

Esta é uma técnica alternativa para contenção de encostas, utilizando sacos de solo estabilizado com cimento. Seu custo é baixo e não requer mão-de-obra ou equipamentos especializados.

O solo é submetido a um peneiramento, em uma malha de 9mm, para retirar os pedregulhos de maior porte e em seguida misturado ao cimento. Uma proporção cimento-solo da ordem de 1:10 a 1:15 (em volume) tem sido a prática corrente para a estabilização de todos os solos utilizados na construção de muros. Adiciona-se água em quantidade 1% acima da umidade ótima de compactação proctor normal. A sua utilização é recomendável para alturas máximas de 4 a 5m.

Os sacos de solo-cimento são arrumados em camadas horizontais amalgamadas, onde cada camada do material é compactada, geralmente com soquetes, de modo a reduzir o volume de vazios. Após alguns anos, os sacos expostos nas faces externas do muro desintegram-se totalmente, porém o material solo-cimento preserva a forma original moldada pelos sacos (GEO-RIO, 2000). Estas faces externas podem ser protegidas com argamassa de concreto magro. As Fotos III.12a e III.12b apresentam a utilização de solo-cimento para contenção de encosta no município de Camaragibe.



(a) Muro em execução



(b) Muro estabilizado

Foto III.12: Muro de Sacos de Solo-cimento
(Córrego da Andorinha – Camaragibe-PE)

C) Muros de solo-pneus

Outro tipo de muro de gravidade, que vem sendo utilizado no Brasil, é o muro de solo-pneus. Ele é construído através da combinação de pneus usados com solo localmente disponível, ou seja, é uma solução que combina a elevada resistência mecânica do material com o baixo custo, além de apresentar vantagem ecológica por oferecer destino final aos pneus descartados, os quais causam problemas sanitários pela acumulação de água, com proliferação de insetos. Vale ressaltar que ainda não se sabe sobre a durabilidade dos pneus, no que diz respeito ao tempo de vida útil que garante a estabilidade da encosta.

Por ser um muro de gravidade, a sua altura máxima é de 5m e deve ter a disponibilidade de espaço para construção de uma base com largura na ordem de 40% a 60% da altura total do muro. Tem estrutura flexível, com deformações horizontais e verticais acima das usuais, razão pela qual ele não é recomendado para contenção de terrenos que sirvam de suporte para obras civis pouco deformáveis, como as estruturas de fundações ou ferrovias (GEO-RIO, 2000).

Para a sua execução não é necessária a mão-de-obra especializada e nem equipamentos sofisticados. Ferramentas manuais (enxadas, pás e picaretas), compactador manual e a máquina de cortar pneus são suficientes para a sua execução. Como elemento de amarração utilizam-se cordas de polipropileno com 6,0 mm de diâmetro. O material de preenchimento dos pneus é obtido do próprio local da obra. Se o material for argiloso é recomendável a utilização de drenos internos.

A face externa do muro deve ser revestida, para evitar a erosão do solo de enchimento e a possibilidade de incêndios. Este revestimento pode ser de alvenaria em blocos de concreto, concreto projetado sobre tela metálica, placas pré-moldadas ou vegetação, que é a alternativa de menor custo e melhor efeito visual. A Figura III.11 mostra um muro em solo-pneus e a Foto III.13 apresenta um muro construído pelo morador para contenção do talude em sua residência.

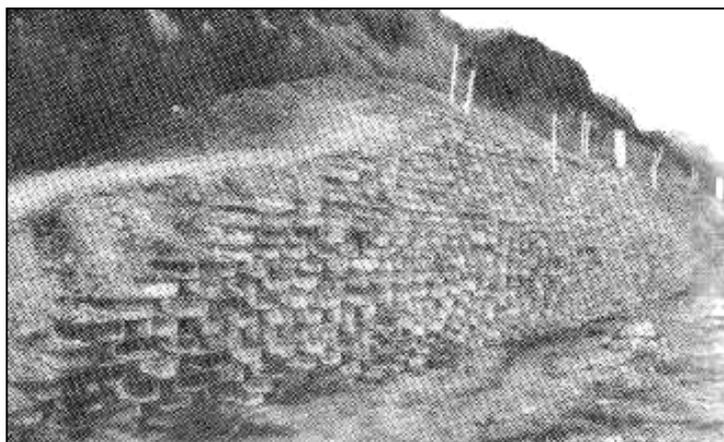


Figura III.11 - Muro em Solo-pneus (GEO-RIO, 2000)



Foto III.13: Muro de Solo-pneus Construído pelo Morador (Ibura – Recife/PE)

3.6.3 DRENAGEM SUBTERRÂNEA PARA TRATAMENTO DE RISCO GEOLÓGICO

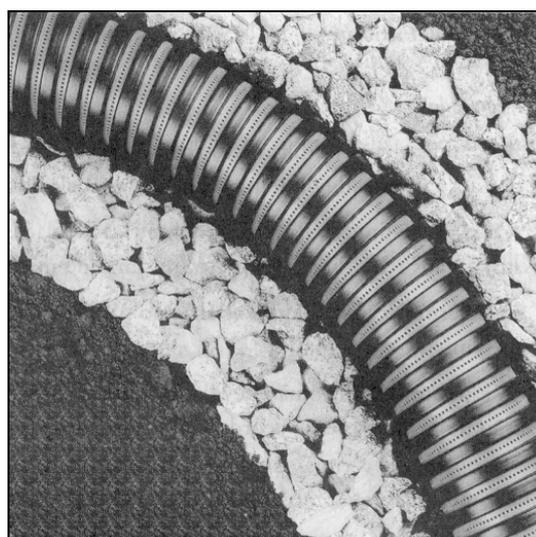
Sistemas de drenagem subterrânea têm a função de controlar as pressões de água e/ou captar fluxos que ocorrem no interior dos taludes. Estes sistemas provocam um rebaixamento do nível piezométrico e do gradiente hidráulico, reduzindo o fluxo até atingir a condição de regime permanente.

Os drenos subterrâneos são constituídos por valas escavadas sem escoramento, com profundidade mínima de 0,60m e tubos coletores, instalados no interior da vala e envolvidos por material granular (Figura III.12) . As paredes e o fundo da vala podem ser revestidos com material sintético, antes da aplicação dos tubos e do enchimento da vala. As águas captadas pelos drenos subterrâneos deverão ser conduzidas a um sistema de drenagem adequado para receber o deságüe.

Os tubos de drenagem devem ser de PVC, com diâmetro variando de 50mm a 250mm e orifícios ou ranhuras com abertura variando de 6mm a 10mm. O material drenante é constituído por agregados compostos ou não, contendo pedregulho natural ou produtos britados, sendo isentos de finos, matérias orgânicas e outras substâncias indesejáveis.



a) Trincheira Drenante com Brita e Geossintético



(b) Detalhe do Tubo Perfurado de PVC

Figura III.12: Dreno Executado com Tubos Plásticos (GEO-RIO, 2000)

A granulometria do material filtrante é estabelecida com base na granulometria do solo a drenar. A espessura do filtro não deve ser inferior a 20cm, para construção manual, ou 45cm quando utilizadas máquinas. Como filtro também se pode utilizar os geossintéticos, de maneira que possibilite a livre passagem da água e retenha as partículas de solo necessárias para sua estabilização.

Em geral, em termos de comprimento, os drenos longos mais espaçados são mais eficientes do que drenos mais curtos com espaçamento menor. Quanto mais suave for o talude, maior deverá ser o comprimento do dreno. Se o tubo for de PVC, a extensão não deve exceder a 40m, quando for o caso, sugere-se utilizar material mais resistente, como ferro galvanizado ou inoxidável (GEO-RIO, 2000).

Nas estruturas de contenção é importante um tratamento adequado com sistema de drenagem, uma vez que a maior parte das rupturas observadas em estruturas de arrimo ocorre devido à falta ou à execução inadequada destes sistemas. O efeito da água em contato a estrutura representa uma parcela significativa dos empuxos ativos nela atuantes. A drenagem interna tem por objetivo reduzir a poro-pressão e a resultante de empuxo. Quando o dreno é instalado de forma inclinada no interior do maciço, o empuxo é anulado, onde as linhas de fluxo junto à estrutura de contenção são essencialmente verticais, com poro-pressão nula. Para o cálculo da vazão deve-se conhecer a condutividade hidráulica do maciço a drenar, a qual pode ser determinada através de ensaios de permeabilidade no laboratório. Recomenda-se que a permeabilidade do material drenante seja, no mínimo, 100 vezes maior do que a do solo a ser drenado. A espessura do dreno pode ser calculada através da Lei de Darcy ou pelo traçado da linha de fluxo. Como estimativa inicial, os drenos internos de 30 cm são usualmente adequados em projetos de muros com retroaterro compactado.

Os drenos feitos na face das estruturas de contenção são chamados de barbacãs. Os barbacãs devem ser instalados com furos de 7,5 cm de diâmetro, espaçados de até 1,5m na horizontal e 1,0m na vertical, formando arranjos em posições alternadas. A linha inferior dos drenos deve ser posicionada aproximadamente a 30cm acima da base do muro. Eles devem estar na posição subhorizontal (inclinação de 5°) de forma que a água coletada do interior do maciço seja transferida para fora do talude. O tubo

perfurado deve ser envolvido por tela de nylon ou geotextil, deixando pelo menos 10 cm para fora do muro. Foi observado, na área de estudo, um talude tratado, com muro de arrimo na base e protegido superficialmente com uma manta de cimento, na qual foram colocados “barbacãs” inclinados para cima. Estes, ao invés de retirar água, a coletavam para seu interior, elevando a pressão neutra e o lençol freático do solo, aumentando as forças que agem para instabilizar o maciço (Foto III.14).



(a) Vista geral do talude



(b) Detalhe dos barbacãs inclinados para cima no talude argamassado



(c) Detalhe dos barbacãs inclinados para cima na crista do talude argamassado

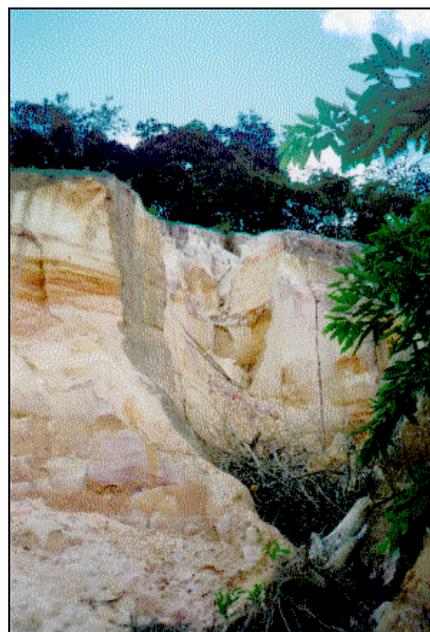
Foto III.14: Talude Tratado com Muro de Arrimo, Proteção Superficial e Barbacãs Mal Executados (Carmelitas/Camaragibe)

3.6.4 INTERVENÇÕES PARA TRATAMENTO DA EROSÃO: O CASO DO HORTO DE DOIS IRMÃOS

Um exemplo de erosão intensa, em que os fatores que contribuem para o processo aparecem claramente, é o caso de erosão no Horto de Dois Irmãos - PE. A Foto III.15a apresenta a encosta erodida e a Foto III.15b um detalhamento da erosão.



(a) Vista Geral da Encosta Erodida



(b) Detalhe da Erosão

Foto III.15: Erosão no Horto de Dois Irmãos – PE
(COUTINHO e OLIVEIRA 1998)

Segundo COUTINHO et al. (1999), as principais causas que deram origem ao intenso processo erosivo foram:

- Intervenção humana de forma inadequada para a implantação de uma área de lazer, denominada “Cidade da Criança”, provocando cortes na encosta;
- Presença de solos arenosos finos com pouca compactidade (características de solos erosivos), e de camadas internas de solos argilosos com comportamento expansivo, em sedimentos da Formação Barreiras;
- Ausência da cobertura vegetal, após a intervenção;
- Falta de manutenção do sistema de drenagem;

O projeto de recuperação da encosta foi realizado em conjunto pela Universidade Federal de Pernambuco e o DER-PE. Com objetivo de provocar o mínimo de impactos ambientais possíveis à área, uma vez que se trata de uma reserva ecológica, a solução adotada teve como princípio o aproveitamento do material local. Várias análises de estabilidade foram realizadas na região mais crítica da erosão, utilizando duas seções transversais. O aproveitamento do material local para preenchimento das áreas erodidas e a preocupação de evitar cortes na vegetação foram questões decisivas na escolha da geometria final do talude. A Figura III.13 apresenta uma das seções com as possíveis soluções de recomposição da encosta. Após análise concluiu-se que a proposta 1 seria a mais recomendada ambientalmente, visto que evitaria o corte de árvores na Mata Atlântica, o que provocaria uma agressão ecológica à reserva, assim como a obtenção de material externo para preenchimento das áreas erodidas.

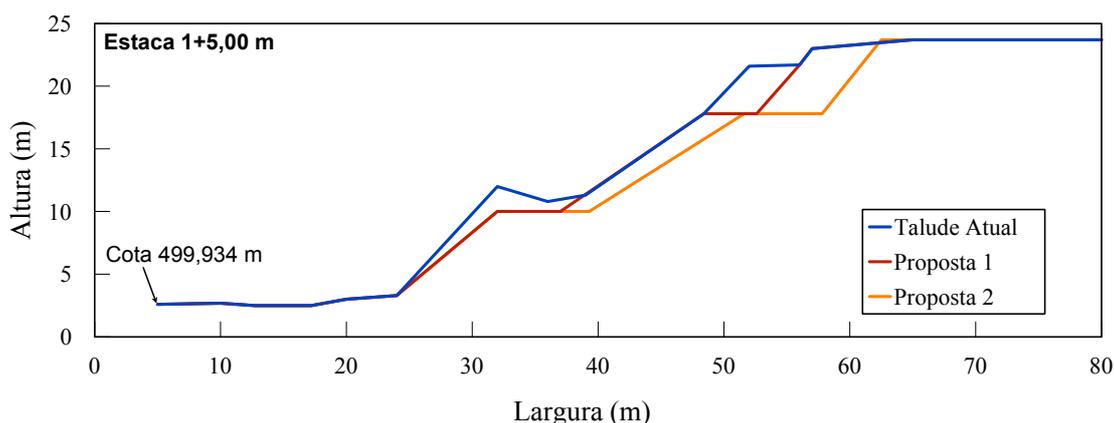


Figura III.13: Seção Transversal com as Propostas de Recomposição da Encosta da Horto Dois Irmãos (COUTINHO e OLIVEIRA 1998)

O material de corte aproveitado para a recomposição das erosões foi analisado geotecnicaamente, sendo do tipo arenoso-argiloso não expansivo; e analisado do ponto de vista da cubação, onde o volume de material foi suficiente para o preenchimento das erosões. As intervenções realizadas para o tratamento e direcionadas para a correção dos fatores ambientais e topográficos, estão relacionadas a seguir:

- Retaludamento em patamares;
- Preenchimento das ravinas com material de boa qualidade (areno-argiloso não expansivo);
- Canaletas no topo, no pé e em todos os patamares;

- Escadas espaçadas interligando as canaletas até o pé do talude e drenagem final na canaleta de pé;
- Revestimento vegetal através de grama em placas do tipo “capim de burro”, com telas plásticas de malha de 1” fixada por grampos.

As Fotos III.15, III.16 e III.17 apresentam as atividades de recuperação da encosta no Horto de Dois Irmãos-PE.

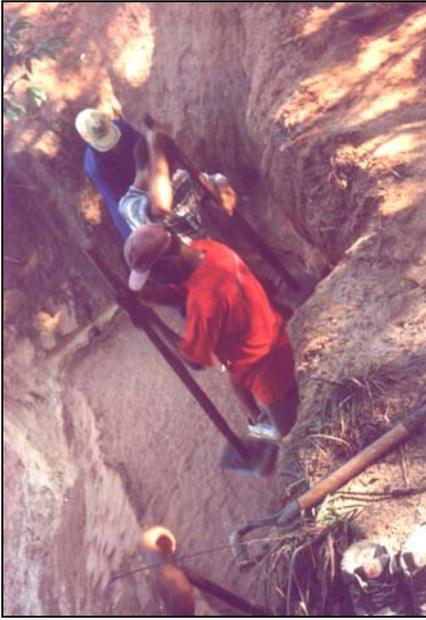


Foto III.15: Compactação do Preenchimento das Ravinas



Foto III.16: Retaludamento da Encosta em Patamares



Foto III.17: Patamar Recuperado, com Proteção Vegetal e Micro-drenagem
(Horto de Dois Irmãos – PE)
(COUTINHO e FRANÇA 1998)

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, ADMINISTRATIVAS E GEOTÉCNICAS DA **ÁREA DE ESTUDO**

4.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo é o Município de Camaragibe (Figura I.1), que pertence à Região Metropolitana do Recife, estado de Pernambuco. Este município foi criado em 14 de maio de 1982, pela Lei Estadual Nº 8.951, tendo sido emancipado de São Lourenço da Mata. Está limitado pelas coordenadas geográficas (UTM): 9111000 e 9122800 N e 275600 e 282900 E.

Fisiograficamente o município está situado na Zona da Mata Norte, tendo como limites ao norte, os municípios de Paudalho, Paulista e Recife; ao sul os municípios de Recife e São Lourenço da Mata; à leste o município de Recife ; e a oeste o município de São Lourenço da Mata. Sua distância da capital é de 20 km.

Os principais eixos viários que permitem a interligação do município de Camaragibe com os outros municípios da RMR são: a PE-05 (Avenida Belmino Correia), que o liga aos municípios de Recife e São Lourenço da Mata e a PE-27 – Estrada de Aldeia, responsável pela sua ligação com Paulista e Paudalho. A Avenida Belmino Correia se caracteriza como o principal eixo de comércio e serviços da cidade, enquanto na Estrada de Aldeia a predominância é de uso residencial e de lazer, com granjas e casas de campo.

4.2 CARACTERÍSTICAS TERRITORIAIS

Camaragibe é o segundo menor município da RMR, com área de 52,9 Km², representando cerca de 2% do território Metropolitano, maior apenas que Olinda com área de 38 Km² (Censo, 2000). De acordo com a lei municipal de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Nº 32/97, o município é totalmente urbano, não possuindo área rural.

Emancipado há 21 anos, Camaragibe teve sua evolução urbana dividida em três fases: *i) agrícola canavieira*: teve início nos meados do século XVI, com o Engenho Camaragibe (dando nome ao município), onde se explorava o pau-brasil e a cana-de-açúcar; *ii) industrial – têxtil*: iniciado no fim do século XIX, impulsionada pelo surto industrial, criando a primeira Vila Operária da América Latina (a Vila da Fábrica), atraindo vários operários para fixarem suas residências no município; *iii) comércio e serviços*: fase atual em que o município tem voltado sua economia, para a exploração de sua posição como corredor de ligação entre o interior e a capital (COSTA, 2002).

Ao longo dessas fases, Camaragibe sofreu um considerável crescimento populacional. Segundo estudos desenvolvidos pela FIDEM, para o Programa Metrópole Estratégica, Camaragibe recebeu em média 21.827 imigrantes entre os anos de 1980 e 1991, representando um crescimento populacional de 1,14% no período (COSTA, 2002). Em 1996, dados do IBGE revelaram um crescimento de 2,25% em relação a 1991, e Censo de 2000 já revelou 128.702 habitantes no município. Esses dados atuais mostram uma densidade demográfica média de 2.432 hab/km² que, pelos padrões adotados pelo Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC de 1996, é uma densidade considerada alta (maior que 500 hab/km²), tornando-o o quarto município mais denso da RMR.

Por apresentar grande diversidade de estrutura urbana, o município foi setorizado e dividido em cinco Regiões Políticas Administrativas (Figura IV.1), de modo a permitir ações específicas de acordo com as características físicas e sociais distintas (SEPLAMA, 2002). Para esta divisão, foram considerados os critérios de divisão territorial adotados pela Secretaria de Saúde (Programa Saúde da Família), a Legislação Urbanística e o Parcelamento do Solo (032/97) e alguns aspectos geográficos entre outros critérios.

A Tabela IV.1 apresenta a forma de ocupação territorial e o número de habitantes por Região Administrativa de acordo com o IBGE (Censo, 2000). A Figura IV.2 apresenta essa distribuição populacional segundo a classificação do PNGC de 1996. Observa-se desta figura que todas as regiões apresentam densidade populacional classificada como alta. A Região 5 (Aldeia), no entanto, por apresentar densidade de 501 hab/km², está entre densidade média a alta.

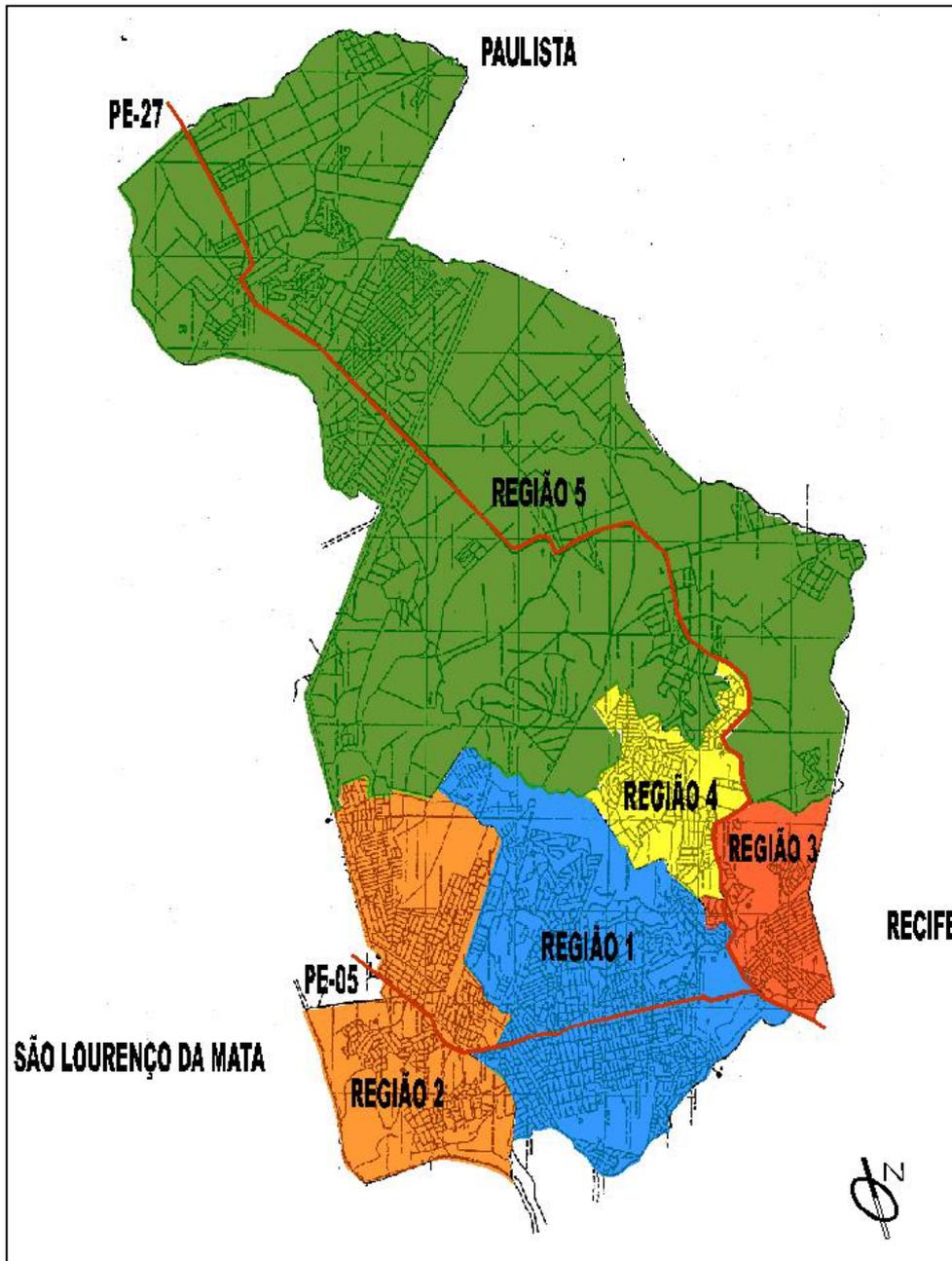


Figura IV.1: Mapa de Regionalização (Camaragibe-PE)

Tabela IV.1: Forma de Ocupação e População em Camaragibe

REGIÕES	FORMA DE OCUPAÇÃO	Área Ocupada (km ²)	População (hab)	Dens. Média (hab/ km ²)
REGIÃO 1	Loteamentos de baixa renda e ocupações espontânea	9,30	60.444	6.499
REGIÃO 2	Loteamentos de baixa renda e ocupações por invasões	7,80	26.000	3.333
REGIÃO 3	Conjuntos habitacionais e invasões	2,40	18.355	7.648
REGIÃO 4	Loteamentos de baixa renda e ocupações desordenadas nas cabeceiras de drenagem	2,10	14.376	6.846
REGIÃO 5	Assentamentos de média a alta renda, constituídos por granjas e clubes de campo, com algumas invasões próximos aos córregos	31,30	15.691	501

(Fonte: SEPLAMA 2002)

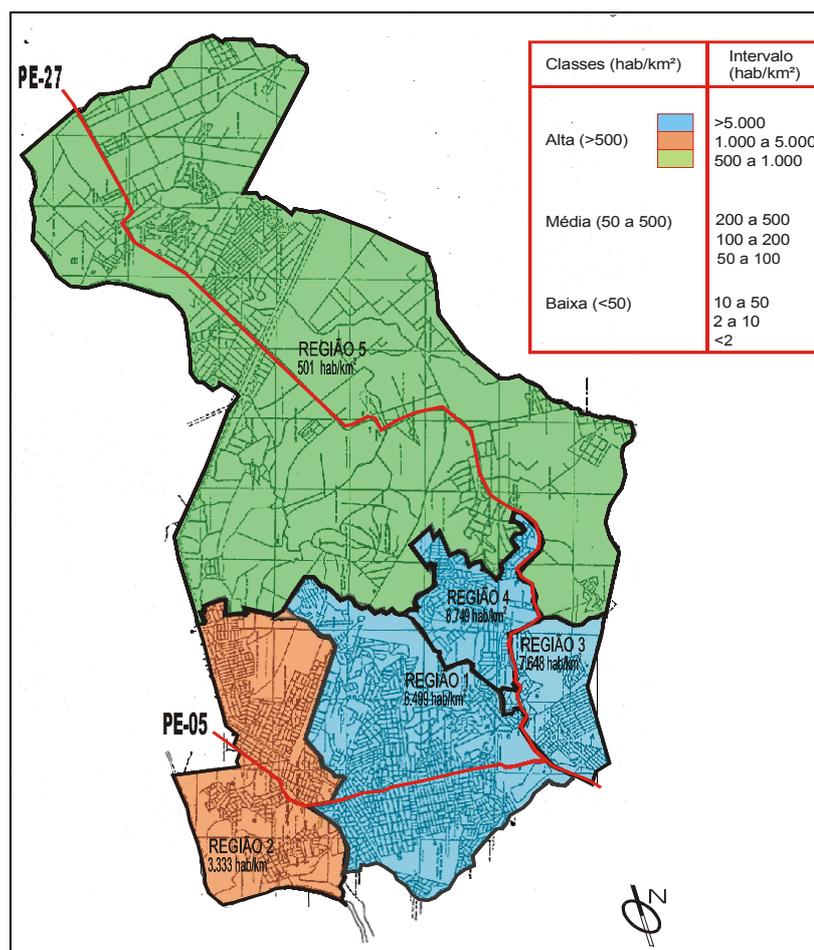


Figura IV.2: Classes de Densidade Demográfica em Camaragibe-PE, Segundo a Classificação do PNGC (1996)

4.3 MODELO DE OCUPAÇÃO DAS ENCOSTAS DE CAMARAGIBE

O município de Camaragibe apresenta cerca de 80% do território constituído por morros e tabuleiros, fazendo com que a ocupação ocorra obrigatoriamente nesses tipos de relevo. No geral a ocupação das encostas foi efetuada das seguintes formas:

(a) Ocupação formal: efetuada pelo poder público, através de conjuntos habitacionais e construção de casas populares, tem como exemplos o conjunto habitacional da COHAB, no Vale Pedreiras (Foto IV.1) e as casas populares na Região 4, construídas para abrigar a população atingida pela inundação após o rompimento da Barragem Besouro no inverno de 1990 (Foto IV.2).

(b) Ocupação semiformal e progressiva: Efetuada pela população sem o planejamento adequado, a partir de loteamentos de baixa renda aprovados pelo poder público, seguidos de autoconstrução (Foto IV.3). A ausência de um plano urbanístico e de orientação técnica na construção leva esse processo de autoconstrução a se constituir em um fator de risco.



Foto IV.1: Ocupação Formal
(Conjunto COHAB – Vale das Pedreiras – Camaragibe)



Foto IV.2: Ocupação Formal
(Tabatinga –Camaragibe)



Foto IV.3: Ocupação semiformal e progressiva
(Alberto Maia – Camaragibe)

(c) Ocupação Informal (por invasões): Efetuada pela população de forma ilegal, em busca dos atrativos da área, como melhoria da infra-estrutura do local, particularmente no setor de saúde, em que a população tem acesso às Unidades de Saúde da Família (Foto IV.4).



Foto IV.4: Ocupação por Invasões
(Córrego da Andorinha – Camaragibe)

As encostas ocupadas por invasões foram efetuadas pela população de baixa renda, de forma desordenada, desconhecendo os critérios técnicos que não são oferecidos aos ocupantes. Nestas encostas comumente ocorrem cortes e aterros inadequados para a segurança das casas, desmatamentos, lançamento concentrado de águas servidas e construção de fossas nas bordas do talude, aumentando assim a infiltração e a sobrecarga que contribuem para a instabilidade das encostas.

As observações de campo mostraram que as ocupações por invasões no município de Camaragibe se dão freqüentemente nas cabeceiras de drenagem ativa, sendo um elemento de alta suscetibilidade a erosão e ao escorregamento.

4.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.4.1 CLIMA

Segundo VASCONCELOS (2001) em estudos realizados no estado de Pernambuco, para mapeamento de solos colapsíveis e expansivos, o município encontra-se dentro da faixa de clima do tipo As', pela classificação de W. Köppen, caracterizado como clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa que se adianta para o outono, antes do inverno.

Os dados diretos disponíveis no município são índices pluviométricos, obtidos a partir de 1997, quando foi instalado o pluviômetro na sede da Prefeitura, época em que também foi criado o Programa de Defesa Civil do município.

A Figura IV.3 apresenta uma série histórica (maior que 20 anos) das precipitações médias registradas no posto de São Lourenço, posto mais próximo do município de Camaragibe. Observa-se que entre os meses de abril a julho, há um período chuvoso concentrado, com médias mensais maiores que 150 mm. No mês de maio ocorreu a máxima precipitação mensal, com 221.2 mm de chuva.

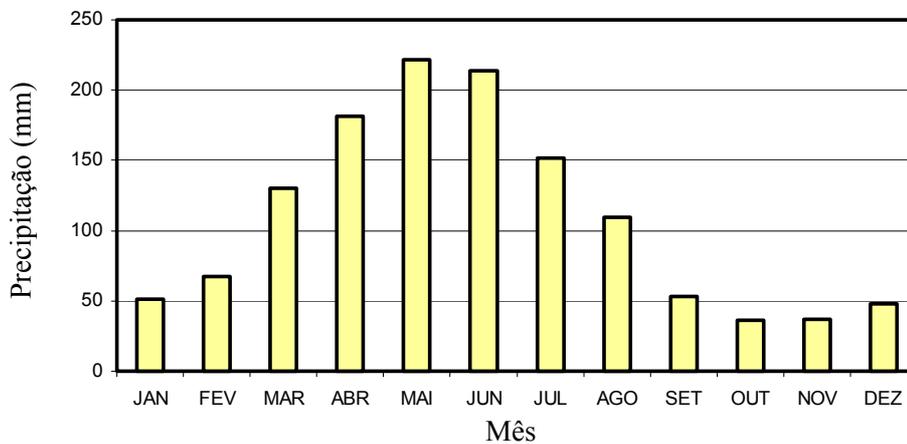


Figura IV.3: Médias Pluviométricas Mensais Históricas (Posto de São Lourenço)

Em Camaragibe, as precipitações médias e máximas mensais (Figura IV.4) indicam um período chuvoso concentrado nos meses de março à agosto, com médias mensais maiores que 150 mm. Este período é considerado de alerta para a defesa civil do município. O período que vai de setembro a fevereiro pode ser considerado de baixa precipitação pluviométrica. As precipitações máximas mensais mais elevadas registradas no município ocorreram nos meses de junho (509,0 mm), julho (487,0 mm) e agosto (530,2 mm), para os anos de disponibilidade de dados (entre 1997 a 2003).

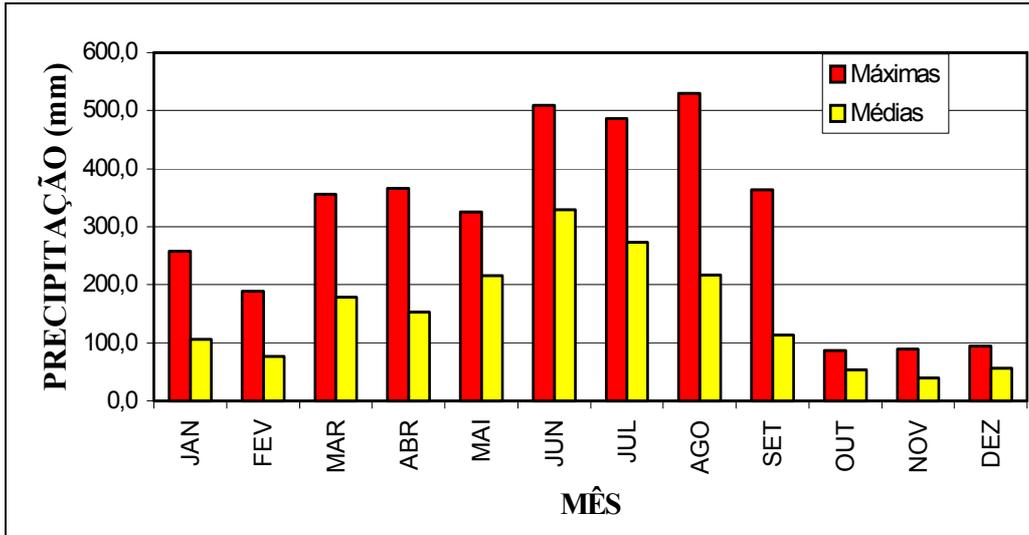


Figura IV.4: Precipitações Máximas e Médias Mensais (Camaragibe - entre 1997 e 2003)

No ano de 2003, no município de Camaragibe, as precipitações máximas ocorreram nos meses de março (325,2 mm) e junho (509,9 mm) - (Figura IV.5).

As altas taxas de umidade e a temperatura elevada da RMR favorecem os processos de intemperismo químico, que decompõem os minerais mais frágeis, como o feldspato e micas que são comuns nas rochas graníticas do embasamento cristalino e nas coberturas sedimentares, promovendo sua argilização (ALHEIROS et al., 2003). Isto tem forte implicação nos processos de deslizamento, já que os grãos arenosos dos sedimentos da Formação Barreiras contribuem para aumentar o conteúdo de argila, favorecendo os movimentos de massa.

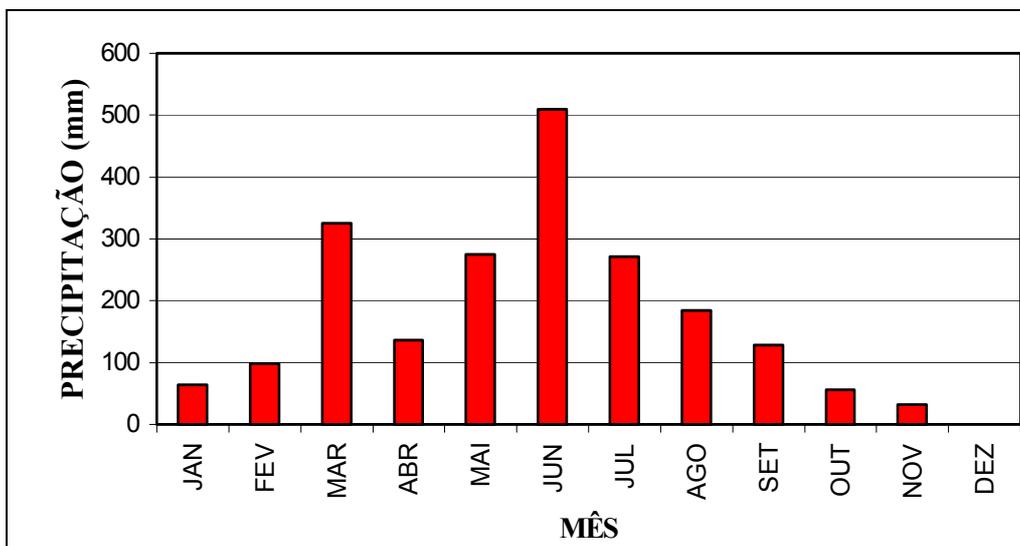


Figura IV.5: Precipitações Mensais de 2003 em Camaragibe.

