

ALESSANDRA CARREIRO BAPTISTA

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE MASSA, EROSÃO E  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM NOVA FRIBURGO, RJ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

B222a  
2009

Baptista, Alessandra Carreiro, 1975-  
Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa,  
erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ /  
Alessandra Carreiro Baptista. – Viçosa, MG, 2009.  
xxii, 352f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Maria Lúcia Calijuri.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 339-352.

1. Drenagem. 2. Erosão. 3. Solos – Conservação.  
4. Planejamento urbano. 5. Cônego, Rio, Bacia.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 627.4

ALESSANDRA CARREIRO BAPTISTA

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE MASSA, EROSÃO E  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM NOVA FRIBURGO, RJ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2009.




---

Prof. Dario Cardoso de Lima  
(Co-Orientador)



---

Dra. Ecidinéia Pinto Soares  
(Co-Orientadora)




---

Prof. Lázaro Valentin Zuquette



---

Prof. Eduardo Antonio Gomes Marques



---

Profª. Maria Lúcia Calijuri  
(Orientadora)

*À memória de meu pai, João Baptista*

*"Para o céu, o meu destino.."*

*Cristo guia os passos meus.."*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, princípio de tudo. A ti, Senhor, todo louvor e toda glória.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realizar o Curso.

À muito querida e admirável Prof<sup>a</sup> Maria Lúcia Calijuri, minha orientadora, exemplo de dedicação e ética profissional, pela orientação, compreensão e estímulo.

Aos coorientadores Dario Cardoso de Lima e Ecidinéia Pinto Soares, pela amizade e compreensão.

Aos professores Lázaro Valentin Zuquette e Eduardo Marques, membros da banca, pelas valiosas sugestões e contribuições.

À Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, representada pela Secretária de Obras, Margareth Nacif, pelos esclarecimentos e material cedido.

À Casa do Plano Diretor (PRÓ-CIDADE), aqui representada pelo Secretário Silvio Montenegro e o Geógrafo, Pedro Higgins, pelas imagens orbitais cedidas.

À Defesa Civil pelo material cedido e pelos esclarecimentos prestados, representada pelo Cel. Marrafa e Cel. Morry.

Ao Engenheiro José Augusto Steinbruck (Zé do Banjo) e ao Geólogo Carlos Eduardo Osório (CPRM), por cederem, gentilmente, parte do material utilizado neste trabalho.

Ao hidrólogo Francisco Eustáquio pela grande contribuição com a drenagem.

Aos amigos Hugo Pólo (Geólogo) e André Ghizi (Geólogo) pelas contribuições dadas a este trabalho.

Aos meus amigos do SIGEO, pela motivação, além das importantes contribuições à realização deste trabalho.

Aos amigos Carla Almeida e Sérgio Pereira pelas traduções.

À minha família e amigos, meus maiores amores, pelo carinho e compreensão.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil, pela troca de idéias e de experiências;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da UFV, pelo excelente convívio.

À Cristina, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo apoio administrativo.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

# CONTEÚDO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. O Tema .....	1
1.2. Objetivos.....	7
1.3. Abrangências e Limitações da Tese .....	8
1.4. Organização da Tese.....	9
CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA .....	11
2.1. Introdução .....	11
2.2. Organização Espacial das Cidades e os Fatores que Direcionam o seu Crescimento.....	16
2.3. Classificação e Caracterização de Movimentos de Massa em Encostas .....	17
2.3.1. Classificação dos Movimentos de Massa em Encostas.....	19
2.3.2. Caracterização dos Movimentos de Massa em Encostas.....	22
2.4. Conceitos Referentes aos Componentes de Risco, Acidentes e Desastres.....	25
2.5. Identificação e Análise de Riscos a Escorregamentos .....	30
2.6. Proposta de Política de Controle da Drenagem Urbana.....	36
2.7. Medidas para Controle das Inundações .....	37
2.7.1. Medidas Estruturais .....	38
2.7.2. Medidas Não-Estruturais.....	38
2.8. Percentual de Impermeabilização como Indicador Indireto da Urbanização .....	39
2.8.1. Efeito da Urbanização nos Mananciais.....	40
2.8.1.1. Efeito da Urbanização sobre o Regime Hídrico .....	40
2.8.1.2. Efeitos da Urbanização sobre a Morfologia dos Cursos D'água .....	41
2.8.1.3. Efeitos da Urbanização sobre a Ecologia das Comunidades Aquáticas .....	43
2.8.1.4. Efeitos da Urbanização sobre a Qualidade da Águas.....	43
2.8.1.5. Erosão Pluvial Acelerada e o Processo de Assoreamento ...	45
2.9. Cheias Urbanas .....	47
2.9.1. O Problema das Cheias Urbanas.....	48
2.10. Modelagem Hidrológica.....	49
CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	52
3.1. Características Gerais.....	52
3.1.1. Localização e Características Geográficas.....	52
3.1.2. Uso e Ocupação do Solo .....	53

	<b>Página</b>
3.1.3. Topografia .....	55
3.1.4. Geomorfologia .....	56
3.1.5. Geologia .....	57
3.1.6. Pedologia .....	60
3.1.7. Climatologia.....	61
3.1.8. Hidrografia.....	62
3.1.9. Informações Populacionais.....	72
3.1.10. Infra-Estrutura e Serviços Públicos.....	74
3.1.10.1. Abastecimento de Água.....	74
3.1.10.2. Esgotamento Sanitário.....	74
3.1.10.3. Disposição Final dos Resíduos Sólidos .....	75
3.2. Aspectos Jurídico-Legais.....	76
3.2.1. Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo (PDP) .....	77
3.2.2. Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (PAP) .....	80
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>84</b>
4.1. Materiais.....	84
4.2. Métodos .....	85
4.2.1. Metodologia Utilizada para a Geração dos Documentos Cartográficos .....	86
4.2.1.1. MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente .....	87
4.2.1.2. Carta de Classes de Declividades .....	88
4.2.1.3. Carta Geomorfológica.....	89
4.2.2. Metodologia Utilizada para a Suscetibilidade aos Movimentos de Massa Gravitacionais .....	90
4.2.2.1. Descrição dos Fatores.....	91
4.2.2.2. Agregação dos Fatores.....	96
4.2.3. Elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão .....	98
4.2.3.1. Descrição dos Fatores.....	100
4.2.3.2. Agregação dos Fatores.....	106
4.2.4. Metodologia Utilizada para a Expansão Urbana .....	107
4.2.4.1. Processo de Análise .....	108
4.2.4.2. Descrição dos Fatores.....	108
4.2.4.3. Agregação dos Fatores .....	115
4.2.4.4. Cenários Finais.....	117
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>121</b>
5.1. Suscetibilidade à Erosão .....	121
5.2. Mapeamento da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa Gravitacionais.....	132
5.2.1. Condicionantes Naturais.....	141
5.2.1.1. Geologia .....	141
5.2.1.2. Geomorfologia .....	145
5.2.1.3. Solos .....	150
5.2.2. Condicionantes Antrópicos .....	157
5.3. Expansão Urbana.....	171
<b>CAPÍTULO 6. PADRÕES CONSTRUTIVOS.....</b>	<b>181</b>
6.1. Critério para a Avaliação dos Padrões Construtivos .....	183
6.1.1. Estrutura.....	183

	<b>Página</b>
6.1.2. Acabamento .....	183
6.1.3. Tipologia Urbana .....	183
6.2. Definição dos Padrões Construtivos .....	184
6.3. Mapa dos Padrões Construtivos .....	184
<b>CAPÍTULO 7. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CÔNEGO</b>	<b>209</b>
7.1. Estudos Hidrológicos .....	209
7.1.1. Aspectos Gerais .....	209
7.1.2. Procedimentos Metodológicos .....	209
7.1.3. Análise de Precipitações .....	211
7.1.4. Características Físicas das Sub-Bacias .....	218
7.1.5. Modelagem de Chuvas Intensas .....	220
7.1.5.1. Chuva de Projeto .....	222
7.1.5.2. Distribuição da Chuva .....	224
7.1.5.3. Estatística de Extremos .....	225
7.1.6. Modelagem Hidrológica .....	232
7.1.7. Cálculo dos Hidrogramas .....	257
7.1.8. Distribuição Temporal da Chuva .....	262
7.2. Diagnóstico do Sistema Atual .....	263
7.2.1. Localização e Principais Características .....	263
7.2.2. Análise dos Dados Hidrométricos .....	267
7.2.3. Resultado das Simulações .....	270
7.2.4. Capacidade de Descarga .....	281
7.3. Conseqüências .....	306
7.4. Medidas Recomendáveis .....	310
7.4.1. Medidas Estruturais Extensivas .....	311
7.4.1.1. Controle da Cobertura Vegetal .....	312
7.4.1.2. Controle da Erosão .....	314
7.4.1.3. Detenção dos Escoamentos .....	315
7.4.2. Priorização .....	328
<b>CAPÍTULO 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>330</b>
<b>CAPÍTULO 9. CONCLUSÕES</b> .....	<b>336</b>
<b>CAPÍTULO 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>33</b>

# LISTA DE TABELAS

Página

## CAPÍTULO 2

Tabela 2.1	Classificação de movimentos de massa .....	19
Tabela 2.2	Classificação sintética dos movimentos de encosta .....	22
Tabela 2.3	Classificações de algumas propostas brasileiras de movimentos de massa gravitacionais .....	24
Tabela 2.4	Definições de conceitos básicos por ZUQUETTE, 1993.....	26
Tabela 2.5	Definições de conceitos básicos do Grupo de Trabalho sobre escorregamentos.....	27
Tabela 2.6	Graus de risco em função da possibilidade de ocorrência dos processos destrutivos associados a escorregamentos e solapamentos de margens de córregos em favelas, adotados pela CPRM e a Prefeitura de Nova Friburgo (RJ) em 2007 para zoneamento de encostas.....	32
Tabela 2.7	Tipos de cartas geotécnicas .....	33
Tabela 2.8	Conceitos de mapa, planta e carta geotécnicos, segundo ZUQUETTE & GANDOLFI.....	33
Tabela 2.9	Conceitos de predisposição, componentes e atributos, segundo AMARAL JR. ....	35
Tabela 2.10	Lista de componentes e atributos que influenciam os movimentos de massa e o processo de erosão, empregados neste trabalho.....	35
Tabela 2.11	Causas e efeitos da urbanização sobre as cheias dos rios.....	40

## CAPÍTULO 3

Tabela 3.1	Limites de Nova Friburgo.....	53
Tabela 3.2	Unidades de Conservação .....	54
Tabela 3.3	População residente por situação.....	73
Tabela 3.4	Densidade demográfica.....	73
Tabela 3.5	Vazões dos sistemas produtores de Nova Friburgo.....	74
Tabela 3.6	Toneladas de resíduos recebido pelo aterro por mês .....	76
Tabela 3.7	Estrutura seguida pelo Programa Municipal de Drenagem.....	80

	<b>Página</b>
Tabela 3.8	Hierarquização das ações emergenciais..... 80
Tabela 3.9	Medidas não-estruturais de controle ..... 82
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Tabela 4.1	Tabela contendo as classes de declividades utilizadas..... 88
Tabela 4.2	Tabela contendo o grau de suscetibilidade para o condicionante geológico ..... 92
Tabela 4.3	Tabela contendo as classes morfológicas e o grau de suscetibilidade respectivo ..... 93
Tabela 4.4	Classes de vegetação e uso atual das terras..... 93
Tabela 4.5	Classes de declividade relacionadas aos diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais ..... 94
Tabela 4.6	Classes de declividades e graus de risco ..... 94
Tabela 4.7	Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição para o Cenário 1.... 97
Tabela 4.8	Classes finais definidas para o Cenário 2 ..... 98
Tabela 4.9	Precipitação pluvial média anual e suscetibilidade à erosão..... 101
Tabela 4.10	Tabela contendo as classes litológicas e o grau de suscetibilidade respectivo ..... 101
Tabela 4.11	Tabela contendo as classes litológicas e o grau de suscetibilidade respectivo ..... 102
Tabela 4.12	Tabela contendo as classes morfológicas e o grau de suscetibilidade respectivo ..... 103
Tabela 4.13	Classes de declividades e graus de risco ..... 103
Tabela 4.14	Classes de vegetação e uso atual das terras..... 104
Tabela 4.15	Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição..... 106
Tabela 4.16	Classes finais definidas para a suscetibilidade à erosão..... 107
Tabela 4.17	Restrições utilizadas na análise ..... 107
Tabela 4.18	Fatores utilizados na análise. Funções <i>fuzzy</i> adotadas e seus respectivos pontos de controle ..... 110
Tabela 4.19	Tabela contendo as classes de suscetibilidade à erosão e a adequabilidade correspondente para a expansão urbana..... 111

Tabela 4.20	Tabela contendo o resultado do cruzamento entre as classes geológicas e as classes de declividades e a adequabilidade para cada nova classe .....	111
Tabela 4.21	Tabela contendo o resultado do cruzamento entre a classes morfométricas e as classes de declividades e o grau de risco para cada nova classe .....	112
Tabela 4.22	Classes de vegetação e uso atual das terras.....	113
Tabela 4.23	Unidades Territoriais de Planejamento (UTP's) .....	114
Tabela 4.24	Importância relativa entre os fatores .....	115
Tabela 4.25	Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição.....	116
Tabela 4.26	Resumo dos cenários finais propostos.....	118
<b>CAPÍTULO 5</b>		
Tabela 5.1	Área e percentual dos graus de suscetibilidade à erosão .....	125
Tabela 5.2	Área e percentual dos graus de suscetibilidade aos MMG.....	135
Tabela 5.3	Distribuição das classes de declividades .....	141
Tabela 5.4	Áreas identificadas, em 2003, pela Defesa Civil Municipal.....	165
<b>CAPÍTULO 6</b>		
Tabela 6.1	Legenda da Carta de Padrões Construtivos.....	185
Tabela 6.2	Área das unidades de Padrões Construtivos .....	200
<b>CAPÍTULO 7</b>		
Tabela 7.1	Postos pluviométricos selecionados .....	212
Tabela 7.2	Média das chuvas acumuladas mensais de outubro a setembro (mm) .....	213
Tabela 7.3	Média mensal das precipitações máximas de outubro a setembro (mm) .....	215
Tabela 7.4	Período de retorno para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025) .....	217
Tabela 7.5	Quantil adimensional ( $\mu$ ) para o posto Nova Friburgo) .....	223
Tabela 7.6	Aplicação dos modelos probabilísticos para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025) .....	230
Tabela 7.7	Aderências dos modelos probabilísticos para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025) .....	230

Tabela 7.8	Estimativa de parâmetros estatísticos para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025) .....	231
Tabela 7.9	Precipitações resultantes da distribuição Weibull.....	232
Tabela 7.10	Correspondência entre os valores de CN para as diversas condições de umidade do solo.....	238
Tabela 7.11	Valores de CN em função da cobertura e do tipo de solo (condição II de umidade).....	239
Tabela 7.12	Caracterização da sub-bacia 1 (SUB1) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	243
Tabela 7.13	Caracterização da sub-bacia 2 (SUB2) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	244
Tabela 7.14	Caracterização da sub-bacia 3 (SUB3) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	245
Tabela 7.15	Caracterização da sub-bacia 4 (SUB4) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	246
Tabela 7.16	Caracterização da sub-bacia 5 (SUB5) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	247
Tabela 7.17	Caracterização da sub-bacia 6 (SUB6) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	248
Tabela 7.18	Caracterização da sub-bacia 7 (SUB7) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	249
Tabela 7.19	Caracterização da sub-bacia 8 (SUB8) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	250
Tabela 7.20	Caracterização da sub-bacia 9 (SUB9) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	251
Tabela 7.21	Caracterização da sub-bacia 10 (SUB10) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	252
Tabela 7.22	Caracterização da sub-bacia 11 (SUB11) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	253
Tabela 7.23	Caracterização da sub-bacia 12 (SUB12) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	254
Tabela 7.24	Caracterização da sub-bacia 13 (SUB13) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	255
Tabela 7.25	Caracterização da sub-bacia 14 (SUB14) para obtenção do número da curva (condição II de umidade) .....	256
Tabela 7.26	Valores médios de CN, calculados para a bacia do rio Cônego .....	257

Tabela 7.27	Histórico das precipitações que resultaram em inundações, período entre 1971 e 2005 .....	267
Tabela 7.28	Características físicas e vazões calculadas para a bacia do rio Cônego.....	274
Tabela 7.29	Valores do coeficiente de rugosidade de Manning para as condições do canal .....	284
Tabela 7.30	Valores do coeficiente de rugosidade de Manning para canais artificiais.....	284
Tabela 7.31	Valores do coeficiente de rugosidade de Manning para canais naturais.....	285
Tabela 7.32	Caracterização da seção 1 (SEC1) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	286
Tabela 7.33	Caracterização da seção 2 (SEC2) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	287
Tabela 7.34	Caracterização da seção 3 (SEC3) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	288
Tabela 7.35	Caracterização da seção 4 (SEC4) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	289
Tabela 7.36	Caracterização da seção 5 (SEC5) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	290
Tabela 7.37	Caracterização da seção 6 (SEC6) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	291
Tabela 7.38	Caracterização da seção 7 (SEC7) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	292
Tabela 7.39	Caracterização da seção 8 (SEC8) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	293
Tabela 7.40	Caracterização da seção 9 (SEC9) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning .....	294
Tabela 7.41	Caracterização da seção 10 (SEC10) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.....	295
Tabela 7.42	Caracterização da seção 11 (SEC11) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.....	296
Tabela 7.43	Diagnóstico da capacidade de descarga, TR de 20 e 50 anos. ....	297
Tabela 7.44	Classificação geral dos dispositivos de infiltração, NAKAMURA (1988) .....	318
Tabela 7.45	Dispositivos de controle de entrada, CANHOLI (2005). ....	323

# LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>		
Figura 1.1	Tráfego em meia pista devido ao deslizamento ocorrido no Km 1 da RJ-130, que liga o município de Nova Friburgo à Teresópolis.....	3
Figura 1.2	Ciclo de contaminação.....	6
<b>CAPÍTULO 2</b>		
Figura 2.1	Escorregamento em encosta, Bairro Floresta, Nova Friburgo – RJ, em dezembro de 2006, provocando três mortes.....	13
Figura 2.2	Seções de escoamento .....	15
Figura 2.3	Moradia desprovida de estrutura executada sem controle técnico, além da precariedade na coleta do esgoto domiciliar e do lixo, Bairro Olaria, Nova Friburgo – RJ .....	23
Figura 2.4	Processo de erosão no rio São Francisco, 2002 .....	46
<b>CAPÍTULO 3</b>		
Figura 3.1	Localização e limites do Município de Nova Friburgo.....	53
Figura 3.2	Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro.....	56
Figura 3.3	Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Destaque para o município de Nova Friburgo.....	58
Figura 3.4	Mapa de Solos de Nova Friburgo.....	60
Figura 3.5	Mapa de Clima de Nova Friburgo.....	61
Figura 3.6	Mapa da Divisão Hidrográfica Nacional, com destaque para a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste.....	63
Figura 3.7	Macrorregiões Ambientais do Estado do Rio de Janeiro.....	64
Figura 3.8	Bacia e Sub-Bacias do rio Bengalas .....	65