4.4.2. VEGETAÇÃO

O percentual de cobertura vegetal estimada para o município é de 7%, denotando um intenso processo de desmatamento, devido à urbanização da cidade. Apesar desse baixo percentual de área com vegetação, na cidade de Camaragibe encontra-se uma das maiores reservas florestais de Mata Atlântica da RMR, localizada na Região Administrativa 1. Esta reserva florestal é denominada de "Privê Vermont" (Foto IV.5), com área de aproximadamente 170 ha (1,7 km²). Esta área é protegida pela Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de Camaragibe (Lei Nº 032/97) que a classifica como Zona Especial de Preservação Ecológica (Figura IV.6).

Além das áreas de Mata Atlântica preservada, ocorrem: capoeira, capoeirão, vegetação hidrófila, canavial, coqueiral e cultura de subsistência (COSTA, 2002).

4.4.3. RELEVO

No município de Camaragibe, destacam-se dois conjuntos morfológicos distintos: os morros e a planície. As áreas altas, com terrenos em sua maioria ativos (imaturos), dominam o relevo do município (80%), sendo constituídos de tabuleiros com vales verticalizados em forma de “V”, instalados preferencialmente nos sedimentos da Formação Barreiras. A porção sul do município mostra relevos mais maduros, sendo que as formas mais arredondadas e com vales abertos estão quase sempre associados aos solos residuais. A Figura IV.7 apresenta o mapa de unidades de relevo.



Foto IV.5: Vista Geral da Reserva Florestal de Mata Atlântica - Privê Vermont – Camaragibe (Zona Especial de Preservação Ecológica)

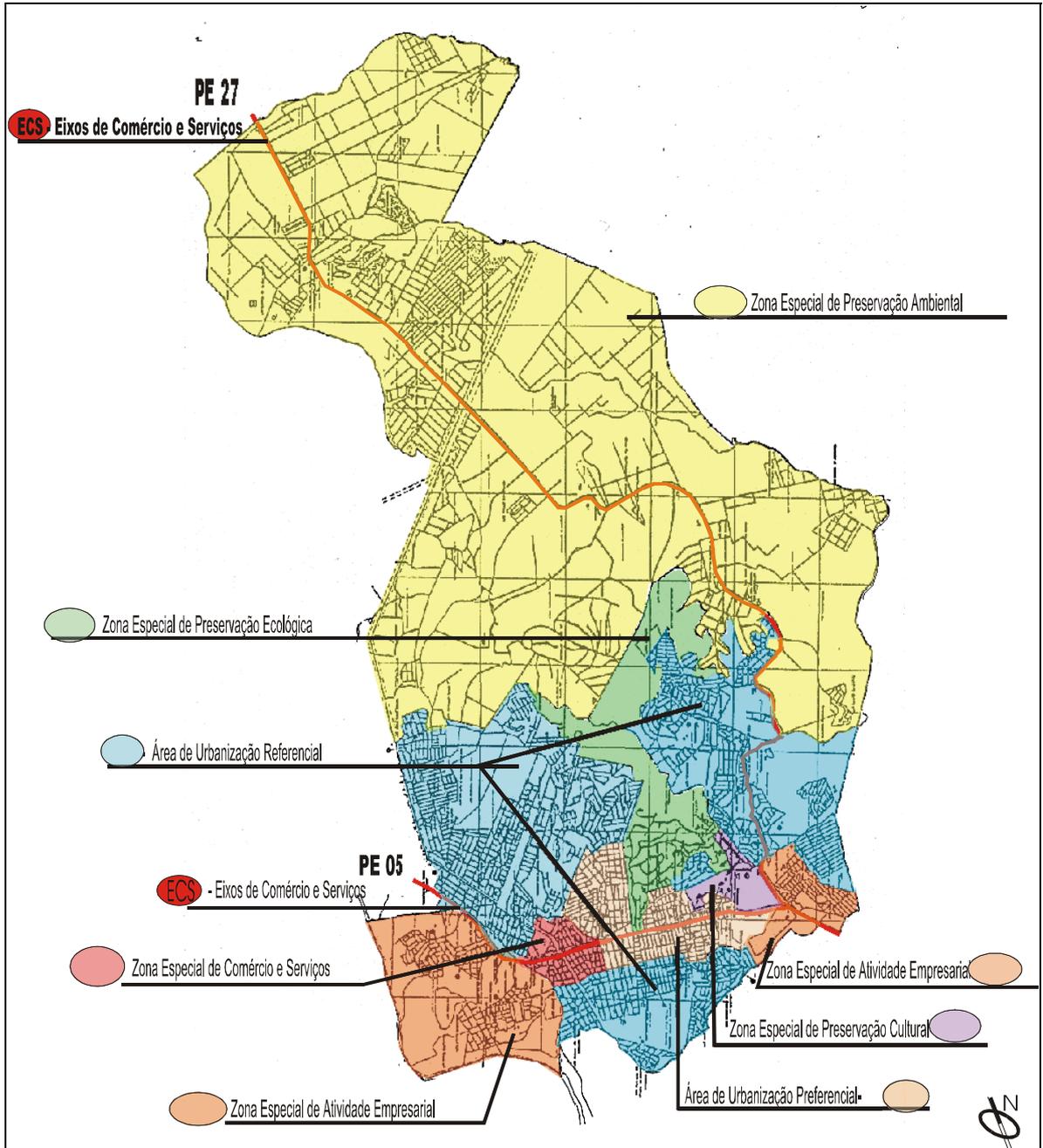


Figura IV.6: Zoneamento Espacial de Camaragibe

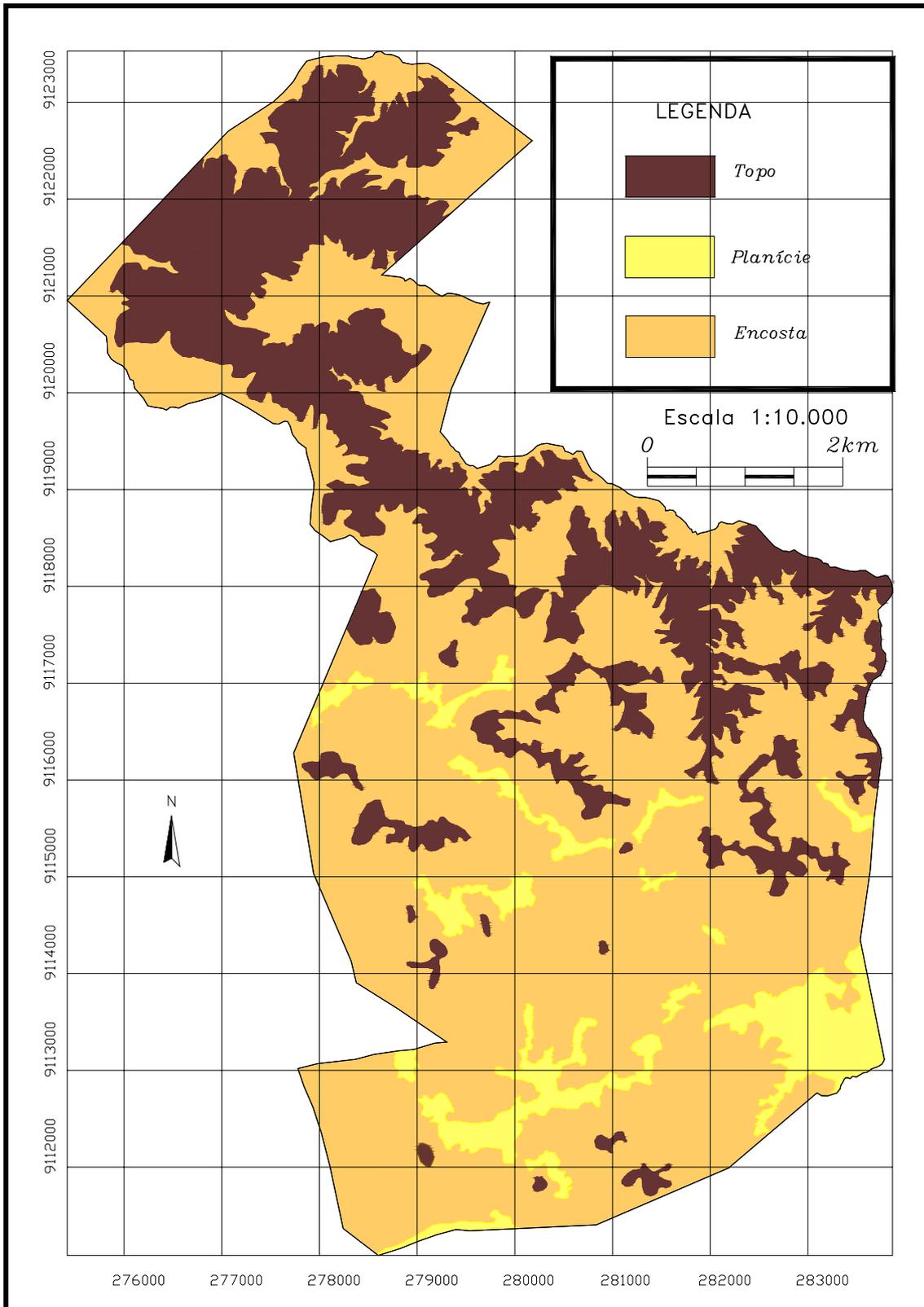


Figura IV.7: Mapa de Unidades de Relevo de Camaragibe

Os tabuleiros planos, que se concentram nas porções N e NE do município (Região 5 - Aldeia), são as áreas mais seguras e nobres para a ocupação, tendo sido preservadas, por limitações da legislação ambiental, da especulação imobiliária. Nessas áreas dominam granjas e sítios, com ocupação rarefeita, pela população de maior poder aquisitivo. Resta à população de baixa renda a ocupação das vertentes dos tabuleiros e encostas dos morros, onde a dinâmica do relevo é ainda forte, resultando em acidentes nas áreas ocupadas. Entretanto, uma ocupação planejada, respeitando as características geológica-geotécnicas dessas encostas, com a definição de parâmetros urbanísticos para as áreas edificáveis e limitações para as áreas não edificáveis, pode permitir o crescimento da cidade em condições seguras.

4.4.4. SOLO

O clima quente e úmido no município favorece o desenvolvimento rápido de solos sobre todos os materiais, independentemente de sua origem: sedimentos e rochas cristalinas. Na Região 1 do município de Camaragibe, os morros constituídos pela Formação Barreiras, de fácies arenosa de canal fluvial, mostram um padrão erosivo diferenciado, de forma mais brusca. Nesta região, a rápida remoção de sedimentos/solos nas encostas, seja para a exploração de material, seja para a implantação de casas, expõe à erosão solos antes preservados da ação intempérica. A Foto IV.6 apresenta um caso de erosão brusca ocorrida na Região 1, que causou assoreamento na linha de drenagem, na localidade do Córrego do Desastre. Este tipo de movimento é mais bem caracterizado como corrida de areia. Hoje a população extrai o material arenoso como meio de sobrevivência (Foto IV.7).



Foto IV.6: Erosão Provocando Assoreamento da Linha de Drenagem
Córrego do Desastre - Camaragibe



(a)

(b)

Foto IV.7: Extração de Material Arenoso
Córrego do Desastre (Camaragibe-PE)

Nesses locais, os sedimentos fluviais arenosos e inconsolidados ficam expostos em taludes subverticais, extremamente instáveis para materiais arenosos, sendo rapidamente removidos pela chuvas mais intensas. Esse processo erosivo rápido, por sua vez, impede que "in situ", o material venha a desenvolver um solo típico, latossólico, que seria o seu elemento de estabilização. Nesse caso, sem a latolização, o componente argiloso não se desenvolve e conseqüentemente não se manifestam os fenômenos de deslizamentos, apenas os de erosão.

Os Latossolos se caracterizam por serem solos profundos (>2m de profundidade), com horizontes pouco diferenciados, apresentando alto percentual de areia, dominado pelo quartzo, baixo percentual de silte e uma fração argila, composta por argilo-minerais de baixa capacidade de troca de cátions e, por óxido e hidróxido de Ferro e Alumínio. Por isso, são solos de baixa fertilidade e alto grau de floculação, o que lhes confere boa permeabilidade com resistência relativa a erosão e a estabilidade.

4.4.5. HIDROGRAFIA

O rio Capibaribe e os riachos Timbi, Besouro, Camaragibe e das Pedrinhas compõem a rede principal de drenagem do município de Camaragibe. Vários córregos também são encontrados na cidade que dão nomes a algumas localidades, como o Córrego da Andorinha, Córrego do Desastre e o Córrego do Jacaré (Figura IV.8).

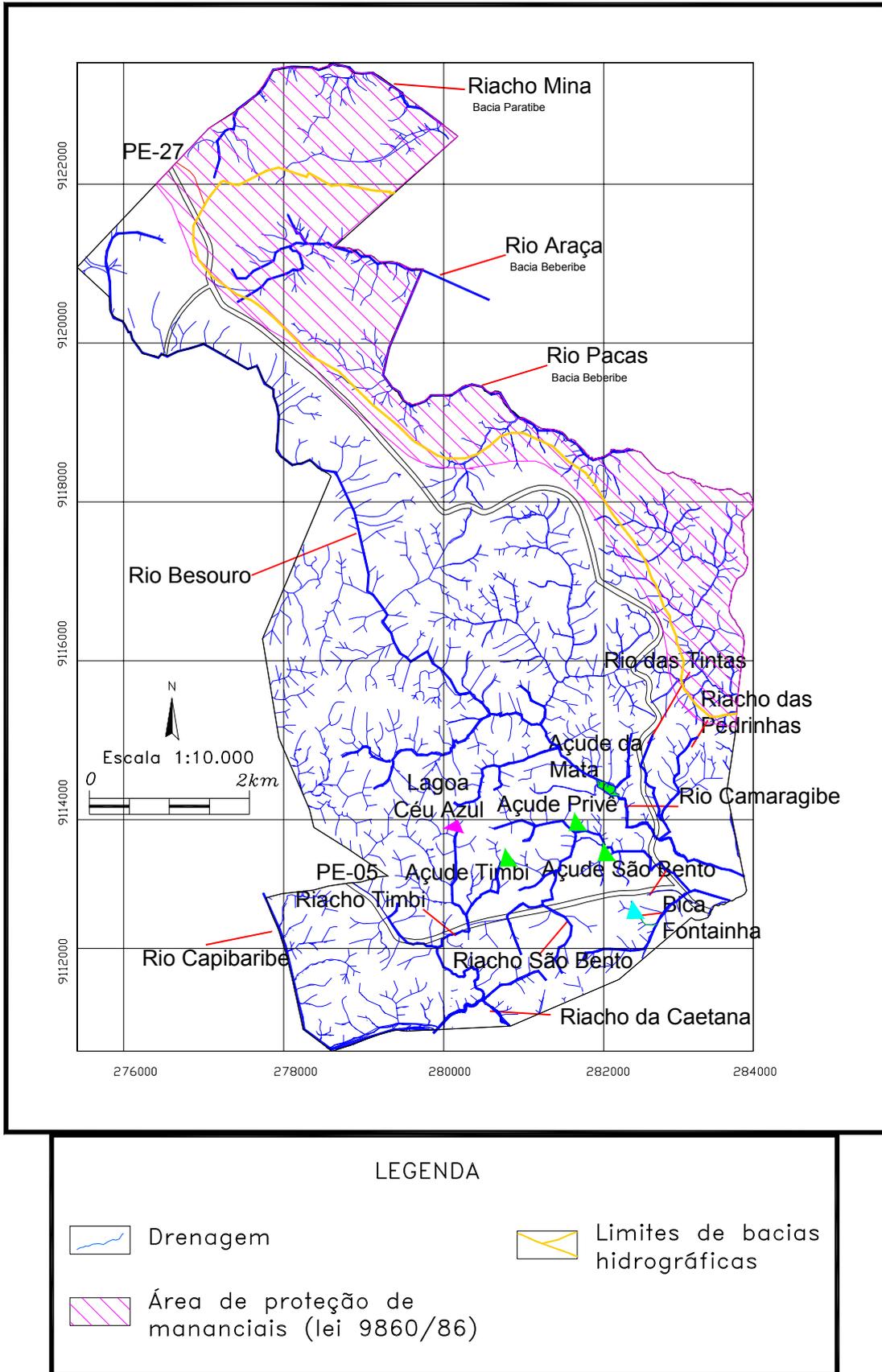


Figura IV.8 Rede Drenagem de Camaragibe

Parte da localidade de Aldeia (Região 5) é protegida pela Lei Estadual (Nº 9860/86), conhecida como Lei de Proteção de Mananciais, criada para proteger as áreas de recarga dos aquíferos da RMR e abrange a margem direita da Estrada de Aldeia (PE-27), sentido Recife-Camaragibe. Essa área é considerada pela Lei Municipal Nº 032/97 como Zona Especial de Preservação Ambiental – ZEPA (Figura IV.6), estabelecendo índices de ocupação mais restritivos e garantindo a preservação do potencial ambiental da área.

4.5 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

O município de Camaragibe está situado em área constituída por rochas do Embasamento Cristalino, recobertas pelo seu solo residual; pelos sedimentos da Formação Barreiras; e pelos depósitos aluvionares. A Figura IV.9 apresenta a distribuição dessas unidades geológicas do município.

4.5.1 EMBASAMENTO CRISTALINO (COM SOLO RESIDUAL)

O embasamento cristalino é formado por rochas do Complexo Granítico-Gnáissico. São rochas intrusivas de idade arqueana (2,1 a 1,5 bilhões de anos), pertencentes ao Maciço Pernambuco-Alagoas (ALHEIROS, 1998). Apresenta pelo menos quatro fases de deformação, das quais a última, associada a falhamentos sob regime cisalhante, resultou na formação do Lineamento Pernambuco.

Os solos residuais são aqueles que permanecem no lugar diretamente sobre a rocha mãe, da qual são derivados, por decomposição química e/ou desintegração física. Eles são reconhecidos como de transição gradual, que vai de um material ou solo finamente granuloso para um material constituído de solo e fragmentos angulares de rocha, à medida que a profundidade aumenta.

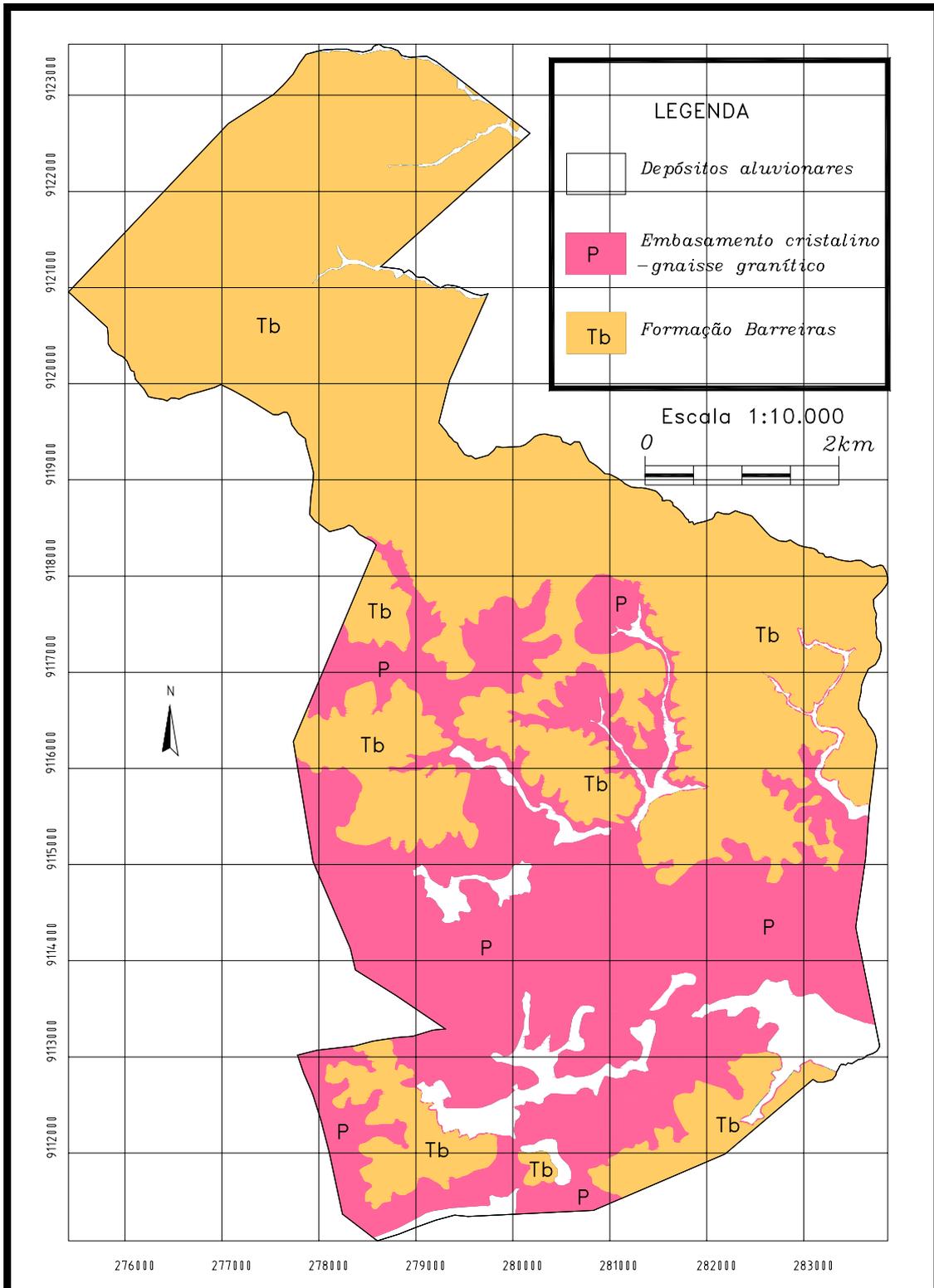


Figura IV.9 Mapa das Unidades Geológicas

A espessura de um perfil de solo residual depende da intensidade dos processos associados ao intemperismo. Portanto, fatores relacionados ao clima, rocha matriz, topografia e tempo transcorrido são os principais responsáveis pelo desenvolvimento do perfil. Uma vez que o intemperismo procede a partir da superfície, sua intensidade é reduzida com o aumento da profundidade. É comum, num mesmo perfil de solo residual encontrar materiais completamente decompostos e relativamente homogêneos, como também blocos de rocha (matacões) alterada a sã, imersos em uma matriz de solo (SOUZA NETO, 2000). Vários autores apresentam sistemas de classificação do perfil de solo residual, dividindo-o em zonas de intemperismo. Dentre as classificações internacionais, a classificação apresentada por DEERE e PATTON (1971) é uma das mais aceita. No Brasil vale destacar a proposta apresentada por VARGAS (1971). Nesta classificação o perfil (Figura IV.10) é dividido em cinco zonas de intemperismo:

- a) Zona 1: corresponde a camada superior. Em geral, constituída por solos argilosos, com coloração variando de vermelha, marrom a amarela e apresentando estrutura porosa. Esta zona pode ser um solo residual maduro ou coluvionar, muitas vezes difícil de se distinguir. Esta zona pode estar ausente, especialmente no litoral.
- b) Zona II: zona intermediária. Geralmente constituída por uma argila vermelha, marrom ou amarela, com consistência variando de rija a dura; ou areia argilosa variando de média à compacta. Eventualmente com concreções de limonita ou camadas duras, sugerindo precipitação de material coloidal da camada superior.
- c) Zona III: zona de decomposição parcial de rocha, também conhecida como saprolito. Predominam solos argilosos ou arenosos com estrutura reliquiar da rocha matriz. Eventualmente com presença de matacões de rocha alterada.
- d) Zona IV: referida como zona de intemperismo fresco. É composta por blocos de rocha alterada ou camadas de rochas quase intactas interligadas com solos argilosos ou arenosos.
- e) Zona V: substrato de rocha sã, eventualmente fissurada até uma certa profundidade.

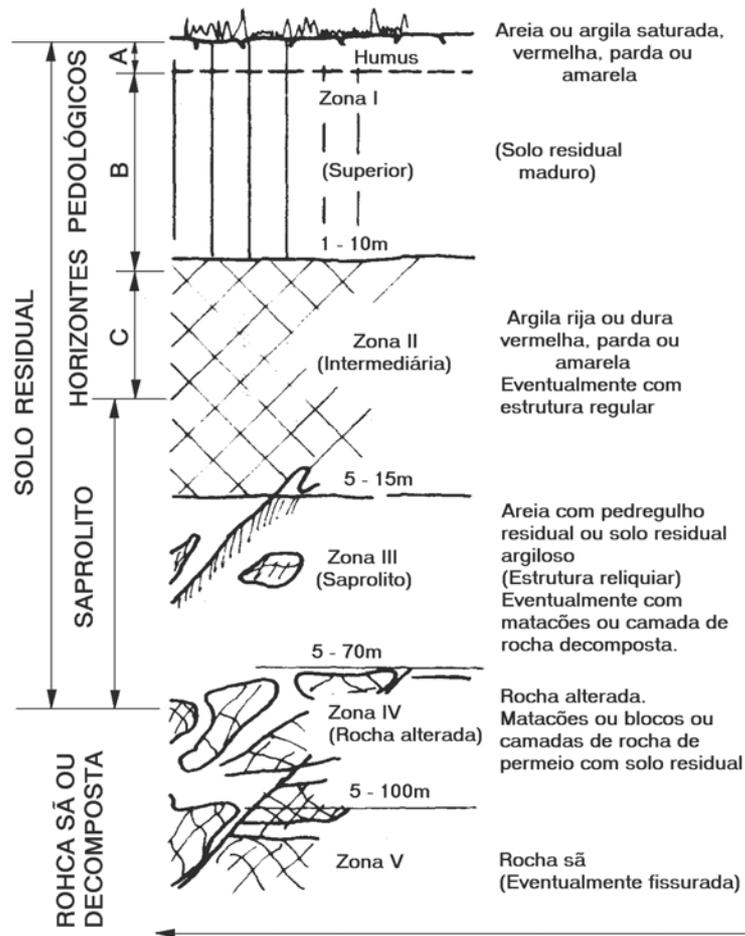


Figura IV.10: Perfil Típico de Solo Residual de Rocha Granítica (VARGAS, 1981)

A Figura IV.11 apresenta um perfil de sondagem de solo residual realizada no município de Camaragibe. Esta sondagem foi realizada para estudo geotécnico do projeto da obra do METROREC, na expansão do metro, no trecho TIP-TIMBI.

A mineralogia do perfil será função do tipo de rocha matriz. No caso de rochas ígneas e metamórficas brasileiras, os dados da literatura indicam o quartzo, feldspatos e as micas, como os minerais mais comuns na fração granular, com as proporções variando em função da rocha. Nos granitos a ação do intemperismo químico altera os feldspatos para materiais argilosos, contribuindo para os deslizamentos ocorridos no município.

Em Camaragibe, as rochas do embasamento cristalino do Complexo Granito-Gnáissico são extensamente capeadas pelo seu solo residual, aflorando de forma isolada em alguns pontos do município (Foto IV.8).

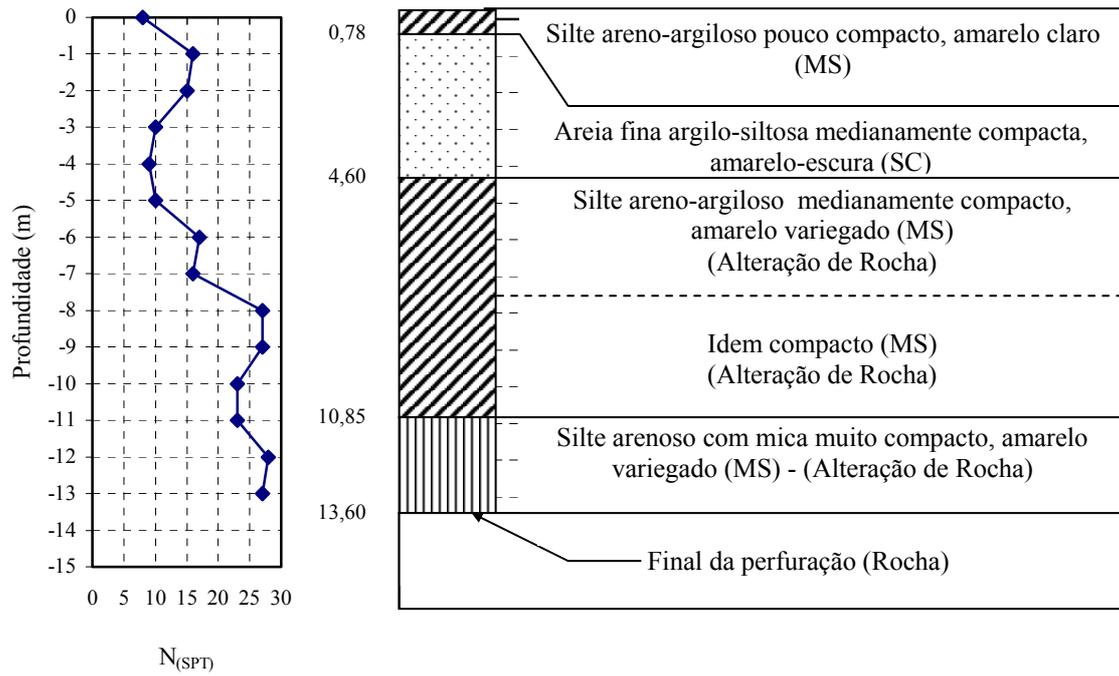


Figura IV.11: Perfil de Sondagem de Solo Residual do Município de Camaragibe.



Foto IV.8: Afloramento de Rocha Gnaissica/Granito (Vale das Pedreiras - Camaragibe)

Algumas localidades do município em que há afloramento de rochas, foram palcos de exploração mineral. Segundo moradores da localidade de Borrione, este nome se dá devido à antiga pedreira que permaneceu em atividade durante os anos de 1962 a 1972. Hoje a área serve de lazer para a população, que a utiliza como campo de futebol (Foto IV.9).



Foto IV.9: Antiga Pedreira Borrione (1962 à 1972)
(Timbi-Camaragibe)

4.5.2 FORMAÇÃO BARREIRAS

Esta unidade teve sua deposição associada aos eventos cenozóicos de natureza climática e/ou tectônica, que permitiram, durante o final do Terciário (Plioceno), há cerca de 2 milhões de anos, o extenso recobrimento das superfícies expostas do embasamento, colmatando um relevo bastante movimentado (ALHEIROS, 1998).

A Formação Barreiras constitui-se de um sedimento fluvial, areno-argiloso, de coloração creme a avermelhada, dependendo da intensidade da oxidação do ferro. Constitui uma extensa cobertura sedimentar que ocupa toda a porção norte do município, restringindo-se aos topos do relevo mais para sul. Essa formação associada aos processos fluviais, mostra pelo menos três fácies distintas: leque aluvial proximal, leque distal/planície aluvial e canal fluvial (ALHEIROS et al., 1988).

Os sedimentos da fácies de leque proximal (Foto IV.10), mostra granulação grossa e má seleção granulométrica, ocorrendo principalmente na parte central do município. A fácies de canal fluvial é extensamente encontrada nos tabuleiros das zona norte e centro. Essas duas fácies têm seu conteúdo de argila disseminado pelo sedimento em decorrência principalmente da argilização dos feldspatos que constituem na grande parte dos grãos de areia.

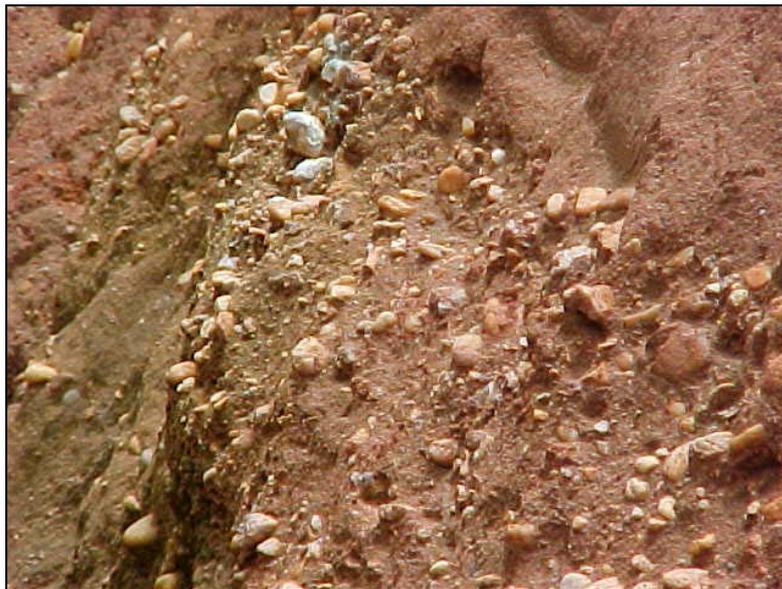


Foto IV.10: Detalhe de Conglomerado que Caracteriza a Fácies de Leque Proximal da Formação Barreiras (Ostracil –Camaragibe)

A fácies de leque distal/planície aluvial mostra uma estratificação horizontal com intercalação de camadas arenosas e argilosas (Foto IV.11). Nesse caso o conteúdo de argila é bem mais significativo, é de origem deposicional e constitui as camadas decantadas durante os períodos de menor energia do fluxo fluvial, nas partes mais baixas do relevo da época.

Essa alternância argila/areia cria situações peculiares quanto à estabilidade das encostas: se o talude cortado tiver como camada de topo a argila, esta segurará o relevo, reduzindo a erosão da camada subjacente; quando a camada de topo é a areia, a alta infiltração em superfície favorecerá a saturação, a erosão na crista e possíveis escorregamentos associados no talude (ALHEIROS, comunicação verbal). Essa fácies ocorre na parte sul do município (Região 1), sendo bem exposta no Bairro dos Estados.



Foto IV.11: Processo Depositional da Formação Barreiras
(Fácies de Leque Aluvial Distal/Planície Aluvial)
(Local de Exploração Mineral -Bairro dos Estados – Camaragibe)

4.5.3 DEPÓSITOS ALUVIONARES

São depósitos recentes constituídos pelos materiais carregados pelas correntes, ou seja, são solos transportados pela água que foram depositados nas planícies de inundação dos rios. Apresentam cores claras e são constituídos de areias, siltes e argilas. Seu relevo plano e rebaixado não interfere nos processos de escorregamentos e erosão das encostas.

4.6 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS MATERIAIS DAS ENCOSTAS

4.6.1 INTRODUÇÃO

Os estudos geotécnicos são de grande importância para as obras de engenharia. Eles dão suportes, por exemplo, para a análise das condições de estabilidade dos taludes de corte e aterro. Uma ação conjunta de intervenções em áreas de encostas requer um estudo detalhado da área, com a caracterização geotécnica dos materiais, monitoramento de níveis freáticos, através de instalação de piezômetros, análise de estabilidade de taludes, entre outros. Através dos estudos é possível definir condições estáveis para assentamentos nas encostas, indicando a inclinação dos cortes, as dimensões da fundação direta e as condições para aos sistemas de drenagem.

Após vistorias de campo e definição das áreas prioritárias para intervenção, com grau de risco muito alto, escolheu-se três áreas para os estudos básicos geotécnicos, de forma a dar subsídios técnicos à prefeitura do município para intervenção nessas áreas, assim como um melhor entendimento dos processos geológicos-geotécnicos na área.

Os sistemas de classificação geotécnicos permitem resolver muitos problemas simples de engenharia, e servem de guia para preparar o programa de investigação, quando a dificuldade e a importância do problema requererem uma investigação mais profunda (LAMBE e WHITMAN, 1976). Em muitos problemas de engenharia a identificação e classificação poderão ser o dado geotécnico definitivo (COZZOLINO e NOGAMI, 1993, a partir de SOUZA NETO, 1998).

Aqui serão apresentadas as metodologias utilizadas nos trabalhos de campo e de laboratório para obtenção de parâmetros geotécnicos básicos de três áreas escolhidas para análise do perfil de solo. As áreas são constituídas pelos sedimentos da Formação Barreiras, uma na fácies de leque aluvial proximal, outra de canal fluvial; e a outra área pelo solo residual de rocha granítica.

Através das amostras de solo recolhidas, foram realizadas a caracterização física do solo, a identificação e a classificação por meio de ensaios convencionais e ensaios de resistência ao cisalhamento, os quais poderão dar subsídios para projetos básicos de engenharia de estabilização nas áreas estudadas, sendo subsídios para as demais áreas do município.

4.6.2 LOCAIS DE ESTUDO

A) ÁREA DE ESTUDO 1: CÓRREGO DA ANDORINHA

A Área de estudo 1, denominada de Córrego da Andorinha, fica situada na Região Administrativa 4. Esta região é definida pela Lei Municipal de Uso e Ocupação do Solo Nº 32/97, como uma Área de Urbanização Restrita – AUR, de baixo potencial construtivo, devido a sua morfologia desfavorável à urbanização. Apesar das restrições,

vários assentamentos informais ocorrem na área, onde a ação do homem sobre o meio físico se dá de forma agressiva, aleatória e rápida.

A avaliação de risco mostrou que a localidade do Córrego da Andorinha apresenta grau de risco muito alto. Esta localidade apresenta em sua encosta: alta declividade, cortes desordenados, ocupação densa, ausência de sistema de drenagem, vazamentos no sistema de abastecimento de água, lançamento indiscriminado de águas servidas, fossas na borda do talude e baixa taxa de cobertura vegetal.

As encostas desta região são formadas pelos sedimentos da Formação Barreiras da fácies de leque aluvial proximal, com conglomerados. Sob a Formação Barreiras encontra-se o solo residual, com afloramento de rochas (Foto IV.12). Os estudos geotécnicos foram realizados nos sedimentos da Formação Barreiras, nos quais estão os assentamentos.



Foto IV.12 Encostas da Formação Barreiras sobre o Solo Residual
(Córrego da Andorinha – Camaragibe)

B) ÁREA DE ESTUDO 2: ALTO DE SANTO ANTÔNIO

A Área de estudo 2 trata-se do Alto de Santo Antônio, mais precisamente a rua 13 de Maio, situada na Região Administrativa 1 (Foto IV.13). A avaliação de risco indicou grau de risco médio para o setor de encosta que envolve esta área de estudo.



Foto IV.13: Área de Estudo 2: Alto de Santo Antônio - Solo Residual Maduro

Esta localidade apresenta como característica geológica o solo residual maduro de granito, em que foram realizados os estudos geotécnicos.

C) ÁREA DE ESTUDO 3: CÓRREGO DO DESASTRE

A Área de estudo 3 é o Córrego do Desastre, local onde houve a forte erosão causando assoreamento no sistema de drenagem (Foto IV.5). A avaliação de risco indicou grau de risco médio para o setor de encosta que envolve a área. A localidade tem como característica geológica os sedimentos da Formação Barreiras, de fácies de canal fluvial, apresentando um material bastante arenoso, em que foram realizados os estudos geotécnicos.

A Figura IV.12 apresenta a localização das Áreas de Estudo 1, 2 e 3.

4.6.3 INVESTIGAÇÃO DE CAMPO

4.6.3.1 Sondagens a Trado para Simples Reconhecimento

Nas três áreas estudadas, foram executados sondagens a trado, com diâmetro de 1", até a profundidade de 5 metros, obtendo o perfil de solo e de umidade. A Figura IV.13 e a Foto IV.14 apresentam a localização dos furos de sondagens realizados na Área de estudo 1.

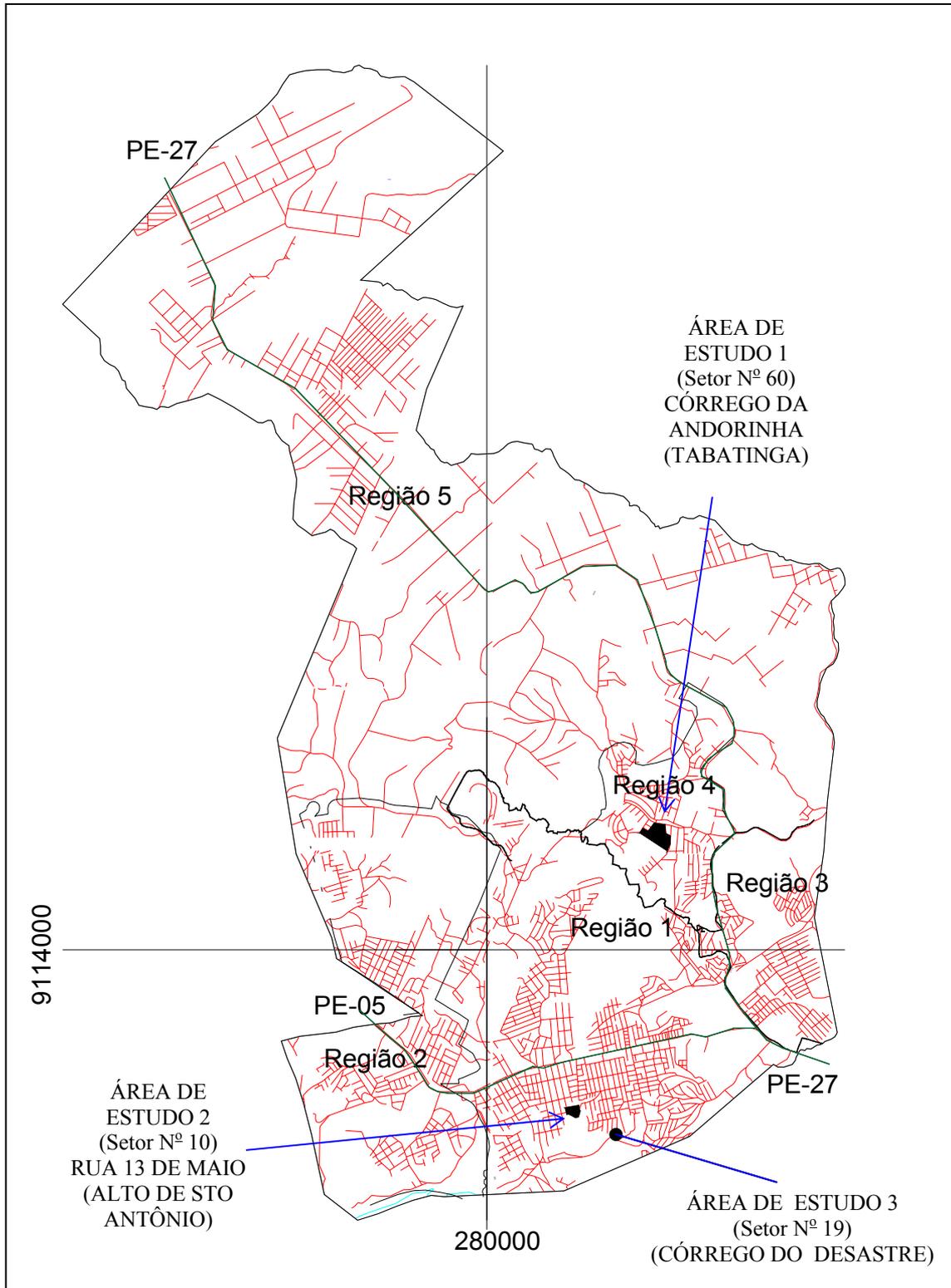


Figura IV.12: Localização das Áreas dos Estudos Geotécnicos.

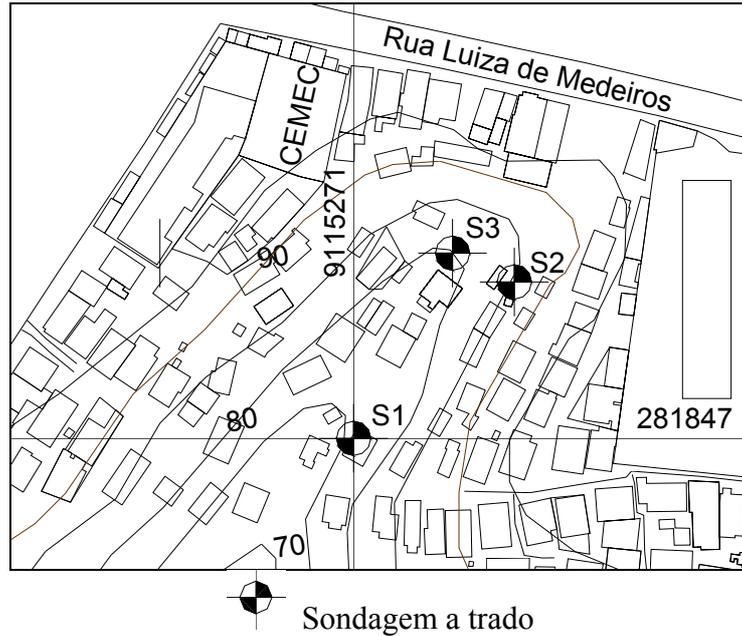


Figura IV.13: Localização dos Furos de Sondagens Realizados da Área de Estudo 1



Foto IV.14: Localização dos Furos de Sondagens Realizados na Área de Estudo 1
Córrego da Andorinha/ Camaragibe-PE

A Figura IV.14 apresenta o perfil de solo obtido com os resultados de ensaios de caracterização do furo de sondagem S1, da Área de estudo 1 (Córrego da Andorinha). Neste furo foi encontrada a interface entre os sedimentos da Formação Barreiras e o solo residual. A camada inicial é constituída de silte argiloso de cor vermelha, cuja espessura é de 2,0m. A partir desta profundidade o solo é residual. A segunda camada é de argila com pedregulho de cor vermelha atingindo a profundidade de 3,5m. A terceira camada é constituída por silte argiloso de cor amarela escura, até os 4,5m e a quarta camada é de silte arenoso de cor branca com traços marrom e cinza, atingindo os 5,0m de profundidade que foi o limite da sondagem.

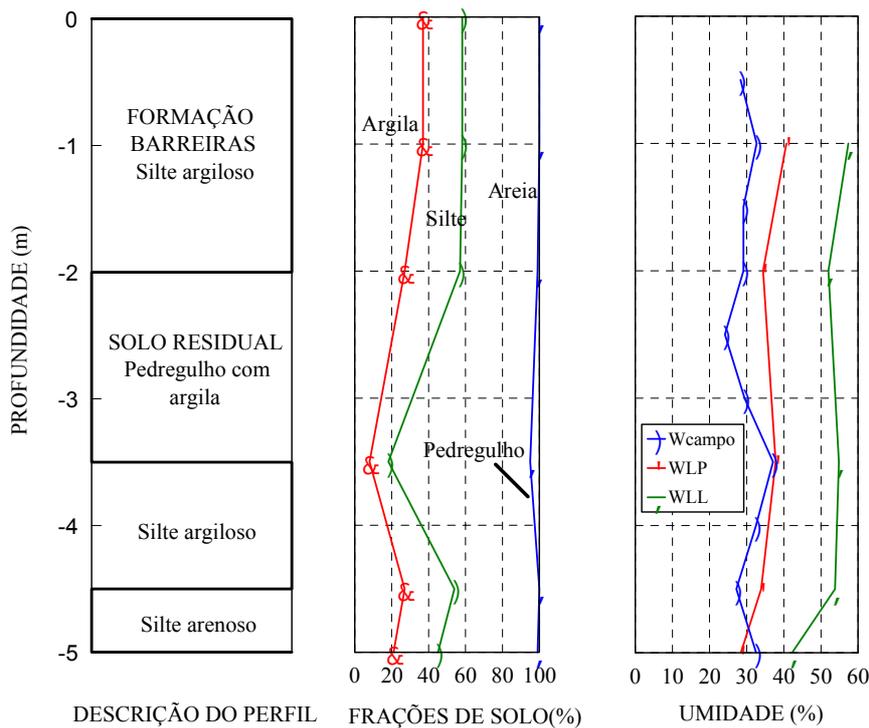


Figura IV.14: Perfil do Solo e Caracterização – S1- Córrego da Andorinha

A Figura IV.15 apresenta o perfil de solo obtido com os resultados de ensaios de caracterização do furo de sondagem S2 realizado na Área 1. Este perfil pode ser considerado típico das encostas formadas por sedimentos da Formação Barreiras, da fácies de leque aluvial proximal, da Região Administrativa 4. A camada inicial é constituída de silte arenoso de cor vermelha escura, cuja espessura é de 2,0m. A segunda camada é de argila com pedregulho de cor amarela escura atingindo a profundidade de 3,6m. A terceira camada é constituída por silte arenoso de cor amarela escura, até os 4,0m. A quarta camada é de silte argiloso de cor amarela escura, com espessura de 0,6m. A quinta camada é de silte arenoso de cor vermelha escura, atingindo os 5,0m de profundidade que foi o limite da sondagem.

O perfil de solo do furo de sondagem S3 é apresentado na Figura IV.16. A camada inicial é constituída de areia siltosa de cor vermelha escura, cuja espessura é de 1,0m. A segunda camada é silte arenoso de cor vermelha atingindo a profundidade de 3,0m. A terceira camada é constituída por areia siltosa de cor vermelha até os 5,0m de profundidade.

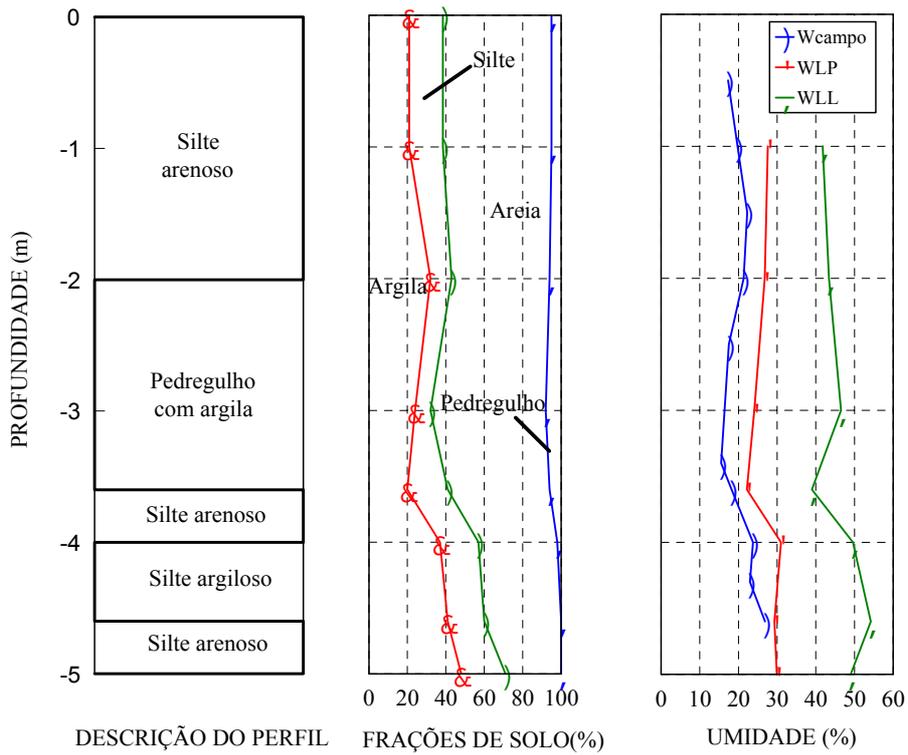


Figura IV.15: Perfil típico do Solo da Formação Barreiras da Fácies de Leque Aluvial Proximal do Córrego da Andorinha – Furo de Sondagem S2

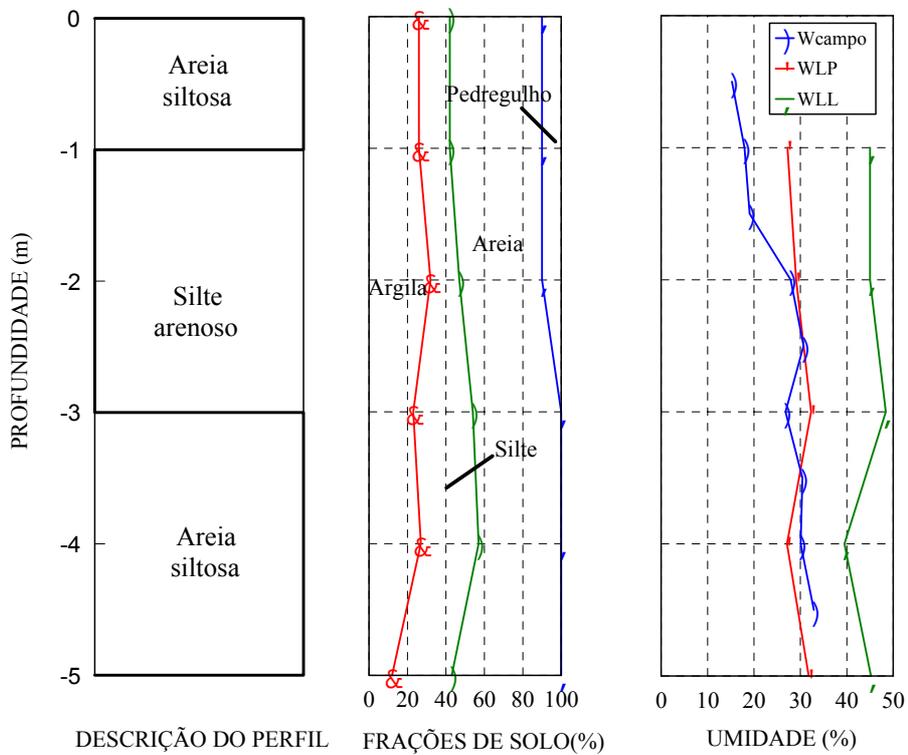


Figura IV.16: Perfil do Solo e Caracterização do Furo S3 Formação Barreiras - Área de Estudo 1 - Córrego da Andorinha

A Figura IV.17 apresenta a localização dos furos de sondagens realizados nas Áreas de Estudo 2 e 3. Os perfis de solo com os resultados de caracterização do furo de sondagem S1 e S2 realizados na Área de estudo 2 estão apresentados nas Figuras IV.18 e IV.19. Esta área de estudo é constituída por solo residual maduro. O perfil do furo S1 apresenta uma camada inicial constituída de uma areia siltosa, com espessura de 2,5m (Figura IV.18). A segunda camada é de silte argiloso que atinge a profundidade de 2,8m, seguida por uma terceira camada de areia argilosa entre as profundidades de 2,8 a 3,2m. Entre as profundidades de 3,2 a 4,0m volta a camada de silte argiloso. A última camada, que vai até os 5,0m é constituída por uma areia argilosa.

O perfil de solo do furo de sondagem S2 (Figura IV.19) apresenta uma camada inicial de silte argiloso, cuja espessura é de 1,2m. A segunda camada é constituída por um pedregulho argiloso, atingindo a profundidade de 2,5m. A terceira camada é de silte argiloso que vai até os 3,5m. A quarta camada apresenta uma areia argilosa de 0,5m de espessura, no qual atinge os 4,0m de profundidade. A última camada, com espessura de 1,0m, é constituída por um silte argiloso.

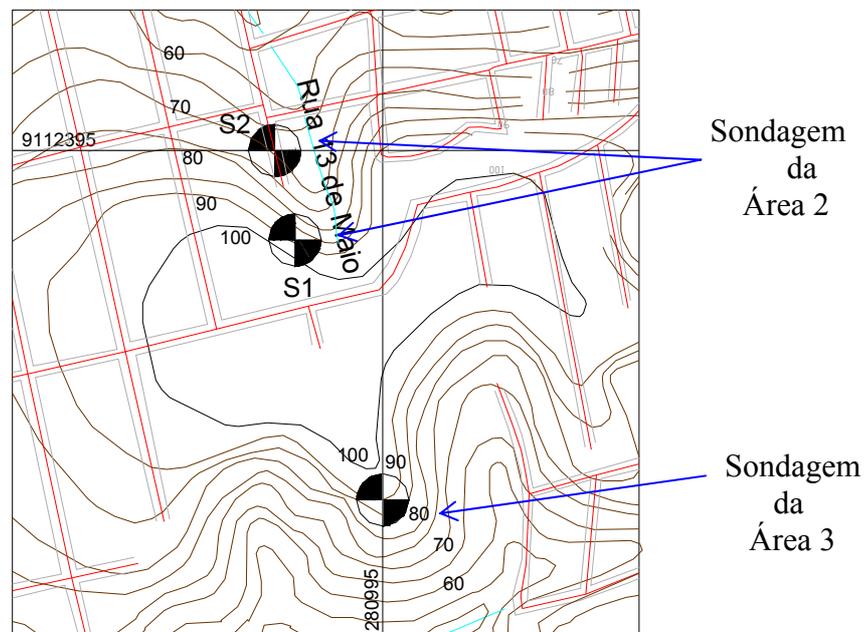


Figura IV.17: Localização dos Furos de Sondagens das Áreas de Estudo 2 e 3.

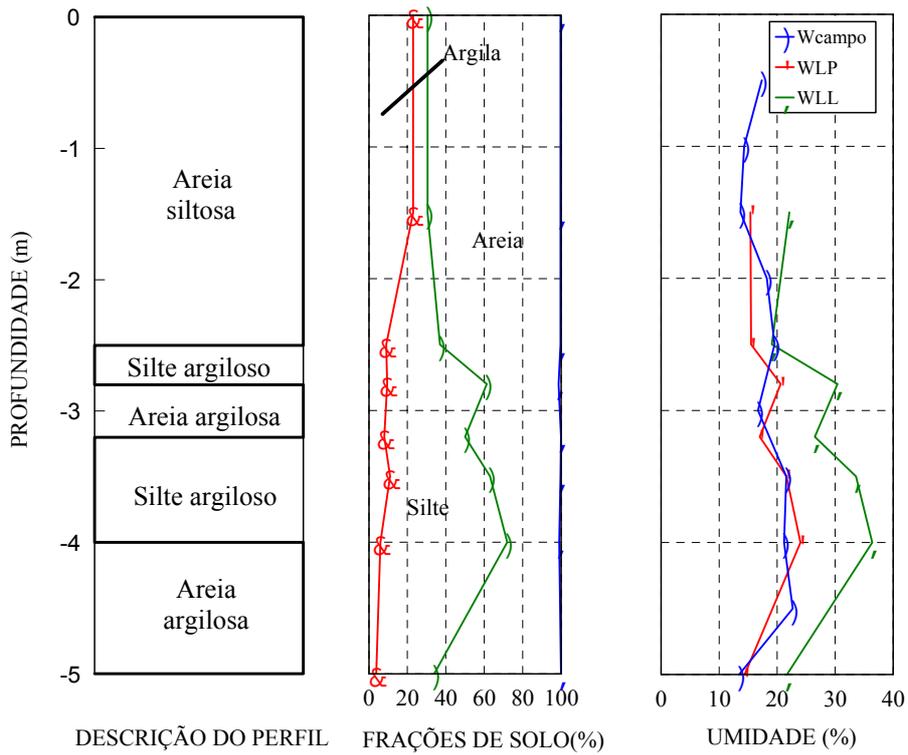


Figura IV.18: Perfil do Solo e Caracterização do Furo S1
Solo Residual Maduro - Área de Estudo 2 - Alto de Santo Antônio

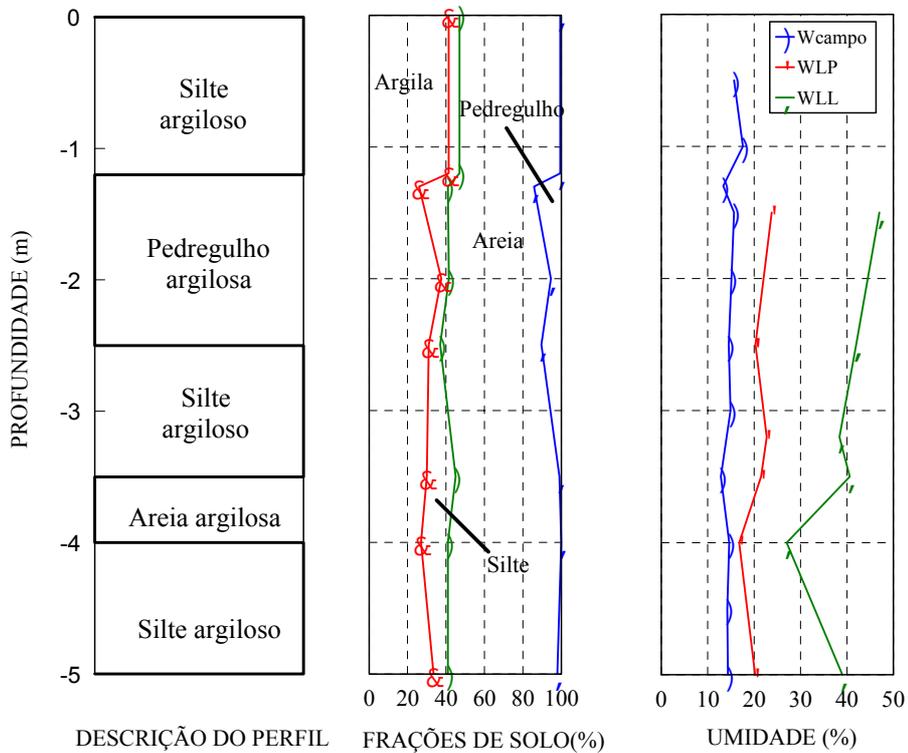


Figura IV.19: Perfil do Solo e Caracterização do Furo S2
Solo Residual Maduro - Área de Estudo 2 - Alto de Santo Antônio

Na Área de Estudo 3, Córrego do Desastre, foi realizado apenas um furo de sondagem. O solo é constituído por sedimentos da Formação Barreiras de canal fluvial. A Figura IV.20 apresenta o perfil de solo obtido com os resultados de ensaios de caracterização. Este perfil apresenta uma camada inicial constituída de uma areia siltosa com pedregulho até a profundidade de 1,5m. A segunda camada é de areia argilosa que atinge a profundidade de 2,5m, seguida por uma terceira camada de uma areia siltosa com pedregulho até a profundidade limite da sondagem (4,0m).

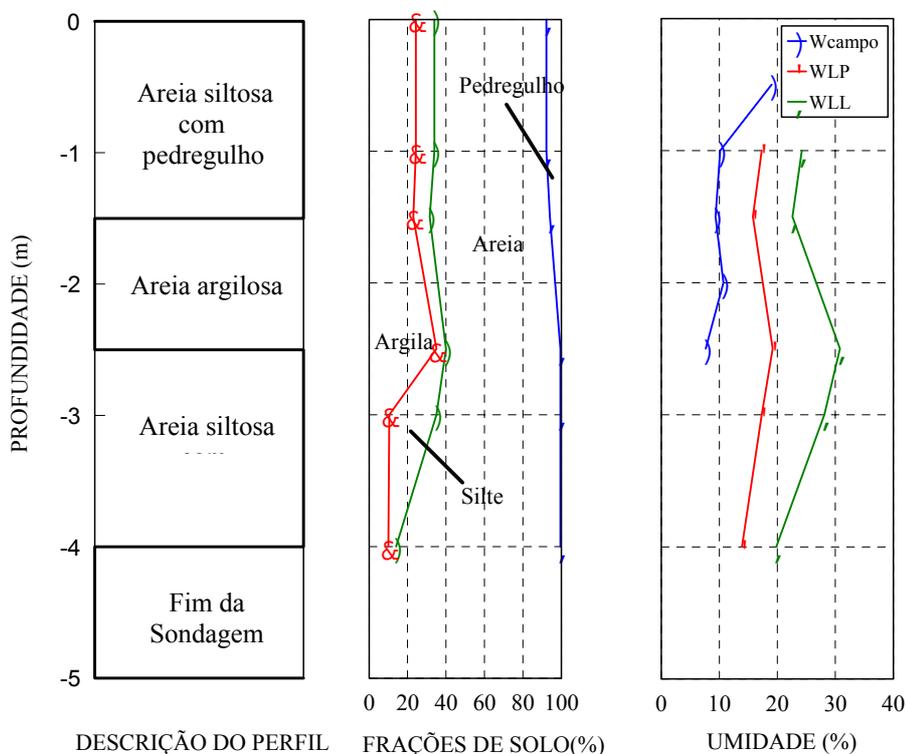


Figura IV.20: Perfil do Solo e Caracterização
Área de Estudo 3 – Córrego do Desastre

4.6.3.2 Coletas das Amostras Indeformadas e Deformadas

Devido o solo apresentar-se camadas homogêneas, observadas nos taludes de cortes, as amostras deformadas foram coletadas a cada 1,0 m de profundidade e quando havia mudança significativa da cor da camada. Os materiais coletados foram colocados em sacos plásticos, com identificação do local, furo, profundidade, data, solo, e cor, para a realização posterior dos ensaios de laboratório. Também se coletaram amostras a

cada 0,5 m e na mudança de camada, colocando certa quantidade de material em cápsulas de alumínio lacradas, para posterior determinação da umidade em laboratório. Para obter os parâmetros de resistência do solo, das áreas de estudo 1 e 2, foram coletadas amostras indeformadas em caixas prismáticas com dimensões de 4”x4” e altura de 4 cm e realizado o ensaio de cisalhamento direto convencional. Na área de estudo 3 não foram obtidos os parâmetros de resistência.

4.6.4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

4.6.4.1 Ensaio de Caracterização

Foram realizados os ensaios convencionais de caracterização geotécnica, consistindo nos seguintes ensaios:

- NBR 6467/86 - Preparação de amostras;
- NBR 7181 - Análise granulométrica;
- NBR 6508 - Massa específica dos grãos dos solos;
- NBR 6459 - Limite de liquidez;
- NBR 7180 - Limite de plasticidade;

As Tabelas IV.2, IV.3 e IV.4 apresentam um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização das Áreas de estudos 1, 2 e 3 respectivamente. Os percentuais das frações dos solos foram classificados de acordo com as recomendações da ABNT NBR 7181, e as camadas foram enquadradas na classificação unificada (USCS).

Nas Figuras IV.21, IV.22 e IV.23 estão apresentadas as curvas granulométricas referente aos ensaios realizados na Área de estudo 1, nos furos de sondagem S1 a S3, segundo o procedimento da ABNT. Nas Figuras IV.24 e IV.25 estão apresentadas as curvas granulométricas referente aos ensaios realizados Área de Estudo 2 e na Figura IV.26 as curvas granulométricas referente aos ensaios realizados Área de Estudo 3.

Tabela IV.2: Composição Granulométrica, Consistência e Classificação do Solo da Área de Estudo 1 - Córrego da Andorinha

Furo/Formação Geológica		Prof. (m)	Composição Granulométrica % ABNT				Consistência (%)		Classe (USCS)
			Pedreg	Areia	Silte	Argila	LL	IP	
S1	Formação Barreiras	0-1	0	41,8	21,2	37	57,4	16,7	MH
		1-2	1	42	30	27	52	17,6	MH
	Solo residual	2-3,5	5	76,8	10,2	8	54,8	17	SM
		3,5-4,5	0	46	27	27	53,8	19,9	MH
		4,5-5	1	54	24	21	42,2	13,8	ML
S2	Formação Barreiras	0-1	5	56,5	17,5	21	41,8	14,2	ML
		1-2	6	51	11	32	43,4	16,6	ML
		2-3	8	60	8	24	46,5	22,4	SC
		3-3,6	6	53	21	20	39,0	16,8	SC
		3,6-4	2	41	20	37	49,6	18,6	ML
		4-4,6	0	40	19	41	54,2	24,9	MH
		4,6-5	0	29	23	48	49,0	19,1	ML
S3	Formação Barreiras	0-1	10	48	16	26	45	17,8	SM
		1-2	10	43	15	32	45	15,9	ML
		2-3	0	46	31	23	48,4	16,1	ML
		3-4	0	43	30	27	39,5	12,4	SM
		4-5	0	57	31	12	45,2	13,4	SM

Tabela IV.3: Composição Granulométrica, Consistência e Classificação do Solo da Área de Estudo 2 - Alto de Santo Antônio

Furo/Formação geológica		Prof. (m)	Composição Granulométrica % ABNT				Consistência (%)		Classe (USCS)
			Pedreg	Areia	Silte	Argila	LL	IP	
S1	Solo residual maduro	0-1,5	0,35	69,15	7,5	23	22,1	6,7	SC/SM
		1,5-2,5	0,34	62,65	28	9,01	19,1	3,6	SM
		2,5-2,8	1,36	37,33	51,80	9,51	30,4	9,8	CL
		2,8-3,2	0,10	49,90	42	8	26,5	9,5	SC
		3,2-3,5	0,34	36,66	52	11	33,6	12	CL
		3,5-4,0	0,99	27,01	66	6	36,4	12,39	CL
		4,0-5	0,05	65,95	30,2	3,8	21,7	7,3	SC
S2	Solo residual maduro	0-1,2	0,55	52,45	5,6	41,4	47	23,2	CL
		1,2-1,3	14,24	44,76	15	26	42	21,7	SC
		1,3-2	5,47	53,03	3,9	37,6	?	?	SC?
		2-2,5	10,42	52,58	6	31	38,4	15,7	SC
		2,5-3,5	0,98	51,02	12	36	40,6	19,1	CL
		3,5-4	0,10	58,90	14	27	27	10,2	SC
		4-5	2,10	54,9	10	33	39	18,8	CL

Tabela IV.4: Composição Granulométrica, Consistência e Classificação do Solo da Área de Estudo 3 - Córrego do Desastre

Furo/Formação Geológica	Prof. (m)	Composição Granulométrica % ABNT				Consistência (%)		Classe (USCS)	
		Pedreg	Areia	Silte	Argila	LL	IP		
S1	Formação Barreiras de leque de canal fluvial	0-1	7,8	58,2	9,7	24,3	24,2	6,9	SM
		1-1,5	5,92	62,58	8,5	23	22,6	6,8	SM
		1,5-2,5	0,54	59,46	5,0	35	30,8	11,6	SC
		2,5-3	0,53	64,47	24,5	10,5	28,10	10,8	SC
		3-4	0,47	85,53	4	10	19,8	5,9	SM

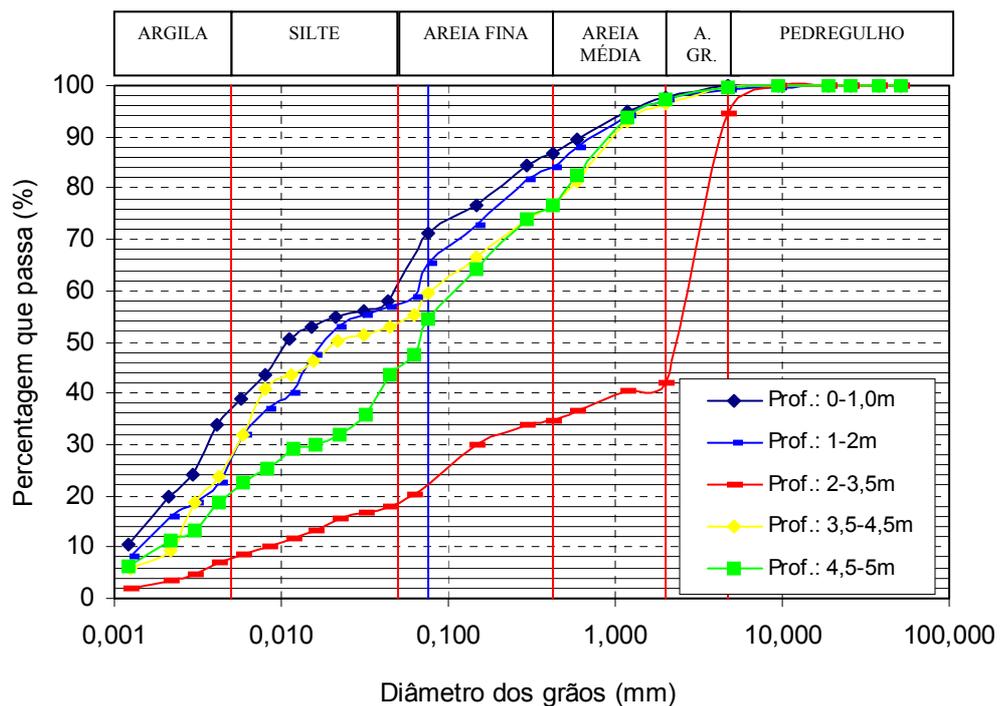


Figura IV.21 Curvas Granulométricas Furo de Sondagem S1 (Formação Barreiras: de 0-2,0m / Solo Residual: de 2,0-5,0m) (Área de Estudo 1- Córrego da Andorinha)

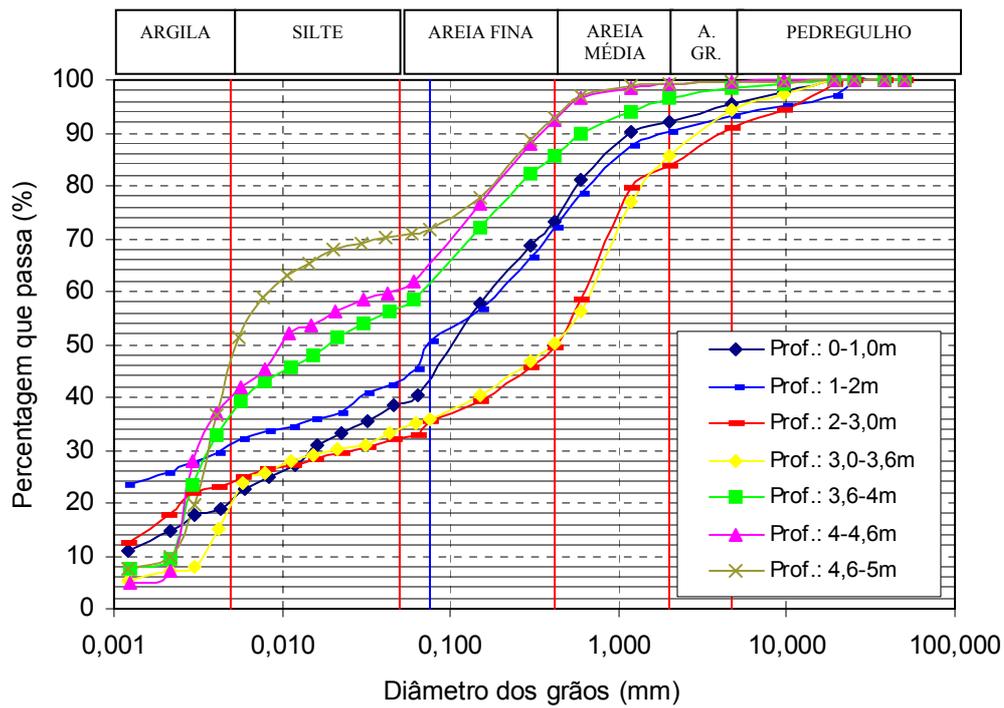


Figura IV.22 Curvas Granulométricas Furo de Sondagem S2
(Formação Barreiras de Leque Proximal)
(Área de Estudo 1- Córrego da Andorinha)