		<b>Página</b>
Figura 3.9	Rio Santo Antônio à montante da confluência com o rio Cônego.....	67
Figura 3.10	Santo Antônio - Rua Coronel Zamite .....	67
Figura 3.11	Rio Cônego à montante da confluência com o rio Santo Antônio .....	68
Figura 3.12	Rio Cônego próximo ao Country Clube .....	69
Figura 3.13	Rio Bengalas, início da contenção das margens .....	70
Figura 3.14	Confluência do rio Santo Antônio com o rio Cônego.....	71
Figura 3.15	Rio Bengalas, fim da contenção das margens.....	71
Figura 3.16	Córrego D'Antas próximo à confluência com o rio Bengalas....	72
Figura 3.17	Evolução da população por situação do domicílio .....	73
Figura 3.18	Divisão das Unidades Territoriais de Planejamento (UTP), PDP de Nova Friburgo.....	78
Figura 3.19	Zonas e subzonas urbanas da UTP do rio Bengalas e ribeirões, PDP de Nova Friburgo .....	79
<b>CAPÍTULO 4</b>		
Figura 4.1	Fluxograma das etapas de trabalho para a suscetibilidade à erosão e aos movimentos de massa gravitacionais.....	85
Figura 4.2	Vista transversal de uma depressão espúria de um MDE (a) e da depressão espúria preenchida (b) .....	88
Figura 4.3	Formas das vertentes .....	89
Figura 4.4	Reescalados a valores de suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais, variando de 0 (suscetibilidade mínima) a 255 (suscetibilidade máxima).....	95
Figura 4.5	Gráfico da distribuição dos valores de suscetibilidade aos MMG, valor de suscetibilidade vs. frequência das unidades do terreno. ....	98
Figura 4.6	Fatores reescalados a valores de suscetibilidade à erosão, variando de 0 (suscetibilidade mínima) a 255 (suscetibilidade máxima).....	105
Figura 4.7	Gráfico da distribuição dos valores de suscetibilidade à erosão, valor de suscetibilidade vs. frequência das unidades do terreno .....	107
Figura 4.8	Funções do conjunto <i>fuzzy</i> .....	109
Figura 4.9	Espaço estratégico de decisão OWA.....	117

	<b>Página</b>
Figura 4.10	Posição dos cenários finais no espaço estratégico de decisão .... 119
Figura 4.11	Cenários finais ..... 120
<b>CAPÍTULO 5</b>	
Figura 5.1	Carta síntese de suscetibilidade à erosão..... 124
Figura 5.2	Locais de deposição de material erodido, fundo dos vales ..... 127
Figura 5.3	Localização dos reservatórios de retenção no Córrego D'Antas, previsto no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (2007). ..... 128
Figura 5.4	Deslizamento em corte, via de acesso na localidade de Barroso ..... 129
Figura 5.5	Cenário 1 ..... 133
Figura 5.6	Cenário 2 ..... 134
Figura 5.7	Vista geral da área sujeita a inundações na margem direita e de solapamentos e deslizamentos na margem esquerda do rio Grande..... 138
Figura 5.8	Carta de classes de declividades..... 140
Figura 5.9	Imagem orbital Quickbird, 2005, mostrando a região de Olaria e Cônego, onde são significativos os afloramentos rochosos ..... 142
Figura 5.10	Região no centro da cidade, os afloramentos rochosos aparecem, ora desnudos, ora cobertos por musgos, líquens e bromélias (abr/2008). ..... 143
Figura 5.11	Maciço rochoso destacando suas feições e descontinuidades estruturais localidade Barroso..... 144
Figura 5.12	Superfície de deslizamento no contato entre solo e rocha, expondo a rocha com foliação mergulhando no sentido do deslizamento..... 145
Figura 5.13	Superfície de deslizamento no contato entre solo e rocha, expondo a rocha com foliação mergulhando no sentido do deslizamento..... 146
Figura 5.14	Ocupação irregular às margens do rio Grande, janeiro de 2007, distrito de Riograndina ..... 146
Figura 5.15	Imagem orbital Quickbird, 2005, mostrando a região geomorfológica compreendida pelos bairros do Cônego e Cascatinha, em Nova Friburgo..... 148

	<b>Página</b>
Figura 5.16	Do alto da Pedra do Elefante se observa o bairro de Olaria. Blocos soltos em primeiro plano e material detrítico acumulado por quedas e deslizamentos em sua base ..... 151
Figura 5.17	Ocupação de terrenos de colúvio e tálus no bairro do Santo André, Nova Friburgo..... 151
Figura 5.18	Perfil de alteração em solo residual, Estrada Granja Spinelli (abr/2008). ..... 152
Figura 5.19	Deslizamento de terra no bairro Duas Pedras, janeiro de 2007.... 153
Figura 5.20	Escorregamento de solo, de grande proporção no Centro da cidade, janeiro de 2007 ..... 154
Figura 5.21	Cicatriz de escorregamento e ocupação descriteriosa no bairro da Vilage, Nova Friburgo, janeiro de 2007C ..... 155
Figura 5.22	Muro tombado, indício de movimentação ..... 157
Figura 5.23	Escorregamento de solo no bairro da Califórnia, Nova Friburgo, janeiro de 2007 ..... 158
Figura 5.24	Cicatrizes de escorregamento e ocupação descriteriosa na localidade de Canto do Riacho, Nova Friburgo, janeiro de 2007.. 159
Figura 5.25	Deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais, ausência de guias e sarjetas, Jardim Califórnia ..... 159
Figura 5.26	Precariedade da coleta do esgoto domiciliar, com lançamento de águas servidas no talude ..... 160
Figura 5.27	Construção inadequada, Vila Amélia..... 161
Figura 5.28	Corte mal executado (vertical) em talude instável (a) e lançamento de lixo e detritos em talude (b), bairro Vilage ..... 162
Figura 5.29	Remoção da vegetação natural, bairro Olaria ..... 163
Figura 5.30	Pontos do Plano Municipal de Redução de Riscos sobrepostos ao Cenário 2 ..... 166
Figura 5.31	Proposta de ocupação 1 para a expansão urbana ..... 174
Figura 5.32	Proposta de ocupação 2 para a expansão urbana ..... 175
Figura 5.33	Igreja Nossa Senhora do Amparo, em Amparo, Nova Friburgo ..... 176
<b>CAPÍTULO 6</b>	
Figura 6.1	Mapa dos Padrões Construtivos ..... 186
Figura 6.2	Padrão construtivo tipo I..... 187

	<b>Página</b>
Figura 6.3 Padrão construtivo tipo I .....	188
Figura 6.4 Padrão construtivo tipo I .....	188
Figura 6.5 Padrão construtivo tipo I* .....	189
Figura 6.6 Padrão construtivo tipo II .....	190
Figura 6.7 Padrão construtivo tipo II .....	191
Figura 6.8 Padrão construtivo tipo III .....	191
Figura 6.9 Padrão construtivo tipo III .....	192
Figura 6.10 Padrão construtivo tipo III .....	193
Figura 6.11 Padrão construtivo tipo III .....	193
Figura 6.12 Padrão construtivo tipo III .....	194
Figura 6.13 Padrão construtivo tipo IV .....	195
Figura 6.14 Padrão construtivo tipo IV .....	195
Figura 6.15 Padrão construtivo tipo V .....	196
Figura 6.16 Padrão construtivo tipo V .....	197
Figura 6.17 Padrão construtivo tipo V .....	197
Figura 6.18 Padrão construtivo VI .....	198
Figura 6.19 Padrão construtivo VI .....	199
Figura 6.20 Padrão construtivo VI .....	200
Figura 6.21 Casas atingidas por deslizamento de terra, na localidade de Lagoinha, em janeiro de 2007 .....	201
Figura 6.22 Casas atingidas por deslizamento de terra, no bairro do Jardimlândia, com uma vítima fatal, em janeiro de 2007 .....	202
Figura 6.23 Ocupação irregular em Riograndina, Nova Friburgo, janeiro de 2007... ..	203
Figura 6.24 Ocupação intensa em encosta, no Canto do Riacho, Nova Friburgo, janeiro de 2007.....	204
Figura 6.25 Ocupação de terrenos em colúvios e tálus, no Centro, Nova Friburgo, janeiro de 2007.....	205
Figura 6.26 Detalhes da ocupação desordenada no bairro Floresta.....	207

## CAPÍTULO 7

Figura 7.1	Postos pluviométricos na região de Nova Friburgo e adjacências. ....	211
Figura 7.2	Precipitação acumulada mensal média nos postos pluviométricos na região de Nova Friburgo.....	213
Figura 7.3	Precipitação acumulada mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo.....	214
Figura 7.4	Precipitação acumulada mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo .....	214
Figura 7.5	Precipitação máxima mensal média nos postos pluviométricos na região de Nova Friburgo. ....	215
Figura 7.6	Precipitação máxima mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo.	216
Figura 7.7	Precipitação máxima mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo.....	216
Figura 7.8	Precipitações máximas anuais médias para o posto Cascatinha do Cônego (2242025), rio Cônego.....	218
Figura 7.9	Fluxograma de execução dos estudos hidrológicos.....	220
Figura 7.10	Dados de intensidade de precipitação calculados a partir da equação IDF de DAVIS & NAGHETTINI, 2000 .....	224
Figura 7.11	Distribuição probabilística de melhor ajuste para o posto Cascatinha do Cônego (2242025), rio Cônego.....	232
Figura 7.12	Imagem contendo a bacia hidrográfica do rio Cônego e suas sub-bacias .....	234
Figura 7.13	Seqüência de cálculo do Método do Soil Conservation Service...	235
Figura 7.14	Imagem segmentada e classificada.....	241
Figura 7.15	Histograma de umidade antecedente do solo para a estação 2242025 .....	242
Figura 7.16	Esquema para a bacia do rio Cônego.....	258
Figura 7.17	Distribuição acumulada da precipitação, 1º quartil (a), 2º quartil (b), 3º quartil (c) e 4º quartil (d) .....	263
Figura 7.18	Estrutura de partilha do escoamento das águas pluviais .....	264
Figura 7.19	Cônego, trecho localizado no bairro Cascatinha.....	265

	<b>Página</b>
Figura 7.20 Rio Cônego, trecho localizado no bairro Olaria .....	265
Figura 7.21 Rio Cônego, na região central do distrito Sede, próximo à confluência com rio Santo. Antônio .....	266
Figura 7.22 Áreas inundáveis na bacia do rio Cônego, segundo o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, para uma chuva com TR de 20 anos .....	267
Figura 7.23 Hietograma gerado para uma chuva de 24h e TR de 20 anos (a) e hidrograma (b). .....	268
Figura 7.24 Hietograma para a estação Pico da Caledônia.....	269
Figura 7.25 Localidade do Ouro Preto, afetada pelas chuvas do dia 21/01/2009 .....	269
Figura 7.26 Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 2 anos.....	270
Figura 7.27 Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 5 anos.....	271
Figura 7.28 Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 10 anos.....	271
Figura 7.29 Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 20 anos.....	272
Figura 7.30 Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 50 anos.....	272
Figura 7.31 Divisão da bacia em trechos em decorrência das diferentes declividades longitudinais do canal principal – rio Cônego .....	275
Figura 7.32 Remoção da mata ciliar, ocupação do leito maior do rio Cônego e lançamento de águas residuárias, trecho no bairro Cônego .....	277
Figura 7.33 Lançamento de resíduos sólidos domésticos nas margens do rio Cônego, trecho localizado no bairro Olaria.....	278
Figura 7.34 Degradação ambiental na bacia do rio Cônego; (a) pedreira; (b) resíduo industrial; (c) ocupação das margens; (d) ocupação de encostas; (e) resíduo sólido; (f) assoreamento; (g) esgoto doméstico; (h) águas residuárias.....	279
Figura 7.35 Parâmetros hidráulicos para definição do nível d'água em seções de travessias ou pontes .....	296
Figura 7.36 Hidrograma com chuva de 24 horas para diferentes períodos de retorno.....	298

	<b>Página</b>
Figura 7.37 Cotas de extravasamento das seções transversais e níveis d'água máximos para o rio Cônego – cenário atual 2005.....	298
Figura 7.38 Seção transversal de trecho não canalizado em Olaria.....	299
Figura 7.39 Ponte sobre o rio Cônego, acesso entre o Centro e o Parque São Clemente .....	302
Figura 7.40 Travessia de tubulação .....	303
Figura 7.41 Ocupação do leito e margens do rio Cônego .....	303
Figura 7.42 Ocupação da várzea do rio Cônego, próximo à seção 2 .....	304
Figura 7.43 Ocupação das margens do rio Cônego, bairro Olaria.....	305
Figura 7.44 Vários pontos de alagamento pelo transbordamento do rio Bengalas no distrito de Conselheiro Paulino em janeiro de 2007.....	308
Figura 7.45 Interdição do acesso ao Instituto Politécnico da UERJ na Vila Amélia, localidade afetada pelas chuvas de janeiro de 2007 .....	308
Figura 7.46 Estações hidrométricas instaladas pelo Sistema de Alerta de Cheias da Região Serrana – Nova Friburgo.....	312
Figura 7.47 Vegetação rupestre (campo de altitude) no Pico do Caledônia, com os Três Picos ao Fundo.....	313
Figura 7.48 Ilustração esquemática dos conceitos de reservação vs canalização .....	316
Figura 7.49 Jardins utilizados como maneira de retardar a entrada na rede de drenagem, Portland (EUA), 2002 .....	317
Figura 7.50 Esquema de uma superfície de infiltração (a) e superfície de infiltração Portland (EUA), 2002 (b).....	319
Figura 7.51 Esquema de uma valeta de infiltração aberta (a) e exemplos de valeta de infiltração aberta, Portland (EUA), 2002 (b).....	319
Figura 7.52 Valeta de infiltração complementada com trincheira de percolação .....	320
Figura 7.53 Esquema de uma bacia de percolação em uma residência (a) esquema de uma valeta acoplada à boca-de-leão e exemplo de bacia de percolação, Portland (EUA), 2002 (c) .....	320
Figura 7.54 Esquema ilustrativo de pavimentos porosos .....	321
Figura 7.55 Pavimentos porosos – Parque Ibirapuera, São Paulo (a) e Portland EUA, 2002 (b) .....	321

	<b>Página</b>
Figura 7.56	Esquema de uma estrutura típica de um poço de infiltração..... 322
Figura 7.57	Esquema de aproveitamento de águas coletadas ..... 323
Figura 7.58	Armazenamento de águas de chuva para reutilização, São Paulo, 1999 ..... 324
Figura 7.59	Esquema de uma trincheira de infiltração ..... 325
Figura 7.60	Exemplos de retardamento em áreas públicas, Denver (EUA) ..... 326
Figura 7.61	Ampliação do pico de cheias por efeito da bacia de retenção..... 327

## RESUMO

BAPTISTA, Alessandra Carreiro, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ.** Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Coorientadores: Dario Cardoso de Lima e Ecidinéia Pinto Soares.

O município de Nova Friburgo, localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro apresenta características potenciais para o desenvolvimento de áreas de risco, pois se posiciona em região de topografia acidentada e mostra-se em processo desordenado de urbanização, principalmente, na bacia hidrográfica do rio Bengalas. Na região estudada, a suscetibilidade está relacionada com os padrões de relevo e seus parâmetros morfométricos (declividade, amplitude de relevo) e morfológicos, tais como, escarpas, encostas de elevações, tipos de rocha, classes de solos, processos morfodinâmicos e uso das terras. Este trabalho, implementado em dez capítulos, teve como objetivos: (1) a apresentação de um diagnóstico e a elaboração da análise da suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais; (2) a proposição de áreas para a expansão urbana que não agravem o problema dos movimentos de massa e (3) diagnóstico e equacionamento da drenagem urbana da bacia do rio Cônego. Para isso, foram apontados os processos geológicos-geotécnicos existentes, suas principais causas e fatores físico-antrópicos condicionantes, e a partir dos dados digitais existentes, as informações foram analisadas e classificadas como fatores ou restrições para o processo denominado Análise Multicritério, através dos quais foram gerados cenários finais para a tomada de decisão. No município, a ocorrência dos movimentos de massa é uma consequência do modelo de ocupação, aliado ao desmatamento e à instabilidade natural do meio, onde não foram utilizadas práticas de construção e conservação do solo. Em geral, as áreas de risco envolvem populações de baixa renda que ocupam porções de declive acentuado das encostas, sem os devidos critérios. As características físicas associadas à forma de ocupação no ambiente urbano da bacia do rio Cônego propagam reflexões de interesse hidrológico, principalmente quando os instrumentos de análise propostos nas simulações concluem advertências de impactos ambientais. Pretende-se, assim, gerar subsídios para a busca de soluções e futuras intervenções, por parte do poder público municipal.

## ABSTRACT

BAPTISTA, Alessandra Carreiro, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2009. **Assessment of susceptibility to mass movements, erosion and runoff in Nova Friburgo, RJ.** Advisor: Maria Lúcia Calijuri. Co-Advisers: Dario Cardoso de Lima and Ecidinéia Pinto Soares.

The county of Nova Friburgo, situated on the mountain area of the State of Rio de Janeiro (Southeast Brazil) presents potential features for development of risk factors, once it is located in a topographical unstable and in a chaotic process of urbanization, mainly, in the hydrographic of the Bengalas river basin. On the region under study, the susceptibility is related to the relief and its morphometric parameters (declivity, amplitude of relief) and morphological factor, such as cliffs, hillsides at elevations, kinds of rocks, soils, morphodynamic processes and landuses. This work, implemented in 10 chapters aims to: (1) presentation of diagnostic and elaboration of the analysis of susceptibility to gravitational mass movements; (2) Proposition of areas of urban expansion which do not increase existing problems of mass movements; and (3) diagnosis and equating the urban drainage of Cônego river basin. For such, it was underlined existing geological-geotechnical processes, their main causes as well as conditioning physical-antropic factors, and starting from existing digital data, information was fully analyzed and classified as factors or restrictions for the process named Multicriteria Analysis, through which final scenarios were generated for the decision taking process. In the city, the occurrence of mass movements is a consequence of the type of occupation, coupled with deforestation and the instability of the natural environment, which were not used in construction practices and soil conservation. In general, the areas of risk involving low-income populations that occupy portions of the slopes steep slope, without the proper criteria. The physical characteristics associated with the form of occupation in the urban environment of the Cônego river basin propagate ideas of hydrological interest, especially when the instruments of analysis proposed in the simulations conclude warnings of environmental impacts. It is our aim though, generate subsidies for solutions and future interventions on the part of municipal authorities.

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. O Tema

O recente lançamento do Relatório sobre a Situação da População Mundial 2007, do Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA, 2007), resgatou o debate sobre o processo de urbanização no Brasil e no mundo, agora sob a luz de novas preocupações e desafios globais. Não por acaso, a discussão concentra-se em torno dos países em desenvolvimento. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), vive-se um momento único na história da humanidade: pela primeira vez tem-se mais da metade da população mundial residindo em áreas classificadas como urbanas. Segundo as mesmas estimativas, em 2030, ter-se-á um adicional de cinco bilhões de pessoas vivendo em cidades (UNFPA, 2007).

A urbanização e a alta densidade populacional caracterizam os assentamentos humanos atuais. A urbanização é o fenômeno social, econômico e ambiental mais significativo das últimas décadas, afetando significativamente todos os aspectos do planejamento, desenvolvimento e gestão das sociedades humanas (UNFPA, 2007).

Ainda segundo o relatório, a urbanização - o aumento da parcela urbana na população total - é inevitável e pode ser positiva. A atual concentração da pobreza, o crescimento das favelas e a ruptura social nas cidades compõem, de fato, um quadro ameaçador. Contudo, nenhum país na era industrial conseguiu atingir um crescimento econômico significativo sem a urbanização. As cidades concentram a pobreza, mas também representam a melhor oportunidade de se escapar dela.