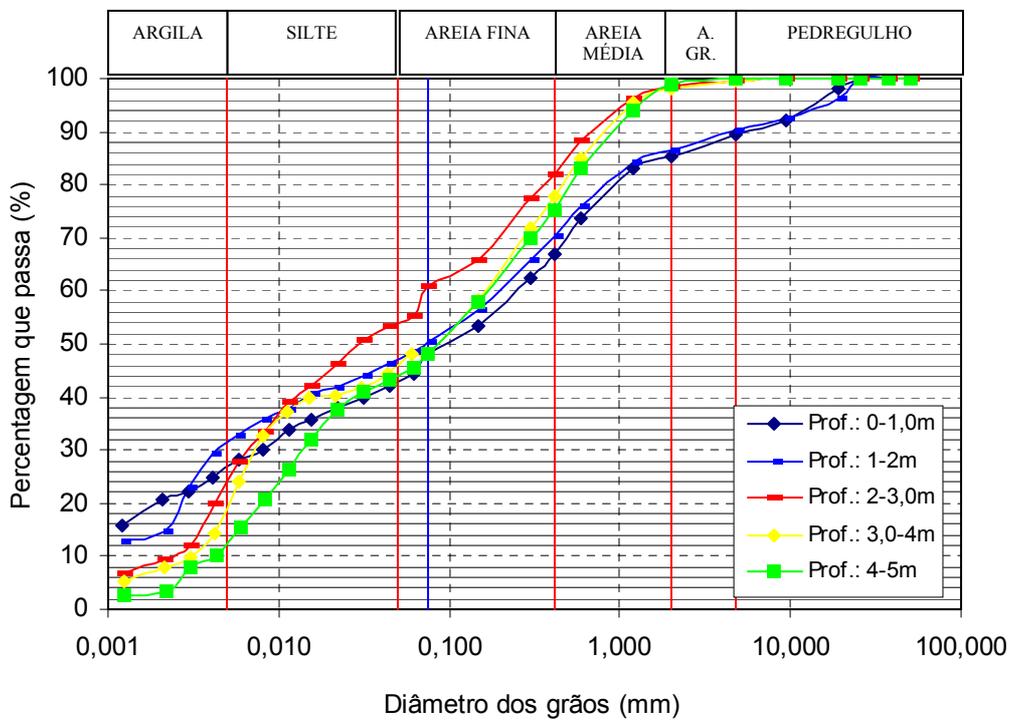


Figura IV.23 Curvas Granulométricas Furo de Sondagem S3
(Formação Barreiras de Leque Proximal)
(Área de Estudo 1- Córrego da Andorinha)

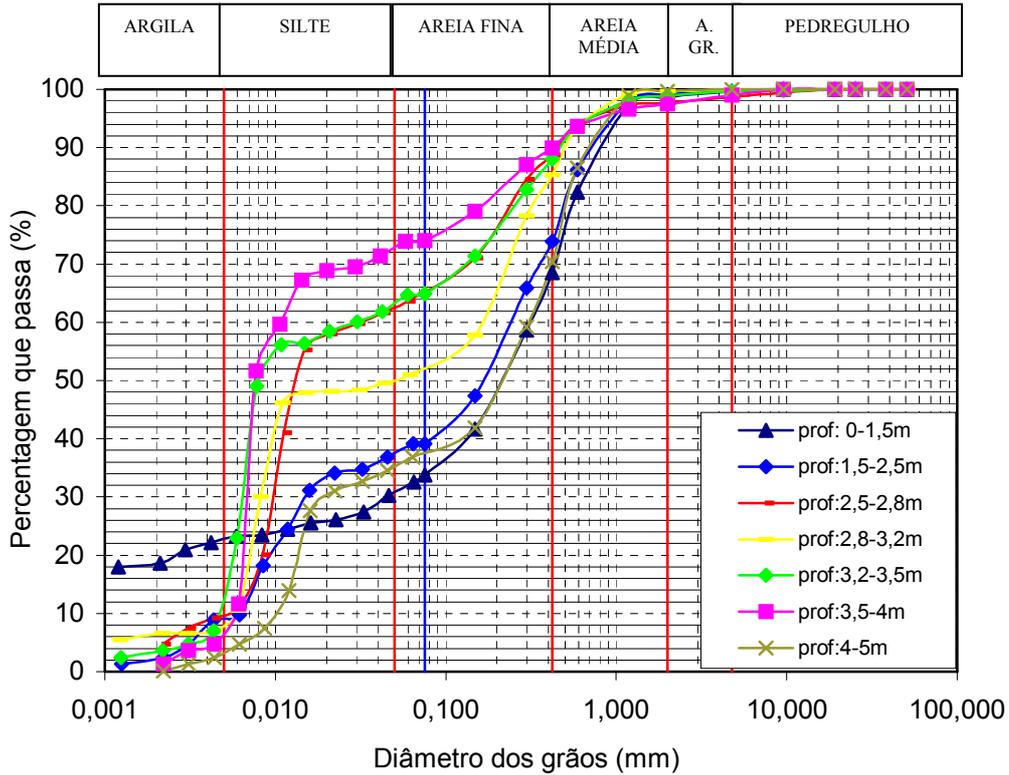


Figura IV.24 Curvas Granulométricas/Furo de Sondagem S1 (Solo Residual Maduro) (Área de Estudo 2- Alto de Santo Antônio)

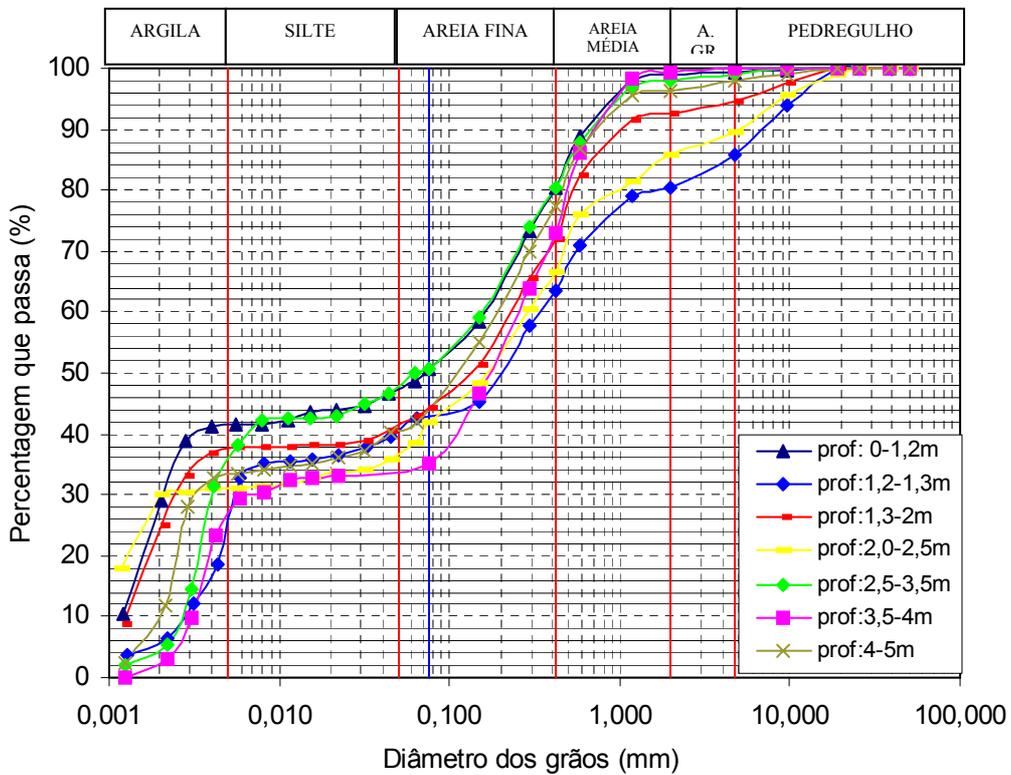


Figura IV.25 Curvas Granulométricas/Furo de Sondagem S2 (Solo Residual Maduro) (Área de Estudo 2- Alto de Santo Antônio)

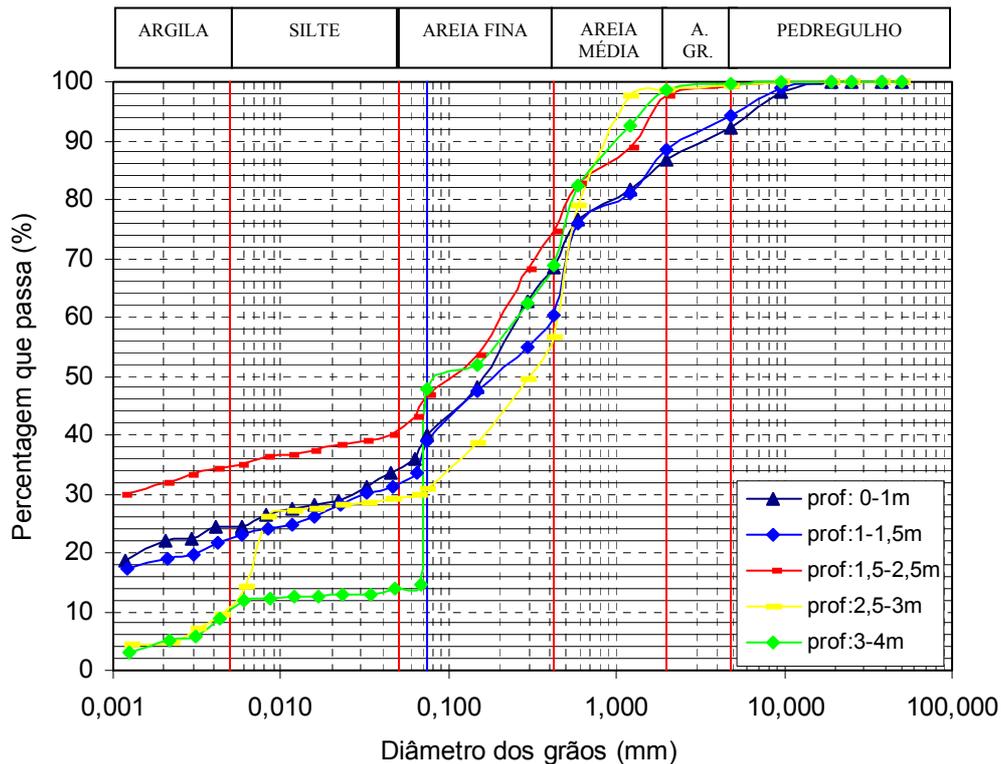


Figura IV.26 Curvas Granulométricas da Área de estudo 3 (Córrego do Desastre – Formação Barreiras de Canal Fluvial)

A) ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E CONSISTÊNCIA

A.1) Área de Estudo 1: Córrego da Andorinha

No furo de sondagem S1, até a profundidade de 2,0 metros, o solo é formado por sedimentos da Formação Barreiras. Nesses sedimentos verifica-se que as amostras foram compostas por solos de textura fina (mais de 50% passando na peneira 0,075mm) (Tabela IV.2). Os resultados obtidos no ensaio de Limites de Atterberg indicam que as amostras são de média plasticidade ($8 < IP < 25$). Na classificação unificada (USCS), as amostras de textura fina foram classificadas como MH (silte argiloso).

A partir de 2,0m de profundidade inicia-se o solo residual neste furo. De 2,0m a 3,5m, a textura apresentou-se grossa, com presença de minerais da rocha alterada e com alta plasticidade. Entre as profundidades de 3,5 a 5,0m as camadas são de textura fina. Até os 4,5m a amostra foi de alta plasticidade e de 4,5 a 5,0m é de média plasticidade. Na classificação unificada (USCS), as amostras de textura fina foram classificadas como MH (silte argiloso) e ML (silte arenoso) e a de textura grossa como SM (areia siltosa).

No furo de sondagem S2, constituído por sedimentos da Formação Barreiras, o percentual de argila aumenta com a profundidade e o de areia diminui, constatando a presença de camadas de textura grossa com pedregulhos entre as profundidades de 2 a 3,6m (Tabela IV.2). Os resultados de Limites de Atterberg e indicam amostras de média plasticidade ($8 < IP < 25$). Na classificação unificada (USCS), as amostras de textura fina foram classificadas como MH e ML e a de textura grossa como SC.

Na composição granulométrica dos solos obtidos no furo de sondagem S3, também da Formação Barreiras, observa-se um aumento na quantidade de areia e silte com a profundidade (Tabela IV.2). Entre 1 e 3m as amostras foram compostas por solos de textura fina, classificadas como ML e de alta plasticidade na classificação unificada. Nas demais profundidades, as amostras apresentaram texturas grossas, classificadas como SM (areia siltosa) de média plasticidade.

A Figura IV.27 apresenta a seção transversal entre os furos de sondagem S1 e S2 realizados no Córrego da Andorinha (Área de Estudo 1). A Figura IV.28 apresenta a seção transversal entre os furos de sondagem S1 e S3.

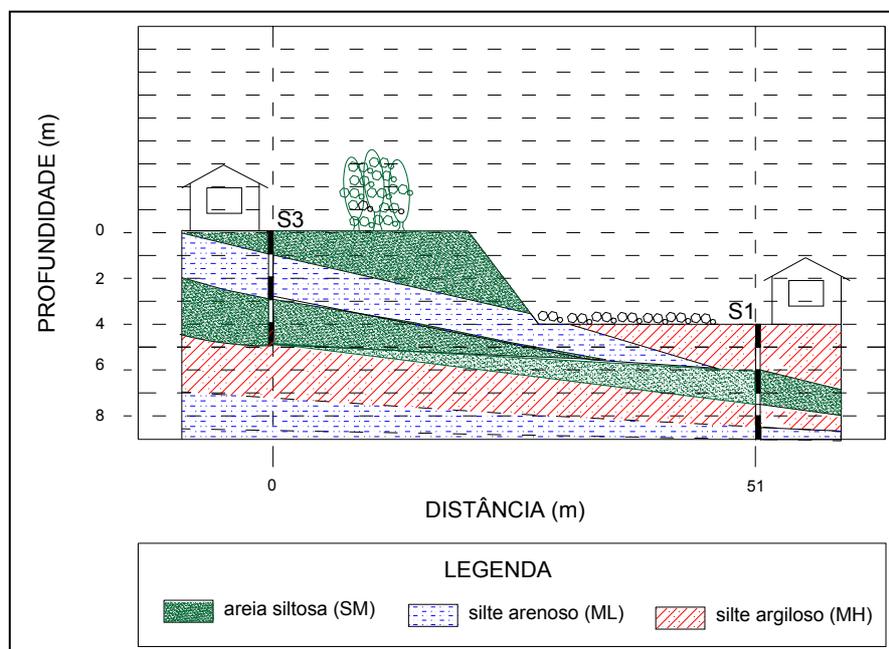


Figura IV.27: Seção Transversal entre as Sondagens S1 e S3 (Córrego da Andorinha – Área de Estudo 1)

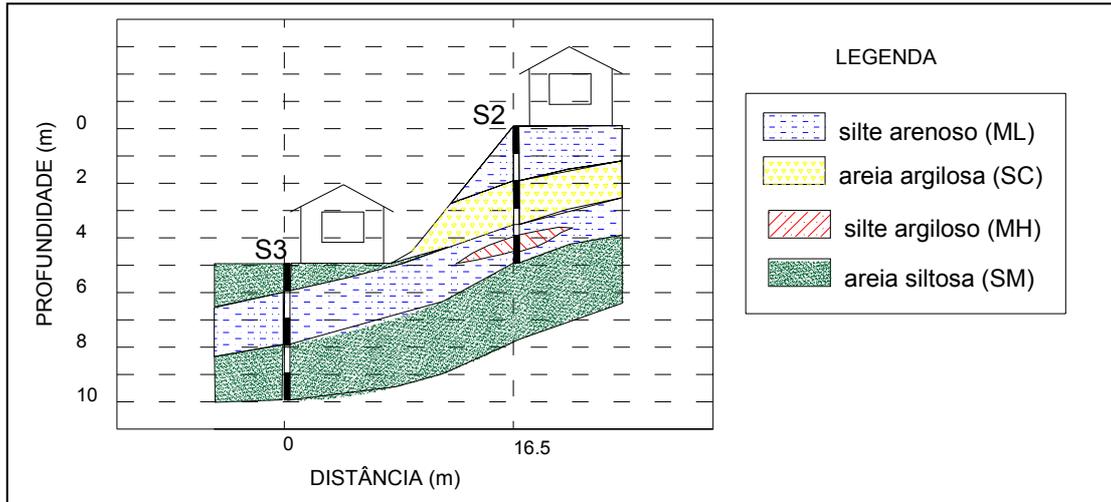


Figura IV.28: Seção Transversal entre as Sondagens S2 e S3
(Córrego da Andorinha – Área de Estudo 1)

A classificação unificada dos solos, através dos ensaios de caracterização geotécnica, identificou amostras de solo do tipo MH (silte argiloso) e ML (silte arenoso). Segundo a classificação de LOPPIS TRILHO (1999), Tabela II.9 apresentada no Capítulo II, solos do tipo MH e ML tem alta suscetibilidade à erosão, o que contribui para a ocorrência de voçorocas que são frequentes na parte norte da Região 4. Os siltes afetam a erodibilidade dos solos sendo mais erodíveis devido a alta percentagem de areia fina. Além dos fatores contribuintes para os processos de erosão e instabilidade de encostas presentes na localidade do Córrego da Andorinha (cortes desordenados, ocupação densa, lançamento indiscriminado de águas servidas...), a propriedade da textura do solo contribui ainda mais para esses processos.

A.2) Área de Estudo 2: Alto de Santo Antônio (Solo residual maduro)

No furo de sondagem a trado S1 (Tabela IV.3), observa-se uma camada de textura fina entre 2,5 e 4,0 metros, classificada como argila de baixa compressibilidade (CL). As suas consistências variam de baixa a média plasticidade (IP de 3,6 a 12,39%).

No furo de sondagem S2 houve muitas variações nas camadas, mas dos resultados podemos concluir que existe uma camada pedregulhosa na profundidade entre 1,2 e 2,5m (Tabela IV.3). As consistências das amostras são de média plasticidade (IP de 10,2 a 23,2%). Na classificação unificada, as amostras de textura fina foram

classificadas como CL e as camadas de textura grossa como SC (areia argilosa). A Figura IV.29 apresenta a seção transversal entre os furos S1 e S2 do solo residual.

A.3) Área de Estudo 3: Córrego do Desastre (Formação Barreiras de canal fluvial)

Da composição granulométrica, observa-se que a porcentagem de argila diminui com a profundidade e a de areia cresce (Tabela IV.4). Os solos deste furo são de textura grossa classificados como SM (areia siltosa) e SC (areia argilosa). As suas consistências variam de baixa a média plasticidade (IP variando de 5,9 a 11,6%). O perfil do solo referente a este furo de sondagem a trado foi mostrado na Figura IV.20.

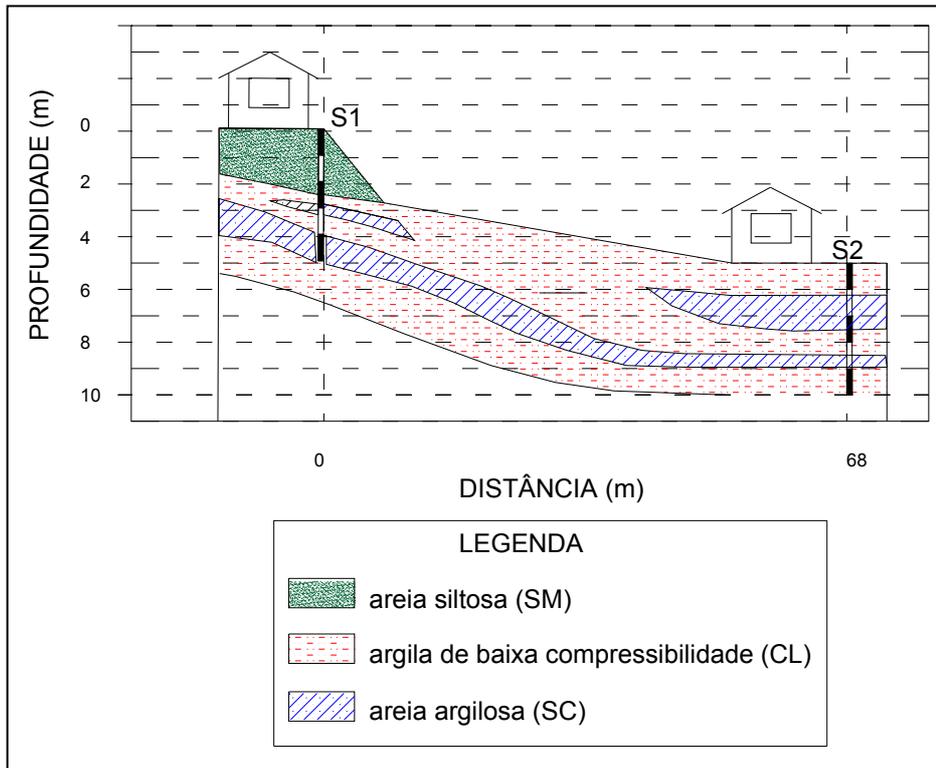


Figura IV.29: Seção Transversal entre as Sondagens S1 e S2 (Alto de Santo Antônio - Área de Estudo 2)

As camadas de solo do tipo SC (areia argilosa), das encostas desta localidade, tem alta suscetibilidade à erosão de acordo a Tabela II.9 apresentada no Capítulo II, segundo a descrição de LOPPIS TRILHO (1999).

Ensaio de caracterização foram realizados em alguns locais da RMR que apresentam como características geológicas sedimentos da Formação Barreiras. No Sítio Histórico de Olinda, estudos realizados por GUSMÃO FILHO et al. (1986) revelaram que os perfis de solo da Igreja do Carmo e do Convento de São Francisco são constituídos por uma camada superficial de areia argilosa seguida por uma camada de argila, com trechos arenosos e trechos siltosos sobrejacente a uma camada de areia argilosa. Por último, encontra-se uma camada de argila, inicialmente arenosa e depois siltosa. No Sítio Histórico do Mosteiro de São Bento, encontra-se uma camada superficial de areia, seguida por uma camada de argila arenosa e por uma de argila siltosa.

FERREIRA (1991) estudou o Alto do Burity, Bairro do Recife, e identificou que o solo é constituído por uma camada inicial de areia argilosa (SC) com espessura de 1,0m, seguida por um silte argiloso até a profundidade de 4,0m. De 4,0 a 6,0m encontra-se uma camada de areia siltosa (SM). De 6,0m até a profundidade de 10,0m da camada é de um silte acinzentado. Em Camaragibe, área objeto desta dissertação, o Córrego da Andorinha apresentou solo predominantemente siltoso, com camadas de silte argiloso e de silte arenoso parecidas com o solo do Alto do Burity.

COUTINHO et al. (1999) estudaram o Horto de Dois Irmãos e identificaram que o solo, no geral, apresenta textura grossa, com maior predominância de areia e percentual de argila aumentando com a profundidade. Os ensaios realizados no Córrego do Desastre, Área de Estudo 3 desta dissertação, também apresentou camadas de solo predominantemente de textura grossa, classificada como SC e SM.

LAFAYETTE (2000) e LIMA (2002) realizaram estudos no Alto do Reservatório e identificaram que o perfil é constituído por três camadas. A primeira camada é de argila arenosa com silte de plasticidade média a alta. A segunda camada é de areia fina e média argilosa com pedregulho e a terceira camada é de areia média e fina siltosa com pedregulho. LAFAYETTE (2000) fez seus estudos no meio da encosta e verificou que pela classificação unificada o solo é predominantemente de areia argilosa (SC). LIMA (2002) fez estudos no topo e na base da encosta, e constatou que a amostra do ombro (topo) da encosta foi classificada como CL (argila arenosa) e a amostra da base como SC (areia argilosa).

Estudos em solos residuais maduros realizados por SOUZA NETO (1998) revelaram que o perfil do solo apresenta textura fina, com percentuais compreendidos entre 63 e 76%, correspondente ao grupo MH (silte inorgânico, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos).

B) ENSAIO DE DISPERSÃO SCS

O ensaio de dispersão SCS foi normatizado no Brasil pela NBR 13602/96 e tem por objetivo avaliar a dispersibilidade de solos argilosos. Ele é realizado a partir de ensaios de sedimentação, onde a erodibilidade do solo é classificada pela porcentagem de dispersão (PD). Essa porcentagem de dispersão corresponde à razão entre os teores de argila (<0,005mm) com e sem defloculante e agitação mecânica, como a seguinte fórmula (BASTOS, 1999):

$$\%dispers\tilde{a}o = \frac{A}{B} \cdot 100\% \quad (IV.1)$$

onde: A é a porcentagem, em massa, de partículas <0,005mm sem defloculante e sem agitação mecânica e B é a porcentagem, em massa, de partículas <0,005mm com defloculante e com agitação mecânica.

A norma ABNT só considera válidos os resultados para solos com teor de argila (<0,005mm) > 12% nos ensaios com defloculante. Solos com porcentagem de dispersão (PD) > 40% são solos dispersivos. ARAÚJO (2000) apresenta uma proposta para avaliação da erodibilidade em função da porcentagem de dispersão da seguinte forma: Erodibilidade média (20%<PD<25%), erodibilidade alta (25%<PD<50%) e erodibilidade muito alta (50%<PD).

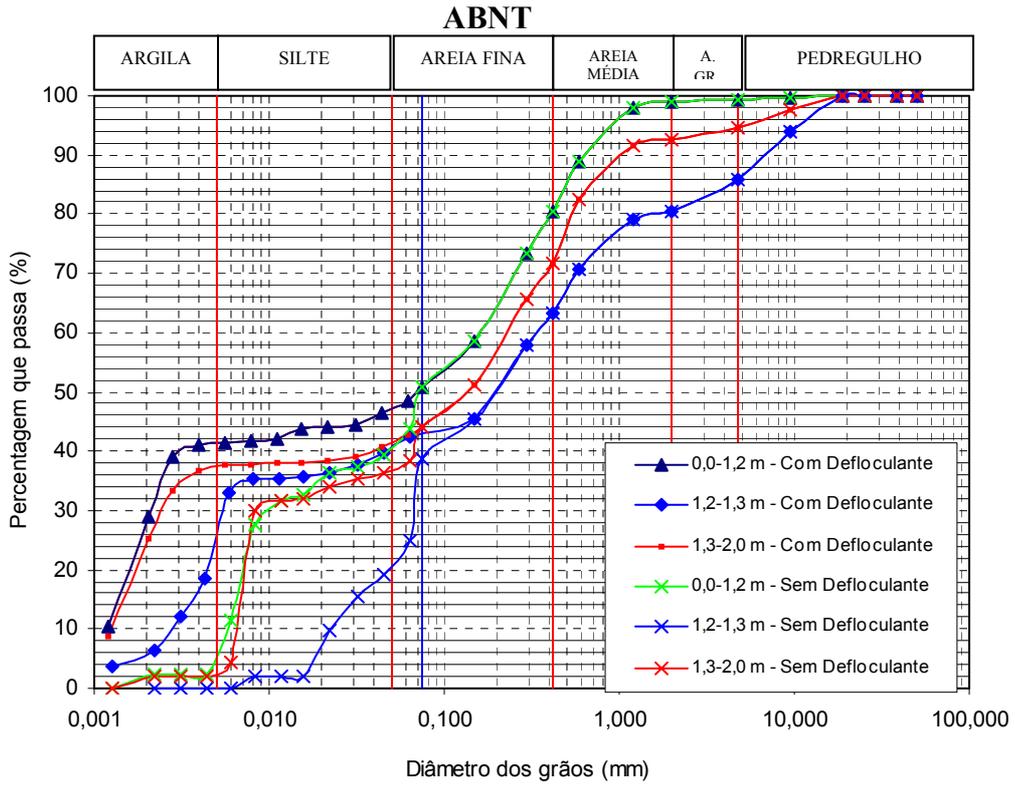
O ensaio com e sem defloculante foi realizado apenas na Área de estudo 2 (Alto de Santo Antônio). A Tabela IV.5 apresenta os resultados da porcentagem de dispersão para esta Área de estudo 2 e indica que os solos avaliados não são dispersivos (<40%), ou seja, as partículas de solo são resistentes a erosão. Pela classificação de ARAÚJO (2000), os resultados indicam que as amostras de solos não são erodíveis. Na Figura IV.30 estão apresentadas as curvas granulométricas referentes aos ensaios realizados sem o uso de defloculante comparadas com as curvas com defloculante para as amostras do furo S2.

Tabela IV.5: Resultados dos Ensaios de Dispersão SCS (NBR 13602/96) do Alto de Santo Antônio

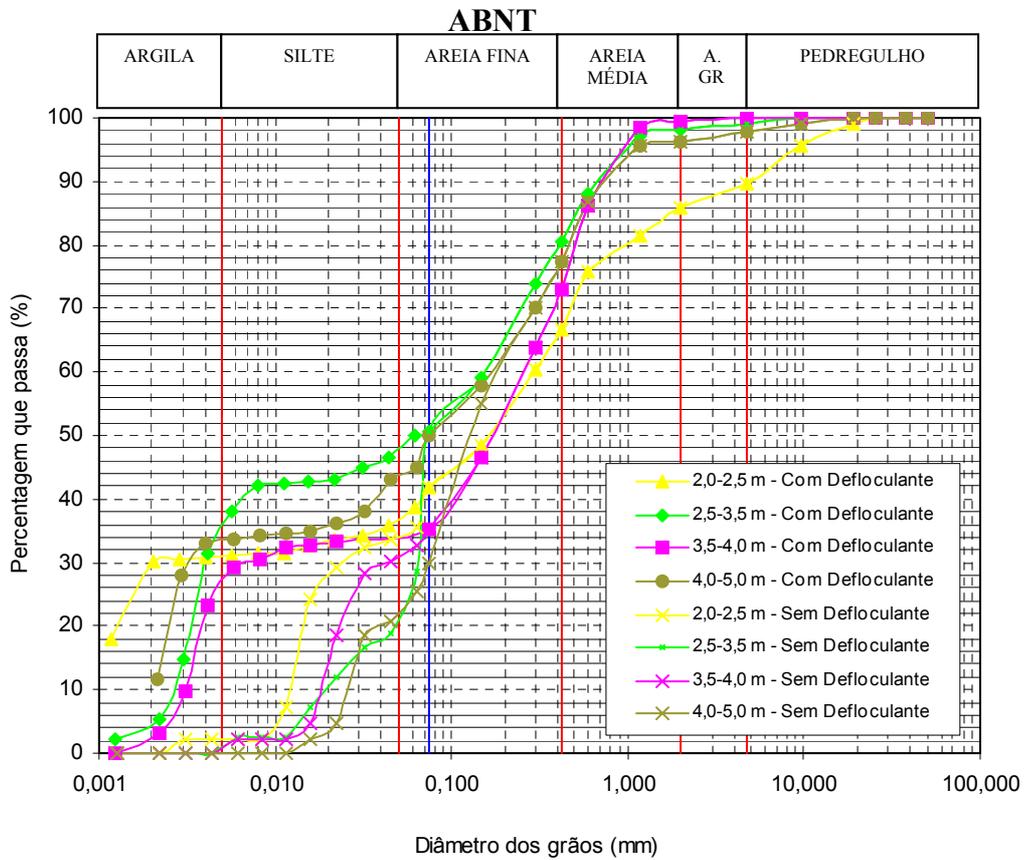
FURO	Prof. (m)	PORCENTAGEM DE DISPERSÃO		
		Argila (<0,005mm) sem defloculante e sem dispersor	Argila (<0,005mm) com defloculante e com dispersor	%dispersão (PD)
S2 Residual maduro	0-1,2	5	41,4	12,08
	1,2-1,3	0	26	0
	1,3-2	2,13	37,6	5,66
	2-2,5	2,10	31	6,77
	2,5-3,5	0	36	0
	3,5-4	0	27	0
	4-5	0	33	0

Em muitos solos residuais é comum encontrar uma estrutura porosa constituída por grumos (aglutinados de partículas argilosas e arenosas). Este tipo de estrutura deixa o solo com um comportamento semelhante a um solo granular (elevada permeabilidade, comportamento colapsível, etc) (SOUZA NETO, 1998). Para avaliar a granulometria do solo no estado natural, nas condições de campo, é importante o resultado dos ensaios sem o uso do defloculante.

A Tabela IV.6 apresenta um resumo dos percentuais das frações dos solos. Nos ensaios sem o uso de defloculante verificou-se uma redução no percentual de argila, atingindo 0% em quatro intervalos de profundidade. Nestas camadas, nos ensaios realizados com defloculante, os percentuais de argila variaram de 26 a 36%. A ausência de defloculante, simulando a situação de campo, deixou o solo com uma estrutura porosa, em que nos ensaios sem defloculante atingem percentuais zero de argila. Esse fator pode influenciar nas propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos, onde materiais argilosos podem apresentar comportamento típico de um solo arenoso (SOUZA NETO, 1998).



(a) Profundidades de 0 a 2,0m – S2 (solo residual)



(b) Profundidades de 2,0 a 5,0 m – S2 (solo residual)

Figura IV.30 Curvas Granulométricas em Amostras Ensaçadas com e sem o uso de Defloculante – S2 - Área de Estudo 2 (Alto de Santo Antônio)

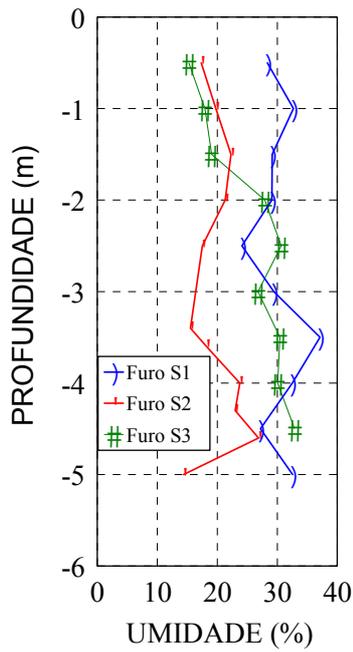
Tabela IV.6: Comparação dos Ensaio de Granulometria com e sem Defloculante (Área de Estudo 2 – Alto de Santo Antônio)

FURO	Prof. (m)	Composição granulométrica (%) ABNT							
		Com defloculante				Sem defloculante			
		Pedreg	Areia	Silte	Argila	Pedreg	Areia	Silte	Argila
S2 Residual Maduro	0-1,2	0,55	52,45	5,6	41,4	0,55	60,0	34,45	5
	1,2-1,3	14,24	44,76	15	26	14,24	66,48	19,28	0
	1,3-2	5,47	53,03	3,9	37,6	5,47	58,05	34,35	2,13
	2-2,5	10,42	52,58	6	31	10,42	58,12	29,36	2,10
	2,5-3,5	0,98	51,02	12	36	0,98	80,0	19,01	0
	3,5-4	0,096	58,90	14	27	0,096	69,64	30,26	0
	4-5	2,10	54,9	10	33	2,11	77,0	20,89	0

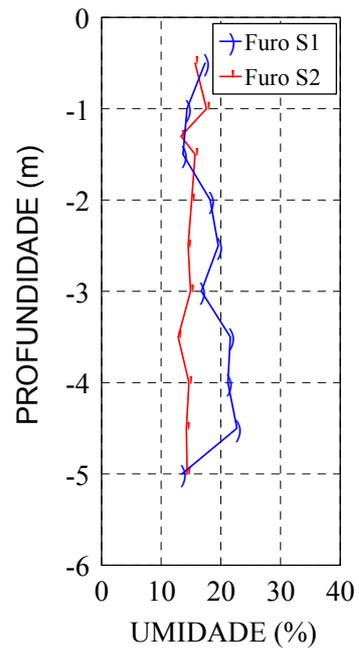
C) PERFIL DE UMIDADE

Com objetivo de conhecer a variação do perfil de umidade do solo das áreas estudadas, foram coletadas durante a sondagem, duas cápsulas de amostras da ponta do trado, a cada 0,50m de profundidade.

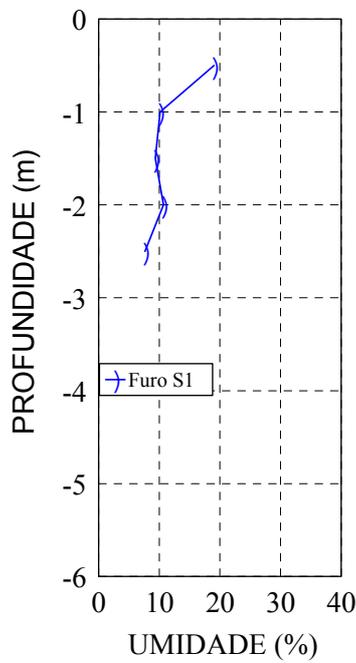
A Figura IV.31 apresenta o perfil de umidade das três áreas de estudo. Na Área de estudo 1 (Figura IV.31a), o perfil de umidade do furo S1 apresenta valores variando de 25 a 37%. As amostras desta área de estudo foram coletadas mês de janeiro de 2003. No furo S2 desta mesma área, a umidade variou de 15 a 27%; e no furo S3 a faixa foi de 15 a 33%. Os perfis de umidade dos furos S1 e S3 apresentam-se percentuais de umidade mais elevado que os do furo S2. Isto deve está relacionado ao lençol freático que se encontrava em torno dos 5,0 metros de profundidade no furo S3, no qual está praticamente na mesma cota do furo S1. No furo S2 observa-se que entre as profundidades de 2,0 a 3,5m há uma redução no teor de umidade, estando coerente com o tipo de solo desta camada (areia siltosa com pedregulho-SM). A partir dos 3,5m verifica-se um acréscimo acentuado da umidade, isto está correlacionado com a chuva que ocorreu no dia anterior, no qual tinha-se parado a sondagem aos 3,0m de profundidade.



(a) Área de Estudo 1
Córrego da Andorinha
(28 de Janeiro/2003)



(b) Área de Estudo 2
Alto de Santo Antônio
(26 de Junho/2003)



(c) Área de Estudo 3
Córrego do Desastre (26 de Junho/2003)

Figura IV.31: Perfil de Umidade das Três Áreas de Estudo

Na Área de Estudo 2 (Figura IV.31b), o perfil de umidade do furo S1 apresenta valores variando de 13,7 a 22,7%, com maiores teores de umidade entre as profundidades de 3,5 a 4,5m, na camada argilosa classificada como CL. As amostras destas áreas de estudo foram coletadas no mês de junho de 2003. A cabeceira de drenagem e as bananeiras próximas ao furo S1 dão indícios de solos úmidos, estando coerente com os resultados. No furo S2 a umidade apresentou praticamente constante, em torno de 15%, ao longo da profundidade. Apenas nos primeiros metros, na camada CL próxima a superfície, a umidade atingiu o maior percentual (17,6%).

A sondagem realizada na Área 3 foi bastante dificultosa. O solo era bastante arenoso e só conseguimos coletar amostra, preservando a umidade natural, até a profundidade de 2,5m. A partir desta profundidade foi necessário alterar a umidade natural do solo. Da Figura IV.31c, verifica-se que o solo apresenta baixo teor de umidade natural, reduzindo com a profundidade. O teor médio de umidade estava em torno dos 10%, devido o tipo de solo (arenoso) que permite boa permeabilidade.

4.6.4.2 Resistência ao Cisalhamento

A) Ensaio de Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento direto visa avaliar a resistência ao cisalhamento dos solos em termos de tensões totais utilizando o critério de ruptura de Mohr-Coulomb. Embora este ensaio apresente algumas limitações, tais como: plano de ruptura pré-determinado, que nem sempre corresponde ao plano de maior fraqueza; e a impossibilidade de medição das poro-pressões; por outro lado, tem sido de amplo emprego no meio geotécnico face a sua simplicidade (SOUZA NETO, 1998).

O ensaio foi realizado através da prensa de cisalhamento direto convencional produzida pela Ronald Top S/A, com sistemas de cargas verticais, através de peso em pendural. As leituras das deformações verticais e deslocamento horizontal foram realizadas através dos extensômetros da marca Mitutoyo com sensibilidade de 0,01mm; e as forças horizontais aplicadas aos corpos de prova foram determinadas através de um anel de carga.

As amostras foram retiradas na profundidade de 0,5m e de 1,0 m, sendo 04 em cada uma das profundidades, nas Áreas de estudos 1 e 2, com sedimentos da Formação Barreiras e solo residual respectivamente. Os corpos de prova foram moldados em campo, através de uma caixa prismática de 4" (101,6mm) de aresta e altura de 38mm. Para o ensaio foram aplicadas tensões verticais de: 50 kPa; 100 kPa; 150 kPa e 200 kPa.

Os corpos de prova foram ensaiados na condição saturada, por apresentar a pior situação para deflagração dos escorregamentos nas encostas, que podem ocorrer em invernos rigorosos. Eles foram inicialmente inundados por um período de 24 horas, sendo após este tempo, adensado por uma hora para estabilização dos recalques. O procedimento do ensaio seguiu as recomendações de HEAD (1980).

A velocidade de cisalhamento adotada no ensaio deve ser de tal forma que não permita o desenvolvimento de pressão neutra, para que o ensaio seja considerado drenado. Para as amostras da Área de Estudo 1, foram aplicadas uma velocidade de 0,15 mm/min para a ruptura dos corpos de prova; e para a Área de Estudo 2, as velocidades foram de 0,24 mm/min.

Foram rompidos um total de 16 corpos de prova, sendo oito correspondente ao solo da Formação Barreiras (Área de Estudo 1) e oito correspondente ao solo residual (Área de Estudo 2). Em alguns ensaios, a máxima tensão de pico não foi bem definida, apresentando valores crescentes de τ com o deslocamento horizontal. Para os critérios de tensão ruptura foram adotados os valores máximos de deslocamento horizontal.

B) Condições Iniciais dos Corpos de Prova

A Tabela IV.7 apresenta as condições iniciais e após o adensamento dos corpos de provas. Os índices de vazios iniciais (e_0) dos corpos de prova referentes ao solo da Formação Barreiras de leque aluvial proximal (Área de Estudo 1) variaram entre 0,959 e 1,114, com média de 1,061. No solo residual (Área de Estudo 2), observa-se maior dispersão nos índices de vazios iniciais, variando de 0,576 a 0,835. Na condição adensada, as amostras do solo residual, da profundidade de 1,0m (Cisalhamento Direto 4, CD-4) também apresentaram-se mais densas quando comparadas as amostras da profundidade de 0,5m (Cisalhamento Direto 3, CD-3). Tais variações são comuns em

solo residuais, os quais possuem como características marcantes a heterogeneidade estrutural (SOUZA PINTO et al, 1993).

C) Resultados de Resistência ao Cisalhamento

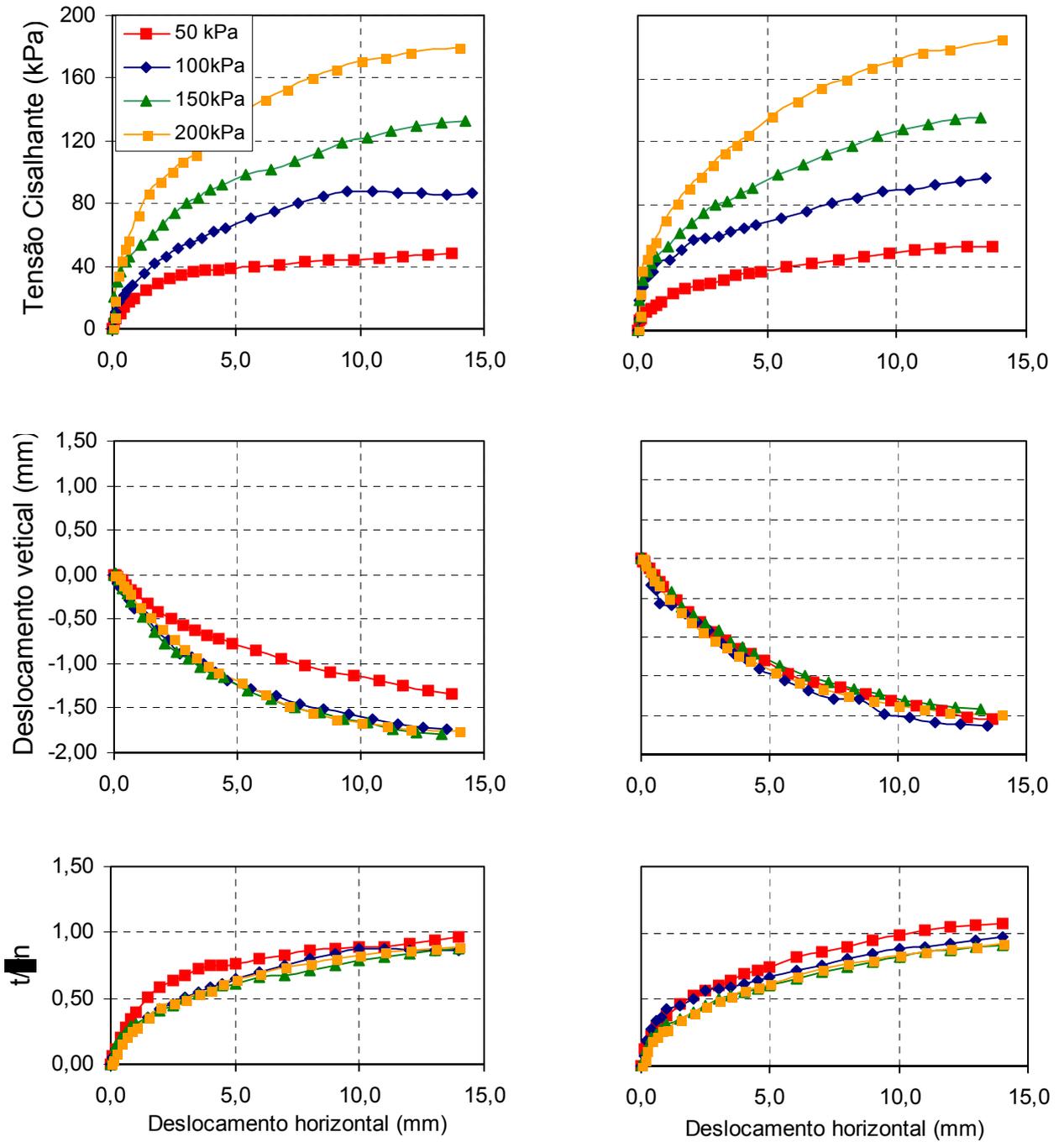
C.1) Área de Estudo 1: Córrego da Andorinha (Formação Barreiras de Leque Proximal)

Na Área de Estudo 1, Córrego da Andorinha, as amostras foram do tipo silte arenoso (ML) e foram coletadas próximas ao furo S2.

As curvas $\tau \times dh$ (tensão cisalhante x deformação horizontal), $\tau/\sigma_n \times dh$ (razão entre a tensão cisalhante e a tensão normal x deformação horizontal) e $dv \times dh$ (deformação vertical x deformação horizontal) estão representadas na Figura IV.32.

Tabela IV.7: Condições Iniciais e no Adensamento dos Corpos de Prova

Área de Estudo	Ensaio	Prof. (m)	σ_n (kPa)	Gs	Wo (%)	γ_{nat} KN/m ³	γ_s KN/m ³	e_o	So (%)	Após adensar
										e_{ad}
1 Fm Barreiras	CD-1	0,5	50	2,62	22,0	15,8	12,9	1,03	56,1	0,997
			100		18,5	15,8	13,4	0,96	50,5	0,92
			150		24,0	15,8	12,7	1,06	59,1	1,02
			200		22,0	15,8	13,0	1,02	56,5	0,97
	CD-2	1,0	50	2,66	22,7	15,8	12,9	1,07	56,5	1,04
			100		23,9	15,9	12,8	1,07	59,4	1,03
			150		27,7	15,7	12,3	1,17	52,9	1,12
			200		23,9	15,6	12,6	1,11	57,1	1,08
2 Solo Residual Maduro	CD-3	0,5	50	2,67	12,4	18,1	16,1	0,66	50,0	0,66
			100		12,8	18,1	16,1	0,66	51,7	0,64
			150		13,1	18,0	15,9	0,68	51,6	0,65
			200		12,8	16,4	14,6	0,84	41,2	0,81
	CD-4	1,0	50	2,56	11,6	17,0	15,2	0,68	43,7	0,67
			100		10,0	16,4	14,9	0,72	35,3	0,70
			150		9,9	17,9	16,2	0,58	44,1	0,55
			200		10,0	17,3	15,7	0,63	40,7	0,60



(a) CD-1

(b) CD-2

Corpos de prova na profundidade de 0,5m

Corpos de prova na profundidade de 1,0m

Figura IV.32: Resultados de Cisalhamento Direto (Sucção 0 – Ensaio inundado)
Córrego da Andorinha (Formação Barreiras – Solo Silte Arenoso - ML)

As curvas $\tau \times dh$ em geral não evidenciam picos, apresentando valores de tensão de cisalhamento sempre crescente com a deformação horizontal, tendo comportamento de rupturas plásticas, com mobilizações das tensões cisalhantes máximas para elevados deslocamentos horizontais, semelhante a um solo normalmente consolidado ou uma areia fofa.

As curvas $dv \times dh$ exibem um comportamento de compressão para todos os níveis de tensões. No gráfico das tensões normalizadas do corpo de prova a 0,5m (ensaio CD-1), as curvas $\tau/\sigma_n \times dh$ indicaram uma leve tendência de normalização.

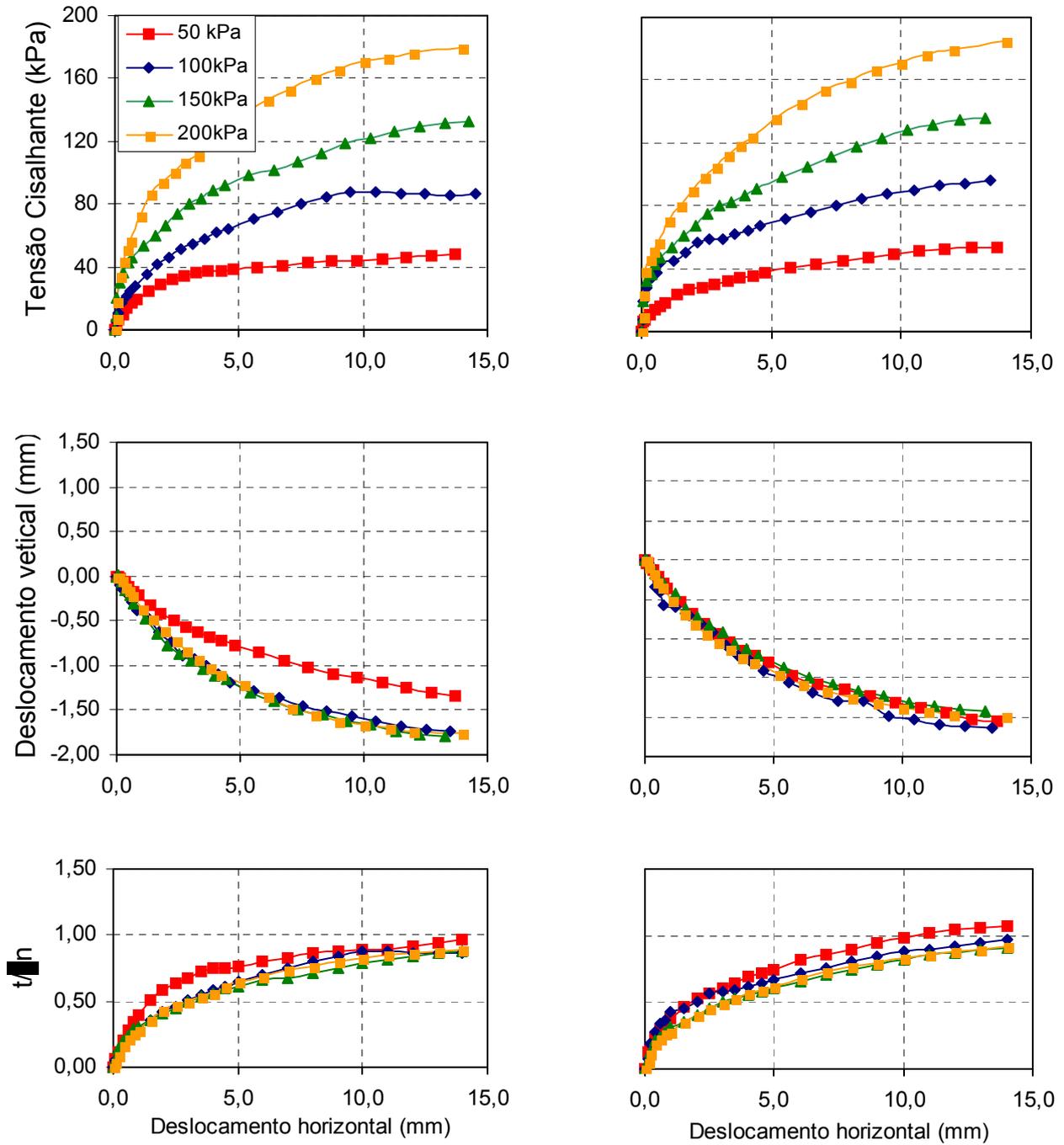
C.2) Área de Estudo 2: Alto de Santo Antônio (Solo Residual Maduro)

Na Área de estudo 2, as amostras foram coletadas próximas ao furo S2, em amostras classificadas como argila de baixa compressibilidade (CL).

A Figura IV.33 apresenta as curvas dos corpos de provas da área de estudo 2. Nesta área a curva $\tau \times dh$, também mostra comportamento de ruptura plástica, onde para tensão normal igual a 100 kPa, a tensão cisalhante máxima atinge 85 kPa, permanecendo praticamente constante a partir de 10,0 mm de deslocamento horizontal. Para as demais tensões normais, a tensão cisalhante é sempre crescente com a deformação horizontal. As curvas $dv \times dh$ exibem um comportamento de compressão para todos os níveis de tensões. No gráfico das tensões normalizadas ($\tau/\sigma_n \times dh$), as curvas das duas profundidades ensaiadas indicaram uma leve tendência de normalização.

D) Envoltórias de Resistência

A Figura IV.34 e 35 apresentam as envoltórias de resistência das Áreas de estudo 1 e 2, e a Tabela IV.8 apresenta os parâmetros de resistência obtidos através de regressão linear. Para os traçados das envoltórias, foram considerados os valores máximos das tensões cisalhantes e suas respectivas tensões normais.



(a) CD-3

Corpos de prova na profundidade de 0,5m

(b) CD-4

Corpos de prova na profundidade de 1,0m

Figura IV.33: Resultados de Cisalhamento Direto (Sucção 0 – Ensaio inundado)
Alto de Santo Antônio (Solo Residual Argiloso - CL)

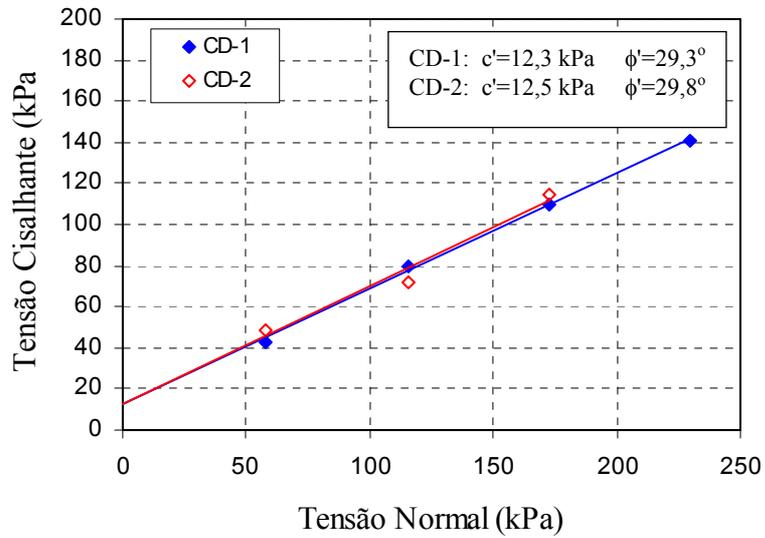


Figura IV.34: Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto
 Área de Estudo 1: Córrego da Andorinha - Formação Barreiras
 (Solo Silte Arenoso - ML)

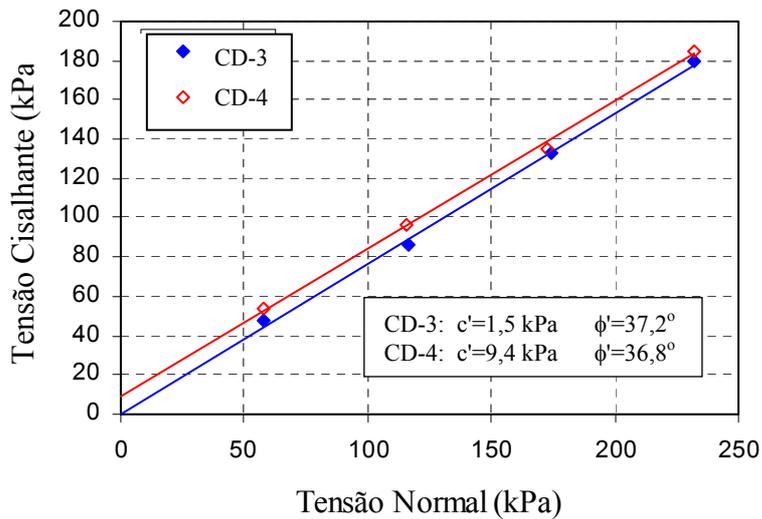


Figura IV.35: Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto
 Área de Estudo 2: Alto Santo Antônio – Solo Residual
 (Solo Argiloso de Baixa Plasticidade– CL)

Tabela IV.8: Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento

Área de Estudo	Amostra	c' (kPa)	ϕ' (graus)
1 Formação Barreiras (solo silte arenoso)	CD-1	12,3	29,3
	CD-2	12,5	29,8
2 Solo residual maduro (solo argiloso de baixa plasticidade)	CD-3	1,45	37,17
	CD-4	9,4	36,8

Não observa-se diferenças significativas nas envoltórias dos ensaios referentes ao solo da Formação Barreiras (CD-1 e CD-2, Figura IV.34) estando os parâmetros de resistência (Tabela IV.8) na mesma ordem de valor ($c'=12$ kPa e $\phi'=29$ graus). Os valores de ângulo de atrito em torno de 29° é característico de um solo arenoso, estando de acordo com a granulometria apresentada nas análises, com percentual de areia variando de 51,0 a 56,5%, seguido da argila que foi de 21 a 32%, o que pode explicar o intercepto de coesão obtido.

Na amostra de solo residual maduro (Figura IV.35) observa-se considerável diferença no intercepto de coesão, com valores de 1,5 para o ensaio CD-3 e 9,4 para o ensaio CD-4. Quanto ao ângulo de atrito não observa-se diferenças significativas, estando na ordem de 37° . Embora os valores de intercepto de coesão apresentarem-se baixos, o maior valor em c' para o ensaio CD-4 pode ser justificado pela maior densidade do solo no início do cisalhamento, quando verifica-se os valores de índices de vazios após o adensamento. Tais variações são comuns em solos heterogêneos como os residuais.

Ensaio de resistência ao cisalhamento também foram realizados em alguns locais da Região Metropolitana do Recife, que apresentam como características geológicas sedimentos da Formação Barreiras. A Tabela IV.9 apresenta os parâmetros de resistência de alguns desses locais; e parâmetros de resistência do solo residual estudado por SOUZA NETO (1998) no Espinhaço da Gata, Machados-PE.

Observa-se da Tabela IV.9 que nos estudos realizados por LAFAYETTE (2000) e LIMA (2002), nas encostas do Alto do Reservatório-Recife/PE, constituídas por sedimentos da Formação Barreiras, foram encontrados parâmetros de resistência parecidos com os do Córrego da Andorinha. LAFAYETTE (2000) encontrou $c'=13$ kPa

e $\phi' = 24^\circ$ para o solo do tipo areia siltosa; e $c' = 7$ kPa e $\phi' = 26^\circ$ para o solo do tipo areia argilosa. LIMA (2002) encontrou $c' = 10$ kPa e $\phi' = 32^\circ$ para o solo do tipo argila de baixa plasticidade.

SOUZA NETO (1998) estudando os solos residuais maduros do Espinhaço da Gata, encontrou valores de ϕ' próximos de 37° , para o solo siltoso de alta plasticidade (Tabela IV.9). Este valor elevado de ângulo de atrito pode ser justificado pelas partículas de argila encontrar-se na forma de grumos. Esta condição é comum nos solos argilosos, que se comportam como solos arenosos, que podem refletir consideravelmente nas propriedades mecânicas e hidráulicas destes materiais, apresentando elevada permeabilidade, recalques imediatos e, em alguns casos, comportamento colapsível (SOUZA NETO e COUTINHO, 1998).

Tabela IV.9: Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento em Sedimentos da Formação Barreiras e em Solos Residuais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA	REFERÊNCIA	ÁREA DE ESTUDO		TIPO DO ENSAIO	TIPO DO SOLO	CONDIÇÃO CORPO DE PROVA	c'(kPa)	φ'(graus)
Formação Barreiras	GUSMÃO FILHO et al. (1986)	OLINDA	CARMO	Triaxiais (CU)	Argila arenosa	Não drenado	50	20
			S.FRANCISCO	Triaxiais (CU)	Areia argilosa	Não drenado	30	20
			S.BENTO	Triaxiais (CU)	Argila arenosa	Não drenado	20	23
	COUTINHO et al. (1999)	Horto de Dois Irmãos		CD	solo arenoso	natural	13	31
						inundado	0	30
	LAFAYETTE (2000)	Alto do Reservatório	Topo da encosta (Poço 1)	CD	SC	0 kPa,	7	26
					SC	100kPa	25	28
					SC	700kPa	46	33
			Topo da encosta (Poço 5)	CD	SM	0 kPa,	13	24
					SM	50kPa	46	34
					SM	240kPa	71	34,5
	LIMA (2002)	Alto do Reservatório	Ombro da encosta (topo)	CD	CL	natural	28	31
						inundado	10	32
Base da encosta			CD	SC	natural	84	34	
					inundado	1,0	16	
Residual Maduro	SOUZA NETO (1998)	Espinhaço da Gata	Área 1	CD	MH	inundado	10,9	31,4
						natural	71,4	41,6
			Área 3	CD	MH	inundado	0,6	36,3
						natural	15,9	37,8

CAPÍTULO V

ANÁLISE DO POTENCIAL DE RISCO EM CAMARAGIBE

5.1 ETAPAS DE TRABALHO

O trabalho para a elaboração do Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento de Camaragibe foi realizado em escala de detalhe (trabalho de campo 1:5.000 e apresentação 1:10.000), visando fornecer subsídios para a gestão do risco e para a elaboração do Plano Diretor da cidade. A Figura V.1 apresenta um fluxograma com as principais etapas de trabalho as quais estão descritas a seguir.

5.1.1 PRINCIPAIS ETAPAS DE TRABALHO

(a) Planejamento:

De início foi definido a área de estudo, os objetivos do trabalho, os materiais necessários e o modelo de análise. A participação dos técnicos da prefeitura foi muito importante nesta fase e nas posteriores, em que foi iniciada com um seminário de nivelamento dos conceitos ligados ao tema de risco e informou-se da importância do mapa de risco para o município. Também foi realizada neste início, uma revisão bibliográfica sobre o tema.

(b) Levantamento dos dados existentes:

Nesta etapa procurou-se o maior número de informações disponíveis na prefeitura do município, contidos em relatórios, mapas, dados pluviométricos, dados do IBGE e outros documentos que tratam das características ambientais e socio-econômicas da área estudada e de interesse para elaboração do mapa de risco.

(c) Visitas de Reconhecimento:

As visitas de reconhecimento permitiram planejar melhor os estudos de detalhe. Nessa fase foram identificados os padrões de ocupação das encostas, as unidades geológicas, as principais feições morfológicas e os processos destrutivos atuantes, para permitirem a formulação do modelo de comportamento a ser adotado na análise de risco.

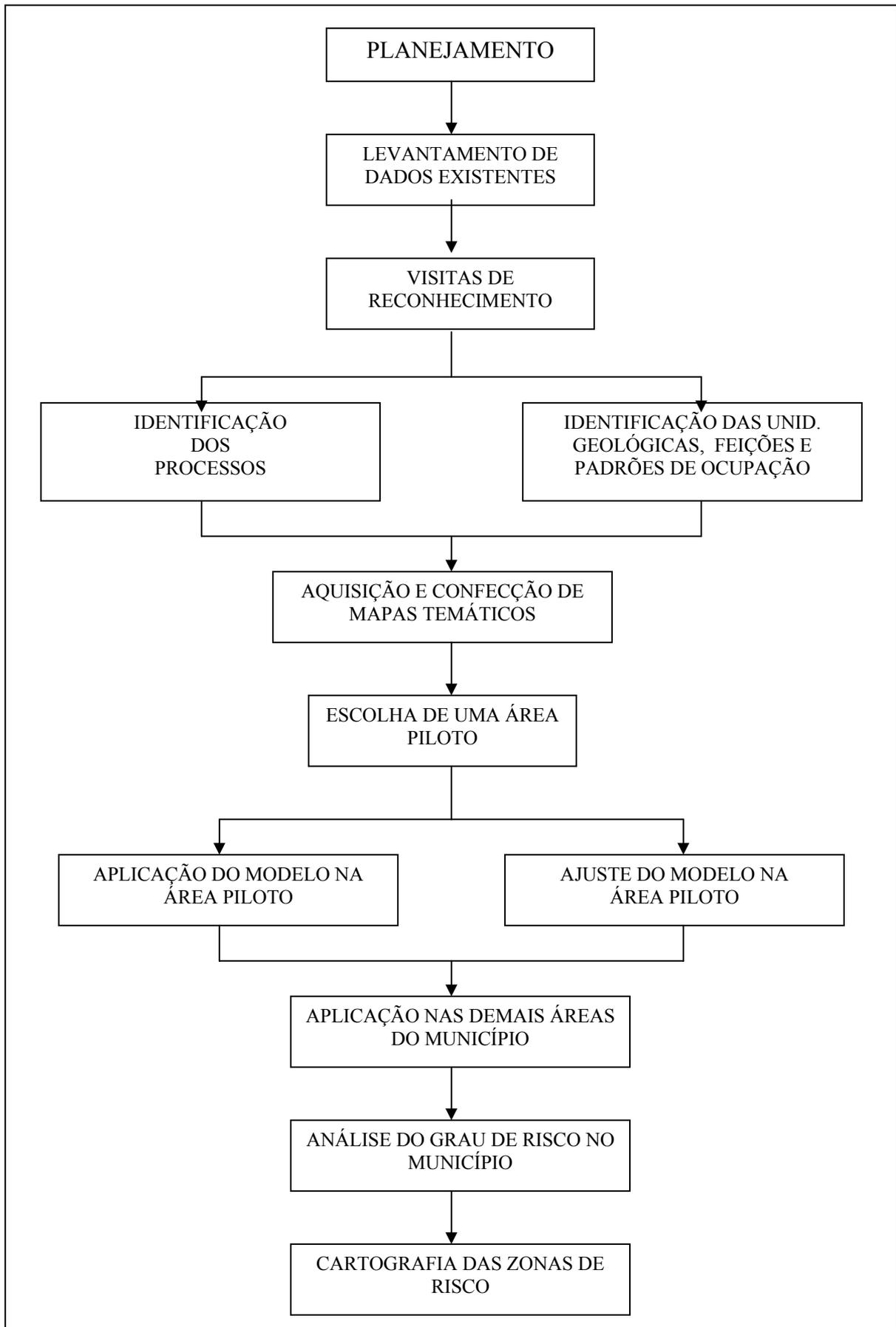


Figura V.1: Fluxograma com as Principais Etapas para Avaliação do Risco

(d) Aquisição e elaboração de mapas temáticos:

Os mapas temáticos como o de topografia, setores censitários do IBGE e a unibase são importantes para a análise do risco. O mapa plani-altimétrico (topográfico) foi adquirido na FIDEM na escala 1:10.000, assim como as fotografias aéreas na escala 1:6.000, o mapa das unidades de relevo na escala 1:10.000 e a base georeferenciada na escala 1:1.000 (unibase).

O mapa geológico do município de Camaragibe foi elaborado por fotointerpretação, usando fotografias aéreas verticais em filme preto e branco, no formato de 23cm x 23 cm, com apoio de estereoscópio de espelho. Nessa etapa foi possível traçar os principais contatos entre as unidades geológicas, identificar as redes fluviais e de acesso e os principais núcleos urbanos. O trabalho de campo posterior ajustou a fotointerpretação e permitiu validar e complementar as informações do mapa.

A fotointerpretação representa um poderoso instrumento para o estudo de escorregamentos, permitindo uma visão tridimensional do terreno e a identificação das interrelações entre a topografia, drenagem, cobertura superficial, feições geológicas e atividades humanas, todas funcionando como importantes agentes/condicionantes da dinâmica dos escorregamentos (AUGUSTO FILHO, 1994).

Com o traçado das unidades temáticas em formato digital, foi possível fazer sobreposição com a unibase, buscando também suas relações com os setores censitários do IBGE. Esse procedimento permitiu a obtenção de informações sobre a densidade demográfica de cada setor estudado. Nas áreas em que não havia concordância com os setores censitários do IBGE, contou-se o número de casas na unibase, datada de 1997, e multiplicou-se pelo número de moradores e pela taxa de crescimento populacional.

(e) Aplicação do modelo

Com as informações básicas obtidas, foram definidos os primeiros setores de estudo, primeiramente na área piloto, tendo sido escolhida a Região Administrativa 4, pela alta concentração de problemas ambientais e acidentes em encostas. Com a ficha de campo previamente formulada para o modelo adotado (qualitativo baseado em índices),

foram registradas as notas para os fatores de risco em cada setor de estudo, percorrendo-se assim todas as Regiões Administrativas.

Com a delimitação dos setores de estudos traçados sobre a unibase, foi possível definir os limites desses setores. O trabalho de campo foi acompanhado por técnicos da defesa civil, visto que eles conhecem bem as áreas de risco e nos informavam sobre as feições de instabilidade (voçorocas, fissuras,...) dentro dos setores.

Foram observados os parâmetros da topografia das encostas, como altura e extensão, assim como dos taludes de cortes. Entre os atributos geológicos, foram observadas a litologia, textura e estrutura do solo e nos fatores ambientais, observou-se entre outros, o percentual de cobertura vegetal, a drenagem, o tratamento e a densidade demográfica. Nas áreas que não se caracterizavam como perigosas, mas incluíam alguns pontos isolados com essas características, eles foram georeferenciados por meio do GPS e plotados no mapa como Pontos de risco alto.

(f) Análise do grau de risco.

Após o levantamento de campo e complementação dos dados em escritório de todas as áreas de ocupação expontânea, foi montada uma planilha de cálculo no Excel, observando-se os valores extremos de cada atributo de risco. Com esses valores, dividiu-se linearmente o intervalo em quatro faixas, definindo assim as faixas de graus de risco para cada atributo.

Com os valores de grau de risco de cada atributo, calculou-se a “nota” de cada fator isoladamente (topográfico, geológico e ambiental) através de uma média aritmética. O grau de risco final foi obtido para cada Setor de Encosta através de uma média ponderada entre os fatores de risco, adotando-se os seus valores extremos para definir a faixa dos termos lingüísticos do risco final (1-baixo, 2-médio, 3-alto e 4-muito alto) adotado para a representação final, em mapa. Após os cálculos verificou-se a coerência dos resultados com as observações de campo. A metodologia do cálculo do grau de risco será detalhada no item 5.3.

(g) Cartografia das zonas de risco.

Esta etapa refere-se às atividades de elaboração do mapa de risco de erosão e escorregamento a partir da delimitação cartográfica das diferentes zonas de risco, indicando com legenda as áreas de risco baixo, médio, alto e muito alto. Sendo também plotados no mapa alguns pontos de risco alto.

5.2 DEFINIÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO

Para a análise do grau de risco de uma determinada área, é importante em primeiro lugar, que se defina a unidade de estudo. Na pesquisa bibliográfica realizada para este trabalho, observou-se que a delimitação da unidade de estudo não é bem definida pelos autores, dependendo basicamente da experiência do profissional em campo, para caracterizar os “setores homogêneos de encosta”.

Com objetivo de buscar uma metodologia menos subjetiva para definir a unidade, foi considerada inicialmente a micro-bacia de drenagem, que é uma unidade fisiográfica não arbitrária. A partir do mapa plani-altimétrico adquirido da FIDEM, com informações das principais redes de drenagem, foi possível realizar o traçado inicial das micro-bacias de drenagem para todo o município (Figura V.2).

O reconhecimento da rede de drenagem nas encostas é fundamental para o entendimento dos processos geomorfológicos que governam as transformações do relevo sob as mais diversas condições climáticas e geológicas, devendo ser consideradas como unidades para tratamento (COELHO NETO, 2001). Antes de apresentar soluções individuais com obras tópicas e emergenciais, deve-se analisar a micro-bacia como a unidade natural receptora, cujas características morfológicas, litológicas e hidráulicas devem ser avaliadas para soluções estruturais globais (GUSMÃO FILHO, 1990).

A aplicação do modelo às micro-bacias inicialmente delimitadas mostrou-se inadequado quanto à escala da micro-bacia e quanto às diferenças marcantes do padrão de ocupação. Observou-se em campo, na área piloto escolhida, que o traçado da micro-bacia de drenagem deveria ser feito em nível mais detalhado, chegando às micro-bacias das ordens mais primárias da rede de drenagem, que possam melhor refletir os padrões

de ocupação. Ainda assim, em vários locais de Camaragibe, essa unidade não se mostrava suficiente para caracterizar o setor, já que incluía diferentes situações ambientais, expressas pelos diferentes usos do solo e distintos padrões de ocupação.