A maioria dos problemas ambientais mais críticos enfrentados pela civilização moderna tem suas origens nos padrões de produção e consumo; esses estão claramente centrados nas áreas urbanas (MARTINE, 2006).

O ambiente é hoje mais 'social' do que nunca, no sentido de que está mais conectado a crenças, ideologias, discursos e construções sociais do que a restrições físico-materiais (BUTTEL et al., 2002). Assim, a percepção dos riscos ambientais se torna hoje uma das forças sociais definidoras das sociedades, incorporando e refletindo novos veículos de ação social e novos padrões estruturais nas sociedades modernas (BUTTEL, 2001). Portanto, não se trata apenas de identificar e analisar as relações entre os artefatos ambientais (áreas verdes, rios, ar, solo) mesclados no cenário urbano das cidades e aglomerações urbanas; pois o espaço urbano é uma expressão física da sociedade moderna que age e interage com a dinâmica socioambiental e,

dessa forma, é o modo de vida urbano que contribui para intensificar os processos que conduzem aos dilemas ambientais.

Dessa forma, as cidades também refletem os danos ambientais causados pela civilização moderna; entretanto, os especialistas e os formuladores de políticas reconhecem cada vez mais o valor potencial das cidades para a sustentabilidade em longo prazo. Mesmo que as cidades gerem problemas ambientais, elas também contêm as soluções. Os benefícios potenciais da urbanização compensam amplamente suas desvantagens. O desafio está em aprender como explorar suas possibilidades.

A sociedade não é apenas o agente transformador da natureza, mas é também um dos resultados da natureza transformada.

A degradação ambiental, em uma interpretação semântica, pode ser definida com a redução do grau de qualidade do ambiente. A degradação do ambiente urbano refere-se à totalidade do ambiental: o natural, o físico e o social (LAVELL, 1996). Dessa forma, o ser humano e suas ações são componentes intrínsecos do ambiente.

Assim, a questão ambiental revela um conjunto de tensões sociais que, nos dias atuais, se tornam mais difusas e anestesiam a capacidade de percepção do risco social. Neste contexto, o urbano e o meio ambiente fazem parte de um único processo e não podem ser tratados separadamente quando se procura discutir questões como a segregação socioespacial, pobreza ou qualidade de vida. Portanto, conforme o processo de urbanização se torna mais cristalizado, cresce o entrelaçamento dos dilemas ambientais (OJIMA, 2007).

A segregação espacial nas cidades reflete-se nos desastres e acidentes ambientais, seletivos ao atingir mais profundamente as populações mais pobres, especialmente nos assentamentos informais (DAVIS, 2006). Nesse contexto, o processo de urbanização do município de Nova Friburgo – RJ ocorreu de forma desigual. A oportunidade de viver com qualidade não se apresentou da mesma forma para todos, levando grande parte da população menos favorecida a ocupar as áreas impróprias para a moradia, tornando essa população vulnerável à ocorrência de acidentes envolvendo danos materiais e vítimas fatais, especialmente nas encostas e margens dos rios.

Além das belezas naturais, Nova Friburgo, Região Serrana do Rio de Janeiro, tem o charme da colonização suíça impresso nas construções e costumes, assim como na culinária. Não obstante, a cidade teve destaque nos jornais de todo país pelas tragédias causadas pelas fortes chuvas em janeiro de 2007, deixando famílias desabrigadas (Figura 1.1), ruas e estradas interditadas (Figura 1.2), serviços de água

e luz interrompidos, além das onze vítimas fatais e onze feridos que tiveram suas casas atingidas por deslizamentos de terra<sup>1</sup>. A Defesa Civil Municipal contabilizou 435 quedas de barreiras e atendeu a mais de 800 chamados nos primeiros dias do ano. A prefeita de Nova Friburgo, Saudade Braga, decretou na tarde do dia 04/01/2007 estado de emergência no município, tendo prioridade em ajuda pelos governos estadual e federal.



**Figura 1.1** – Tráfego em meia pista devido ao deslizamento ocorrido no Km 1 da RJ-130, que liga o município de Nova Friburgo à Teresópolis. (Fonte: Defesa Civil).

A questão do risco em encostas em Nova Friburgo tem sido tradicionalmente tratada através de uma abordagem pontual e restritiva. Os problemas são resolvidos isoladamente, ou seja, fora de um contexto mais abrangente e, geralmente, somente após a ocorrência de um acidente ou de eventos catastróficos, é feita a contabilização de suas conseqüências. As ações, geralmente, têm caráter remediador e emergencial.

Tradicionalmente as situações de risco são detectadas somente após um acidente ou, em alguns casos, quando são detectados movimentos pré ou pós-ruptura na encosta, como mostra o Plano Municipal de Redução de Riscos de Nova Friburgo (2007), objeto de Convênio entre a Prefeitura de Nova Friburgo e o Ministério das Cidades. Mesmo quando são executadas intervenções de cunho preventivo, as decisões são tomadas sem uma avaliação mais detalhada e, geralmente, estão dissociadas de um plano global de intervenções para a redução de riscos.

O conhecimento dos processos desencadeadores dos desastres passa, necessariamente, pelo conhecimento dos elementos que constituem o meio físico

<sup>1</sup> Notícia disponível em <http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/01/09/materia.2007-01-09.2376021417/view>.

(clima, relevo e geologia), já naturalmente frágil da região, e, também, da avaliação correta do comportamento desses elementos face às solicitações dos processos da ocupação antrópica, quase sempre efetuada de forma inadequada e agressiva às características naturais dos terrenos.

Tais fragilidades e o conseqüente comportamento dos terrenos, no entanto, são heterogêneos, dependendo de características locais do relevo, da cobertura do solo e dos tipos litológicos do substrato rochoso. Por esse motivo, essas características devem ser conhecidas e avaliadas corretamente do ponto de vista regional, e, especificamente, para cada suscetibilidade, objeto dos estudos.

Os riscos de escorregamentos são, na maior parte das ocupações, associados à degradação do ambiente devido a ações humanas instabilizadoras do meio físico transformado ou de elementos do ambiente construído. Dessa forma, o presente trabalho destaca-se pela sua importância na identificação da suscetibilidade e do nível de resiliência dos elementos expostos, como uma primeira estratégia na identificação da situação geradora dos riscos, dos processos atuantes e dos fatores de degradação ambiental que podem contribuir para produzir perdas e danos, mas que pode ser modificada pelo grau de gerenciamento existente ou passível de ser implantado.

Na França, a fim de que fosse estabelecida uma cartografia regulamentadora, os estudos físicos passaram a ser mais qualitativos do que quantitativos, permitindo que os documentos fossem elaborados mais rapidamente e de maneira menos custosa, fundada em uma apreciação qualitativa das características e da especificidade dos territórios expostos (VEYRET, 2007).

Paralelamente ao gerenciamento do risco em encostas, a drenagem urbana - compreendida como o gerenciamento da água da chuva que escoar no meio urbano (NOVA FRIBURGO, 2007) - em Nova Friburgo, produziu impactos significativos na infra-estrutura de recursos hídricos, uma vez que, o aumento da população e a expansão irregular da periferia evidenciaram que a cidade sempre foi um produto de decisões isoladas, onde a ausência de planejamento é notória. Como conseqüência, um dos principais impactos ocorridos na drenagem urbana foi o aumento da freqüência e magnitude das inundações e a decorrente degradação ambiental.

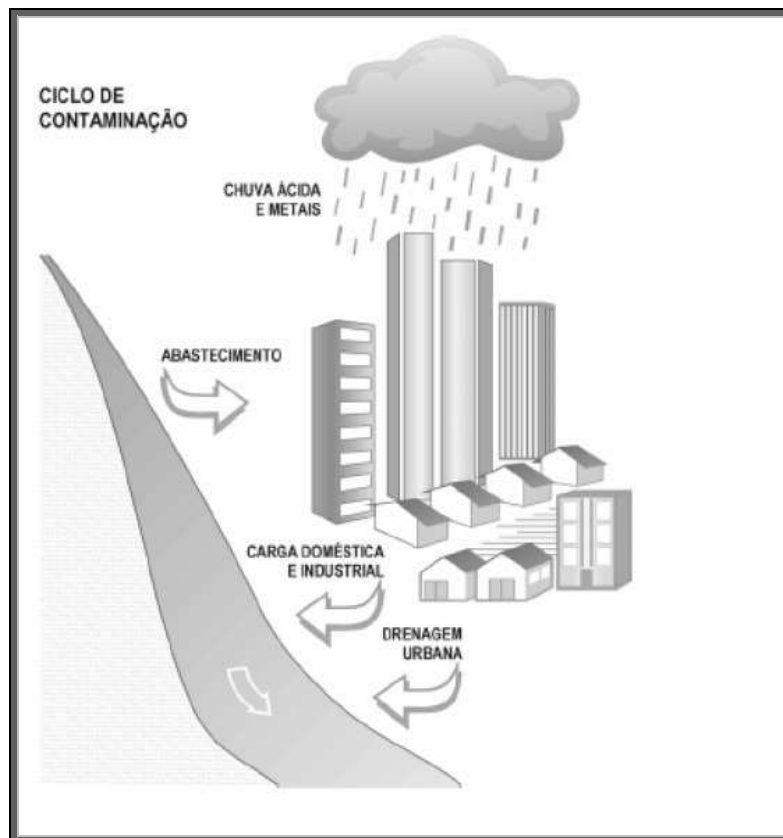
No município, as cabeceiras dos rios afastados do centro urbano, como o rio Macaé e o rio Bonito estão relativamente bem conservadas, com vegetação de Mata Atlântica, em parte devido ao relevo montanhoso da Serra de Macaé, dentro de sua bacia. O mesmo não se verifica nas bacias Santo Antônio, Cônego e Bengalas, que apresentam uma grande deterioração pela ocupação desordenada do solo.

Além das obstruções causadas pelo uso, o assoreamento dos canais provocado pela deposição de sedimentos oriundos dos solos erodidos contribui sobremaneira com as inundações. A impermeabilização dos terrenos pela pavimentação das áreas urbanas aumenta de forma significativa o escoamento superficial das águas pluviais diminuindo o seu tempo de concentração, resultando, também, em enchentes localizadas, principalmente na bacia do rio Bengalas, a mais importante justamente por se tratar da região de desenvolvimento urbano (de acordo com a Lei Municipal n° 2249 de 8 de dezembro de 1988), formada pelos distritos de Nova Friburgo (Distrito Sede), Riograndina, Amparo, Conselheiro Paulino e Mury, e também, as áreas correspondentes à bacia do rio Bengala e seus afluentes: córrego D'antas, rios Santo Antônio e Cônego.

Pela sua posição topográfica, essas terras recebem aporte de águas das áreas mais elevadas, aumentando com isso o escoamento superficial das águas de chuvas, e conseqüentemente a susceptibilidade à erosão.

Além disso, a contaminação das águas pluviais por fontes poluidoras aumenta a importância de um correto planejamento da distribuição das redes de drenagem e da destinação das águas coletadas.

Com o aumento da urbanização, o despejo de esgotos, o uso de produtos químicos pela agricultura, indústria e no ambiente em geral, os recursos hídricos retornam à sua origem (rio) totalmente contaminados. A Figura 1.2 apresenta o ciclo de contaminação.



**Figura 1.2** – Ciclo de contaminação (Adaptado de TUCCI, 2003).

No século XX era comum no meio técnico a concepção de sistemas de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário com redes subterrâneas. Outra característica dos projetos de engenharia, então vigentes, era a canalização quase generalizada dos cursos d'água em meio urbano, sem a preservação de várzeas e áreas de retenção (TUCCI, 2003).

Essa visão focalizava o controle do escoamento na própria calha do curso d'água, não dando muita importância à geração do escoamento nas superfícies urbanizadas.

No início do século XXI a preocupação pela valorização da paisagem urbana, pela melhoria da qualidade de água e preservação dos cursos d'água e lagos no meio urbano aparece a florada.

Atualmente, no que se refere à drenagem urbana, encontra-se no meio técnico uma nova abordagem, mais elaborada e integrada com medidas que visam o desenvolvimento sustentável. A integração das diversas esferas da política municipal, estadual e federal é, para tanto, um fator determinante (In: Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo. Relatório Final. PMNF/FCTH, 2007).

A sustentabilidade da macrodrenagem se relaciona com a implementação de políticas econômicas, sociais e ecológicas (In: Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo. Relatório Final. PMNF/FCTH, 2007).

O controle de cheias obtido por um conjunto de medidas estruturais e não-estruturais permite à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio. A priorização de medidas não estruturais para o tratamento das inundações, segundo TUCCI & BERTONI (2003), além de ser um método mais eficaz, também apresentam custos menores em comparação às medidas estruturais.

A partir do conceito 'ambiental', pretende-se demonstrar que, ao se propor soluções alternativas que, atuando junto a outras estruturas de drenagem convencionais, têm a finalidade de compensar os efeitos da urbanização também em termos qualitativos.

Assim, a análise de suscetibilidade possibilita uma visão integrada das características e processos físicos atuantes na região de estudo, uma vez que a falta de controle e disciplinamento na ocupação das áreas urbanas causa graves problemas sociais e ambientais com a erosão das encostas, o assoreamento de rios e canais pelo aporte dos sedimentos mobilizados e as conseqüentes inundações. A gravidade é maior ou menor dependendo do número de habitantes nas encostas (e margens de rios) e da suscetibilidade destas à erosão. De modo geral, os cuidados com as restrições de ordem geotécnica são negligenciados.

## **1.2. Objetivos**

Este trabalho teve como objetivos principais elaborar a análise qualitativa da suscetibilidade aplicada a encostas urbanas tomando por base elementos do meio físico, a comparação de diferentes cenários de ocupação urbana, o diagnóstico e o equacionamento da drenagem da bacia hidrográfica do rio Cônego.

A quantificação e análise da erosão e suas conseqüências, seja em razão dos movimentos de massa ou das inundações, são fatores fundamentais para que, no momento da tomada de decisão – visando a aplicação de medidas mitigadoras e do desenvolvimento sustentável das cidades, haja uma distribuição justificada dos recursos financeiros, nos dias de hoje cada vez mais escassos.

Assim, com os produtos deste trabalho de pesquisa - diagnóstico, discussão e proposição de estratégias de recuperação ambiental, visando o gerenciamento dos riscos ambientais a escorregamentos e o controle e mitigação das inundações, espera-se contribuir para a construção de alternativas de desenvolvimento local, integrado e sustentável para o município de Nova Friburgo – RJ.

### **1.3. Abrangências e Limitações da Tese**

Para a realização do presente estudo foram aplicadas técnicas cartográficas, utilizando-se de analogia, observação e precisão na organização espacial. O conteúdo da análise foi elaborado a partir de mapas temáticos vetoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e/ou cedidos pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo – PMNF, utilizando-se a técnica de interpretação visual de fotos aéreas (Departamento de Recursos Minerais – DRM, voo 1970), imagens orbitais (Quickbird, 2005), levantamento de campo e outras informações disponíveis sobre o município de Nova Friburgo, área de estudo selecionada.

A dificuldade do estudo do meio físico caracterizou-se pela complexidade advinda do número de variáveis envolvidas, as suas inter-relações e as incertezas e ambigüidade associadas às mensurações destas mesmas variáveis e à forma pela qual deveriam ser combinadas.

Este trabalho utilizou-se de modelos matemáticos, aplicados dentro da metodologia, genericamente conhecida por Sistemas de Suporte a Decisões (SSD), que reproduziram o comportamento do sistema real, envolvendo quatro elementos: variáveis, parâmetros, relações estruturais e algoritmo, permitindo analisar cenários para a suscetibilidade à erosão e aos movimentos de massa, à expansão urbana e para a drenagem urbana, auxiliando o processo de tomada de decisão.

Os modelos foram alimentados com uma base de dados sobre o meio físico: geologia, pedologia, geomorfologia, clima, etc. que, além de conter informações significativas sobre a área de estudo, permitiram relacioná-las entre si e recuperá-las com facilidade e rapidez.

Neste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) se ofereceram como ferramentas capazes de propiciar meios para o levantamento de dados do meio físico, do uso e ocupação da superfície terrestre, bem como, na integração destes dados para posterior análise e interpretação, os quais resultaram em subsídios relevantes às análises realizadas.

A base cartográfica foi produzida em escala 1:250.000 para a suscetibilidade à erosão e 1:50.000 para a predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, propostas para a expansão urbana no município e modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Cônego. A limitação das escalas se deu em razão da inexistência de dados e/ou levantamentos com maior detalhamento para a região estudada.

As informações necessárias para a aplicação do modelo, séries temporais de precipitação, foram obtidas da Agência Nacional de Águas (ANA) e, em seguida, processadas em um tratamento estatístico e aplicadas ao modelo hidrológico

desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (MHSCS). A extração dos elementos fisiográficos (divisão das sub-bacias, rede hidrográfica etc.) da bacia e suas características (comprimento, declive dos trechos etc.) foi realizada a partir dos dados vetoriais do IBGE, das imagens orbitais e do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) gerado para a bacia do rio Cônego.

As limitações quanto à escolha e uso do modelo adotado se deram pela disponibilidade de dados de chuva representativos da região e a inexistência de dados de vazões na bacia de estudo, além da simplificação do comportamento espacial das chuvas. A ausência de dados que caracterizem as vazões de cheia não permitiu a validação do modelo através da verificação de dados diferentes daqueles utilizados na fase de estimativa.

Dessa forma, se buscou a realização de uma investigação planejada, desenvolvida e redigida de acordo com as normas da metodologia consagradas pela ciência, cujos conhecimentos adquiridos puderam ser utilizados para aplicação prática, voltados para a solução de problemas concretos do município de Nova Friburgo e seus cidadãos.

#### **1.4. Organização da Tese**

O presente trabalho encontra-se organizado em 10 capítulos. O primeiro capítulo 1 consiste na introdução ao tema e situa a questão da urbanização e sua relação com os desastres naturais, principalmente aqueles associados aos movimentos de massa, e do impacto do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico. Além disso, apresenta a formulação do problema motivo da pesquisa e, finalmente, sintetiza o objetivo da mesma.

O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura de apoio: a contribuição do meio técnico-científico ao gerenciamento de riscos de movimentos de massa e drenagem urbana. Apresenta, também, a classificação e a caracterização geotécnica dos movimentos de massa mais relevantes no cenário mundial, sob a ótica da análise de suscetibilidade. Introduce o contexto mais amplo do gerenciamento de riscos em encostas, apresentando as principais definições relacionadas ao assunto, expõe abordagens de gerenciamento de risco, exemplifica sistemas de análise e avaliação de suscetibilidade, modelos para a tomada de decisão, controle e monitoramento de risco. Aborda ainda um resumo dos principais aspectos do desenvolvimento do uso do solo, que é a urbanização, fator fundamental dos impactos sobre os sistemas hídricos. Expõe uma visão de conjunto sobre as inundações ribeirinhas, drenagem urbana e medidas de controle para mitigação dos impactos e gestão dentro das cidades.

O capítulo 3 caracteriza a área de estudo, a cidade de Nova Friburgo – RJ, através da sua localização, características geográficas, uso e ocupação do solo, além da

descrição dos aspectos topográficos, geomorfológicos, geológicos, pedológicos, climatológicos e hidrográficos importantes na abordagem complexa e integradora das relações entre a natureza e a sociedade, fundamentais para as análises realizadas nos capítulos posteriores. Traz ainda, os aspectos jurídico-legais em que o município se ampara, os quais norteiam os procedimentos do presente trabalho.