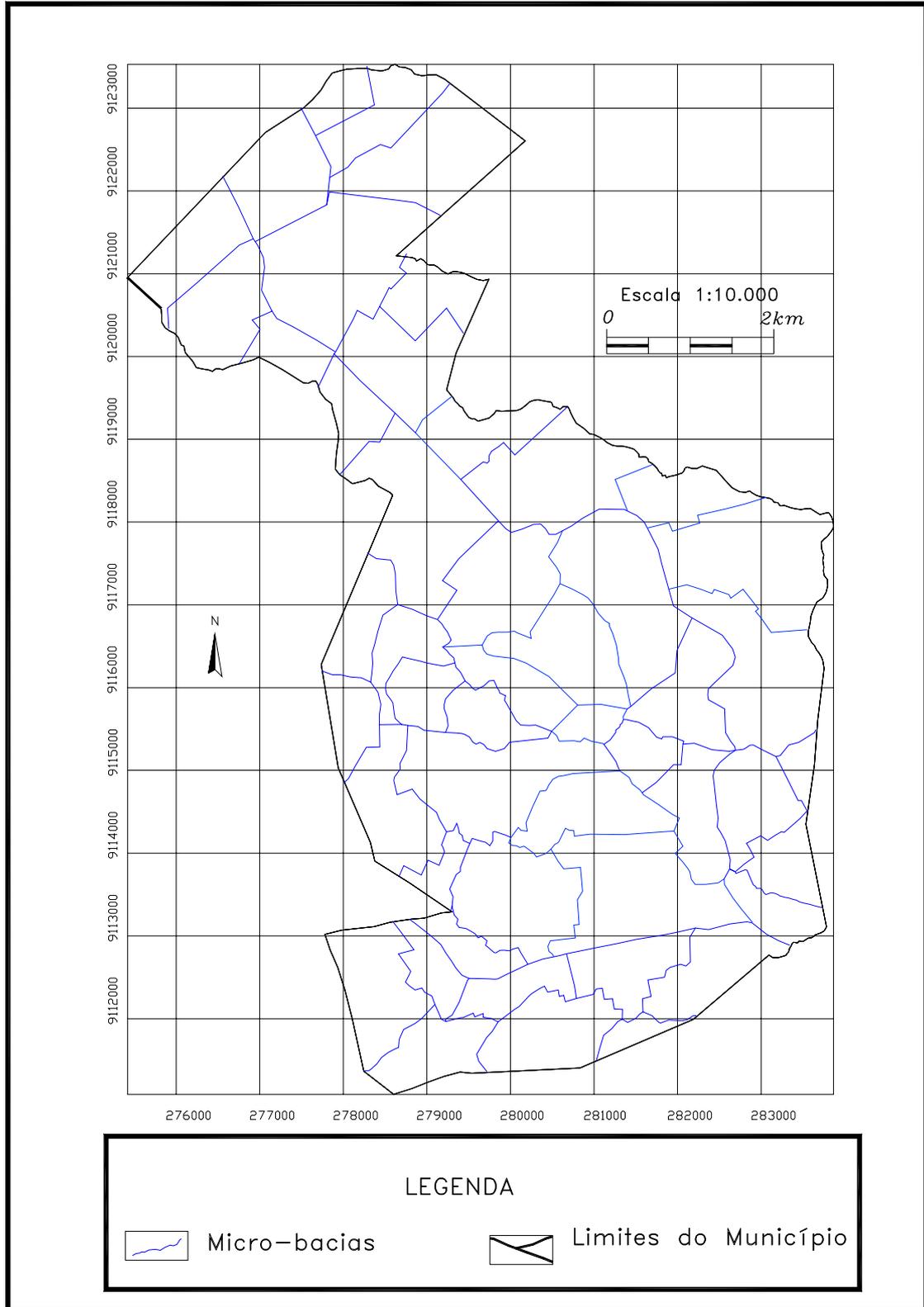


Figura V.2: Divisão das Micro-Bacias de Drenagem de Camaragibe

Desse modo uma mesma micro-bacia, embora reúna as condições fisiográficas para a deflagração de determinadas tipologias de acidentes, pode abranger: i) áreas não ocupadas, com vegetação remanescente preservada; ii) áreas ocupadas de modo ordenado e já consolidadas ou em processo de consolidação; iii) áreas com ocupação informal, desordenada e com diferentes estágios de degradação ambiental.

Diante dessas observações e considerando a importância da delimitação das micro-bacias para dar suporte à concepção das soluções de engenharia para a redução do risco, estas foram detalhadas a partir das fotos aéreas e da carta plani-altimétrica, na escala mais apropriada à análise de risco em Camaragibe (1:5.000). Em seguida, para cada uma dessas micro-bacias de detalhe, foram separados os setores de encostas, tendo como base o padrão de ocupação e as características da infra-estrutura urbana (Figura V.3). Os trabalhos de campo foram determinantes para a definição segura das unidades de estudo de acordo com esses parâmetros.

A definição dos setores homogêneos com base na ocupação torna-se importante, porque a análise e cartografia do risco de deslizamento e erosão das encostas devem ser produzidas em escala compatível com a gestão do problema. De um modo geral, escalas de detalhe superiores a 1:5.000, têm sido consideradas as mais adequadas para a gestão de risco, já que permitem um melhor foco sobre os problemas, evitando a generalização de grandes “áreas de risco” e permite identificar os elementos a serem considerados pelos projetos básicos, com soluções de engenharia.

Por outro lado, nessa escala de detalhe, não faz sentido mapear o risco em áreas ermas ou não ocupadas e, ainda, em áreas urbanas consolidadas que não apresentam indícios de instabilidade. No município de Camaragibe, a escala adotada foi 1:5.000, sendo a avaliação do risco focada para as encostas ocupadas por assentamentos precários.

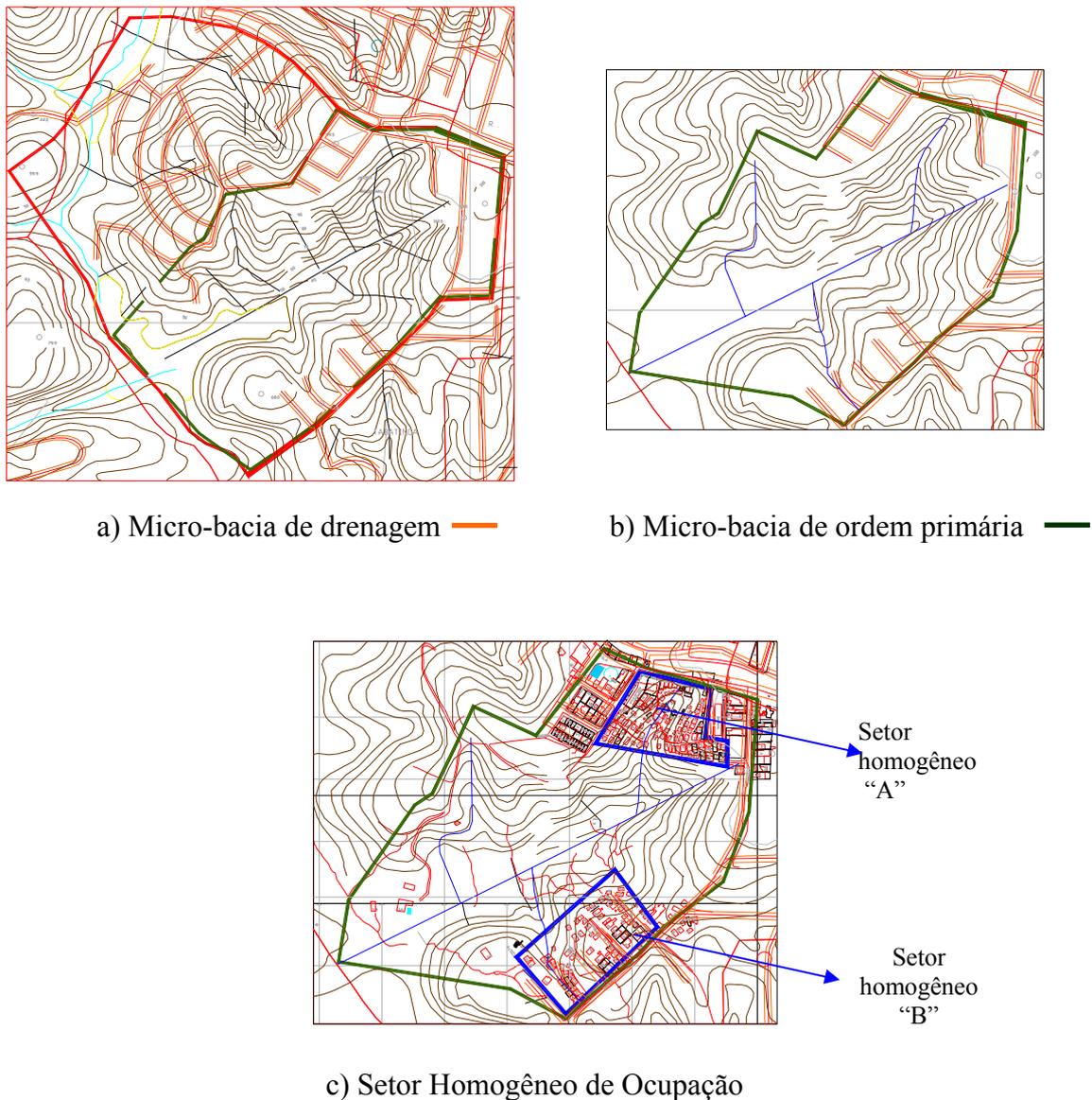


Figura V.3: Exemplo de Setor Homogêneo de Ocupação

5.3 METODOLOGIA ADOTADA

Para o desenvolvimento do mapa de risco de erosão e escorregamento das ocupações desordenadas nas encostas do município de Camaragibe, utilizou-se a metodologia de GUSMÃO FILHO et al. (1992), modificando-a para atender às características da área e para adequar-se ao modelo de avaliação de risco mais recentemente sugerido pelo Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários, da Secretaria Nacional de Programas Urbanos do Ministério das Cidades. Também foram consideradas as sugestões de GUSMÃO FILHO et al. (1993) e ALHEIROS (1998), para o cálculo do grau de risco final.

Este trabalho adotou um método índice de análise relativa, que dá resultados qualitativos, aplicado a setores individualizados de encostas, conforme descrito no Capítulo III, item 3.3.1.

Nesta metodologia, foi elaborada uma ficha de dados que permite uniformizar e comparar as informações a serem coletadas, considerando o fator geológico, topográfico e ambiental. Para cada fator de risco, foram considerados os principais grupos de atributos que afetam a estabilidade das encostas. A Tabela V.1 apresenta os fatores que foram analisados para identificação dos graus de risco em Camaragibe. Os atributos de altura e largura dos cortes, no fator topográfico, foram acrescentados nesta análise.

Tabela V.2: Fatores e Atributos de Risco adotados em Camaragibe

TOPOGRÁFICO	GEOLÓGICO	AMBIENTAL
Altura da encosta Perfil Morfologia Extensão da encosta Declividade da encosta Altura do corte Largura do corte	Litologia Textura Estrutura Evidência de movimento	Vegetação Drenagem Cortes Densidade demográfica (hab/ha) Tratamento

No município de Camaragibe, cada um desses atributos foi analisado segundo uma escala de quatro termos, associados aos números (ou notas): 1 (baixo), 2 (médio), 3 (alto) e 4 (muito alto), conforme a Tabela V.2. Essa definição de quatro faixas de graus de riscos foi uma proposta inicialmente lançada no 1º Seminário Nacional de Controle de Risco em Assentamentos Precários nas Encostas Urbanas (Recife/2003) e recomendada para uso nas avaliações de risco. O risco muito alto - R4 é a condição mais crítica possível, apresentando feições de instabilidade (trincas nas edificações, fissuras o solo, voçorocas...), determinada pela alta possibilidade de ocorrência de acidente. A situação iminente não foi cartografada, tendo em vista que na iminência de um acidente, o caso deve ser objeto imediato de ação da Defesa Civil, no sentido de sua redução ou remoção, não se justificando criar uma entidade cartográfica tão efêmera.

Tabela V.2: Grau de Risco Aplicado em Camaragibe

GRAU DE RISCO	TERMO CORRESPONDENTE
1	Baixo
2	Médio
3	Alto
4	Muito Alto

Para avaliar o grau de risco dos atributos associando-os aos quatro números, observou-se seus valores extremos (X_1 e X_2), obtidos em todos os setores de encosta, e dividiu-se o intervalo em quatro faixas para encontrar o incremento (i). Por exemplo: se as alturas dos setores de encostas variaram de 6 a 58 metros, a variação é de 52 metros ($58-6=52$). Dividindo esta variação em 04 faixas obtém-se um incremento (i) de 13 metros ($i=52\div 4$). Então os valores de graus de risco serão: <19 (baixo -1), $19-32$ (médio -2), $32-45$ (alto -3), >45 (muito alto -4), associados aos números de 1 a 4 respectivamente. A Figura V.4 ilustra esta situação.

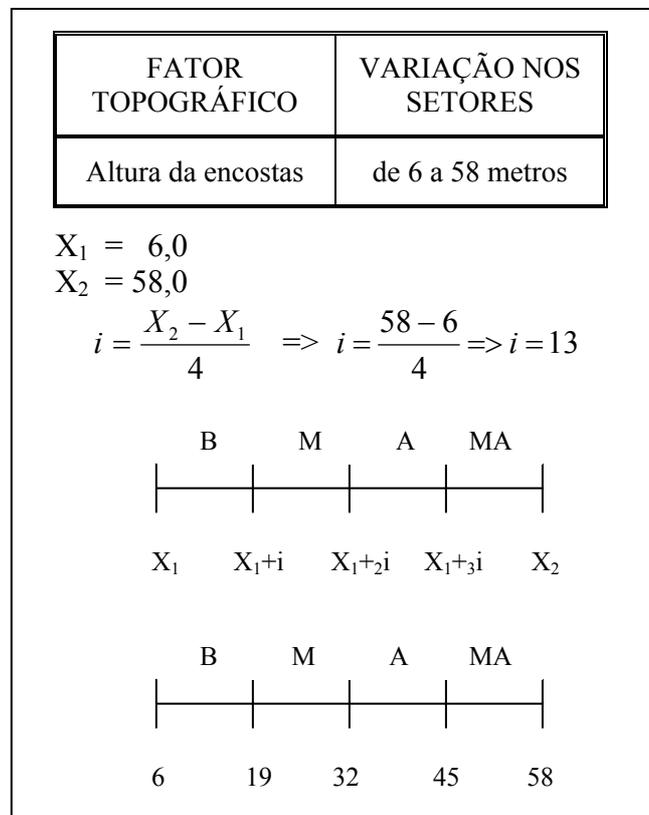


Figura V.4: Ilustração para a Divisão da Faixa do Grau de Risco

Neste modelo, a escala de graus de risco é usada como “notas” de 1 a 4, associada a cada atributo de risco isoladamente, sendo o risco final do setor estudado, obtido através de média aritmética, entre os graus de risco dos fatores topográfico, geológico e ambiental.

GUSMÃO FILHO et al. (1993), aplicando o modelo nas encostas do Recife, considerou cinco faixas de grau de risco: muito baixo (1), baixo (2), mediano (3), alto (4) e muito alto(5). ALHEIROS (1998) relata que o tratamento é um atributo importante para a redução do grau de risco de uma área, e adota a seguinte fórmula de fator redutor para o cálculo do grau de risco dos atributos do fator ambiental:

$$GRAt = GRAi - \left[\left(\frac{GRAi - 1}{4} \right) * (5 - T) \right], \text{ onde} \quad (V.1)$$

GRAt = grau de risco de um atributo ambiental incluindo o tratamento;

GRAi = grau de risco de um atributo ambiental sem tratamento;

T= a nota do tratamento.

A Equação V.1 é utilizada para calcular a nota dos atributos de vegetação, drenagem e cortes, considerando os efeitos do tratamento na redução do risco. A densidade populacional é inelástica, não sofrendo redução devido ao tratamento. Nessa proposta, a redução do grau de risco para os atributos do fator ambiental é proporcional à nota do tratamento. Por exemplo, na ausência de tratamento (nota 5), o fator redutor será zero, e os graus de risco dos atributos: vegetação, drenagem e cortes são iguais aos iniciais. No caso de uma área tratada (nota 1), o grau de risco reduz e os valores de vegetação, drenagem e cortes serão iguais a 1. O valor de densidade populacional será sempre igual à nota inicial. No caso do tratamento incompleto, com nota intermediária entre 1(um) e 5 (cinco), o valor do risco dos atributos ambientais serão proporcionais à nota do tratamento (Equação V.1). O grau de risco final do fator ambiental é calculado pela média aritmética entre os quatro atributos (vegetação, drenagem, cortes e densidade populacional), tendo considerado o fator redutor do tratamento.

Para o município de Camaragibe, considerou-se a proposta de ALHEIROS (1998) para o fator redutor. Como nesta área de estudo foram definidas apenas quatro faixas de grau de risco, o fator redutor assumiu a seguinte forma:

$$GRAt = GRAi - \left[\left(\frac{GRAi - 1}{3} \right) * (4 - T) \right], \text{ onde} \quad (V.2)$$

GRAt = grau de risco de um atributo ambiental incluindo o tratamento;

GRAi = grau de risco de um atributo ambiental sem tratamento;

T = a nota do tratamento.

Para ressaltar a importância diferenciada dos fatores de risco frente à ocorrência de acidentes, GUSMÃO FILHO et al. (1993) propuseram atribuir pesos, onde o grau de risco final é calculado por meio de uma média ponderada.

Como as encostas do município de Camaragibe encontram-se em área de tabuleiros, que representam um relevo ainda imaturo, com vales verticalizados, observa-se que, mesmo sem a ação antrópica, as encostas tendem a sofrer processos de instabilização, procurando seu equilíbrio natural. Neste caso, o risco geológico tem grande importância nos movimentos, assim como o risco topográfico. Por este motivo foram atribuídos pesos iguais (2) para a topografia e para a geologia; para o fator ambiental atribuiu-se peso 3, por ser ainda o mais importante na composição do risco devido a ação antrópica. Então, em Camaragibe, o grau de risco final foi calculado através da seguinte equação:

$$GRF = \left[\frac{(2 * GRT) + (2 * GRG) + (3 * GRAt)}{7} \right], \text{ onde} \quad (V.3)$$

GRF é o Grau de risco final;

GRT é o grau de risco topográfico;

GRG é o grau de risco geológico e

GRAt é o grau de risco ambiental incluindo a nota do tratamento.

Obtidos os valores de graus de risco final de todos os setores de encostas e observando seus valores extremos, dividiu-se linearmente o intervalo em quatro faixas, assim como foi para cada atributo conforme a Figura V.4, definindo as faixas para o termo lingüístico do grau de risco final.

CAPÍTULO VI

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 INTRODUÇÃO

O potencial de risco de erosão e escorregamento do município foi analisado para cada uma das Regiões Administrativas e para o município como um todo. De acordo com o modelo adotado, o valor final do risco de cada Setor é redefinido a partir da distribuição entre os valores extremos obtidos dentro do universo considerado. Quando o universo considerado é a Região Administrativa, o risco final obtido permite contrastar melhor as diferentes situações de risco naquele espaço. Quando se considera o município como um todo, dá-se uma maior dispersão dos resultados, ocorrendo mudanças de qualificação do risco final para um mesmo Setor.

A base para a intervenção no município é a Região Administrativa. As equipes de Defesa Civil são assim espacializadas e atuam em suas áreas, onde fazem a hierarquização das áreas de risco com base nas características da Região. Os resultados obtidos pelo modelo quando considerado esse universo mostrou consistência com a avaliação dos técnicos da área. Por outro lado, desconhecer o problema em sua totalidade, permite distorções quanto ao nível do problema, de Região para Região: uma situação de risco pode ser considerada crítica para o contexto de uma Região, mas quando comparada ao universo da cidade, mostrar-se com menor importância.

A aplicação do modelo nessas duas condições foi importante para levantar essa discussão técnica, mas a definição final do risco exige uma avaliação absoluta de importância, para fins de hierarquização, quando da intervenção para redução e controle de risco pelo poder público. Desse modo o Mapa de Risco de Camaragibe foi produzido com os resultados obtidos da análise agregada de todas as Regiões Administrativas.

6.2 CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RISCO

Com os dados disponíveis foi possível definir a faixa de grau de risco de cada atributo, distribuído em quatro faixas de graus de risco. A Tabela VI.1 apresenta a variação das faixas de valores de cada atributo numérico conforme descrito no Capítulo V e a Tabela VI.2 apresenta as faixas correspondentes a cada termo lingüístico.

Tabela VI.1: Variação dos Valores dos Atributos Numéricos Avaliados em Camaragibe

FATORES/ATRIBUTOS		VARIAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS EM TODOS OS SETORES
<i>TOPOGRÁFICO</i>	Altura da encosta (m)	6 - 58
	Extensão da encosta (m)	50 - 600
	Declividade da encosta (%)	18 - 64
	Altura do corte (m)	1,5 - 16
	Largura do corte (m)	4 - 50
<i>AMBIENTAL</i>	Densidade (hab/ha)	15 - 197

A Tabela VI.3 mostra as faixas encontradas para a classificação final do risco em Camaragibe. A codificação no mapa dos graus de risco se deu através das cores semaforicas, sendo verde para o risco baixo, amarelo para o risco médio, laranja para o risco alto e o vermelho para o risco muito alto.

A Tabela VI.4 apresenta a lista dos setores de encostas com os valores de graus de riscos topográfico, geológico e ambiental, calculado pela média aritmética, como também o grau de risco final, calculado através da média ponderada (Equação V.3). Após obter o grau de risco final de cada setor de encosta, foi verificada a consistência dos resultados em que se mostrou coerente com as observações de campo.

A Figura VI.1 apresenta o Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas com Ocupações Desordenadas de Camaragibe, e as Figuras VI.1a-1e, apresentam o Mapa de Risco por Região Administrativa. Nos locais onde não se aplicou o zoneamento de risco, foram lançados alguns pontos isolados onde foram identificados problemas de estabilidade, que mereciam registro, sendo identificados no mapa como Pontos de Risco.

Tabela VI.2: Faixas de Grau de Risco de acordo com os Fatores em Camaragibe

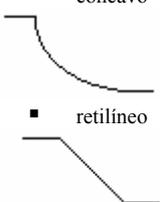
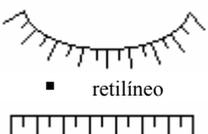
FATORES	GRAU DE RISCO			
	BAIXO - 1	MÉDIO - 2	ALTO - 3	MUITO ALTO - 4
<i>TOPOGRÁFICO</i>				
Altura da encosta (m) (diferença de cota entre o talvegue e o divisor d'água)	<19	19-32	32-45	>45
Morfologia (perfil)	<ul style="list-style-type: none"> ■ côncavo ■ retilíneo 	côncavo-convexo	convexo	convexo-côncavo
Morfologia (planta)	<ul style="list-style-type: none"> ■ convexo ■ retilíneo 	côncavo-convexo	côncavo	côncavo c/ cabeceira de drenagem ativa
distribuição das águas				
Extensão da encosta (m)	<188	188-325	325-462	>462
Declive da encosta (%)	<31	31-44	44-57	>57
Altura do corte (m)	<5	5-9	9-12	>12
Largura do corte (m)	<16	16-27	27-39	>39
<i>GEOLÓGICO</i>				
Litologia	<ul style="list-style-type: none"> ■ rocha alterada ■ saprolito 	Fm Barreiras arenosa (canal fluvial)	Fm Barreiras (leque aluvial)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fm Barreiras (leque proximal) ■ solo residual maduro
Textura	areno-argilosa	argilo-arenosa	argilosa/arenosa	argilosa/cascalhosa
Estrutura	<ul style="list-style-type: none"> ■ homogênea ■ mergulho oposto 	sub-horizontal	sub-vertical	sub-vertical c/ mergulho concordante
Movimento e Transporte de Massa	<ul style="list-style-type: none"> ■ ausente ■ ravina superficial 	<ul style="list-style-type: none"> ■ fendas esparsas ■ erosão pé do talude 	<ul style="list-style-type: none"> ■ fendas contínuas ■ abatimentos ■ cercas inclinadas 	<ul style="list-style-type: none"> ■ fendas profundas ■ trincas nas edificações ■ voçorocas
<i>AMBIENTAL</i>				
Vegetação	>70%	70-30%	30-0%	ausente
Drenagem	<ul style="list-style-type: none"> ■ parcial ■ extensiva 	insuficiente	precária	inexistente
Cortes	isolados	em patamares	- desordenados	+ desordenados
Densidade(hab/ha)	<61	61-106	106-152	>152
Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> ■ parcial ■ extensivo 	insuficiente	precário	inexistente

Tabela VI.3: Faixa de Classificação do Risco Final em Camaragibe

FAIXA DE VALORES	GRAU DE RISCO
<1,67	Risco Baixo
1,68-2,03	Risco Médio
2,03-2,38	Risco Alto
>2,38	Risco Muito Alto

Tabela VI.4: Listagem Final do Grau de Risco por Setores de Encostas em Camaragibe

Nº DE SETORES	REGIÕES	LOCALIDADES	FATORES DE RISCO			GRAU DE RISCO	
			TOPOGRÁFICO	GEOLÓGICO	AMBIENTAL	FINAL	CLASSE
1	REGIÃO 1	Carmelitas (Sta Maria)	1,71	1,25	2	1,70	M
2		Henrique Dias (Bairro dos Estados)	1,86	2,5	1,75	1,99	M
3		Rua Amendolândia (Alto Pe Cícero)	2,43	1,75	2,08	2,09	A
4		3a Trav 15 Novembro	2,14	1,25	1,58	1,65	B
5		Rosa Selvagem (Paulo Fontoura)	1,29	1,5	1,92	1,62	B
6		Da R Eliza até Campina	2,00	1,5	1,5	1,64	B
7		Rua João Roberto (Areiro)	1,57	1,25	1,67	1,52	B
8		Rua Maria das Dores até a Henrique Holanda (Sto Antonio)	1,43	2	1,42	1,59	B
9		Av Pernambuco com a Rua Ceará	2,00	1,5	2,08	1,89	M
10		Rua 13 Maio até a Tenente Arnaldo (Timbi)	1,43	2	2,25	1,94	M
11		Rua D Pedro Cruz (Viana)	1,86	1,25	2	1,74	M
12		Rua Esmeralda (Viana)	1,86	1	1,83	1,60	B
13		Cachoeira Itapemirim (Viana)	1,86	1,75	1,75	1,78	M
14		Alto Boa Vista	1,00	1,25	1,75	1,39	B
15		Vila Fabrica (Beira Rio)	1,71	1,25	2	1,70	M
16		Vila Fabrica (Invasão na Mata Atlântica)	1,43	1,25	1,75	1,52	B
17		Invasão Após S Felix (Alto Sto Antonio)	1,71	2,75	2,25	2,24	A
18		Invasão Após S Felix (Alto Sto Antonio)	1,71	2	2,25	2,03	A
19		Córrego Desastre (Ma. Dores João Felix)	2,00	1,25	2,25	1,89	M
20		Maria Izabel Izidio Tenente Arnaldo (C. Desastre)	1,86	1,75	1,42	1,64	B
21		(Lado direito Voçoroca) M. Santana J. Felix (C. Desastre)	1,86	1,0	1,17	1,32	B
22		Rosa Selvagem – Limite com Recife	1,86	2,5	1,75	1,99	M
23	REGIÃO 2	Entre a Rua Machado Mata Três Marias	1,86	1,25	2,5	1,96	M
24		Primo Itapissuma Aracati	1,86	1,25	2,5	1,96	M
25		Três Marias Itapissuma	1,71	1,25	1,75	1,60	B
26		Alexandria Venceslau Braz	1,71	1,25	2,25	1,81	M
27		Venceslau Braz-Três Marias	2,43	1,5	2	1,98	M
28		Candelária Alexandria	1,71	1,25	1,5	1,49	B
29		Venceslau Braz com a Paz Landina	1,71	1,25	2,75	2,03	M
30		Rua Ceará com a Nova América	2,14	2	1,58	1,86	M

Tabela VI.4: Listagem Final do Grau de Risco por Setores de Encostas em Camaragibe (Continuação)

Nº DE SETORES	REGIÕES	LOCALIDADES	FATORES DE RISCO			GRAU DE RISCO	
			TOPOGRÁFICO	GEOLÓGICO	AMBIENTAL	FINAL	CLASSE
31	REGIÃO 2	2a Tguan_da Chesfe	1,86	2,25	1,58	1,85	M
32		Nova Amer_Márcia de Windson	1,71	1,25	2	1,70	M
33		Após Nelson Rodrigues	1,71	1,25	2,25	1,81	M
34		Após Santana	2,29	1	1,42	1,55	B
35		Severino Reis F. santana	1,43	1,75	2,5	1,98	M
36		Alteroza Gov Valadares	1,86	1,25	2,75	2,07	A
37		Marcia Windson	1,43	1,25	2,75	1,94	M
38		R Asfaltada- Maragogi (São João e São Paulo)	1,71	1	1,75	1,53	B
39		Rua Itaipu (São João e São Paulo)	1,86	1	2	1,67	M
40		Rua Tulipas com Maragogi (São João e São Paulo)	1,57	1	2	1,59	B
41	REGIÃO 3	Macacos	2,29	1,25	1,5	1,65	B
42		Subida do Vale Pedreiras (lado Macacos)	2,00	2,5	1,75	2,04	A
43		R Topazio	1,71	1,25	1,17	1,35	B
44		Após Escadaria Cassimiro (lado S. Pedro)	2,14	1	2,25	1,86	M
45		S.Pedro (PE-27)	2,14	1	2,25	1,86	M
46		S Paulo(4a Trav BeiraRio)	1,57	1,5	1,33	1,45	B
47	REGIÃO 4	Rua Amazonas (Tabatinga 1)	1,14	1,25	1,75	1,43	B
48		Alcides Ribeiro (Tabatinga 1)	2,00	1,25	1,58	1,61	B
49		Rua Mandacaru (Tabatinga 1)	1,71	1,25	1,92	1,67	B
50		Tabatinga 2	1,14	1,25	1,5	1,33	B
51		Granja Itapoã (Tabatinga Centro)	2,00	2,5	1,75	2,04	A
52		Entre 1ª e 2ª trav Luiza Medeiros (Tabatinga Centro)	1,57	3	1,75	2,06	A
53		2ª trav Luiza Medeiros com Luiz Jorge dos Santos	2,14	3,25	1,75	2,29	A
54		Rua Luiz Jorge dos Santos com Arnaldo Pimentel	1,57	2,75	1,75	1,98	M
55		R. Amador Meira (Córrego do Paletó)	1,71	3	2,33	2,35	A
56		Rua da Liberdade p/ Arnaldo Pimentel (Córrego. do Paletó)	1,86	3	2,33	2,39	MA

Tabela VI.4: Listagem Final do Grau de Risco por Setores de Encostas em Camaragibe (Continuação)

Nº DE SETORES	REGIÕES	LOCALIDADES	FATORES DE RISCO			GRAU DE RISCO	
			TOPOGRÁFICO	GEOLÓGICO	AMBIENTAL	FINAL	CLASSE
57	REGIÃO 4	R. André Rebouças (Córrego do Paletó)	2,00	2,5	1,25	1,82	M
58		da R. Fernando de Noronha à Fábrica Ostracil	1,86	2,5	1,5	1,89	M
59		R. Amador Bueno (Ostracil)	2,29	3	2,75	2,69	MA
60		Córrego da Andorinha	1,57	2,75	2,75	2,41	MA
61		Rua Deodoro César (Córrego do Jacaré)	2,00	2,5	1,42	1,89	M
62		R. Josué Amaro C Dias Martins (Córrego do Jacaré)	1,71	2,5	1,25	1,74	M
63		R. Dos Navegantes com a Ana Xavier (Córrego do Burro)	2,14	2,5	2,58	2,43	MA
64		Travessa 1 - Joaquim de Santana (Córrego do Burro)	2,14	2,5	2,5	2,40	MA
65		Travessa 2 - Joaquim de Santana (Córrego do Burro)	2,57	2,5	2,25	2,41	MA
66		Travessa 3 - Joaquim de Santana (Córrego do Burro)	2,43	3	2,75	2,73	MA
67		Travessa 4 - Joaquim de Santana (Córrego do Burro)	2,43	2,5	2,5	2,48	MA
68	REGIÃO 5	Vila Rica – Córrego do Sapo	2,14	2,5	2,5	2,40	MA
69		Rua da Invasão 1 (Vera Cruz)	2,29	2,5	2,0	2,22	A
70		Rua da Invasão 2 (Vera Cruz)	1,14	2,5	3,0	2,33	A

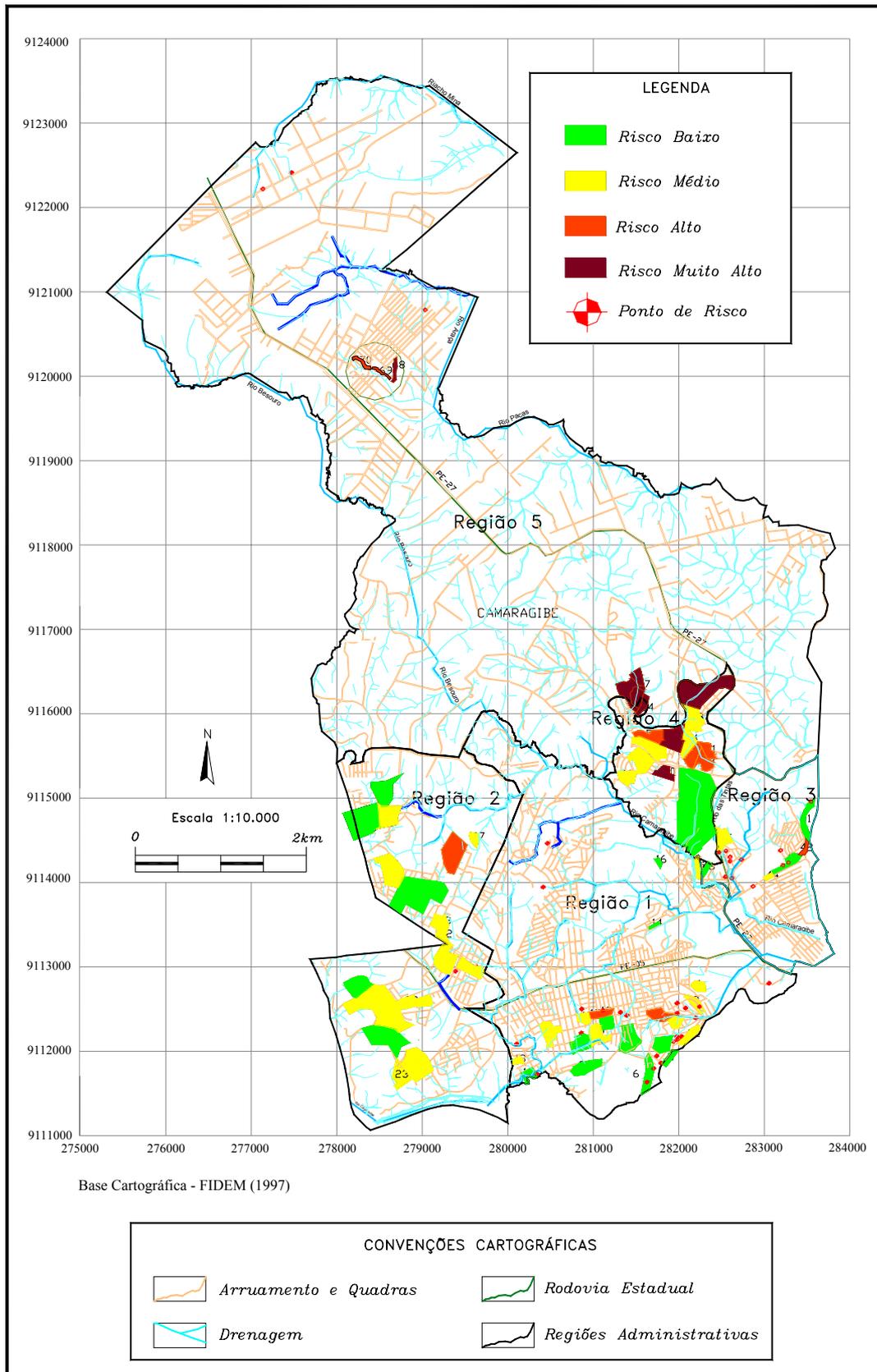


Figura VI.1: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas Ocupadas de Forma Desordenada do Município de Camaragibe-PE

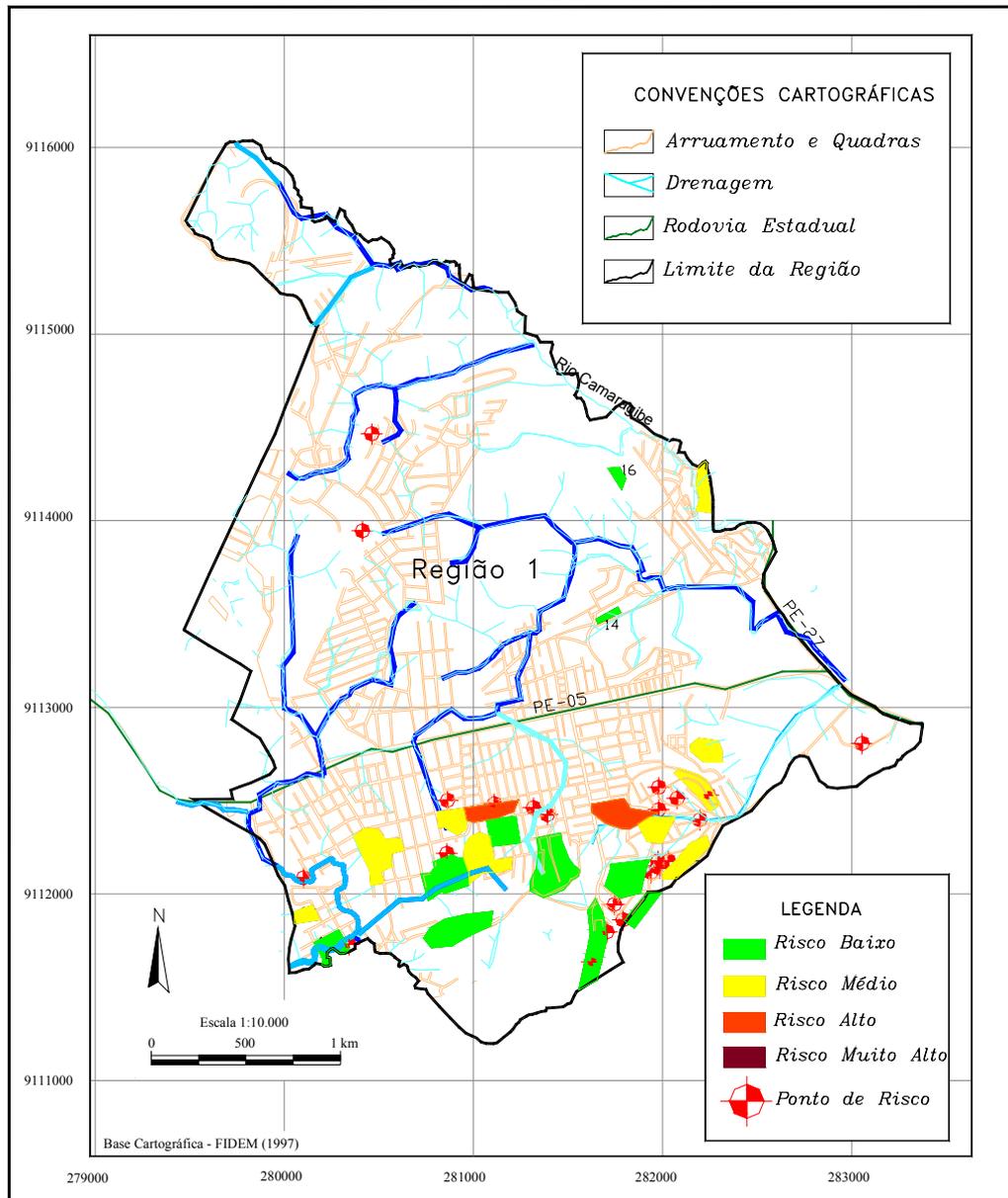


Figura VI.1a: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 1 do Município de Camaragibe-PE

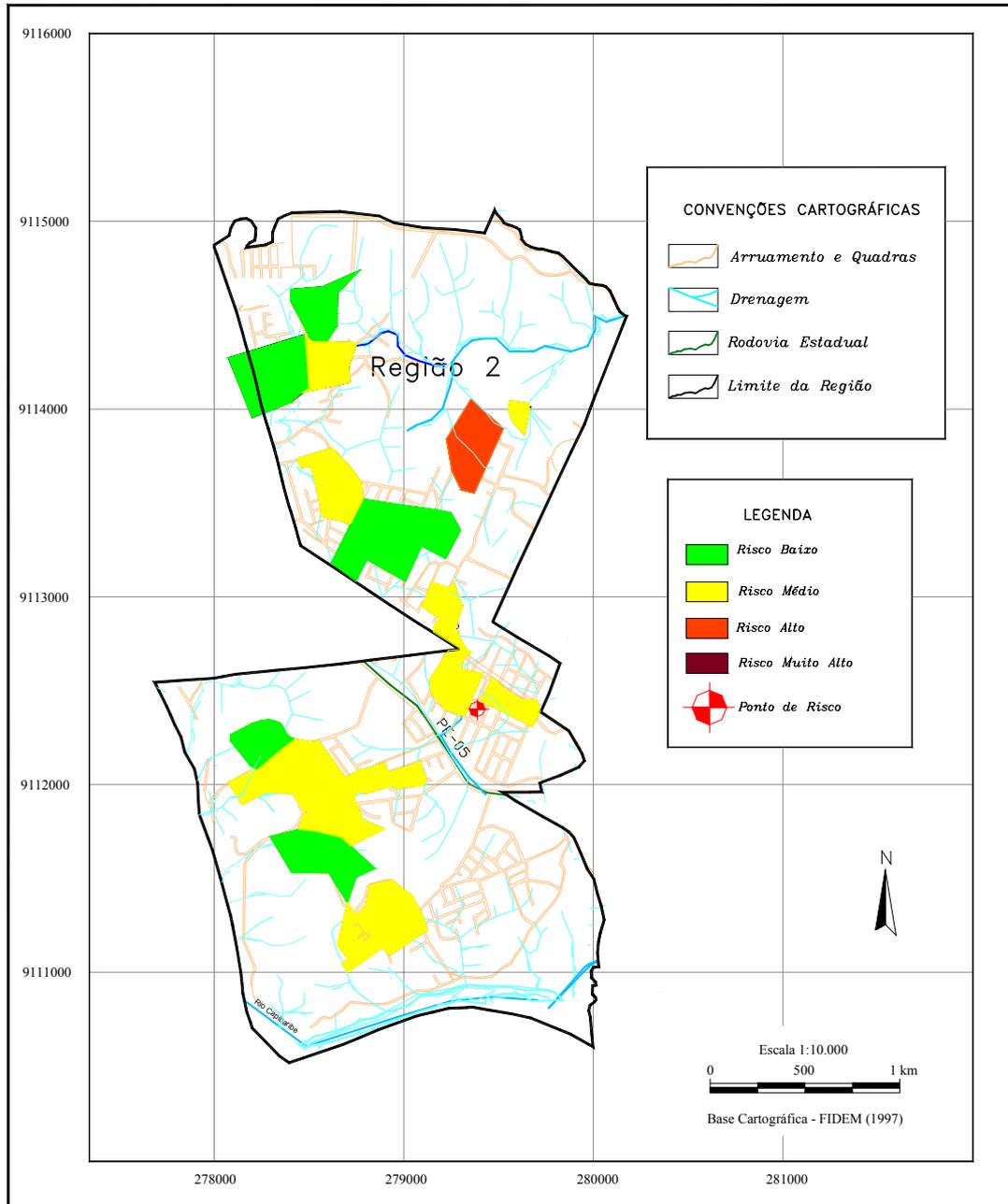


Figura VI.1b: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 2 do Município de Camaragibe-PE

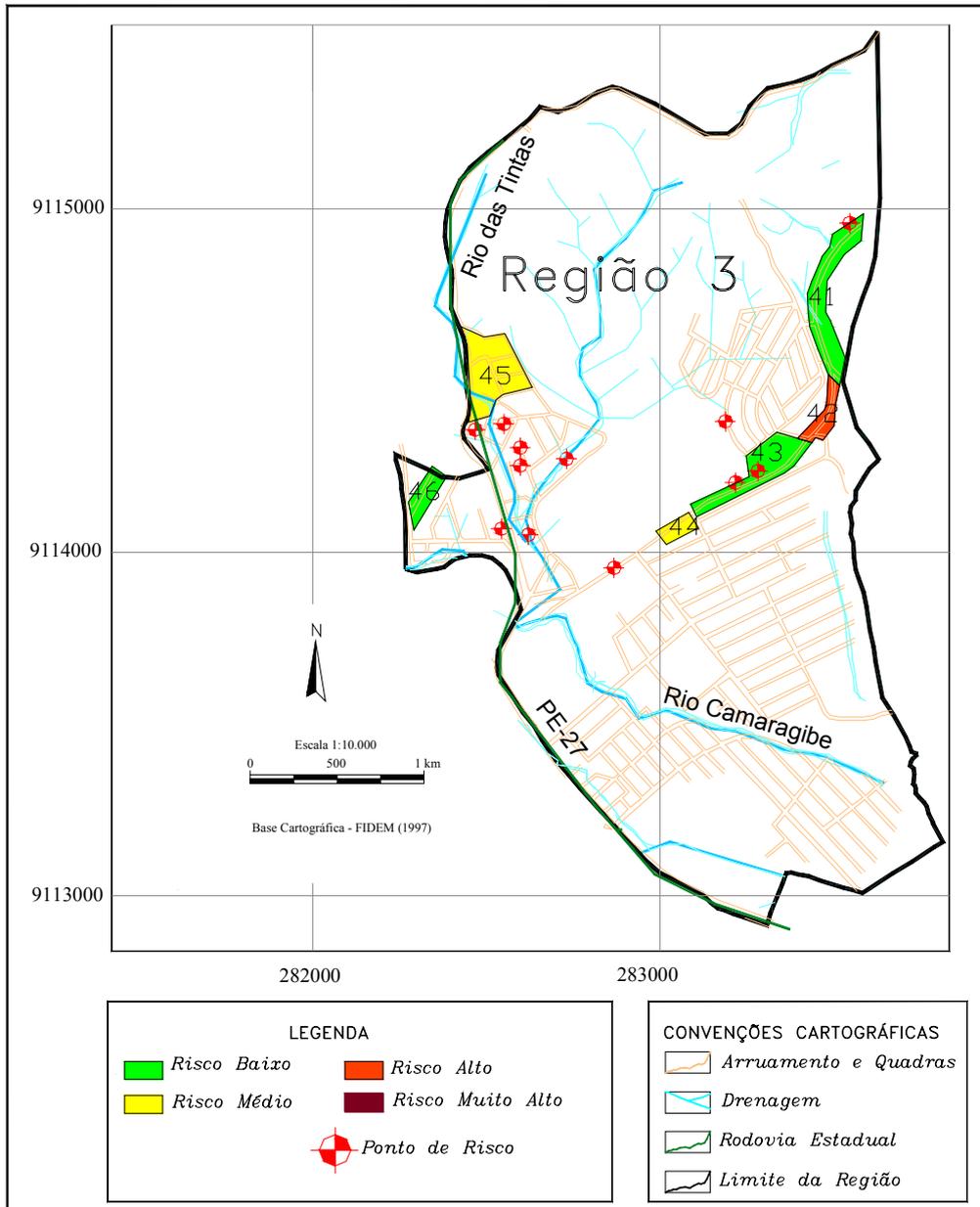


Figura VI.1c: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 3 do Município de Camaragibe-PE

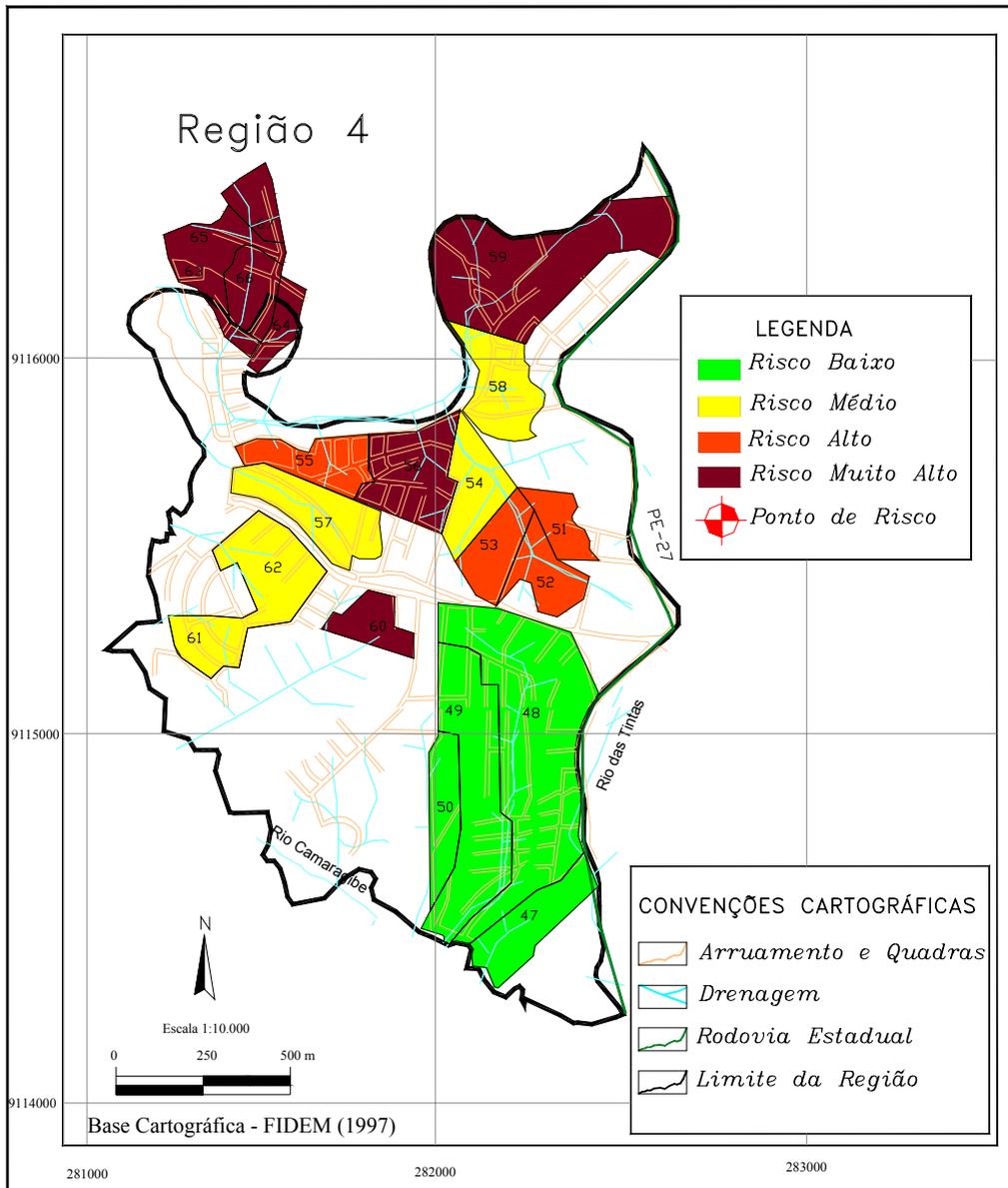


Figura VI.1d: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 4 do Município de Camaragibe-PE

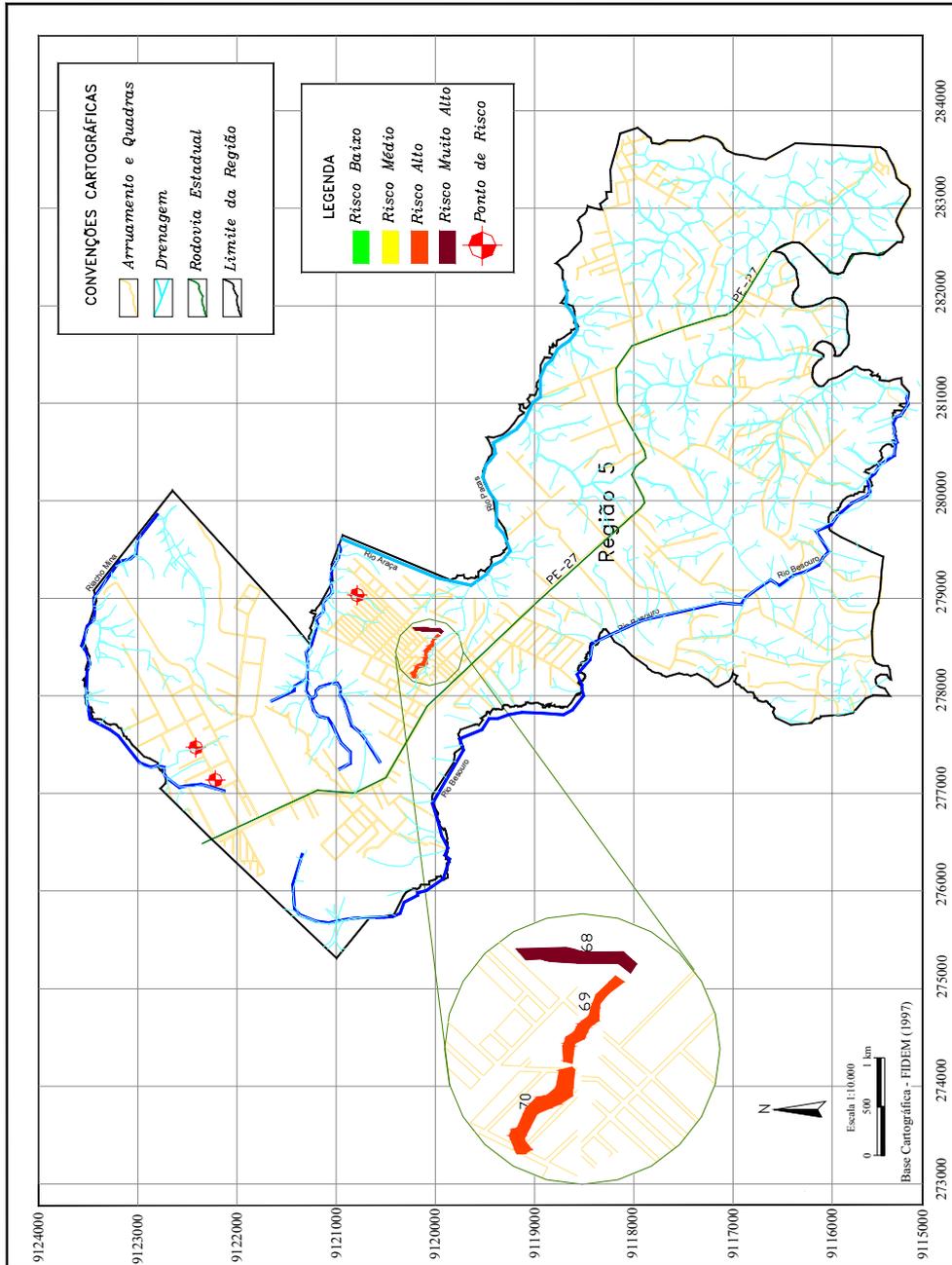


Figura VI.1e: Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento da Região Administrativa 5 do Município de Camaragibe-PE

O risco em Camaragibe está concentrado na porção centro-sul do município, ocorrendo de modo isolado na parte norte em uma área de recente invasão. Tendo em vista que a análise de risco foi aplicada apenas às encostas ocupadas por assentamentos precários, há uma menor incidência de Setores com Risco Baixo (1), quando comparados àqueles com Risco Médio (2), Alto (3) e Muito Alto (4).

A Região Administrativa 1 tem os assentamentos precários distribuídos no seu extremo sul, acompanhando o limite com o município de Recife. Nessa área foram identificados 22 Setores de Risco, sendo 3 classificados como Alto, 9 Médio e 10 de Risco Baixo. Nesta Região não houve Setores de Risco Muito Alto. O Bairro dos Estados é uma área fortemente degradada pela mineração urbana em que já houve muitas ocorrências de acidentes.

A Região Administrativa 2 ocupa a parte sudoeste do município e apresenta uma grande dispersão de assentamentos precários na área. Foram identificados 1 Setor de Risco Alto, 12 de Risco Médio e 5 de Risco Baixo, totalizando 18 Setores de Risco. Nesta Região não houve Setores de Risco Muito Alto. As áreas de Santana e João Paulo II são as que concentraram os Setores de maior risco.

A Região Administrativa 3 é uma área urbanisticamente mais consolidada localizada na parte sudeste do município e não apresenta Setores de Risco Muito Alto. Foram identificados apenas 01 setor de Risco Alto, 02 de Risco Médio e 03 de Risco Baixo, mas observa-se uma grande frequência de Pontos de Risco dispersos na área, onde a urbanização ainda não se consolidou.

A Região Administrativa 4, definida pela Lei Municipal de Uso e Ocupação do Solo Nº 32/97, como uma Área de Urbanização Restrita – AUR foi o território com maior potencial de escorregamento e erosão. Embora algumas obras já tenham sido realizadas na área, alguns Setores ainda se mostram bastante críticos, exigindo uma intervenção estruturadora de maior alcance, com o tratamento integrado por micro-bacia, de forma a reduzir o risco na área e controlar ou evitar novas ocupações em áreas suscetíveis de escorregamento e erosão. Foram encontrados 8 Setores de Risco Muito Alto, 4 de Risco Alto, 5 de Risco Médio e 4 de Risco Baixo, totalizando 21 Setores de Risco mapeados na área.

A Região Administrativa 5 compreende mais de 60% do território do município e abrange as áreas de extensos tabuleiros da Formação Barreiras com ocupação rarefeita, que caracterizam a parte norte do município. Apenas na localidade de Vera Cruz foram identificados 02 Setores de Risco Alto e 01 de Risco Muito Alto.

Quanto à extensão das áreas dos setores de encostas analisados, o mapeamento mostrou um total de 292,0 ha. Desse total, 11,6% corresponde a áreas de Risco Muito Alto (34,0 ha), 9,6% a áreas de Risco Alto (28,0 ha), 39,6% corresponde a área com Risco Médio (116,0 ha) e 39,2% a área com Risco Baixo (115,0 ha).

As Figuras VI.2, VI.3, VI.4 e VI.5 apresentam os setores de encostas referente as situações de Risco Baixo, Médio, Alto e Muito alto. As Fotos VI.1, VI.2, VI.3 e VI.4, ilustram situações das quatro classes de graus de risco. A Figura VI.6 apresenta parte da Região Administrativa 4 em fotografia aérea, nela foram delimitados alguns setores de encostas, com cores correspondentes aos seus graus de risco.

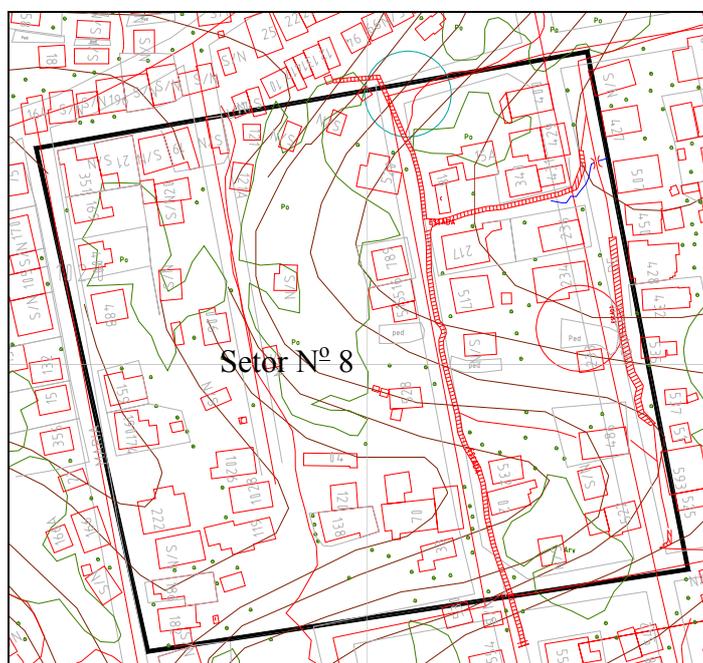


Figura VI.2: Setor de Encosta com Grau de Risco Baixo (1)

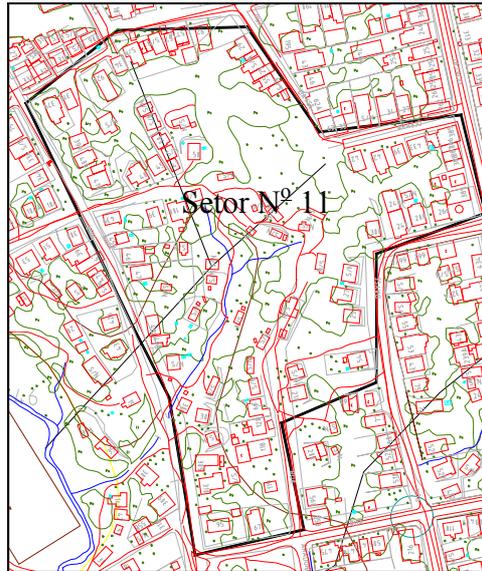


Figura VI.3: Setor de Encosta com Grau de Risco Médio (2)

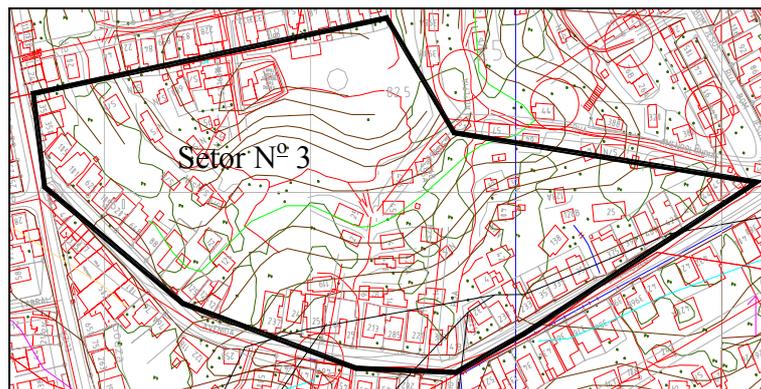


Figura VI.4: Setor de Encosta com Grau de Risco Alto (3)

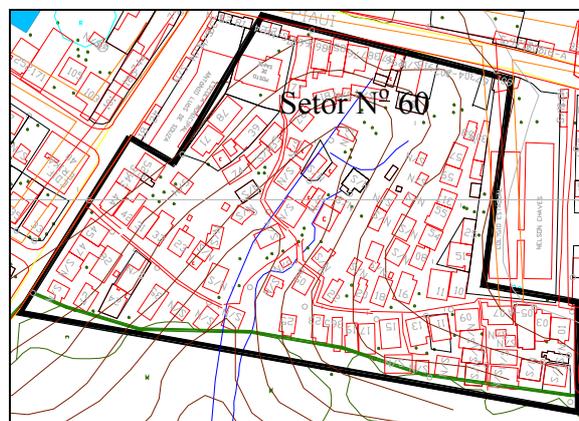


Figura VI.5: Setor de Encosta com Grau de Risco Muito Alto (4)



Foto VI.1 Setor de Encosta com Grau de Risco Baixo (1)



Foto VI.2 Setor de Encosta com Grau de Risco Médio (2)



Foto VI.3 Setor de Encosta com Grau de Risco Alto (3)



Foto VI.4 Setor de Encosta com Grau de Risco Muito Alto (4)

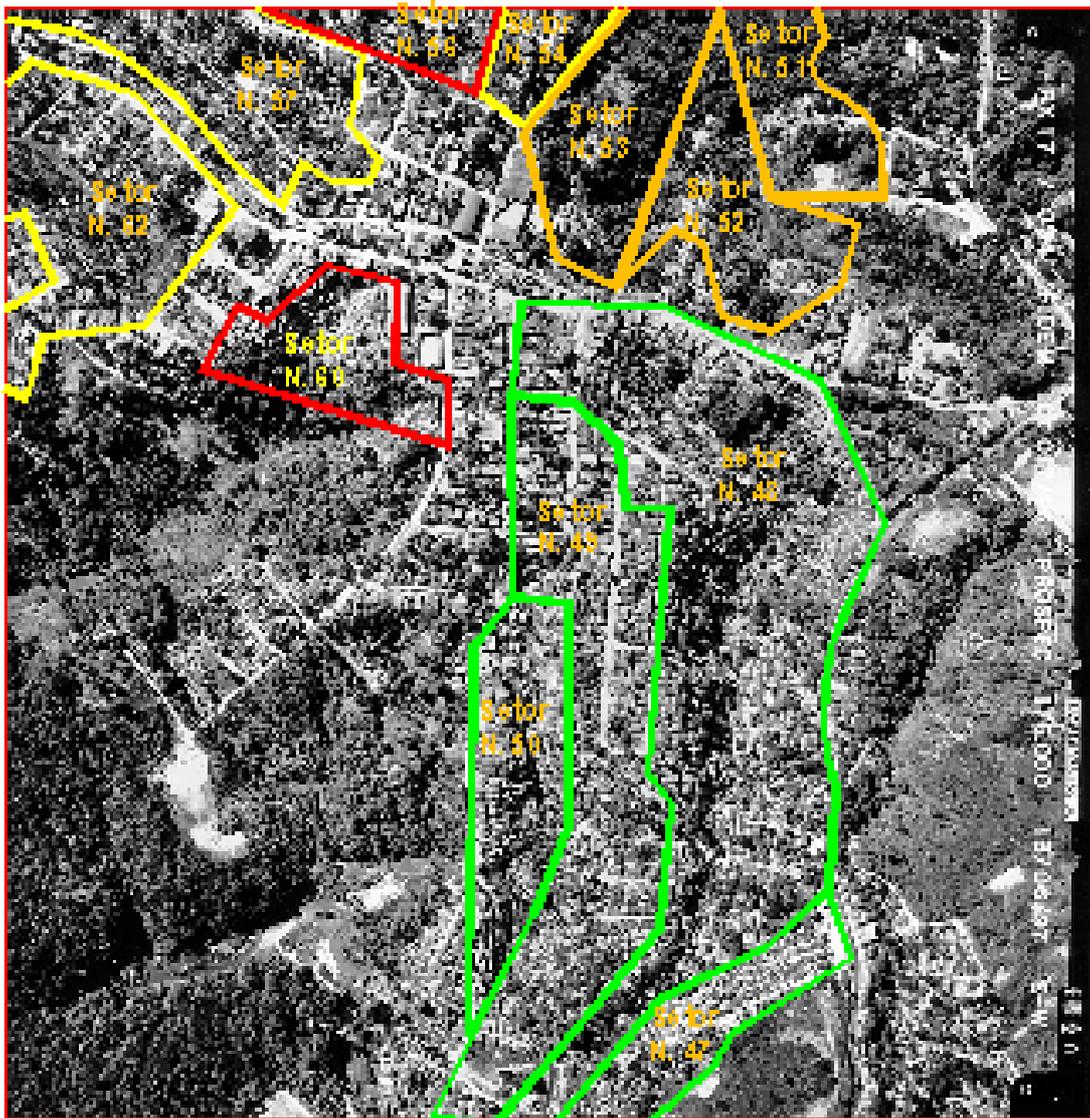


Figura VI.6: Delimitação dos Setores de Encostas na Foto Aérea
(Parte da Região Administrativa 4)

6.3 COMPARAÇÃO RELATIVA ENTRE OS FATORES DE RISCO

As Figuras VI.7, VI.8 e VI.9 comparam a influência relativa entre os fatores de risco, de acordo com a litologia, sem considerar os pesos aplicados no cálculo do grau de risco final. Foi analisado um total de 70 setores de encostas, sendo 37 na Formação Barreiras e 33 no solo residual. Observando essas figuras conclui-se que, nos setores constituídos por sedimentos da Formação Barreiras (37 setores), o fator de risco geológico apresenta grau de risco maior que o fator ambiental em 15 setores de encostas (41%) e sobre o topográfico em 20 setores de encostas (54%). Em relação aos fatores topográfico e ambiental, este último prevalece em 20 setores (54%).

Nos setores constituídos por solos residuais (33 setores), o grau de risco ambiental prevalece sobre o geológico em 27 setores (82%) e sobre o topográfico em 22 setores (67%). Já o risco topográfico prevalece sobre o geológico em 22 (67%) setores de encosta.

Com os resultados podemos concluir que nas encostas constituídas pelos sedimentos da Formação Barreiras, o fator geológico é o mais importante para a composição do risco, principalmente para os processos de transporte de massa (erosão). No solo residual, o fator antrópico, expresso pelo fator ambiental, é o mais importante para a deflagração dos escorregamentos.

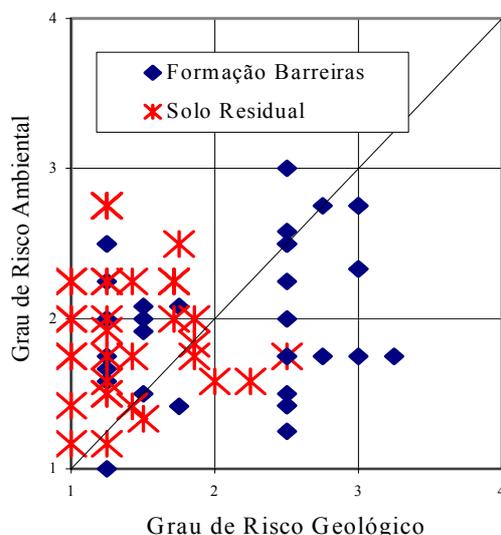


Figura VI.7: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Ambiental em Relação a Litologia

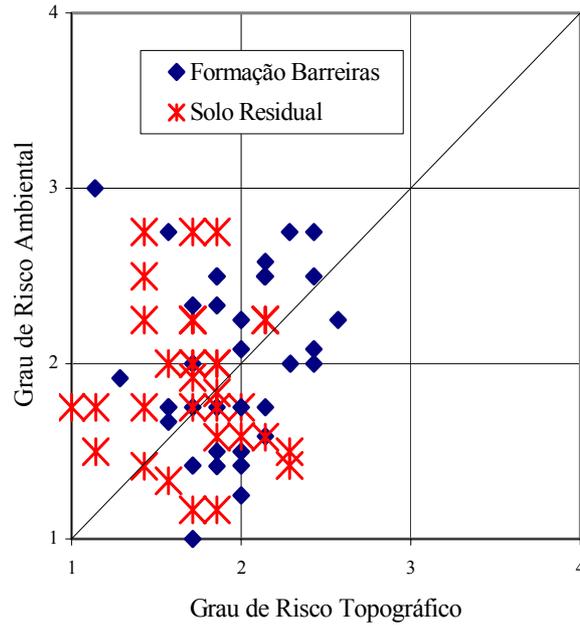


Figura VI.8: Influência Relativa dos Fatores Topográfico e Ambiental em Relação a Litologia

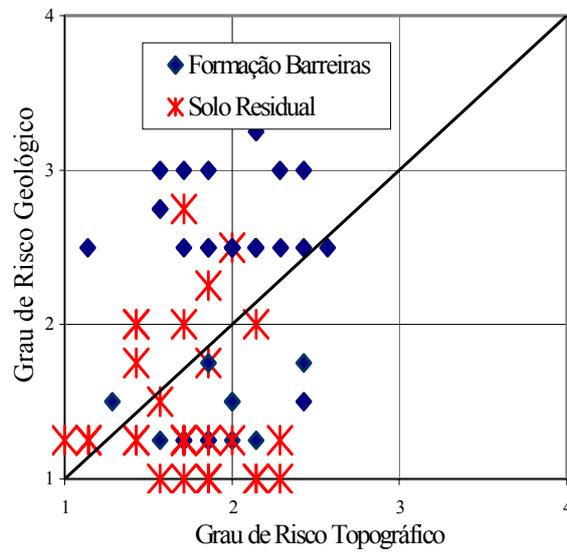


Figura VI.9: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Topográfico em Relação a Litologia

As Figuras VI.10, VI.11 e VI.12 apresentam a influência entre os fatores de risco de acordo com classificação do grau de risco final. Nestas figuras também não foram considerados os pesos aplicados no cálculo do grau de risco final. Delas conclui-se que, nos graus de risco alto e muito alto, o fator geológico é mais importante que os fatores ambiental e topográfico; e o fator ambiental, por sua vez, é mais importante que o topográfico. No grau de risco médio, o fator ambiental prevalece sobre o topográfico e o geológico; e o fator topográfico por sua vez, prevalece sobre o geológico. No grau de risco baixo, o fator topográfico prevalece sobre o ambiental e o geológico; e o fator ambiental prevalece sobre o geológico nos movimentos nas encostas de Camaragibe.

Através destes resultados, pode-se priorizar as ações de intervenção nas áreas de risco, de acordo com o fator de maior importância na composição do risco, conforme descrito no Capítulo III. O tipo de intervenção para redução do grau de risco deve obedecer à ordem de tratamento: se topográfico, geológico ou ambiental.

Nas áreas de risco alto e muito alto (62,0 ha, correspondente a 21,2%), observou-se que o fator de maior importância é o geológico seguido do ambiental. Essas áreas ocorrem em sedimentos da Formação Barreiras, assim como GUSMÃO FILHO et al. (1994) encontrou para as encostas do Recife. O fator geológico é fortemente induzido pelos fatores topográfico e ambiental, podendo desse modo receber tratamento alternativo semelhante ao aplicado quando dominam os fatores ambientais, visto que o tratamento geológico exige um custo mais elevado. O fator topográfico, para os setores de encostas, não foi de importância primordial; porém, nos Pontos de Risco dos taludes isolados, deve-se analisar a situação em escala de detalhe para indicar o melhor tratamento pontual.