O Capítulo 4 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para o levantamento de informações e para as análises qualitativas e quantitativas dentre as quais se destacam: o mapeamento da suscetibilidade à erosão, o mapeamento da suscetibilidade dos movimentos de massa e as propostas para a expansão urbana na área de estudo.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos através dos procedimentos adotados, fornecendo os subsídios para a elaboração dos documentos cartográficos conjuntamente com a análise da vulnerabilidade das terras à erosão e aos movimentos de massa, apontando os processos geológicos-geotécnicos existentes, suas principais causas e fatores físico-antrópicos condicionantes. A partir dos dados digitais existentes, as informações foram analisadas e classificadas como fatores ou restrições para o processo denominado Análise Multicritério, através dos quais foram gerados cenários finais para a tomada de decisão.

Dentre as causas indutoras da ocorrência do fenômeno dos movimentos de massa em áreas urbanas destacam-se problemas sócio-econômicos e urbanísticos. Nesse sentido, o Capítulo 6 emprega a metodologia construtiva para agrupar os elementos edificados, com vistas à identificação, análise, zoneamento e hierarquização dos padrões construtivos que ocorrem no município de Nova Friburgo.

O capítulo 7 tem por finalidade determinar os hidrogramas de cheia e analisar o caminhamento dos mesmos por um sistema constituído por canais da bacia hidrográfica do rio Cônego e a proposição de estratégias de recuperação ambiental que visem o controle e a mitigação de enchentes.

O capítulo 8 integra as considerações finais em relação ao conjunto de dados obtidos e, por fim, apresenta um elenco de sugestões de trabalhos futuros dentro da linha de mapeamento de suscetibilidade e riscos de movimentos de massa em encostas e drenagem urbana.

O capítulo 9 contém os comentários finais que remetem às questões formuladas nesse trabalho, as conclusões como resultado de uma avaliação crítica da validade das análises propostas.

O capítulo 10 apresenta as referências conforme as normas da ABNT, de todo material utilizado para a realização deste trabalho.

# Capítulo 2

## REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Introdução

Embora a humanidade conviva com os desastres ambientais, desde a sua origem, foi no curto espaço de tempo dos últimos 20 ou 30 anos que se desenvolveu um conjunto de conhecimentos, que “articula componentes sociais e físicos e agrega cerca de trinta diferentes disciplinas acadêmicas” (ALEXANDER, 1997). Mais de dois terços da bibliografia citada nesta tese são datados das últimas duas décadas.

Os acidentes geológicos urbanos associados aos escorregamentos são, dentre os acidentes ambientais, os que provavelmente mais têm provocado mortes no Brasil (CERRI, 1993; MACEDO & AKIOSSI, 1996). A carência de informações sobre as conseqüências de acidentes associados a escorregamentos, também é uma componente característica do gerenciamento do problema no país.

O registro nacional de vítimas e prejuízos por acidentes associados a escorregamentos é bastante impreciso e os dados são duvidosos, uma vez que, raramente, dispõe-se de informação conclusiva, exata e confiável, sejam notas oficiais dos organismos de defesa civil ou locais similares ou reportagens da mídia. Não são infreqüentes as notificações imprecisas dos próprios órgãos públicos locais sobre a ocorrência, cujas conseqüências são minimizadas ou superestimadas, atendendo a interesses imediatos. Muitas informações sobre acidentes associados a eventos pluviométricos intensos não especificam os processos que causaram vítimas ou danos: inundações, escorregamentos, desabamentos, etc. (NOGUEIRA, 2002).

Acidentes associados a escorregamentos e processos correlatos, tais como a erosão e as inundações, podem provocar danos físicos, com conseqüências sobre a vida humana (expresso em número de mortos e feridos) e sobre bens privados, públicos e coletivos (expresso em prejuízos a edificações, instalações industriais e comerciais, infra-estrutura urbana, equipamentos públicos e danos ao meio ambiente).

O mapeamento da predisposição ou vulnerabilidade dos componentes do meio físico aos movimentos de massa gravitacionais possibilita uma visão integrada das características e processos físicos atuantes na região, uma vez que, a falta de controle e disciplinamento na ocupação das áreas urbanas causam graves problemas sociais e ambientais como a erosão das encostas, o assoreamento de rios e canais pelo aporte dos sedimentos mobilizados e as conseqüentes inundações. A gravidade é maior ou menor dependendo do número de habitantes nas encostas (e margens de rios) e da

suscetibilidade destas à erosão. De modo geral, os cuidados com as restrições de ordem geotécnica são negligenciados. Na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, além da alta suscetibilidade à erosão, há uma expressiva ocorrência de blocos de rocha (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

Entre as perdas indiretas, podem-se encontrar os seguintes exemplos (OLSHANSKY & ROGERS, 1987; WOLD JR. & JOCHIM, 1989; CARDONA, 1993; FARAH, 1998):

- interrupção de funcionamento dos transportes, dos serviços públicos e dos meios de informação;
- impactos relacionados à imagem desfavorável de um local, propriedade ou empreendimento sujeitos a escorregamentos, como a desvalorização de bens, a redução dos impostos arrecadados pela desvalorização de propriedades ameaçadas ou atingidas por escorregamentos e a desmotivação de investimentos;
- alteração nas atividades do comércio e da indústria como consequência da queda de produção;
- geração de gastos de reabilitação e reconstrução; com remoção, em caráter provisório ou definitivo dos moradores dos locais afetados para alojamentos provisórios e/ou obtenção e construção de novas moradias para relocações definitivas; execução, nas áreas afetadas, de obras emergenciais para impedir novas ocorrências de escorregamentos; execução de obras de remediação, etc.
- perda de produtividade de terras agrícolas;
- custos para prevenir ou mitigar futuros danos por escorregamentos;
- custos referentes à mobilização de organizações de defesa civil;
- efeitos adversos sobre a qualidade da água superficial - efeitos secundários, como inundações;
- perda de produtividade humana devido a ferimentos ou morte

Segundo NOGUEIRA (2002), a compilação dos dados relativos a riscos ambientais reveste-se de grande importância para o gerenciamento de riscos no país, porque eles permitem o dimensionamento real de um problema muitas vezes subestimado, quando comparado com outras causas de mortes traumáticas no espaço urbano, como aquelas resultantes do trânsito ou da violência<sup>2.1</sup>, ou mesmo com outros desastres

---

<sup>2.1</sup> Dados do Ministério da Saúde referentes à mortalidade por *causas externas* nas capitais de estados brasileiros em 1997 (Jornal O Estado de São Paulo, de 13 de fevereiro de 2000, p.C3) indicam um total

naturais<sup>2.2</sup>, a identificação de áreas e cidades mais suscetíveis a tais acidentes, os períodos de ocorrências e as tendências.

A Figura 2.1 mostra uma cicatriz de escorregamento de terra que atingiu várias casas, causando a morte de três crianças.



**Figura 2.1** – Escorregamento em encosta, Bairro Floresta, Nova Friburgo – RJ, em dezembro de 2006, provocando três mortes (Fonte: Defesa Civil).

Uma das considerações do balanço final da Década Internacional de Redução de Desastres Naturais é que existem muito poucos dados fidedignos sobre as perdas causadas pelos desastres naturais (OCHA, 1999 e CASTRO, 2003). Os autores sugerem a padronização dos métodos empregados para a coleta desses dados e a utilização das estatísticas nacionais sobre perdas. Nesse sentido, a Rede Latino-Americana de Estudos Sociais tem desenvolvido um inventário de conseqüências dos

---

anual de aproximadamente 35,2 mil óbitos, sendo cerca de 15,1 mil devidos a homicídios, 9,2 mil por acidentes de trânsito, 1,8 mil em decorrência de quedas, 1,6 mil por suicídios e 1,4 mil por afogamentos. Estimam também que, para cada morte provocada por tais acidentes, há 3 casos de pessoas cujos ferimentos provocam seqüelas.

<sup>2.2</sup> CERRI (1993) mostra a distribuição percentual das causas das 4,08 milhões de mortes causadas no século XX por acidentes naturais, apoiados em dados do COMMITTEE FOR DISASTER RESEARCH OF COUNCIL OF JAPAN (1993): terremotos, 50,9%; enchentes, 29,7%; tufões e furacões, 18,8%; erupções vulcânicas, 1,9%; *tsunamis*, 0,5%; escorregamentos, 0,5%. Em uma compilação dos desastres naturais mais significativos entre 1977 e 1997, utilizando como critério a seleção de conseqüências com mais de mil óbitos ou mais de US\$ 1 bilhão de prejuízos, ALEXANDER (1997) relaciona terremotos, furacões, tufões, ciclones tropicais, enchentes, fenômenos vulcânicos, secas e incêndios. Nenhum escorregamento figura na tabela.

desastres e acidentes ambientais em países da América Latina (VELÁSQUEZ & ROSALES, 1999), registrando seus efeitos sobre a vida humana, moradias, setores econômicos, serviços e infra-estrutura, além do parâmetro de número de mortes e moradias destruídas para cada cem mil habitantes.

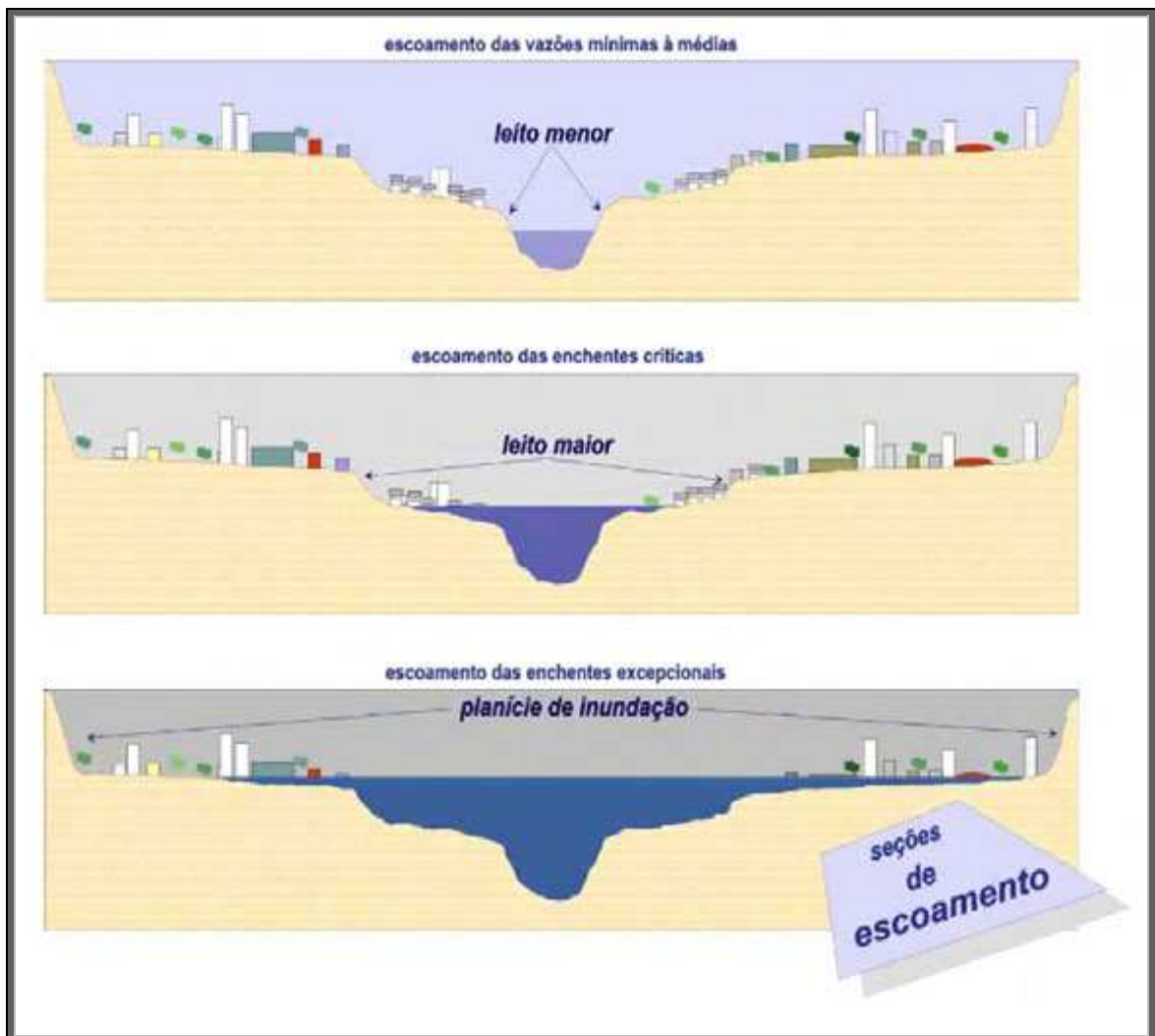
Segundo dados do Centro de Pesquisas em Epidemiologia de Desastres Naturais (CRED), da Universidade Católica de Louvain, Bélgica, em seu relatório “Desastres em Número 2007”, nas Américas, entre os anos de 2000 e 2006, 3,3% da população foi dizimada, em média, em consequência de desastres naturais. Em 2007 esse número cresceu para 12,2%.

Os impactos das mudanças ambientais globais, particularmente os riscos relacionados ao clima, afetam desproporcionalmente as populações pobres e vulneráveis — moradores de favelas e de invasões nas encostas, em áreas mal drenadas ou baixadas litorâneas (UNFPA, 2007).

A inundação urbana é um evento tão antigo quanto às cidades ou aglomerações urbanas. Esse evento pode ocorrer devido ao comportamento natural dos rios, quando o excesso do volume da chuva que não consegue ser drenado, ocupa a várzea e inunda, de acordo com a topografia, as áreas próximas aos rios (inundações ribeirinhas), ou pode ocorrer pelo efeito da alteração produzida pelo homem na urbanização devido à impermeabilização das superfícies e canalização dos rios (TUCCI, 2003).

A Figura 2.2 mostra as áreas naturais de inundação, tais áreas cumpriram um papel importante no amortecimento e na retenção das águas das enchentes caso não fossem ocupadas pela população.

No que diz respeito à drenagem urbana, o controle de cheias obtido por um conjunto de medidas estruturais e não-estruturais permite à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio. A priorização de medidas não estruturais para o tratamento das inundações, segundo TUCCI & BERTONI (2003), além de ser um método mais eficaz, também apresentam custos menores em comparação às medidas estruturais.



**Figura 2.2** – Seções de escoamento (SEMADS, 2001).

As inundações em áreas urbanas representam um grave problema para as cidades brasileiras, uma vez que atingem áreas densamente ocupadas ocasionando prejuízos consideráveis e irreparáveis para a população. Um conjunto de fatores pode ser relacionado quanto à ocorrência das inundações. Certamente, um dos mais preocupantes é a falta de planejamento para ocupação de bacias hidrográficas, resultando na ocupação de áreas consideradas de risco de inundação. A população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais seguros ao contrário da população carente que ocupa as áreas de alto índice de inundação, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia na região. Quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densificação das áreas inundáveis.

O problema das inundações urbanas é complexo uma vez que envolve ações multidisciplinares e abrangentes sobre a bacia hidrográfica como um sistema integrado e dinâmico. Ações isoladas podem apenas transferir de local as inundações.

## **2.2. Organização Espacial das Cidades e os Fatores que Direcionam o seu Crescimento**

De acordo com MELLO (2002), o espaço é um atributo de todos os valores de uso. Dessa forma, tanto um objeto quanto seu uso exigem lugares e, portanto, definem espaços. O espaço da cidade é formado pela justaposição de diferentes usos da terra. Conforme o uso é definida a área central, onde normalmente se concentram as atividades comerciais, de serviço e de gestão, bem como as áreas residenciais, as indústrias, as de expansão, dentre outras.

A urbanização e a alta densidade populacional caracterizam os assentamentos humanos atuais. A urbanização é o fenômeno social, econômico e ambiental mais significativo das últimas quatro décadas, afetando significativamente todos os aspectos do planejamento, desenvolvimento e gestão das sociedades humanas.

O espaço ocupado por localidades urbanas está aumentando mais rapidamente do que a própria população urbana. Entre 2000 e 2030, o crescimento esperado da população urbana mundial é de 72%, enquanto as áreas construídas das cidades com 100 mil habitantes ou mais devem aumentar 175%. Estimativas recentes, baseadas em imagens de satélite, indicam que todas as áreas urbanas juntas (incluindo áreas verdes e áreas construídas) cobrem apenas 2,8% do território do planeta. Isso significa que aproximadamente 3,3 bilhões de pessoas ocupam uma área ligeiramente menor do que o Japão (UNFPA, 2007).

Segundo o relatório do III Fórum Urbano Mundial do UN-Habitat (2006/7), a maioria das áreas urbanas é constituída de parcelas críticas de terra. Sua crescente taxa de expansão, e onde e como a terra adicional é incorporada à composição urbana, são aspectos que têm implicações sociais e ambientais significativas para as populações futuras.

As inter-relações acontecem de forma dinâmica e se dão por meio dos transportes e das comunicações, sendo, assim, dependentes da disponibilidade de infra-estrutura. Por esse motivo, as vias de circulação desempenham importante papel no crescimento físico da cidade.

A dinâmica social cria o sítio social, superposto ao sítio natural. O funcionamento da sociedade transforma seletivamente os lugares adequando-os as suas necessidades. Por isso, determinados pontos tornam-se mais atrativos e adquirem maior valor (SANTOS & KOBIYAMA, 2004).

HERZER & GUREVICH (1996) definem o meio ambiente urbano como o conjunto das diferentes relações estabelecidas entre a sociedade e o meio físico construído, que acontecem em um determinado espaço territorial, que é a cidade.

O relevo é o principal elemento a condicionar o processo de urbanização. A declividade dos terrenos de uma região tende a conduzir o crescimento urbano ao longo dos vales, seguindo as áreas de menor cota, ou seja, o crescimento tende a se processar mais no sentido do vale do que transversalmente a ele. Entretanto, com o avanço tecnológico, o homem tem conseguido vencer os obstáculos impostos pelo relevo, principalmente por meio da movimentação de terras, causando impactos sobre a paisagem e meio ambiente. Uma das conseqüências dessa atitude é o carreamento do solo, causando erosão e assoreamento dos recursos hídricos.

As condições geológicas podem ser favoráveis ou apresentar limitações a determinado tipo de uso do solo. Algumas formações geológicas se mostram aptas à construção civil no que diz respeito à resistência a cargas, umidade, capacidade de absorção, etc. Outras, por sua vulnerabilidade natural, devem ser destinadas a áreas de lazer, como os parques. Solos frágeis devem ter sua cobertura vegetal mantida a fim de se evitar impactos negativos ao meio ambiente. São, portanto, uma barreira ao crescimento urbano.

Os cursos d'água são um atrativo para as aglomerações humanas. O núcleo original das cidades normalmente surge às margens dos rios, em virtude da necessidade da água para atividades biológicas e produtivas. A manutenção do volume de água nos cursos d'água faz parte do ciclo hidrológico, circulando através do ar, do solo e do subsolo. Por isso, a ocupação urbana deve evitar transformações no meio natural que interfiram no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, na quantidade de água.

O fenômeno da ocupação urbana está intrinsecamente relacionado com a remoção da cobertura vegetal original do solo. Ela contribui para retenção e estabilização dos solos, previne contra a erosão, integra o ciclo hidrológico, ameniza o aumento de temperatura e de poluição do ar, contribui no aspecto estético da paisagem e serve como *habitat* para inúmeras espécies animais. Por isso, sua remoção deve ser planejada de forma a ser redistribuída e, ou, incorporada ao meio ambiente urbano.