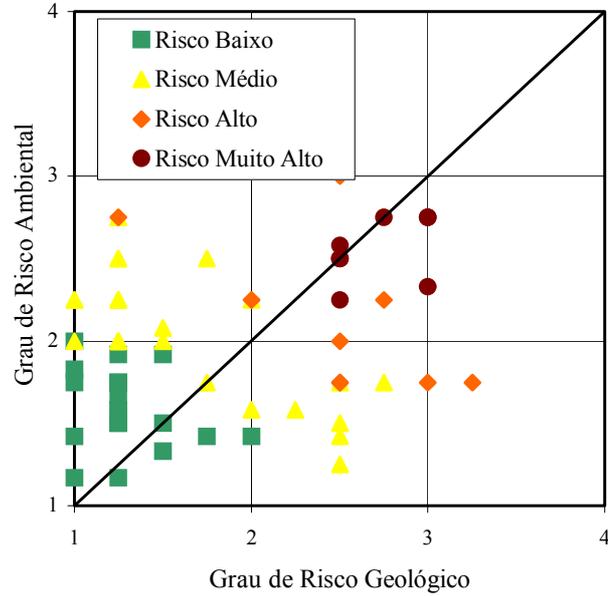


Figura VI.10: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Ambiental com o Grau de Risco Final

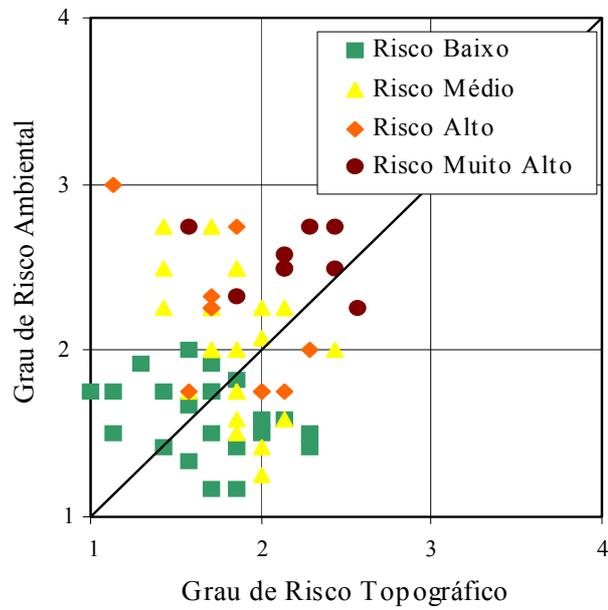


Figura VI.11: Influência Relativa dos Fatores Ambiental e Topográfico com o Grau de Risco Final

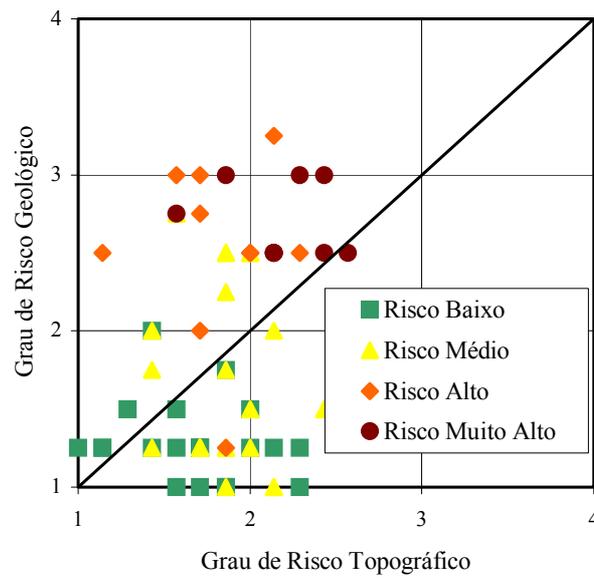


Figura VI.12: Influência Relativa dos Fatores Geológico e Topográfico com o Grau de Risco Final

Nas áreas de risco médio (116,0 ha, correspondente a 39,6%) observou-se que o fator de maior importância é o ambiental, onde as ações proteção superficial e obras drenagem devem ser priorizadas. Com esta análise é possível realizar um melhor planejamento para o tratamento das áreas de risco, de forma a obter resultados satisfatórios com uma boa relação custo-benefício.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

7.1 CONCLUSÕES

Os trabalhos de campo confirmaram que, devido ao uso e ocupação do solo, não é possível preservar a micro-bacia de drenagem natural como unidade de estudo. A observação das características de ocupação e padrões de infra-estrutura permitiu a divisão das áreas em setores homogêneos de encostas.

O Mapeamento de Risco de Erosão e Escorregamentos no município de Camaragibe demonstrou a existência de 70 setores de encostas, totalizando uma área de 293 ha. Desse total, 62 ha apresentou ao grau de risco alto e muito alto, (21% dos setores avaliados); 116 ha de área apresentou graus de risco médio (40%) e 115 ha de área apresentou grau de risco baixo (39%).

Das análises concluiu-se que, o fator geológico é responsável pelas situações de risco muito alto e alto, tendo como segunda categoria de importância o fator ambiental. Essas áreas de risco alto e muito alto ocorrem em sedimentos da Formação Barreiras. Nos graus de risco baixo e médio, o fator topográfico prevalece sobre o geológico e sobre o ambiental para os movimentos nas encostas de Camaragibe.

O risco muito alto (4) é a condição mais crítica possível. No município de Camaragibe essas áreas apresentam feições de instabilidade, determinada pela alta possibilidade de ocorrência de acidentes e que podem atingir grande número de casas devido a alta densidade demográfica. As áreas de risco alto também estão relacionadas a alta densidade demográfica e as condições do solo, mas que em geral o risco pode ser eliminado por intervenções adequadas, de acordo com os fatores mais importantes. Nas áreas de risco baixo a ocupação mostrou-se ordenada e as características geológicas-geotécnicas são favoráveis a estabilidade dos setores de encostas ou na já houve intervenções nessas áreas. No caso de risco médio é a situação entre o grau de risco baixo e o alto.

As observações de campo mostraram que as ocupações por invasões no município de Camaragibe se dão freqüentemente nas cabeceiras de drenagem ativa, sendo um elemento de alta suscetibilidade a erosão e ao escorregamento.

O lançamento indiscriminado de lixo nas encostas do município não é freqüente, devido à ação do “gari comunitário”. O gari comunitário recolhe o lixo nas áreas onde não é possível o tráfego de caminhões e ainda realizam um trabalho de educação ambiental com a população.

Com relação aos estudos geotécnicos, o perfil típico dos sedimentos da Formação Barreiras de leque de canal proximal apresentou camadas predominante de silte argilosa e de silte arenosa com baixa (ML) e alta plasticidade (MH). Este tipo de solo é muito susceptível à erosão, em que se explica a ocorrência de voçorocas nas áreas constituída por esses sedimentos em Camaragibe, onde são freqüentemente localizados na parte norte da Região Administrativa 4. Os ensaios de caracterização realizados nos sedimentos da Formação Barreiras de canal fluvial (Córrego do Desastre), apresentou um solo de textura grossa, classificado com SC e SM, também bastante susceptível a erosão, o que contribuiu para a corrida de areia que aconteceu nesta localidade. Na área de solo residual maduro (Alto de Santo Antônio), o perfil encontrado apresentou predominância de solo argiloso de baixa compressibilidade (CL), sendo mais susceptível a escorregamentos.

Os ensaios de cisalhamento direto indicaram coesão em torno de 12 kPa para o solo classificado como ML, da Formação Barreiras e uma variação de 1,5 a 9kPa para o solo tipo CL do residual maduro. O ângulo de atrito ficou em torno de 29° e 37° para a Formação Barreiras e solo residual respectivamente. O valor mais elevado de ϕ' para o solo residual maduro é justificado pelas partículas que se encontram em forma de grumos, em que podem refletir nas propriedades desses materiais, vindo o solo argiloso a se comportarem como arenoso. Os valores de caracterização geotécnica encontrados podem ser utilizados como subsídios técnicos para intervenções nas áreas.

Os trabalhos realizados alcançaram os objetivos. Os resultados estão sendo considerados pelos planejadores do município e inseridos no Plano Diretor da cidade.

7.1 SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

O mapa de risco apresenta o risco atual. À medida que as mudanças se processam, alteram os fatores de risco. Uma encosta de risco baixo, por exemplo, pode apresentar posteriormente risco alto se for ocupada desordenadamente, enquanto que uma área de risco alto, após seu tratamento, terá seu grau de risco reduzido. Portanto, o Mapa de Risco é dinâmico, mudando em função da ação antrópica, ou seja, o risco avaliado é o risco atual, necessitando constantemente de atualização dos dados, sendo importante para isso a utilização das ferramentas do geoprocessamento.

Para simplificar as análises de graus de risco, a determinação das quatro faixas de graus, foi realizada através de uma divisão linear entre os valores extremos encontrados em cada fator de risco. Uma divisão mais coerente com as respostas dos movimentos de encostas seria por meio de análises dos movimentos ocorridos anteriormente. Como o município não dispõe de dados históricos de escorregamentos, não foi possível realizar estas análises. A elaboração de um inventário dos processos de escorregamentos e erosão é fundamental para futuras pesquisas, sendo possível, através dele, definir uma faixa consistente de graus de risco, retratando uma situação mais real.

A implantação de um inventário de escorregamento seria importante para futuros estudos. Os registros de acidentes ocorridos devem obedecer a uma padronização de modo que se inclua, principalmente, o dia e a hora dos acidentes, as condições climáticas e as características geológicas, geotécnicas, topográficas e ambientais.

Seria também de grande importância o estudo das áreas não ocupadas, para a produção do mapa de susceptibilidade de erosão e escorregamentos, o qual daria subsídios para a prefeitura indicar os locais que poderiam ser ocupados por assentamentos urbanos com maior segurança, de acordo com as recomendações propostas.

A escolha de áreas piloto para monitoramento e estudos dos materiais seria de grande importância, através de sondagens, análise de resistência do solo, acompanhamento da variação do nível d'água, etc. A análise detalhada do material, com

o cadastramento dos processos de escorregamentos e dados pluviométricos, possibilitaria uma correlação entre os escorregamentos e a chuva, o qual permitiria montar um sistema de alerta para a defesa civil do município.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALHEIROS, M. M. (1998), *Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife*. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar, UFBA, Salvador-BA, 129p.
- ALHEIROS, M. M. et al. (2003), *Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife*, Recife-PE, Brasil.
- ALMEIDA, M. C. J. e NAKAZAWA, A. (1991), *Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ*. Geologia de Engenharia no Meio Ambiente Urbano, 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, pp.129-137.
- AMARAL, C. e PALMEIRO (1997), *Local Landslide Inventory of Rio de Janeiro: State of the Art and Access*, In 2nd Pan-American Symposium Landslides, 2nd COBRAE, Rio de Janeiro.
- ANJOS, C. A. M. (1999), *Elaboração e Aplicação de um Modelo para Quantificação do Risco Geológico Instalado Associado a Instabilização: O Caso de Uma Encosta em Maceió-AL*. Tese doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Rio Claro.
- ARAÚJO, R. C. (2000), *Estudo da Erodibilidade de Solos da Formação barreiras - RJ*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 148p.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992), *Caracterização Geológica-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica*. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, Vol. 2, pp.721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. (1994), *Cartas de Risco a Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP*. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, USP, 167p.
- AZAMBUJA, E., ZENI, C. A., BRESSANI, L. A., e NANNI, A. S. (2001), *Avaliação dos Fluxos de Detritos em Alto Feliz no Rio Grande do Sul*. III COBRAE – Conferência Brasileira Sobre estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro.

- BARROS E SILVA., E. A. (2001), *As Intervenções nos Morros da Região Metropolitana do Recife: Entre Necessidade e Qualidade*. Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. Recife, UFPE.
- BASTOS, C. A. B. (1999), *Estudo Geotécnico Sobre a Erodibilidade de Solos Residuais não Saturados*. Tese de Doutorado, UFRGS.
- BRAND, E. W. (1985), *Predicting the Performance of Residual Soil Slopes*. VII ICSMFE, San Francisco, Vol.4, pp.2541-2578.
- CARVALHO, E. T. e PRANDINI, F. L. (1998), *Erosão em Áreas Urbanas*, in Geologia de Engenharia, São Paulo, ABGE.
- CERRI, L. E. S. (1993), *Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos: Uma Proposta para a Prevenção de Acidentes*. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro-SP, 198p.
- CERRI, L. E. S., AMARAL, C. P. (1998), *Riscos Geológicos*. In: Geologia de Engenharia. 1.ed. São Paulo: ABGE,. Cap.18, pp. 303-310.
- CHAMECKI, P. R. (2002), *Metodologias de Laboratório para Estudos de Erosão Hídrica em Solos: Aplicação em uma Argila da Formação Guabirotuba*. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Paraná-Curitiba. UFPN.
- COELHO NETO A. L. (2001), *Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia*. In Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- COSTA, C. L. A. (2002), *Intervenção Urbana na Região 4 de Camaragibe. Pobreza e Exclusão Social: Do Risco da Vida ao Risco da Marginalização*. Trabalho de Graduação de Conclusão de Curso de Arquitetura e Urbanismo. Centro de Artes e Comunicação – UFPE.
- COUTINHO, R. Q. et al. (1990), *Carta Geotécnica da Cidade do Recife*. 6º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e IX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Fundações. ABMS, Salvador, V. 1.
- COUTINHO, R. Q. e OLIVEIRA, J. T. R. (1998), *Estudo da Erosão do Horto Dois Irmãos - Relatório Técnico I*, Fevereiro, GEGEP/UFPE, Recife-PE.

- COUTINHO, R. Q. e FRANÇA, A. E. (1998), *Estudo da Erosão do Horto Dois Irmãos* - Relatório Técnico II, Agosto, GEGEP/UFPE, Recife-PE.
- COUTINHO, R. Q., OLIVEIRA, J. R., LIMA FILHO, M. F., COELHO, F. A. A., SANTOS, L. M. (1999), *Estudo da Erosão da Encosta do Horto de Dois Irmãos – PE*. 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia (CD-ROM). ABGE, Novembro, São Paulo - SP.
- CRUDEN, D. M. e VARNES, D. (1996), *Landslide Types and Processes*. In *Landslides Investigation and Mitigation*. Special Report 247.
- CUNHA, M. A. (1991), *Manual de Ocupação de Encostas*, 1ª ed., publicação IPT, nº 1831, São Paulo, SP, Brasil.
- GEO-RIO (2000), *Manual Técnico de Encostas*. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro – GEO-RIO – Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- GOMES, F. S. (2001), *Estudo da Erodibilidade e Parâmetros Geotécnicos de um Solo em Processo Erosivo*. Dissertação de Mestrado. UFPE. Engenharia Civil, Recife-PE.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. (1976), *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: Edgard Blücher.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. (1984), *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher.
- GUSMÃO FILHO, J. A. (1990), *Ação Integrada Contra Riscos Geológicos em Morros Urbanos*. In I Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano. ABGE, Anais, pp 421-435. São Paulo. SP.
- GUSMÃO FILHO, J. A. (1997), *Chuva e Deslizamentos nas Encostas Ocupadas*. In Workshop “A Meteorologia e os recursos Hídricos Aplicados à Defesa Civil” - Recife.
- GUSMÃO FILHO, J. A. (1997a), *Encostas Urbanas: Aspectos Ambientais, Sociais e Políticos*. In 2nd Pan-American Symposion Landslides, 2nd COBRAE, Rio de Janeiro.
- GUSMÃO FILHO, J. A., JUSTINO DA SILVA, J. M, JUCÁ, J. F. T. e FERREIRA, S. R. M. (1986), *Parâmetros Geomecânicos dos Solos dos Morros de Olinda*. In VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações - COBRAMSEF, Vol. 1, pp 199-210. Porto Alegre-RS.

- GUSMÃO FILHO, J. A., DE MELO, L. V., ALHEIROS, M. M. (1992), *Estudo das Encostas de Jaboatão dos Guararapes, PE*. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, V 1, pp.191-209.
- GUSMÃO FILHO, J. A. ALHEIROS, M. M.; GUSMÃO, A. D.; JUSTINO DA SILVA, J. M.; BASTOS, E. G. (1994), *Geotecnia Ambiental Aplicada às Encostas do Recife*. In X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Foz de Iguaçu, PR, ABMS, V. 1.
- GUSMÃO FILHO, J. A. et all, (1994a), *Estudo das Encostas do Sítio Histórico de Olinda*. Relatório Técnico.
- GUSMÃO FILHO, J. A. et all, (1994b), *O Risco Geológico de Deslizamentos no Sítio Histórico de Olinda, Brasil*. In III Simpósio LatinoAmericano sobre Riesgos Geologicos Urbanos.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2000), *Contagem da População*.
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES WORKING GROUP ON LANDSLIDES (1995), *A suggested Method For Describing The Rate of Movement of a Landslide*. Bulletin of The International Association of Engineering Geology, No. 52, pp. 75-78.
- LAFAYETTE, K. P. V. (2000), *Comportamento Geomecânico de Solos de Uma Topossequência na Formação Barreiras em uma Encosta na Área Urbana do Recife-PE*. Dissertação de Mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife-PE.
- LAMBE, T. W. e WHITMAN, R. V. (1976), *Mecânica de Suelos*. LIMUSA, Mexico, Vol 1. P. 41-51.
- LIMA, A. F. (2002), *Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife*. Dissertação de Mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife-PE.
- MENDONÇA. M. B., e GUERRA, A. J. T. (1997), *A Problemática dos Processos Geodinâmicos frente a Ocupação de Encostas*. Pan-American Symposium On Landslides. II PSI/COBRAE. ABMS-ABGE-ISSMGE. Anais: Rio de Janeiro, Vol.2. pp.935-940.

- MOREIRA, C. V. R. e PIRES N. A. G. (1998), *Clima e Relevo*. in Geologia de Engenharia, São Paulo, ABGE.
- NAKAZAWA, V. A. e CERRI, L. E. S. (1990), *Os Escorregamentos Ocorridos em Petrópolis, RJ, em Fevereiro de 1988. Ações Emergenciais*. In Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, Vol.1. São Paulo. ABGE, pp. 325-333.
- NOGUEIRA, F. R. (2000), *Políticas Públicas Municipais de Gerenciamento de Riscos Geo-Ambientais Associados a Escorregamentos*. Exame de Qualificação. UNESP - Rio Claro (SP).
- NUNES, A. J. C., FERNANDES, C. E. M., ILIESCO, M., CID, M. R. V. K., ALVES, R. I. V. e SILVA, L. J. R. D. B. (1990), *Contribuição ao Conhecimento do Risco Geológico da Cidade de Petrópolis, RJ*. In Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, Vol.1. São Paulo. ABGE, pp. 102-114.
- PACHECO, M. (2001), *Frequency distribution of Mortality in Cut and Fill Slope*. Revista Solos e Rochas. Vol.24, Nº 1, Janeiro-Abril.
- PACHECO, M., PINHAL, A., EINSFELD, R. (2001), *Gerenciamento de Risco Geotécnico por Previsões de Mortalidade de Deslizamentos*. III Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (III COBRAE), Rio de Janeiro.
- PEDROSA, M. G. A. (1994), *Análise de Correlações entre Pluviometria e Escorregamentos de Taludes*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Engenharia, Rio de Janeiro - RJ.
- RODRIGUES, J. A (1998), *Perigos geológicos, cartografia geotécnica e proteção civil*. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis, *Anais...* Florianópolis: ABGE/UFSC/LAMGEO, (cd).
- SANTOS, O. F., SCUDELARI, A. C., AMARAL, R. F. e SOUZA E SILVA, W. (2001), *Aspectos Morfológicos e Geotécnicos de Processo Erosivo na Região de Natal - RN*. III Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (III COBRAE), Rio de Janeiro.
- SCHUSTER e KOCKELMAN (1996), *Principles of Landslide Hazard Reduction*. In Landslides Investigation and Mitigation. Cap 5. Special Report 247.

- SILVA, M. J. D. & GIACHETI, H. L. (2001), *Diagnóstico de Processos Erosivos no Município de Bauru/SP: O Caso da Vila Jussara*. III Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (III COBRAE), Rio de Janeiro.
- SEPLAMA (2002), *Símula de Dados da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico*. Camaragibe-PE.
- SOUZA NETO, J. B. (1998), *Características Geotécnicas do Solo Residual de Gnaiss da Encosta Espinhaço da gata, PE-89, Machados-PE*. Dissertação de Mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife-PE.
- SOUZA NETO, J. B. (2000), *Considerações sobre as propriedades geotécnicas de alguns solos residuais brasileiros*. 1º Seminário de Qualificação COPPE/UFRJ.
- SOUZA NETO, J. B e COUTINHO, R. Q. (1998), *Caracterização, identificação e classificação de um solo residual de gnaiss localizado no município de Machados, Pernambuco*. XI COBRANSEG. Brasília, vol.1, p203-212.
- SUPAN-MG (1983), *Sugestões para Contenção de Taludes* Superintendência de Articulação com os Município/Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG.
- VASCONCELOS, R. P. R. (2001), *Mapas de Suscetibilidade de Solos Colapsíveis e Expansivos do Estado de Pernambuco*. Dissertação de Mestrado. CTG. Engenharia Civil - UFPE, Recife-PE.
- WOLLE C. M. (1986), *Poluição e Escorregamentos – Causa e Efeito na Serra do Mar, em Cubatão – SP*. In VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Porto Alegre, RS. Pp 178-190.
- WOLLE C. M. (1988), *Análise dos Escorregamentos Translacionais numa Região da Serra do Mar no Contexto de uma Classificação de Mecanismo de Instabilização de Encostas*. Tese de Doutorado, USP, Engenharia, São Paulo-SP.
- ZUQUETTE, L. V. e NAKAZAWA, V.A. (1998), *Cartas de Geologia de Engenharia*. In: Geologia de Engenharia. 1.ed. São Paulo: ABGE, Cap.17. pp. 283-300.

BIBLIOGRAFIA APENAS CITADAS

- ABGE (1990), Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo: Estatutos.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. (1988), *Sistema Depositionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental*. XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, V.2, pp.743-760, Belém, Pará.
- AMBALAGAN, R. (1992), *Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain*. Engineering Geology, n. 32, pp. 269-277.
- AUGUSTO FILHO, O., CERRI, L. E. S., AMENOMORI, C. J. (1990a), *Riscos Geológicos: Aspectos Conceituais*. In: Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. *Anais...* São Paulo: ABGE, pp. 334-341.
- AUGUSTO FILHO, O., CERRI, L. E. S., MACEDO, E. S. (1990b), *Carta Geotécnica da Serra do Mar*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6, Salvador, 1990. ABGE, pp. 297-308.
- AUGUSTO FILHO, O., OGURA, A. T., MACEDO, E. S., CERRI, L. E. S. (1991), *Riscos geológicos: um modelo de abordagem e exemplos de aplicação no Sudeste*. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo. *Atas...*São Paulo: SBG/SP-RJ, p.297-302.
- BARATA, F. E. (1969), *Landslides in the Tropical Region of Rio de Janeiro*. In: ICSMFE, México. SMMS, Vol 2, pp. 507-516.
- BARISONE, G. e BOTTINO, G. (1990), *A Practical Approach for Hazard Evaluation of Rock Slopes in Mountainous Areas*. Proceedings of the 6th International Congress IAEG, Amsterdam, Vol. 3, pp. 1509-1516.
- BARROSO, J. A., CABRAL S., FERNANDES C. E. M., PEDRITO, A. E. S., SILVA JÚNIOR, G. C. (1987), *Problemas de Mapeamento Geológico-Geotécnico de Encostas com Favela de Alta Densidade Populacional*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, ABGE, Anais: São Paulo – SP, V2, pp. 267-278.
- BERTONI, J. O. e LOMBARDI NETO, F. (1985), *Conservação do Solo*. Piracicaba, Livroceres, pp. 368.
- BOLT, B. A.; HORN, W.L.; MACDONALD, G.A.; SCOTT, R.F. (1975), *Geological Hazards*. Berlim, Spriger-Verlag, 328p.

- BRABB, E. E. (1984), *Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping*. In: Fourth International Symposium on Landslides, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, Vol.1, pp. 307-323.
- BRABB, E. E. (1985), *Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping*. In: International Conference and Field Workshop on Landslides, 4, Japão. Vol. 1, pp. 17-22.
- BRAND, E. W., PREMCHITT, J. e PHILLIPSON, H. B. (1984), *Relationship Between Rainfall and Landslides in Hong Kong*. Proc 4^o International Symposium Landslides, Toronto, Vol.1, pp.377-384.
- BROWN, C. B. e SHEU, M. S. (1975), *Effects of Deforestation on Slopes*. JGED, ASCE, Vol.101, pp. 147-165.
- BRAYN, R. B. (1974), *Water Erosion by Splash and the Erodibility of Albertan Soil*. Geogr. Annlr., pp.159-181.
- BURNETT, A. D. e STYLES K. A. (1982), *An Approach to Urban Engineering Geological Mapping as Used in Hong Kong*. In: International Congress of the IAEG, New Delhi. Proceedings. Vol.1, pp.167-176.
- BUSTAMANTE, M. e HERMELIN, M. (1990), *Geologia Ambiental del area urbana de Medellin, Colombia*. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, 1990, São paulo. ABGE. pp.471-481.
- CARDONA, O. D. (1993), *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo*. In: MASKREY, A. (org.) *Los desastres no son naturales*. Bogotá: La Red.
- CARDONA, O. D. A. (1996), *El manejo de riesgos y los preparativos para desastres: compromiso institucional para mejorar la calidad de vida*. In: MASKREY, A. (editor) *Desastres: modelo para armar*. Coleccion de piezas de un rompecabezas social, cap.9 .
- CARVALHO, C. S. (1996), *Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão*. São Paulo, 192p. Tese (Doutorado em Engenharia de Solos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CERRI, L. E. S. (1992), *Prevenção e controle de acidentes geológicos urbanos associados a escorregamentos no Brasil : proposições técnicas fundamentadas na*

- realidade sócio-econômica brasileira*. In: Simpósio Latino Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 2, Pereira. *Anais...Pereira*, Colômbia: Carder/ Ingeominas/ Eafit/ Agid/ Iugs/ Iaeg/ Onad.
- CERRI, L. E. S. e CARVALHO, C. S. (1990), Hierarquização de situações de risco em Favelas no Município de São Paulo, Brasil – Critérios e Metodologia. In *Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológicos Urbano*, V.1, pp.150-157. São Paulo-SP. ABGE.
- CHOUBEY, V.D. e LITORIA, P.K. (1990), *Landslide Hazard Zonation in the Garhwal Himalaya: A Terrain Evaluation Approach*. Proceedings of the 6th International Congress IAEG, Amsterdam, Vol. 1, pp. 65-72.
- COSTA NUNES, A. J. (1969), *Landslides in Soils of Decomposed Rock due to Intense Rainstorms*. In International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, México, SMMS, Vol. 2, pp. 547-554.
- COSTA NUNES, A. J. (1982), *Recuperation of Roads Subjected to Intense Rains*. In Technical Journal of the Engineering Society of Bahia, Vol.1, pp. 3-12
- COZZOLINO, V. M. N. e NOGAMI, J. S. (1993), *Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais*. Solos e Rochas, São Paulo, Vol. 16, No 2, pp.77-91, ago.
- DAEE (1990), *Controle de Erosão: Bases Conceituais e Técnicas; Diretrizes para o Planejamento Urbano e Regional; Orientações para o Controle de Boçorocas Urbanas*. São Paulo, DAEE – IPT, 2^a Edição.
- DEERE, D. U. e PATTON, F. D. (1971), *Slope Stability in Residual Soils*. Proc. 4nd Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Juan, vol.1, pp.98-170.
- ELBACHÁ, A. T., CAMPOS, L. E. P., BAHIA, R. F. C. (1992), *Tentativa de Correlação entre Precipitação e deslizamentos na Cidade de Salvador*. In 1^a Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, V 2, pp. 647-656.
- EINSTEIN, H. H. (1997), *Landslide risk - systematic approaches to assessment and management*. In: International Workshop On Landslide Risk Assessment, Honolulu, 1997. *Proceedings...* Rotterdam: Balkema, pp.25-49.

- EINSTEIN, H. H. (1988), *Landslides Risk Assessment Procedure*. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, pp. 1075-1089.
- FARMER, E. E. (1993), *Relative Detachability of Soil Particles by Simulated rainfall*. Soil Science Society American Proceedings, pp.629-633.
- FERREIRA, S. R. M. (1991), *Relatório de Estudos Geotécnicos do Alto do Burity*. UFPE, Recife-PE.
- FREIRE, E. S. de M. (1965), *Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática*. Revista Construção, Rio de Janeiro, V.8, n.95.
- GRAY, D. H. e LEISER, A. J. (1982), *Role of Vegetation in Stability and Protection of Slopes*. In: Biotechnical Slope Protectional and Erosion Control. New York. Van Nortrand Reinhold. pp. 37-65.
- GUERRA, A. J. T. (1998), *Processos Erosivos nas Encostas*. Geomorfologia. Uma Atualização de Bases e Conceitos. 3^a. Ed Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- GUIDICINE, G. e IWASA, O. Y., (1976), *Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamento em Meio Tropical*. Publicação IPT/São Paulo, n. 1080, pp.48.
- GUIDICINE, G. e IWASA, O. Y., (1977), *Tentative Correlation Between Rainfall and Landslides in a Humid Tropical Environment*. Bulletin of International Association of Engineering Geology (IAEG), n^o.16, pp.13-20.
- GUSMÃO FILHO, J. A.; ALHEIROS, M. M.; JUSTINO DA SILVA, J. M.; GUSMÃO, A. D.; BASTOS, E. G.; LEAL, P. C.; FERREIRA, H. N. (1993), *Mapeamento de Risco das Encostas Ocupadas do Recife*. Gusmão Eng. Associados. URB / CODECIR, Relatório Técnico. Recife, 32 p; 3 mapas 1:10.000; anexos.
- HEAD, K. H. (1994), *Manual of Soil Laboratory Testing*. Permeability, shear strength, and compressibility tests, ed. 2, V.2, London, Pentech Press.
- HEAD, K. H. (1980), *Manual of Soil Laboratory Testing*. London, Pentech Press.
- HUTCHINSON, J. N. (1968), *Mass Movement*. In: Encyclopedia of Geomorphology. New York: Ed. R.W. Fairbridge. Reinhold Book.
- IUGS-WGL (Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment) (1997), *Quantitative risk assessment for slopes and landslides - the state of the art*. In: Landslide risk assessment. Rotterdam: Balkema.pp.3-12.

- IPT (1994), *Carta Geotécnica do Estado de São Paulo*. 2V (IPT – Publicação 2089).
- KATES, R. W. (1980), *Climate and Society: Lessons from Recent Events*. Weater, v.35, N.1, Jan, pp.17-25.
- KIM, S. K., HONG, W. P. e KIM, Y. M. (1991), *Prediction of rainfall-triggered landslides in Korea*. Landslides Bell (ed.), Balkema, pp.989-994.
- KOCKELMAN, W. J. (1986), *Some Techniques for Reducing Landslide Hazards*. In Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. 23, N^o 1, pp. 29-52.
- LAMBE, T. W. e WHITMAN, R. V. (1976), *Mecânica de Suelos*. LIMUSA, Mexico, Vol.1, pp.41-51.
- LEVILLAIN, J. P. (1987), *Les risques hydrauliques: inondations, érosions, affouillements*. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, N. 150-151, Jun./Aou./Sept./Oct., pp.158-168.
- LLOPIS TRILHO, G. (1999), *Control de la Erosión y Obras de Desague*. Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes. Entorno Grafico S. L., Madri.
- LU, Z. (1985), *Basic Contents and Methods in Landslide Prediction*, in International Conference and Field Workshop on Landslides, 4 Japão, Japan Landslide Society, v1, pp.74-78.
- LUMB, P. (1975), *Slope Failures em Hong Kong*. In Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.8, pp.31-35.
- OLIVEIRA, M. A. T, (1999), *Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas*. Erosão e conservação do Solo, Ed Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- POESEN, J. (1981), *Rainwash Experiments on the Erodibility of Loose Sediments*. Earth Surface Processes and Landforms, pp.285-307.
- PRANDINI, E. L., GUIDICINI, G., OBTURA, J. A., PONCANO, W. C., SANTOS, A. R. (1976), *Atuação da Cobertura Vegetal na Estabilidade de Encostas: Uma Resenha Crítica*, In: IPT, Publicação N^o 1074, Mossoró, 22p.
- PRANDINI, NAKAZAWA e FREITAS (1992), *Cartografia Geotécnica nos Planos Diretores Regionais e Municipais*. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado

de São Paulo. Curso de Geologia de Engenharia aplicada a problemas ambientais. São Paulo: DIGEM/AGAMA. pp.233-254.

RAGOZIN, A. L. (1998), *Theory and practice of geological risk assessment and management*. In: Congress of International Association for Engineering Geology And The Environment, 8, Vancouver. *Proceedings...* Rotterdam: Balkema. Vol.2, pp.879-86.

RODRIGUES, B. B. (1998), *Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de Águas de Lindóia - SP - escala 1:10000*. São Carlos. Dissertação (Mestrado em geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos- USP.

ROSSI, P. H., WRITHT, J. D. e WEBER-BURDIN (1982), *Natural Hazards and Public Choice*. The State and Local Politics of Hazard Mitigation Academic Press, New York, pp.337.

SANTOS, R. M. M. (1997), *Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões do Município de Goiânia*, Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília.

SALOMÃO, F. X. T. e IWASA, O. Y. (1995), *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*, São Paulo, ABGE/IPT Cap.3, pp.31-57.

SOETERS, R. e WESTEN, C. J. (1996), *Slope Instability Recognition, Analysis, and Zonation*. In *Landslides Investigation and Mitigation*. Cap 8.

SOUZA PINTO, C. , GOBARA, W., PERES, J. E. E. e NADER, J. J. (1993), *Propriedades dos Solos Residuais*. Solos do Interior de São Paulo. ABMS/USP- São Carlos. São Carlos. Vol.1, pp.95-142.

STEVENSON, P. C. (1977), *Na Empirical Method for the Evaluation of Relative Landslides Risk*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Prague, N. 16, pp.69-72.

SWANSTON, D. N., e SCHUSTER, R. L. (1989), *Long-Term Landslide Hazard Mitigation Programs: Structure and Experience from Other Countries*. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. 26, No. 1, pp.109-133.

- TATIZANIA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S., ROCHA, M. C. M. (1987), *Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos*, In: V CBGE, São Paulo, Vol. 2, pp.225-236.
- UNDRO - OFFICE OF THE UNITED NATIONS DISASTERS RELIEF COORDINATOR (1978), *Disaster Prevention and Mitigation: A Compendium of Current Knowledge. Land use Aspects*. Vol. 5. New York.
- VARGAS, M. (1971), *Discussão à Sessão II*. Proc. 4th Pan-American Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering. Porto Rico.
- VARGAS, M. (1981), *Progresso dos Estudos Geotécnicos dos Solos Tropicais em São Paulo*. Simp. Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. COPPE/UFRJ-CNPq - ABMS. Rio de Janeiro. Vol.2, pp.66-120.
- VARGAS, Jr. E., COSTA FILHO e PRADO CAMPOS, L. E. (1986), *A Study of the Relationship Between the Stability of Slopes in Residual Soils and Rain Intensity*. International Symposium on Environmental Geotechnology, Leigh, pp.491-500.
- VARNES, D. J. (1978), *Slope Movement Types and Processes. Landslides Analysis and Control*, WASHINGTON, D. C., National Academy of Sciences, pp.11-33.
- VARNES, D.J. (1984), *Landslide Hazard Zonation: A review of Principles and Practice*. UNESCO, Paris, pp.63.
- VIEIRA, N. M (1978), *Estudo Geomorfológico das Boçorocas de Franca*. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Franca.
- WATERSTONE, M. (1989), *Risk analysis and management of natural and technological hazards: a social/behavioral science perspective*. In: Conference on Risk Analysis And Management of Natural and Man-Made Hazards, 3, Santa Barbara, California, 1987. *Proceedings...* New York: American Society of Civil Engineers. pp.72-80.
- WILCHES-CHAUX, G. *La vulnerabilidad global*. In: MASKREY, A. (comp.) *Los desastres no son naturales*. Disponível na Internet via <http://www.lared.org.pe/Publicaciones/libros/2042/2042.htm>
- WOLLE C. M. (1994), *4ª Sessão Técnica: Contenção e Estabilidade de Taludes*. Relato X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. ABMS. Anais. Volume Pós-Congresso. Foz de Iguaçu. pp.207-224.

- WONG, H. N., HO, K. e CHAN, Y. C. (1997), *Assessment of Consequences of Landslides*. Workshop on Landslide Risk Assessment in Practice, Honolulu, February 1997, in *Landslide Risk Assessment*, Cruden and Fell (Editors), Balkema, Rotterdam.
- ZUQUETTE, L. V. (1987), *Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras*. Tese (Doutorado) EESC/USP, São Carlos. 4v.
- ZUQUETTE, L. V. (1993), *Importância do Mapeamento Geotécnico no uso e Ocupação do meio Físico: Fundamento e Guia para Elaboração*. Tese de livre docência EESC/USP, São Carlos. 2v.