### **2.3. Classificação e Caracterização de Movimentos de Massa em Encostas**

Todo o trabalho de Avaliação e Gerenciamento de Risco em encostas é precedido da tarefa de caracterização do fenômeno objeto do caso estudado, e da conseqüente inserção deste dentro de uma classificação de processos de instabilização de encostas. Situar o fenômeno em estudo dentro de uma classificação com terminologia de consenso no meio técnico permite a troca de impressões, bem como, possibilita consultar bancos de dados ou artigos publicados, a fim de coletar informações sobre a

recorrência deste, parâmetros geotécnicos, soluções de intervenção empregadas, etc (OLIVEIRA, 2004).

A princípio, define-se talude como a superfície inclinada de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), resultantes de processos geológicos e geomorfológicos diversos (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998). Os taludes podem ser naturais, quando não houver ação antrópica; ou taludes de corte quando, resultar de escavações ou suavizações; ou ainda, taludes artificiais, que constituem as superfícies inclinadas de aterros de solo, fragmentos de rocha, rejeitos industriais e minerários. O termo encosta natural tem significado, relacionado a áreas mais abrangentes com superfície inclinada sinônimo a vertente de uma elevação ou depressão do relevo. Acrescente-se ainda o termo encosta urbanizada quando a área é extensa e integral ou parcialmente ocupada por moradias, comércio, indústria, sistema viário, equipamentos urbanos, etc.

São conhecidas várias classificações com caracterização dos movimentos de massa em encostas, talvez uma das mais antigas seja a de VARNES (1958 e 1978). WOLLE (1980) cita no âmbito internacional as classificações de SHARPE (1938), TERZAGHI (1950); a “CASAGRANDE LECTURE” (1968), SKEMPTON & HUTCHINSON (1969). No Brasil este mesmo trabalho destaca as classificações propostas por Freire (1965) e VARGAS & PICHLER (1956 e 1957). GUIDICINI & NIEBLE (1976) mencionam os trabalhos de classificação de COSTA NUNES (1969) e a do IPT em 1991, desenvolvida a partir de características dos movimentos de massa gravitacionais de São Paulo (AUGUSTO FILHO, 1995). É importante citar a experiência de BARATA (1969) nas encostas urbanas da cidade do Rio de Janeiro

Segundo OLIVEIRA (2004), mais recentemente, no sentido de globalizar a terminologia, podem-se citar os seguintes trabalhos: VARNES (1978); HUTCHINSON (1988); UNESCO (1993) e do *Transportation Research Board* (1996). Contudo, todas estas classificações têm enfoque em aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos.

No presente trabalho, não se pretende entrar em maiores detalhes na discussão dos sistemas de classificação e caracterização dos movimentos de massa, tarefa que fugiria do enfoque principal. Contudo, pretende-se relacionar os principais fenômenos de instabilização de encostas e sua respectiva caracterização visando a aplicação em análises de predisposição aos movimentos de massa.

### 2.3.1. Classificação dos Movimentos de Massa em Encostas

Os movimentos de massa em encostas são influenciados por fatores como a litologia, estruturas geológicas, hidrogeologia, topografia, clima, vegetação, erosão e atividade sísmica (HUTCHINSON, 1988).

Ainda segundo o mesmo autor, a diversidade de fatores que interferem no processo de movimentos de massa gravitacionais resulta numa variedade de tipos e processos que impossibilitam uma total discretização de tipos na classificação. Apresenta-se na Tabela 2.1 a classificação de movimentos de massa proposta por HUTCHINSON (1988) no 5th International Symposium on Landslides.

**Tabela 2.1 (Continua)** – Classificação de movimentos de massa (HUTCHINSON, 1988).

---

#### **CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS SUB-AÉREOS EM ENCOSTAS**

*(adaptado de HUTCHINSON, 1988)*

---

##### **A. Descarregamentos ou Alívios (*rebounds*)**

Movimentos associados com:

1. Escavações feitas pelo homem;
  2. Erosão natural de vales.
- 

##### **B. Rastejos (*creep*)**

1. Predominantemente, rastejos superficiais sazonais, rastejos de mantos:
    - (a) Rastejo de solos (colúvios), rastejos de tálus (não periglaciais);
    - (b) Rastejo de solos congelados e liquefação (*gelifluction/solifluction*) de detritos granulares (periglaciais).
  2. Rastejo em profundidade, contínuo; rastejo de massa;
  3. Rastejo pré-ruptura; rastejo progressivo;
  4. Rastejo pós-ruptura.
- 

##### **C. Abatimentos (*sagging*)**

1. Abatimento simples, de uma das vertentes de uma montanha, associado com os estágios iniciais de um escorregamento:
    - (a) Rotacional (essencialmente circular), R-depressão;
    - (b) composto (marcadamente não circular), C-depressão;
      - i) lítricas (CL);
      - ii) bi-planar (CB).
  2. Abatimento duplo, de duas vertentes de uma montanha, associado com os estágios iniciais de um duplo escorregamento, causa um alargamento do topo da montanha:
    - (a) Rotacional (essencialmente circular), DR-depressão;
    - (b) Composto (marcadamente não circular).
      - i) lítricas (DCL);
      - ii) bi-planar (DCB).
  3. Abatimento associado com múltiplos tombamentos, T-depressão.
- 

##### **D. Escorregamentos (*landslides*)**

---

**Tabela 2.1 (Continuação)** – Classificação de movimentos de massa (HUTCHINSON, 1988).

1. Rupturas confinadas
  - (a) Em encostas naturais;
  - (b) em taludes artificiais.
2. Escorregamentos rotacionais:
  - (a) Escorregamentos rotacionais simples;
  - (b) Escorregamentos rotacionais sucessivos;
  - (c) Escorregamentos rotacionais múltiplos.
3. Escorregamentos compostos (marcadamente não circulares com superfície de ruptura lístrica ou biplanar):
  - (a) Escorregamentos deflagrados por cisalhamento interno contra a parte posterior:
    - Quando a massa escorregada é moderadamente a pouco frágil;
    - Quando a massa escorregada é muito frágil;
  - (b) Escorregamentos progressivos compostos, envolvendo um escorregamento rotacional na parte posterior e escorregamento translacional frontal.
4. Escorregamentos translacionais.
  - (a) Escorregamentos laminares;
  - (b) Escorregamentos em placas;
  - (c) Escorregamentos em turfa;
  - (d) Escorregamentos em rochas;
    - i) escorregamentos planares; escorregamentos de blocos;
    - ii) escorregamentos em degraus;
    - iii) escorregamentos em cunhas.
  - (e) Escorregamentos de detritos:
    - i) escorregamentos de detritos; avalanches de detritos (não-periglaciais);
    - ii) escorregamentos de camadas ativas (periglaciais);
    - iii) rupturas repentinas com espraiamento.

---

**E. Movimentos de detritos na forma de escoamentos:**

1. Escoamentos de lama (não-periglaciais):
  - (a) Lâminas superficiais;
  - (b) Lóbulos (lobulares ou alongados).
2. Escoamentos de lama periglaciais (liquefação de argilas):
  - (a) Lâminas superficiais;
  - (b) Lóbulos (lobulares ou alongados, ativos e reliquiares).
3. Escoamentos após escorregamentos:
  - (a) em materiais soltos sem coesão;
  - (b) em siltes fracamente cimentados e bastante porosos;
  - (c) em rochas frágeis bastante porosas.
4. Corridas de detritos, escoamentos de detritos saturados em grande a extrema velocidade:
  - (a) envolvendo detritos de rochas intemperizadas (exceto em vulcões):
    - i) corridas de detritos em encostas;
    - ii) corridas de detritos canalizadas; corridas de lama; corridas de lama e fragmentos de

**Tabela 2.1 (Continuação)** – Classificação de movimentos de massa (HUTCHINSON, 1988).

---

rocha.

(b) envolvendo turfa; escoamento em pântanos; ruptura em pântanos.

(c) associados a vulcões; *lahars*:

i) *lahars* quentes;

ii) *lahars* frios.

5. *Sturzstroms*, escoamentos extremamente rápidos de detritos secos, avalanches de fragmentos de rocha.

---

#### **F. Tombamentos**

1. Tombamentos limitados por descontinuidades pré-existent:

(a) Tombamentos simples;

(b) Tombamentos múltiplos.

2. Tombamentos causados por rupturas de tração na parte posterior da massa.

---

#### **G. Quedas (*Rockfall*)**

1. Primárias - destacamentos recentes de material; quedas de solo e fragmentos de rocha.

---

#### **H. Movimentos complexos em encostas**

1. Curvatura de encostas e levantamento do fundo de vales;

2. Movimentos de encosta constituída de blocos;

3. Argilas abandonadas em penhascos;

4. Movimentos de massa colapsando em corridas de lama ou escoamentos no sopé de encostas:

(a) Escorregamentos e corridas de terra;

(b) Escorregamentos rotacionais múltiplos de argilas sensíveis;

(c) Escorregamento por degelo.

5. Escorregamentos causados por erosão devido à exfiltração;

6. Escorregamentos em múltiplas camadas;

7. Escorregamentos em múltiplos níveis.

---

As classificações dos movimentos de massa baseiam-se, normalmente, em características da geometria, dinâmica das superfícies, tipos de materiais, cinemática do movimento e morfologia/morfogênese dos processos.

A classificação de VARNES (1978) é uma das mais utilizadas atualmente (Tabela 2.2) e considerada pela International Association of Engineering Geology - IAEG como a classificação oficial

**Tabela 2.2** – Classificação sintética dos movimentos de encosta (*after* Varnes, 1978 *apud* Sidle et al., 1995, modificado).

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL			
		Rocha	SOLO (ENGENHARIA)		Terra
			Grossoiro	Fino	
<b>Quedas</b>		Rocha	Detritos		Terra
<b>Tombamentos</b>		Rocha	Detritos		Terra
<b>Escorregamentos</b>	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
			Blocos rochosos	Blocos de detritos	Blocos de Terra
	Translacional	Muitas unidades	Rocha	Detritos	Terra
<b>Expansões Laterais</b>		Rocha	Detritos		Terra
<b>Corridas / Escoamentos (*)</b>		Rocha (rastejo profundo)	Detritos (rastejo de solo)		Terra
<b>COMPLEXOS:</b> Combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos					

\* O autor subdivide os diferentes tipos de corridas de acordo com a velocidade e o conteúdo d'água dos materiais mobilizados.

### 2.3.2. Caracterização dos Movimentos de Massa em Encostas

O processo envolvido nas movimentações de massas rochosas ou de solo, mais comumente associado às encostas, compreende uma série de condicionantes complexos, desde a sua causa até o efeito final que é o próprio movimento. É fato comum que as movimentações ocorrem sob a influência de fatores geológicos, topográficos, climáticos e, certamente, sob a influência da ação antrópica (NATALI, 1999).

Os agentes condicionantes, causadores e deflagradores dos movimentos de massa têm sido definidos e classificados, de forma semelhante, por diversos autores. Entretanto, de forma mais clássica, TERZAGHI (1950) enumerou as causas dos escorregamentos em três níveis:

- ☑ causas externas, ligadas às ações externas que alteram o estado de tensão atuante no maciço, que são: aumento da inclinação do talude; deposição de material ao longo da crista do talude e efeitos sísmicos;
- ☑ causas internas, englobando aquelas que atuam reduzindo a resistência ao cisalhamento do solo sem ferir o seu aspecto geométrico visível: aumento da *pressão na água intersticial e o decréscimo da coesão*;

- ☑ causas intermediárias, relativas às ações que não se enquadram em nenhuma das classificações anteriores: a liquefação espontânea, erosão interna e o rebaixamento do nível de água.

Do ponto de vista das ações antrópicas, o IPT (1991) considera que as principais causas de escorregamentos induzidos são o lançamento e concentração de águas pluviais, o lançamento de águas servidas, vazamentos na rede de abastecimento de água ou fossa sanitária, declividade, e altura excessiva de cortes, execução inadequada de aterros, além da deposição de lixo e a remoção inadequada da cobertura vegetal, conforme ilustra a Figura 2.3.



**Figura 2.3** – Moradia desprovida de estrutura executada sem controle técnico, além da precariedade na coleta do esgoto domiciliar e do lixo, Bairro Olaria, Nova Friburgo – RJ (Fonte: Defesa Civil).

LEROUEIL et al. (1996) afirmam que o gerenciamento do uso do solo requer o conhecimento, análise e controle dos fenômenos de movimentos de massa que são conseqüências do comportamento tensão-deformação-tempo dos materiais constituintes das encostas.

Entretanto, esses aspectos não estão explicitamente apresentados nas classificações existentes de movimentos de massa. As classificações são essencialmente geomorfológicas, somente algumas introduzem algumas considerações de comportamento mecânico. Além disso, os aspectos geotécnicos considerados na

literatura de encostas enfocam em sua maioria a estabilidade ao passo que o risco é comumente relacionado aos movimentos.

GUIDICINI & NIEBLE (1976) expõem uma abordagem para a caracterização dos movimentos de massas em encostas descrevendo os agentes e causas, ligados principalmente a aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Cabe aqui fazer a distinção entre os termos agente e causa. Causa é o modo de atuação de um determinado agente. Os referidos autores inferem que um agente pode se expressar por meio de uma ou mais causas. Os autores citam, ainda, o exemplo da água que é um agente que pode influir na estabilidade de uma massa de solo de diversas formas: no desencadeamento de um processo de solifluxo (encharcamento do solo provocado pelo degelo) e no caso de liquefação instantânea (aumento da pressão neutra).

Apoiados nos trabalhos de TERZAGHI (1950) e FREIRE (1965), GUIDICINI & NIEBLE (1976), classificaram os agentes condicionantes em predisponentes e efetivos e as causas foram classificadas em internas, externas e intermediárias.

Dessa forma, a partir do conhecimento das características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e ambientais de uma encosta pode ser dada partida na detecção das principais causas de movimentos de massa sejam estes potenciais, iminentes ou em processo de reativação.

A Tabela 2.3 mostra, resumidamente, as principais classificações brasileiras.

**Tabela 2.3** – Classificações de algumas propostas brasileiras de movimentos de massa gravitacionais (modificado de Amaral JR., 2007).

<i><b>FREIRE (1965) – baseada em SHARPE (1938)</b></i>	<i><b>GUIDICINI &amp; NIEBLE (1984)- baseada em FREIRE (1965)</b></i>	<i><b>IPT (1991)</b></i>
ESCOAMENTOS: ✓ rastejos ✓ corridas	ESCOAMENTOS: ✓ rastejos ✓ corridas	RASTEJOS
ESCORREGAMENTOS: ✓ rotacionais ✓ translacionais	ESCORREGAMENTOS: ✓ rotacionais ✓ translacionais ✓ quedas de blocos ✓ quedas de detritos	CORRIDAS DE MASSA
SUBSIDÊNCIA E DESABAMENTOS	SUBSIDÊNCIA: ✓ subsidências ✓ recalques ✓ desabamentos	ESCORREGAMENTOS: ✓ circulares ✓ planares
	FORMA DE TRANSIÇÃO MOVIMENTOS COMPLEXOS	QUEDAS / TOMBAMENTOS

Para este trabalho será enfatizada a classificação de AUGUSTO FILHO et al. (2005), que ao estudarem os tipos de movimentos de massa que ocorreram em rodovias, agrupou os movimentos de massa em quatro grandes classes e processos:

- ☑ rastejos ou *creeps*;
- ☑ quedas ou *falls*, tombamentos;
- ☑ corridas ou *flows*;
- ☑ escorregamentos propriamente ditos ou *landslides*.

Cada um desses grupos admite subdivisões, com extensas classificações e terminologias específicas.

Os sistemas de classificação baseados em aspectos geológicos-geomorfológicos para movimentos de massa encontram-se bastante evoluídos, com uma abrangência e difusão globais. Inclusive no Brasil, diversos autores apresentam sistemas de classificação com ênfase a fenômenos freqüentemente observados e vivenciados regionalmente ao longo do território nacional. Contudo resta a elaboração de um sistema de classificação que congregue estes fenômenos regionais numa classificação de abrangência nacional.

A caracterização com abordagem, aqui identificada como geológica-geomorfológica-hidroológica e ambiental é uma ferramenta fundamental e indispensável para a análise de risco de movimentos de massa, conforme será visto no decorrer deste trabalho. Não obstante, a caracterização com abordagem geotécnica é fundamental na etapa do gerenciamento de riscos e na elaboração de propostas de intervenção, pois nessa fase são projetadas as obras de drenagem, contenção, projetos de terraplenagem e suavização, e proteção das encostas.

A escassez de parâmetros geotécnicos obtidos através de investigações de campo - compreendendo sondagens e ensaios *in situ* -, instrumentação, coleta de amostras ensaios de laboratório e levantamentos topográficos é o grande fator limitador da caracterização geotécnica. Contudo a organização de um banco de dados, formando um inventário de movimentos de massa (AMARAL & PALMERIO, 1997), com informações e parâmetros de um tipo de movimento característico de uma dada região pode minimizar a falta de dados.

#### **2.4. Conceitos Referentes aos Componentes de Risco, Acidentes e Desastres**

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

ZUQUETTE (1993), nas definições abaixo (Tabela 2.4), traduz o referido termo como evento perigoso, ou mantém sua forma original.

**Tabela 2.4** – Definições de conceitos básicos por ZUQUETTE, 1993.

<b>Evento</b>	Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo.
<b>Evento perigoso</b> ( <i>hazard</i> )	Representa um perigo (latente) que se associa a um fenômeno de origem natural ou provocado pelo homem, que se manifesta em um lugar específico, em tempo determinado, produzindo efeitos adversos nas pessoas, nos bens e/ou no meio ambiente.
<b>Processo perigoso</b>	Conjunto de fenômenos que antecedem o evento perigoso puro ( <i>hazard</i> ) e que é tomado erroneamente como sinônimo de evento perigoso ( <i>hazard</i> ) que conceitualmente são diferentes.
<b>Vulnerabilidade</b>	Característica intrínseca de um sujeito, sistema ou elemento que estão expostos a um evento perigoso ( <i>hazard</i> ), 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).
<b>Risco</b>	É a probabilidade de que ocorram perdas (econômicas, sociais e ambientais), além de um valor e considerado normal ou aceitável para um lugar específico durante um período de tempo determinado. É considerado o resultado da relação entre um <i>hazard</i> e vulnerabilidade dos elementos (seres humanos, residências entre outros) expostos.

Segundo AMARAL JR. (2007), as descrições de situações ou condições de risco de encostas ou movimentos de massa já em curso devem incluir a classificação e caracterização dos movimentos.

Desastres e acidentes podem ser compreendidos como graus distintos da concretização do risco, decrescentes nesta ordem em suas conseqüências.

Desastres são situações nas quais os níveis de perda e destruição sofridos excedem a capacidade normal de resposta e recuperação da população afetada, exigindo medidas extraordinárias ou apoio externo para restaurar ou melhorar os níveis anteriores de bem-estar e oportunidades (LAVELL, 2000a).

O Centro de Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres da Universidade de Louvain (Bélgica) apresenta alguns critérios para identificar 'desastres significativos': número de mortes por evento (100 ou mais); danos significativos (1% ou mais do Produto Nacional Bruto); pessoas afetadas (1% ou mais da população total nacional).

O Grupo de Trabalho sobre escorregamentos da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS-WGL, 1997) sugere as seguintes definições (Tabela 2.5).

**Tabela 2.5** – Definições de conceitos básicos do Grupo de Trabalho sobre escorregamentos (IUGS-WGL, 1997).

<b>Risco</b> ( <i>risk</i> )	Medida da probabilidade e intensidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente. Geralmente, é o produto da probabilidade pelas conseqüências.
<b>Perigo</b> ( <i>danger</i> )	Fenômeno natural (movimento de massa gravitacional) geometricamente e mecanicamente caracterizado.
<b>Ameaça</b> ( <i>hazard</i> )	Uma condição com potencial para causar conseqüências indesejáveis. Ameaças de escorregamento devem ser descritas por zonas e magnitudes.
<b>Elemento sob risco</b> ( <i>Element at risk</i> )	População, edificações, infra-estrutura e componentes ambientais existentes na área potencialmente afetada pelo movimento de massa.
<b>Vulnerabilidade</b> ( <i>vulnerability</i> )	Grau de perda potencial para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada por um escorregamento.
<b>Risco Individual</b> ( <i>individual risk</i> )	Risco de perda de vida ou perdas materiais para um indivíduo que vive ou desenvolve atividades nos domínios da zona exposta ao movimento gravitacional.
<b>Risco social</b> ( <i>societal risk</i> )	Risco de múltiplas perdas (ou mortes) para a sociedade como um todo, causado pelo movimento de massas

Outras definições de risco compiladas por LAVELL (2000b) também incorporam a componente vulnerabilidade:

- ☑ A probabilidade de conseqüências danosas que derivam da interação de ameaças (*hazards*), vulnerabilidade social e o ambiente. Risco é a perda potencial esperada, uma medida de danos futuros possíveis sob determinadas condições (*Emergency Management Australia*).
- ☑ Um conceito estatístico relacionando à probabilidade de que uma condição ou evento negativos afete um indivíduo em determinado espaço e tempo (WHO/EHA).

Para a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2001), vulnerabilidade está relacionada à suscetibilidade (condição de exposição e proximidade a um determinado perigo) e a resiliência<sup>2,3</sup> (nível de resistência e capacidade de absorver impactos externos de uma sociedade ou de um sub-componente desta).

Os termos perigo (*hazard*) e risco (*risk*) são freqüentemente utilizados como sinônimos. Mas, eles não são. O perigo é um fenômeno natural que ocorre em épocas e região conhecidas que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto. Assim, perigos naturais (*natural hazards*) são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera, podendo constituir um evento danoso e serem modificados pela atividade

<sup>2,3</sup> O termo *resiliência*, originário da física e da engenharia (*resiliência de materiais*), tem recentemente sido bastante utilizado nas ciências sociais e humanas (YUNES & SZYMANSKI, 2001), inclusive em estudos de risco e desastres como um dos fatores causais da vulnerabilidade (NOGUEIRA, 2002).

humana, tais como a degradação do ambiente e urbanização. Enquanto que o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo (UNDP, 2004).

Frente a tal diversidade de conceitos e terminologias, serão úteis neste trabalho as definições que possam destacar:

- ☑ a possibilidade de ocorrência de um determinado evento perigoso, com capacidade de causar algum tipo de dano ou prejuízo a uma população ou a um segmento da mesma (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos e componentes do ambiente). A esse componente do risco será atribuído o nome de ameaça ou perigo;
- ☑ a suscetibilidade dos elementos expostos a essa ameaça (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos e componentes do ambiente) de sofrerem danos e prejuízos caso ocorra o evento conforme prognosticado, por estar na área de influência do evento, por sua fragilidade física frente a ele e pela incapacidade de resposta e deficiência para absorver o impacto. Essa suscetibilidade está condicionada às características intrínsecas, conjunturais ou ambientais dos elementos expostos e será chamada de vulnerabilidade.

(1)

$$\mathbf{R = A \times V}$$

O risco (**R**), portanto, é uma condição latente ou potencial, e o seu grau depende da intensidade provável da ameaça (**A**) e dos níveis de vulnerabilidade (**V**) existente. Do mesmo modo, a vulnerabilidade expressa o desequilíbrio entre a estrutura social e o meio físico-constructivo e natural que a rodeia. A vulnerabilidade, então, não pode ter um valor absoluto, dependendo do tipo e intensidade da ameaça.

O grau de risco sempre é uma função da magnitude da ameaça e da vulnerabilidade e, portanto, constitui um parâmetro dinâmico, cambiante e teoricamente controlável (LAVELL, 1996).

Segundo NOGUEIRA (2002), quando é possível estabelecer um prognóstico temporal e espacial para uma ameaça específica (possibilidade ou probabilidade **P**) com base nos processos e mecanismos geradores, que permita uma avaliação dos prováveis danos e prejuízos (conseqüências **C**), relativos a uma determinada condição de vulnerabilidade os componentes da equação de risco (**R**) ficam mais bem expressos pela equação:

(2)

$$\mathbf{R = P \times C}$$

SHOOK (1997) adicionou, a essas equações, o fator relativo ao gerenciamento (*manageability*) que, nesta tese, representa um componente fundamental.

O grau de gerenciamento (**g**) deve indicar o estágio de planejamento e implementação de ações e obras para controle da ameaça (**A**) e da vulnerabilidade (**V**).

Assim, pode-se expressar um conceito adequado à prática de gerenciamento de riscos ambientais da seguinte maneira:

(3) 
$$R = P (fA) \times C (fV) \times g^{-1}$$

Onde um determinado nível de risco R representa a convolução<sup>2.4</sup>:

- ✓ da possibilidade ou probabilidade P de ocorrer um fenômeno físico A, em local e intervalo de tempo específicos e com características determinadas (localização, dimensões, processos e materiais envolvidos, velocidade e trajetória);
- ✓ causando conseqüências C (às pessoas, bens e/ou ao meio ambiente), em função da vulnerabilidade V (indicativa da suscetibilidade a serem afetados e do nível de resiliência dos elementos expostos);
- ✓ podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento (**g**)<sup>2.5</sup>.

O gerenciamento de riscos ambientais é um processo que se inicia quando a sociedade, ou parcela desta, adquire a percepção de que as manifestações aparentes ou efetivas de um certo perigo ou ameaça, existente em dado local num determinado momento, podem provocar conseqüências danosas superiores ao admissível por esta comunidade (NOGUEIRA, 2002).

A prática mais freqüente de gerenciamento de riscos, não apenas no Brasil, constitui-se nas mobilizações de emergências e socorro pós-acidente. MANSILLA (1996) estende para toda a América Latina a presença de organismos de proteção ou defesa civil, muitas vezes criados em decorrência de acidentes maiores ou desastres, normalmente dirigidos por militares ativos ou aposentados. SMITH (1996) atribui essa presença militar na formulação e operação de planos de emergência à noção de "manutenção de ordem na desordem". Quase sem exceção, esses órgãos têm sua função voltada ao atendimento de emergências.

A sociedade brasileira vem consagrando algumas práticas institucionais que acabam sendo assimiladas amplamente pelas gestões públicas e incorporadas aos padrões de organização da vida nas cidades. Exemplo disso são experiências de gestão urbana que até recentemente eram exclusivas de administrações municipais inovadoras e democráticas, como é o caso das zonas especiais de interesse social, do imposto

---

<sup>2.4</sup> *Convolução* é um conceito matemático que indica concomitância e mútuo condicionamento (CARDONA, 2001).

<sup>2.5</sup> Os valores de R devem ser mais elevados quando o manejo do risco for muito incipiente. Quanto mais eficaz e integrado o gerenciamento de riscos, mais o valor de **R** tenderá a zero (NOGUEIRA, 2002).

territorial e urbano progressivo no tempo e de outros instrumentos de regularização fundiária (GASPARINI, 2001), regulamentadas pela Lei Federal 10.257/2001, apelidada de Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001).

## **2.5. Identificação e Análise de Riscos a Escorregamentos**

Uma primeira e imprescindível etapa do gerenciamento de riscos consiste em identificar, analisar, cartografar e descrever seus componentes (ameaça e vulnerabilidade) para poder construir uma estratégia adequada para seu enfrentamento. Para AUGUSTO FILHO (2001), esse é um dos fundamentos do gerenciamento de riscos: a existência de técnicas que permitem identificá-los e avaliá-los.

A identificação dos riscos corresponde à indicação dos locais mais suscetíveis à ocorrência dos escorregamentos, considerando suas conseqüências potenciais (CERRI, 1993), que implica em:

- definição de critérios de julgamento e decisão (tipo de ameaça e prioridade de conseqüências a serem consideradas, por exemplo);
- análise dos condicionantes naturais e antrópicos;
- estabelecimento do nível de detalhamento do trabalho: zoneamento ou cadastramento. O primeiro corresponde à identificação de setores de risco (da própria encosta e de áreas a jusante que possam ser atingidas pelo material movimentado), envolvendo em áreas urbanas um determinado agrupamento de edificações e infra-estrutura e demais elementos expostos. O cadastramento de risco é o detalhamento posterior deste zoneamento, podendo já refletir a priorização das áreas mais críticas e apontando as situações de risco em cada moradia ou em cada trecho considerado (ALMEIDA et al., 1998; MAGRO et al., 1996).

A análise de risco deverá conduzir à hierarquização ou gradação dos riscos e à definição da sua distribuição espacial, por meio da representação cartográfica.

Avaliação de risco é o estágio em que todas as informações disponíveis são usadas no processo de decisão, em função da importância dos riscos e das conseqüências sociais, ambientais e econômicas estimadas, no sentido de identificar eventuais alternativas para gerenciar os riscos.

A abordagem qualitativa se expressa em graus relativos de risco que combinam tipologias de escorregamentos potenciais e da vulnerabilidade dos elementos expostos a essas ameaças.

AUGUSTO FILHO (2001) aponta que a maioria das análises de risco emprega métodos qualitativos, principalmente na análise das conseqüências, mas reconhece uma tendência de desenvolvimento de análises de risco mais quantitativas. Esse autor elaborou carta de risco quantificada “como subsídio para planos de seguros em áreas urbanas”.

A demanda atual mais expressiva pelas municipalidades brasileiras no tratamento de riscos de escorregamentos está voltada para a redução das possibilidades de perda de vidas da população pobre que mora em encostas favelizadas. Segundo NOGUEIRA (2002), para tais áreas, os métodos qualitativos são os mais indicados, por serem:

- mais expeditos para responder às situações sempre perigosas dada a extrema vulnerabilidade desta população;
- mais simples, possibilitando a atualização permanente das informações por equipes municipais de formação não necessariamente especializada (MACEDO, 2001), procedimento necessário em função da velocidade com que as condições das encostas e das ocupações se transformam nestas áreas; e
- mais baratos para a cobertura extensiva das áreas de risco, cuja análise global é indispensável para a tomada de decisão por parte dos agentes públicos quanto à definição de prioridades de tratamento, planejamento de recursos necessários, demandas habitacionais para realocação, etc.

MORGENSTERN (1997) afirma que análises qualitativas, conduzidas por métodos de hierarquização de riscos relativos que variam em detalhamento e complexidade, satisfazem muitas das necessidades práticas, fornecendo elementos para a mitigação.

AMARAL (1999) relata que, em estudos qualitativos executados no Rio de Janeiro, tem sido exigido o resgate de toda a informação disponível sobre cada setor de risco estudado, a caracterização do processo de instabilização, a delimitação da área possível de ser atingida e a concepção das alternativas de intervenção. Em Nova Friburgo foi realizado, pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), um zoneamento qualitativo em favelas e loteamentos irregulares com escopo semelhante.

Nesse zoneamento, a determinação de graus de risco para os setores mapeados considera as seguintes classes de possibilidade de ocorrência dos processos de instabilização atuantes, para um período determinado de tempo (Tabela 2.6).

**Tabela 2.6** – Graus de risco em função da possibilidade de ocorrência dos processos destrutivos associados a escorregamentos e solapamentos de margens de córregos em favelas, adotados pela CPRM e a Prefeitura de Nova Friburgo (RJ) em 2007 para zoneamento de encostas.

<b>R1 (risco baixo)</b>	<p>Não se observa(m) evidência(s) de instabilidade.</p> <p>Não há indícios de desenvolvimento de processo de instabilização.</p> <p>Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ano.</p> <p>Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade, porém incipiente(s).</p>
<b>R2 (risco médio)</b>	<p>Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento.</p> <p>Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período de um ano.</p> <p>Observa-se a presença de significativa(s) de evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.).</p>
<b>R3 (risco alto)</b>	<p>Processos de instabilização em desenvolvimento.</p> <p>Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período de um ano.</p> <p>As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, rachaduras em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, presença de depósito instável de lixo a montante, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem do córrego, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude.</p>
<b>R4 (risco muito alto)</b>	<p>Processo de instabilização em adiantado estágio de desenvolvimento.</p> <p>Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período de um ano.</p>

A representação gráfica das ameaças e riscos em cartas e mapas de diferentes escalas constitui um instrumento de grande importância para o planejamento de medidas preventivas e de mitigação e é essencial para ações de emergência.

Cabe ressaltar, contudo, que muitas vezes tem-se empregado o termo risco para indicar o grau de suscetibilidade de uma certa área à ocorrência de fenômenos geológicos. A rigor, no entanto, para se obter o risco de ocorrência de dado fenômeno é necessário conhecer sua distribuição de probabilidades, ou 'possibilidade temporal'.

É, portanto, um método de investigação *a posteriori*, apoiado em fenômenos acidentais que ocorreram efetivamente.

Segundo VEYRET (2007), o risco, objeto social, define-se como a percepção do perigo, da catástrofe possível, existindo apenas em relação a um indivíduo ou um grupo social, uma comunidade, uma sociedade que o apreende por meio de representações mentais e com ele convive por meio de práticas específicas. Não há um risco sem uma população ou indivíduo que o perceba e que poderia sofrer com seus efeitos. Correm-se riscos que são assumidos, recusados, estimados, avaliados,

calculados. O risco é a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal.

Os produtos gráficos da identificação e análise de ameaças e riscos de escorregamentos mais conhecidos são os mapas ou cartas de suscetibilidade, de inventário e de riscos. Mapas de análise de vulnerabilidade voltados especificamente para o gerenciamento de riscos de escorregamentos são desconhecidos na realidade brasileira, mas, mapas de inclusão/exclusão social (SPOSATI, 2000), de índices de equidade socioeconômica (CÂMARA et al, 2000) ou de indicadores ambientais (UNSD, 1999) podem adequar-se a este fim.

Para muitos autores, as cartas de risco constituem uma modalidade de carta geotécnica. Por exemplo, ZUQUETTE & NAKAZAWA (1998) reconhecem na cartografia geotécnica a expressão prática do conhecimento geológico, aplicado ao gerenciamento dos problemas colocados pelos diferentes usos do solo. Cartas geotécnicas, no sentido lato, podem abarcar (Tabela 2.7).

**Tabela 2.7** - Tipos de cartas geotécnicas (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998).

<b>CARTAS GEOTÉCNICAS PROPRIAMENTE DITAS</b>	Apresentam limitações e potencialidades dos terrenos e definem diretrizes para um ou vários tipos de uso do solo.
<b>CARTAS DE RISCO</b>	Mostram a avaliação de dano potencial à ocupação, frente a uma ou várias características ou fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação.
<b>CARTAS DE SUSCETIBILIDADE</b>	Apresentam gradações de possibilidade do desencadeamento de um ou mais fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação.
<b>CARTAS DE ATRIBUTOS OU PARÂMETROS</b>	Limitam-se a apresentar a distribuição espacial de uma ou mais características (geológicas, geotécnicas, etc.) do terreno.

A escala da representação cartográfica deve ser compatível com as informações disponíveis e o uso a que ela se destina. CERRI et al. (1996) indicam o uso dos seguintes termos (Tabela 2.8).

**Tabela 2.8** – Conceitos de mapa, planta e carta geotécnicos, segundo ZUQUETTE & GANDOLFI (2004).

<b>TERMO</b>	<b>CONCEITO</b>
<b>MAPA GEOTÉCNICO</b>	Representação de atributos geotécnicos levantados, sem análise interpretativa e sempre em escalas inferiores a 1:10.000
<b>PLANTA GEOTÉCNICA</b>	Representação gráfica realizada em escalas grandes, maiores que 1:10.000, normalmente voltada para locais onde serão executadas obras específicas
<b>CARTA GEOTÉCNICA</b>	Representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão num mapa (por exemplo: carta clinométrica obtida a partir do mapa topográfico, carta de escavabilidade, etc.)

Há, efetivamente, uma enorme demanda por trabalhos de zoneamento e cadastramento de ameaças, vulnerabilidades e riscos. Porém, a maioria das áreas urbanas com riscos de escorregamento, no Brasil, é constituída por ocupações subnormais, marcadas por intensa dinâmica de mobilidade e transformação, tanto no que se refere às características físicas e locais das edificações, quanto às intervenções feitas pelos moradores sobre o ambiente circundante. As condições de risco passam a ser igualmente dinâmicas, e qualquer registro de identificação e análise tem que ser permanentemente atualizado (AMARAL JR., 2007).

Assim, para o gerenciamento municipal, as avaliações da suscetibilidade ou predisposição a processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa e os documentos cartográficos correspondentes devem ser passíveis de revisão e atualização periódicas e acessíveis ao conjunto dos usuários.

Tendo em vista a inegável importância dos processos erosivos e dos escorregamentos, a avaliação das possibilidades ou riscos para ocorrência desses fenômenos é decisiva na gestão de terras agrícolas, nas obras de construção civil, no planejamento urbano e em empreendimentos que causam profunda alteração no meio.

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é apresentar o conjunto de procedimentos adotados na avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa para o município de Nova Friburgo, adota-se o sentido dado por RADBRUCH (1970), DOBROVOLNY (1971) e BRABB & PAMPEYAM (1972) para o termo suscetibilidade, que inclui a distribuição espacial dos fatores relacionados com a instabilidade dos processos, com a finalidade de determinar zonas propensas aos movimentos de massa e/ou erosão, sem qualquer implicação temporal.

Essa abordagem faz-se necessária, uma vez que o município não possui informações suficientes relativas ao registro histórico de ocorrências dos eventos e as intensidades das precipitações que provocaram tais eventos também são desconhecidas.

A avaliação da suscetibilidade de determinado local a processos erosivos e movimentos de massa está diretamente relacionada aos fatores condicionantes desses processos. Dessa forma, para se tratar os condicionantes é preciso definir alguns conceitos básicos como predisposição, componentes e atributos, conforme Tabela 2.9, a seguir.

**Tabela 2.9** – Conceitos de predisposição, componentes e atributos, segundo AMARAL JR. (2007).

<b>TERMO</b>	<b>CONCEITO</b>
<b>PREDISPOSIÇÃO</b>	É a susceptibilidade natural a um determinado evento, devido a características intrínsecas (do meio físico), que neste trabalho é abordado a predisposição aos movimentos de massa gravitacionais.
<b>COMPONENTES</b>	São características (fatores) do meio físico que o compõem, e são definidos conforme as suas importâncias para uma determinada análise. Como exemplo substrato rochoso, material inconsolidado, águas, geomórficos e etc.
<b>ATRIBUTOS</b>	São características dos componentes que os quantificam e/ou qualificam quanto a uma determinada análise. Como exemplo espessura do material inconsolidado, umidade, forma da encosta e etc.

Os principais atributos geológico-geotécnicos predisponentes aos movimentos de massa gravitacionais vêm sendo muito estudados por vários autores. E há um consenso geral entre eles que os atributos são relativos à geomorfologia, à geologia, à hidrogeologia, ao uso e ocupação do solo, à vegetação, à declividade e à atividade antrópica.

Devido à diversidade de componentes possíveis de serem analisados, descreve-se na Tabela 2.10, os principais componentes e atributos adotados neste trabalho.

**Tabela 2.10** – Lista de componentes e atributos que influenciam os movimentos de massa e o processo de erosão, empregados neste trabalho.

<b>COMPONENTE</b>	<b>ATRIBUTO</b>
<b>RELEVO</b>	✓ declividade;
	✓ perfil vertical e longitudinal da encosta;
	✓ presença de escarpas.
<b>SUBSTRATO ROCHOSO</b>	✓ litologia;
	✓ resistência;
<b>MATERIAL INCONSOLIDADO (*)</b>	✓ áreas com rochas aflorantes.
	✓ características do perfil de alteração;
<b>COBERTURA VAGETAL</b>	✓ posicionamento dos materiais transportados na encosta
	✓ tipo de vegetação;
	✓ espaçamento ou densidade;
<b>AÇÃO ANTRÓPICA</b>	✓ forma de ocupação;
	✓ padrão construtivo;
<b>CLIMA (*)</b>	✓ características da ocupação urbana.
	✓ precipitação pluviométrica;
	✓ distribuição espacial das chuvas.

(\*) Utilizados somente na análise de suscetibilidade à erosão.

No Brasil, a precipitação pluviométrica é reconhecida como o principal agente deflagrador dos processos de erosão e movimentos de massa, mas os efeitos observados estão fortemente ligados às características físicas do meio e à associação dessas características com ações antrópicas, geralmente ocupações de encostas íngremes com lavouras, pastagens ou moradias. Uma vez que diversos elementos intervêm nesses processos, para a identificação de áreas suscetíveis deve-se dispor de alternativas para combiná-los de forma coerente.

São incipientes e recentes os registros de acidentes geológicos no município de Nova Friburgo, embora existam na área de estudo cicatrizes e presença de colúvio, com evidências de pulsos sucessivos de erosão e transporte. Portanto, a alternativa encontrada foi a elaboração de uma metodologia que, ao final, combinasse uma seleção de fatores físicos desencadeadores dos processos com indicadores de eventos progressos e com evidências de atividade presente. Optou-se, então, pela utilização da avaliação multicriterial suportada em Sistema de Informações Geográficas, discutida na seqüência do trabalho.

Dessa forma, para o tratamento das informações, na análise delineada, tem-se o enfoque multicriterial, através da análise hierárquica dos processos (informações qualitativas e quantitativas).

Alguns autores vêm utilizando a Análise Multicriterial como forma de tratamento de informações para os mais diversos tipos de problemas, devido a possibilidade de lidar com julgamentos de forma matemática, uma vez que problemas complexos que consideram dados qualitativos e quantitativos são divididos na forma de uma hierarquia de decisão, com base no grau de importância de um determinado atributo analisado, em relação a outro.

## **2.6. Proposta de Política de Controle da Drenagem Urbana**

O ciclo hidrológico sofre fortes alterações nas áreas urbanas devido, principalmente, à alteração da superfície e a canalização do escoamento, aumento de poluição devido à contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população. Esse processo apresenta grave impacto nos países em desenvolvimento, onde a urbanização e as obras de drenagem são realizadas de forma totalmente insustentável (ALVES & CASTRO, 2003).

A política de controle da drenagem urbana envolve dois ambientes: externo à cidade e o interno à cidade. Existe uma grande inter-relação entre os elementos de uso do solo, controle ambiental e recursos hídricos tanto internamente na cidade como no Plano da Bacia Hidrográfica. O gerenciamento da cidade é controlado monitorando o que ela

exporta para o restante da bacia, induzindo a mesma ao seu controle interno, utilizando-se dos meios legais e financeiros.

O processo interno dentro das cidades é uma atribuição essencialmente do município ou de consórcios de municípios, dependendo das características das bacias urbanas e seu desenvolvimento.

Os sistemas de drenagem urbana são essencialmente sistemas preventivos de inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais de cursos naturais de água. É evidente que no campo da drenagem, os problemas agravam-se em função da urbanização desordenada.

Quando um sistema de drenagem não é considerado desde o início da formação do planejamento urbano, é bastante provável que esse sistema, ao ser projetado, revele-se, ao mesmo tempo, de alto custo e deficiente. É conveniente, para a comunidade, que a área urbana seja planejada de forma integrada. Se existirem planos regionais, estaduais ou federais, é interessante a perfeita compatibilidade entre o plano de desenvolvimento urbano e esses planos (PAP, 2007).

Todo plano urbanístico de expansão deve conter em seu bojo um plano de drenagem urbana, visando delimitar as áreas mais baixas potencialmente inundáveis a fim de diagnosticar a viabilidade ou não da ocupação destas áreas de ponto de vista de expansão dos serviços públicos (ALFA & GERKEN, 1998).

A gestão integrada de recursos hídricos, da forma como vem sendo considerada na literatura nacional e internacional (DOUROJEANNI & JOURAVLEV, 2001), tem como principais fundamentos o uso sustentado dos recursos, a abordagem multisetorial e o emprego de medidas não estruturais, entre as quais se destaca a gestão de demanda. Essa concepção ampla da gestão dos recursos é um quase corolário do conceito de desenvolvimento sustentável, que associa o processo de desenvolvimento à equidade social e à manutenção da capacidade de suporte dos sistemas ambientais (MUÑOZ, 2000).

## **2.7. Medidas para Controle das Inundações**

O controle de inundações consiste em um conjunto de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuindo os prejuízos causados por inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

Segundo KOBAYAMA et al. (2004), existem dois tipos de medidas preventivas básicas: as estruturais e as não-estruturais. As medidas estruturais envolvem obras de

engenharia, como as realizadas para a contenção de cheias, tais como: barragens, diques, alargamento de rios, reflorestamento, etc. Contudo, tais obras são complexas e caras. As medidas não-estruturais geralmente envolvem ações de planejamento e gerenciamento, como sistemas de alerta e zoneamento ambiental.

### *2.7.1. Medidas Estruturais*

Segundo TUCCI (2003), as medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas são aquelas que agem no rio, acelerando o escoamento (construção de diques aumentando a capacidade de descarga dos rios e corte de meandros), retardando o escoamento (reservatórios e as bacias de amortecimento) e desviando o escoamento (canais de desvio).

Algumas medidas estruturais: controle da cobertura vegetal, controle da erosão do solo, construção de reservatórios e barragens para controle de inundação.

### *2.7.2. Medidas Não-Estruturais*

As medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa. Isto exigiria a proteção contra a maior enchente possível. Esta proteção é fisicamente e economicamente inviável na maioria das situações. A medida estrutural pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, que futuramente podem resultar em danos significativos. As medidas não-estruturais, em conjunto com as anteriores ou sem essas, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não-estruturais (TUCCI, 2003).

As medidas não-estruturais de inundação podem ser agrupadas em: zoneamento de áreas de inundação através de regulamentação do uso da terra, construções a prova de enchentes, seguro de enchente, previsão e alerta de inundação (KOBAYAMA et al., 2006).

O Zoneamento das áreas de inundação engloba as seguintes etapas: a) determinação do risco das enchentes; b) mapeamento das áreas de inundação; c) levantamento da

ocupação da população na área de risco; d) definição da ocupação ou zoneamento das áreas de risco (TUCCI, 2003).

Mapa de inundação da cidade: Os mapas de inundação podem ser de dois tipos: mapas de planejamento e mapas de alerta. O mapa de planejamento define as áreas atingidas por cheias de tempos de retorno escolhidos. O mapa de alerta informa em cada esquina ou ponto de controle, o nível da régua no qual inicia a inundação. Este mapa permite o acompanhamento da evolução da enchente, com base nas observações da régua, pelos moradores nos diferentes locais da cidade. Essa informação normalmente é transmitida através dos meios de comunicação disponíveis (KOBAYAMA et al., 2006).

## **2.8. Percentual de Impermeabilização como Indicador Indireto da Urbanização**

Vários autores (DREW, 1983; CAMPANA e TUCCI, 1994; TUCCI, 1995; SCHUELER & HERSON-JONES, 1995 e MOTA, 1997) reconheceram o efeito da impermeabilização do solo como um dos elementos mais importantes no estudo dos efeitos ambientais da urbanização. CAMPANA e TUCCI (1994) apresentaram uma relação entre a densidade populacional, que é um dos principais parâmetros do planejamento urbano, e a percentagem de áreas impermeáveis da bacia hidrográfica ocupada. Essa relação foi obtida com base em dados de bacias hidrográficas das Regiões Metropolitanas de São Paulo, Porto Alegre e Curitiba, onde o aumento da densidade populacional nos centros urbanos mostrou-se estar definitivamente associada à impermeabilização do solo, e conseqüentemente, aos problemas de drenagem.

Em relação aos mananciais superficiais e subterrâneos, o desenvolvimento das cidades não apresenta efeitos menos intensos, alterando a disponibilidade de água local, tanto em quantidade quanto em qualidade. O crescimento urbano desordenado sobre os rios utilizados para abastecimento público tem apresentado graves reflexos na qualidade das águas, com altos custos econômicos e sociais, tornando a disponibilidade hídrica um limitante para o próprio desenvolvimento das cidades (ANDREOLI et al., 2000a; ANDREOLI et al., 2000b). Segundo os autores, a demanda por água potável nos centros urbanos tem aumentado em função do crescimento populacional e da elevação do consumo per capita.

### 2.8.1. Efeito da Urbanização nos Mananciais

Sem pretender esgotar o assunto, a Tabela 2.11 apresenta as principais causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas segundo TUCCI & PORTO (2001).

**Tabela 2.11** – Causas e efeitos da urbanização sobre as cheias dos rios.

<b>CAUSAS</b>	<b>EFEITOS</b>
Impermeabilização	Maiores picos de cheias e vazões em rios;
Redes de Drenagem	Maiores picos de cheia à jusante;
Lixo	Degradação da qualidade da água; Entupimentos de bueiros e galerias pluviais.
Redes de Esgotos Sanitários Deficientes	Degradação da qualidade da água; Doenças de veiculação hídrica.
Desmatamento e Desenvolvimento Indisciplinado	Maiores picos de cheia e volumes escoados Maior erosão; Assoreamento de canais e galerias; Prejuízos ao patrimônio por inundações.
Ocupação de Várzeas	Maiores picos de cheias; Maiores custos de utilidade pública.

Observa-se que os efeitos resultantes podem apresentar várias causas básicas, as quais podem ocorrer simultaneamente, amplificando os resultados. É o caso do incremento das vazões de cheia e sua frequência de ocorrência, que podem ocorrer devido às condições particulares de impermeabilização da área de drenagem, do desmatamento e da ocupação indiscriminada do solo, principalmente das áreas ribeirinhas.

SCHUELER e HERSON-JONES (1995) classificam os efeitos da urbanização sobre os mananciais superficiais segundo aspectos hidrológicos, morfológicos, ecológicos e qualitativos. Uma breve discussão sobre cada um desses aspectos é apresentada a seguir.

#### 2.8.1.1. Efeito da Urbanização sobre o Regime Hídrico

Do ponto de vista da hidrologia, a urbanização é responsável por alterações que, segundo os autores supracitados, resultam no aumento e magnitude das cheias dos rios, na redução da recarga dos aquíferos subterrâneos e no aumento da velocidade do escoamento durante os eventos de cheia. TUCCI (1995) observa que esses efeitos derivam diretamente da compactação do solo e da impermeabilização, através da

sobreposição de telhados, ruas calçadas, pavimentos asfálticos e de concreto entre outros.

Na medida em que os padrões de uso e ocupação do solo promovem a impermeabilização da área de drenagem pluvial, a parcela da água que antes infiltrava no solo, passa a escoar pelos condutos da drenagem pluvial, aumentando o escoamento superficial e reduzindo o tempo de concentração da bacia hidrográfica. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pela vegetação, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções transversais dos cursos d'água.

As enchentes ampliadas pela urbanização, em geral, ocorrem em bacias de pequeno porte. Evidentemente, exceções são as grandes regiões metropolitanas, como São Paulo (TUCCI, 1995). Para as grandes bacias, existe um efeito combinado em relação ao escoamento nos vários canais da macrodrenagem, que são influenciados pela distribuição espacial e temporal das precipitações máximas. Para os casos extremos, verifica-se que o pico de cheia em uma bacia urbanizada pode chegar a ser seis vezes maior do que o pico dessa mesma bacia em condições naturais (pré-urbanização) (TUCCI, 2001).

Outra conseqüência do desenvolvimento urbano em relação aos pequenos rios urbanos tem sido a redução da vazão no período de estiagem. Com o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização, os aquíferos não são abastecidos e a capacidade do rio é reduzida. O escoamento, muitas vezes, é devido aos esgotos lançados *in natura* ou à ligações clandestinas de esgotos cloacais na drenagem pluvial (TUCCI, 1995).

#### 2.8.1.2. Efeitos da Urbanização sobre a Morfologia dos Cursos D'água

SCHUELER e HERSON-JONES (1995) apontam o processo erosivo como efeito básico na modificação da morfologia dos canais dos cursos d'água, em decorrência da urbanização. Na medida em que a freqüência e a intensidade dos eventos de cheia aumentam, a tensão atrativa da água em relação às partículas de solo das margens e fundo dos canais aumenta e com ela o potencial de erosão.

A tensão atrativa, ou tensão de arraste, teve sua origem nos estudos hidráulicos dos canais e o seu conceito introduzido por Du Boys, em 1879. Entretanto, seus princípios básicos foram desenvolvidos por Brahms, por volta de 1754 (CHOW, 1981). Modernamente, é definida como tensão tangencial exercida sobre a parede do canal condutor exercida pelo líquido em escoamento, ou seja, é a componente tangencial do

peso do líquido sobe a unidade de área da parede do coletor e que atua sobre as partículas de solo das paredes e fundo dos canais, promovendo seu arraste.

REPLOGLE & CHOW (1969) *apud* ALEM SOBRINHO & TSUTYLA (1999) mediram, experimentalmente, a distribuição da tensão trativa ao longo do perímetro molhado da seção transversal de condutos circulares.

Os resultados indicaram que a máxima tensão trativa ocorre próximo à geratriz inferior da tubulação, enquanto que a mínima ocorre próximo à superfície líquida da água. Essa variação tende a ser menos pronunciada quanto maior for a relação entre a altura da lâmina líquida e o diâmetro do condutor. Para lâminas maiores que 50% do diâmetro do condutor, a tensão trativa tende a ser uniforme ao longo do perímetro molhado e seu valor tende a ser igual à tensão trativa média.

Os taludes dos rios respondem a esse efeito. A partir da maior severidade e frequência das cheias, a tração de arraste nas margens tende a aumentar o seu potencial erosivo. Como resultado, pode-se observar a tendência de acomodação da seção transversal dos canais à maior vazão. Portanto, quanto mais intensos e freqüentes os eventos de cheias, mesmo os que não extrapolam a caixa dos rios, maior é a desestabilização e erosão de suas margens e fundo. Como resultado dessa acomodação, pode-se observar um processo de alargamento do canal e aumento da sua área transversal para permitir a passagem das águas do rio nos eventos de cheia.

Uma vez que a ocupação da área de drenagem dos rios, através da impermeabilização do solo, produz um aumento da intensidade e frequência das cheias dos rios urbanos, a questão crítica passa a ser em que nível de ocupação urbana acentua-se esse fenômeno. Estudos desenvolvidos no noroeste dos Estados Unidos (BOOTH e REINELT, 1993 *apud* SCHUELER e HERSON-JONES, 1995) sugerem que o limiar para garantir a estabilidade dos canais dos rios urbanos situa-se a 10% de impermeabilização da área total de drenagem.

Outro problema relatado pelos autores se constitui no aumento do potencial de arraste do material erodido. Com isso, durante os eventos de cheia, evidencia-se uma maior quantidade de sólidos carregados nos cursos d'água (TUCCI, 1995).

Em geral, esse material se deposita no fundo do rio, alterando as condições do substrato do leito e do habitat para as comunidades aquáticas bentônicas, além de reduzir a capacidade de escoamento nos cursos d'água e lagos urbanos. É também observada a tendência de canalização dos rios para se evitar os danos às áreas urbanas provocados pela crescente intensidade e frequência dos eventos de cheia e a conseqüente alteração da estrutura lótica e lêntica original.

### 2.8.1.3. Efeitos da Urbanização sobre a Ecologia das Comunidades Aquáticas

A habilidade de proteger as comunidades biológicas aquáticas depende em grande parte da habilidade de identificar e prever os efeitos das atividades humanas nos sistemas biológicos, especialmente, a habilidade de distinguir variações naturais da condição biológica das induzidas pelo homem (KARR, 1981).

Para SCHUELER & HERSON-JONES (1995), as alterações ecológicas da urbanização podem ser descritas como: redução da diversidade de macroinvertebrados bentônicos, redução da diversidade de peixes, redução da população de anfíbios, criação de barreiras à migração de peixes e degradação de nascentes e matas ciliares.

Nos últimos anos, um grande número de métodos tem sido desenvolvido na tentativa de medir a estrutura e o valor de habitat dos rios (KARR, 1981; JOHNSCHER-FORNASARO, 1986; PLAFKIN et al., 1989; GIBSON, et al., 1993; GALLI, 1993; DIAMOND, 1996; SOUTHERLAND et al., 1996; WARNER, 1996; BARBOUR, 1999; GOLDENSTEIN et al., 1999). A sua quantificação, entretanto, se faz difícil em razão da variação das especificidades ecológicas observáveis em um mesmo curso d'água, motivadas por alterações das condições do habitat, do regime hídrico, da qualidade das águas, etc.

SCHUELER & HERSON-JONES (1995) apresentam estudos da variação do número de espécies de peixes (total e de espécies consideradas mais sensíveis às variações ecológicas do seu habitat) com o grau de impermeabilização do solo urbano. É possível notar a queda na diversidade não apenas das espécies consideradas sensíveis com crescentes índices de impermeabilização da área de drenagem. Simultaneamente, BOOTH (1991) observou que, dos rios urbanos estudados, a maioria deles apresenta comprometimento das funções de habitat para as comunidades aquáticas quando a superfície impermeável excede entre 8 e 12% da área total de drenagem.

### 2.8.1.4. Efeitos da Urbanização sobre a Qualidade da Águas

Para PORTO (1995) já há algum tempo associa-se a urbanização à poluição dos corpos d'água devido aos esgotos domésticos, não ou parcialmente tratados, e despejos industriais. Mais recentemente, percebeu-se que parte dessa poluição gerada em áreas urbanas tem sua origem também no escoamento superficial das águas de chuva sobre áreas impermeáveis e em redes de drenagem. Segundo TUCCI (2003), vários resultados apresentados na literatura têm demonstrado que a qualidade da água pluvial não é melhor que o efluente de um sistema de tratamento secundário

de esgotos domésticos e depende de vários fatores: limpeza urbana e sua frequência, intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso e ocupação da área urbana.

O escoamento das águas de chuva carrega materiais orgânicos e inorgânicos soltos ou solúveis aos mananciais, aumentando significativamente sua carga de poluentes. A origem desses poluentes é diversificada e contribuem para o seu aparecimento a abrasão e o desgaste das vias públicas pelo tráfego veicular, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, as atividades de construção, resíduos de combustível, óleos e graxas automotivos, poluentes atmosféricos, etc. Acrescente-se a isso os sedimentos provenientes de locais em construção e os efluentes de sistemas sépticos defeituosos ou inoperantes. Além desses, a erosão de canais abertos de drenagem e diques, além dos outros materiais depositados nos drenos podem ser significativamente aumentados pela urbanização.

A magnitude do impacto causado pela urbanização nas comunidades aquáticas depende de fatores como o estado do corpo d'água antes do lançamento, sua capacidade assimilativa, e ainda, da quantidade e distribuição das chuvas, uso do solo da bacia, tipo e quantidade de poluentes arrastados. Para PORTO (1995), os problemas causados podem ser subdivididos em seis grandes categorias: alterações estéticas, depósitos de sedimentos, depleção da concentração de oxigênio dissolvido, contaminação por organismos patogênicos, eutrofização e danos devido à presença de tóxicos.

Do ponto de vista do aquecimento da água, as superfícies urbanas impermeáveis absorvem e refletem o calor. Durante os meses quentes, as áreas impermeáveis podem manter temperaturas maiores do que as observadas em áreas florestadas preservadas. Nesses locais, as árvores e a cobertura vegetal fornecem sombreamento e proteção ao solo, e os efeitos da radiação para o seu aquecimento são negligenciáveis. Próximo as nascentes, a temperatura das águas dos rios é fortemente influenciada pela temperatura local do ar, dependendo da maior ou menor densidade da cobertura vegetal sobre a lâmina líquida, as variações de temperatura da água durante os meses quentes serão menores, propiciando uma maior estabilidade térmica (AISSE et al., 2006).

Segundo ainda os mesmos autores, nos cursos d'água sem cobertura florestada, a atuação direta da radiação solar e o efeito combinado com a temperatura do ar formarão um maior potencial de variação da temperatura final da água. A temperatura das descargas diretas de efluentes da rede de esgotos, da drenagem pluvial e de tributários influenciarão nessa variação. O maior porte dos cursos d'água e a maior

vazão veiculada em seus canais também contribuirão para uma maior inércia térmica do manancial.

Para FREEDMAN & DILKS (1996), os impactos do escoamento superficial nos corpos d'água dependem das características da bacia, do volume escoado, do tamanho e do tipo da natureza do corpo receptor além do seu uso previsto. Isso sugere que a avaliação dos impactos seja promovida no âmbito das características próprias de cada local.

Em bacias com ocupação predominantemente urbana, o enriquecimento por nutrientes é uma das principais causas da degradação da qualidade da água, estimulando o crescimento de algas ou plantas aquáticas que podem desequilibrar a oferta de oxigênio dissolvido, reduzindo a diversidade biológica e prejudicando sua utilização para o abastecimento.

#### 2.8.1.5. Erosão Pluvial Acelerada e o Processo de Assoreamento

É praticamente impossível planejar, projetar, construir ou manter medidas de conservação e controle em bacias hidrográficas, sem envolver-se diretamente com aspectos relacionados à erosão (AISSE et al., 2006).

A camada superficial do solo é continuamente removida e transportada pelo deflúvio superficial até depositar-se nos lagos, açudes, estuários e oceanos. Quando tal processo ocorre sob condições naturais ou não perturbadas, um estado permanente de equilíbrio é estabelecido de modo que não se verificam maiores danos. No entanto, quando a condição de equilíbrio é perturbada, a erosão cria sérios problemas na agricultura e no manejo dos recursos hídricos nas áreas urbanas.

O processo de assoreamento numa bacia hidrográfica encontra-se intimamente, relacionado aos processos erosivos, uma vez que fornece os materiais, que ao serem transportados e depositados, darão origem ao assoreamento. Assoreamento e erosão são dois processos diretamente proporcionais na dinâmica da bacia hidrográfica.

Os processos erosivos são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, desde o desmatamento e a agricultura, até obras urbanas e viárias, que, de alguma forma, propiciam a concentração das águas de escoamento superficial.

Os fenômenos naturais da erosão são características intrínsecas dos terrenos aos processos erosivos, tais como o regime pluviométrico, a cobertura vegetal, as declividades dos terrenos, os tipos de solo, dentre outros.

Os fatores antrópicos são representados pelo desmatamento e formas de uso e ocupação do solo, como obras civis, agricultura, etc. A urbanização interpõe estruturas pouco permeáveis entre o solo e a chuva, fazendo com que o escoamento seja incrementado e que a infiltração diminua, numa mudança de regime de escoamento localmente mais drástica do que aquela provocada pelo desmatamento.

As águas do escoamento superficial podem apresentar alto grau de erosão em função da intensidade e duração das chuvas e das características do relevo. A combinação dessas propriedades acarreta a remoção de grandes quantidades de sedimentos das áreas altas para as planícies, assoreando córregos e canais, ocasionando, em decorrência, alagamentos e inundações (BERTOLINI & LOMBARDI NETO, 1990). A Figura 2.4 mostra o processo de erosão que arrasta detritos para a água, assoreando e sujando o rio São Francisco.



**Figura 2.4** – Processo de erosão no rio São Francisco, 2002. (Fonte: [www.brasiloste.com.br](http://www.brasiloste.com.br), acesso em julho de 2005).

SIDLE et al. (2004) classificaram os desastres naturais em dois tipos: episódicos e crônicos. Geralmente os desastres denominados episódicos tais como terremoto, vulcanismo, tsunami, inundações e fluxos de detrito, chamam mais atenção por causa de sua magnitude. Entretanto, desastres crônicos tais como a erosão do solo, geram sérios prejuízos ambientais, especialmente em longo prazo. A erosão do solo pode

causar desertificação, degradação, assoreamento dos rios, entre outros, podendo resultar na incidência de mais eventos catastróficos, como escorregamentos e inundações.

Os processos erosivos nas cidades brasileiras estão em crescimento e suas conseqüências no violento assoreamento da rede de drenagem natural e construída são responsáveis diretas e crescentes por uma tipologia de enchentes não relacionadas ao afogamento dos níveis de base, mas sim à redução drástica das capacidades de vazão de afluentes secundários e do sistema de drenagem construída (TUCCI, 2001).

O próprio afogamento dos níveis de base por ocasião de chuvas intensas e concentradas também se deve em parte, e crescentemente, ao volumoso aporte de sedimentos e lixo trazidos por essas chuvas para as calhas hidrográficas principais.

O aumento da quantidade dos sedimentos e a conseqüente degradação da qualidade da água superficial acarretam o aumento nos custos do tratamento para produção de água potável, atingindo altos valores, especialmente se os mananciais estão desprotegidos de florestas ripárias e cobertura vegetal ou ainda pela colmatação da tubulação promovida pelo aporte de sedimentos trazidos pelos cursos d'água, a tendência final desse processo é a diminuição da capacidade de transporte da tubulação, diminuindo sua velocidade de circulação (GLEICK, 2000). Os custos variam segundo a região, época do ano e da fonte.

Para enfrentar problemas decorrentes da erosão, estudos cuidadosos do meio físico devem ser realizados, considerando clima, vegetação, relevo, distribuição de solos e sua erodibilidade.

## **2.9. Cheias Urbanas**

No gerenciamento de cheias os recursos são os espaços demandados pelo homem e pelos corpos d'água. Uma boa gestão de inundações pode permitir a maximização de áreas utilizadas pelo homem sem prejuízos à drenagem das águas pluviais e fluviais.

Além da racionalização do uso do solo, um sistema de gerenciamento de cheias viabiliza a emissão de alertas e a adoção de medidas preventivas, minimizando eventuais perdas (AL-SABHAN et al.,2003). São exemplos de medidas de combate às cheias: o bloqueio de vias, a evacuação de áreas e a retirada de bens, mercadorias e valores depositados em locais críticos.

Por outro lado, decisões precipitadas podem gerar transtornos desnecessários e afetar a credibilidade do sistema.

Recomenda-se que as atividades de prevenção às inundações sejam executadas a partir de critérios técnicos e pouco subjetivos. Para tanto, faz-se necessário o uso de ferramentas matemáticas e de análise de sistemas.

### *2.9.1. O Problema das Cheias Urbanas*

O problema das enchentes urbanas, na história recente, vem fazendo, com frequência, parte da rotina dos habitantes das grandes cidades. Durante séculos, grande parte da população mundial concentrou-se em áreas rurais, fato que começou a mudar após o advento da Revolução Industrial, com o chamado êxodo rural. O movimento da população rural para as cidades, em um processo de urbanização rápida, afetou diretamente os padrões da drenagem natural (MIGUEZ, 2001).

Analisando os dados sobre desastres naturais no Brasil no período de 1948 a 2004, disponibilizados pelo EM-DAT *Internacional Disaster Database*, KOBIYAMA et al. (2004a) demonstraram que no Brasil, os desastres naturais que provocam maiores perdas humanas foram as inundações (enchentes). COSTA & TEUBER (2001) mencionaram que as inundações são inevitáveis, mas por outro lado, pode-se reduzir significativamente os danos e prejuízos.

A frequência das inundações se altera devido a modificações na bacia hidrográfica. PLATE (2002) afirmou que a pressão exercida pelo crescimento populacional resulta na exclusão da parcela mais pobre da população, que passam a viver na planície de inundação. Este tipo de problema é comumente presenciado nas áreas urbanas. Assim, devem ser introduzidos novos conceitos e práticas para uma melhor convivência com este fenômeno.

Depois da consolidação do espaço físico das cidades, as soluções disponíveis são extremamente caras, tais como as canalizações, diques com bombeamentos, reversões e barragens, entre outras.

No gerenciamento de cheias, as ferramentas empregadas para a melhoria dos sistemas de drenagem são definidas a partir da meta de se reduzir os impactos negativos das inundações. Ou seja, de acordo com a meta pré-estabelecida, pode-se decidir pela execução de obras, melhoria da manutenção do sistema, restrição do uso do solo ou pela otimização de reservatórios, por exemplo.

A contaminação das águas pluviais por fontes poluidoras aumenta a importância de um correto planejamento da distribuição das redes de drenagem e da destinação das águas coletadas.

No século XX era comum no meio técnico a concepção de sistemas de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário com redes subterrâneas. Outra característica dos projetos de engenharia então vigentes era a canalização quase generalizada dos cursos d'água em meio urbano, sem a preservação de várzeas e áreas de retenção. Essa visão focalizava o controle do escoamento na própria calha do curso d'água, não dando muita importância à geração do escoamento nas superfícies urbanizadas.

No início do século XXI a preocupação pela valorização da paisagem urbana, pela melhoria da qualidade de água e preservação dos cursos d'água e lagos no meio urbano aparece a florada.

Atualmente, no que tange à drenagem urbana, encontra-se no meio técnico uma nova abordagem, mais elaborada e integrada com medidas que visam o desenvolvimento sustentável. A integração das diversas esferas da política municipal, estadual e federal é, para tanto, um fator determinante.

A sustentabilidade da macrodrenagem se relaciona com a implementação de políticas econômicas, sociais e ecológicas.

A partir do conceito 'ambiental' encontram-se soluções alternativas que, atuando junto a outras estruturas de drenagem convencionais, têm a finalidade de compensar os efeitos da urbanização também em termos qualitativos.

A formulação de diferentes soluções ocorre a partir do detalhamento dos objetivos estabelecidos. O aumento de seções transversais dos canais, a construção de reservatórios de amortecimento de cheias, a implementação de parques e o desenvolvimento de sistemas de previsão são propostas que podem ser elaboradas após a definição dos objetivos de um problema de drenagem.

Modelos de simulação e de otimização permitem a comparação entre diferentes propostas. Os modelos podem ser físicos, analógicos ou matemáticos, devendo representar de alguma forma o fenômeno e as soluções estudadas.

A última fase da análise sistêmica é a tomada de decisão, onde é identificada a solução que mais favoravelmente atenda aos objetivos e metas propostos.

## **2.10. Modelagem Hidrológica**

Os fenômenos naturais, em sua maioria, são de grande complexidade, impossibilitando medir e/ou analisar todas as suas partes e/ou etapas. Uma alternativa amplamente utilizada para suprir tais necessidades é a modelagem. Tendo identificado as áreas mais suscetíveis à ocorrência de desastres naturais, os dados do

monitoramento vão alimentar o modelo que permitirá realizar a simulação dos mesmos. Estas simulações, por sua vez, fornecem uma magnitude e dimensão provável do fenômeno (KOBAYAMA et al., 2004).

A modelagem é o processo de gerar e/ou aplicar modelos. O modelo é uma representação simplificada de um sistema (ou objeto) tanto estático quanto dinâmico. Existem três tipos: (1) modelo físico, (2) modelo matemático e (3) modelo analógico. O primeiro utiliza formas físicas, sendo imitativos de um segmento do mundo real (CHRISTOFOLLETTI, 2002); o segundo utiliza linguagens matemáticas para representar a natureza dos sistemas; e o terceiro vale-se da analogia das equações que regem diferentes fenômenos para modelar o sistema mais conveniente (TUCCI, 1998). Qualquer modelo corresponde a uma aproximação da realidade.

Modelos hidrológicos podem ser definidos como representações matemáticas do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou sub-superfície terrestre, permitem a simulação de processos físicos nas suas dimensões temporais (PULLAR & SPRINGER, 2000). Possuem importância na previsão de enchentes ou para estimativas da disponibilidade hídrica em situações de escassez.

Freqüentemente modelos de previsão não examinam os fenômenos hidrológicos no seu contexto geográfico, utilizando uma representação de elementos espaciais simplificada, assumindo a bacia hidrográfica como uniforme. Essas limitações dos modelos chamados não-distribuídos, podem ser superadas pelo uso de modelos semi-distribuídos ou distribuídos que permitem a detecção de efeitos e anomalias locais (TUCCI, 1998). Entretanto modelos distribuídos se apresentam complexos na sua operação e demandam grandes volumes de dados de entrada especializados para descrição da variabilidade da paisagem. Para manipular esse volume de dados e considerar a heterogeneidade fisiográfica das bacias e espacialização das simulações, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se tornam ferramentas valiosas.

Para se ter um bom modelo fazem-se necessárias observações do sistema, ou seja, monitoramento. Aqui se nota que os seres humanos são parte integral da paisagem (ou ecossistema). Portanto, como PHILIPS (1999) sugeriu, ações humanas devem ser incorporadas aos modelos da paisagem física, que são utilizados para entender o sistema como um todo.

Um modelo hidrológico comumente utilizado em pequenas bacias urbanas é o SCS, desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (1976), e amplamente aceito em virtude de sua simplicidade de parâmetros e facilidade de aplicação. Nesse modelo, a retenção de parte da chuva nas depressões do solo e a infiltração são os principais fatores que afetam a relação chuva-vazão e que determinam a quantidade de chuva que se transforma em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva

(PE). A estimativa da precipitação efetiva considera três variáveis: a precipitação no intervalo de tempo, a umidade anterior do solo e as características hidrológicas do solo. Na formulação está implícita uma retenção inicial de 20% da capacidade de infiltração do solo, conforme expresso a seguir:

$$P_E = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad \text{Equação 2.1}$$

$$I_a = 0,2S \quad \text{Equação 2.2}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 2.3}$$

Em que: PE = precipitação efetiva [mm]; P = precipitação total [mm];  $I_a$  = perdas iniciais por retenção na bacia; S = máximo potencial de retenção da bacia após o início do escoamento superficial e CN = parâmetro curve number.

O parâmetro CN é um indicativo do potencial de infiltração do solo e varia de 0 a 100. Quanto menor o potencial de infiltração do solo, maior o CN. O CN é função da permeabilidade do solo, da cobertura vegetal, do tipo de superfície e da umidade anterior do solo. A partir da precipitação total em cada intervalo do ietograma, a precipitação excedente PE é calculada e, então, convertida em escoamento direto.

Os principais fatores determinantes do CN são o grupo hidrológico do solo (A, B, C ou D), o tipo de cobertura do solo e a condição de umidade anterior do solo (Natural Resources Conservation Service, 1986). Valores estimados de CN são fornecidos em tabelas classificadas por tipo de cobertura do solo, para cada grupo hidrológico e condição anterior de umidade.

No gerenciamento de desastres naturais existem duas formas para utilização dos resultados da modelagem: medidas estruturais e não-estruturais. OHMORI & SHIMAZU (1994) mencionaram que, como cada tipo de fenômeno requer diferentes tipos de medidas estruturais para sua mitigação, distinguir onde e que tipo de fenômeno irá ocorrer torna-se extremamente importante para o planejamento do uso de solo e para os projetos de engenharia.

O uso de modelos hidrológicos para o gerenciamento dos recursos hídricos é ferramenta indispensável quando o planejador necessita reunir processos quantitativos em diferentes fases. Devido à existência de várias alternativas para se compor cenários de planejamento, é necessário estabelecer metodologias que auxiliem os tomadores de decisão (OHNUMA JR., 2005).

A aplicação de modelos visa não somente elaborar cenários em diferentes contextos de ocupação, como também, a partir do aprendizado do comportamento do sistema, propor soluções para o desenvolvimento de forma sustentável.

# Capítulo 3

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3.1. Características Gerais

Este capítulo apresenta a caracterização do estudo de caso, o município de Nova Friburgo, também conhecido como a “Suíça brasileira”, frente suas propriedades geográficas, físicas, de infra-estrutura e jurídicas.

#### *3.1.1. Localização e Características Geográficas*

Conta a história que, em 1818, Dom João VI autorizou a imigração de 100 famílias suíças provenientes, em sua maioria, do Cantão de Fribourg e Berne, para a colonização agrícola da Fazenda do Morro Queimado. Com isso estava criada a colônia de Nova Friburgo. Em 1820, com a vinda de imigrantes alemães, foi criada a Freguesia de São João Batista de Nova Friburgo e seu território desmembrado do território de Cantagalo. Em 1873 foi inaugurada a linha de ferro Leopoldina Railway, o que impulsionou sobremaneira a economia da Freguesia e o desenvolvimento da região. Isso ocasionou em 18/01/1889, por meio do decreto nº 34, a elevação da Freguesia à categoria de cidade.

O município está situado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, em torno das coordenadas geográficas 22°16'55" (latitude sul) e 42°31'52" (longitude oeste). Distante cerca de 140 quilômetros da capital fluminense, a sede do município possui uma altitude ortométrica de 846 metros.

O município de Nova Friburgo, com uma área de 934 km<sup>2</sup>, forma com os municípios de Bom Jardim, Duas Barras e Sumidouro a Microrregião de Nova Friburgo. Essa subdivisão regional forma, em conjunto com as outras subdivisões serranas (Três Rios, Santa Maria Madalena e Cantagalo-Cordeiro), a mesorregião do Centro-Fluminense.

Localizada no interior, Nova Friburgo é limitada territorialmente por outros municípios de acordo com a Tabela 3.1 e a Figura 3.1.

**Tabela 3.1 – Limites de Nova Friburgo**

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>POSIÇÃO RELATIVA À NOVA FRIBURGO</b>
Duas Barras	Norte
Bom Jardim	Norte
Trajano de Moraes	Nordeste
Macaé	Leste
Casimiro de Abreu	Sudeste
Silva Jardim	Sul
Cachoeiras de Macacu	Sudoeste
Teresópolis	Oeste
Sumidouro	Noroeste



**Figura 3.1 – Localização e limites do Município de Nova Friburgo.**

### *3.1.2. Uso e Ocupação do Solo*

O Município de Nova Friburgo, de acordo com a Lei Municipal n° 2249 de 8 de dezembro de 1988, encontra-se subdividido em três grandes regiões: Região de Desenvolvimento Urbano, Região de Desenvolvimento Rural e Região de Interesse Ambiental e Ecológico.

A Região de Desenvolvimento Urbano é compreendida pelas bacias do rio Bengalas<sup>3.1</sup>, do ribeirão de São José, do ribeirão do Capitão e do rio Grande à jusante da foz do córrego do Funil (inclusive).

<sup>3.1</sup> O IBGE denomina de rio da Bengala, o Plano de Águas Pluviais por rio Bengala, neste trabalho, utilizou-se a denominação amplamente divulgada e conhecida dos municípios de Nova Friburgo – rio Bengalas, assim como consta no Hino de Nova Friburgo, desde 1918: “(...) o Bengalas sereno desliza sob o olhar do Cruzeiro do Sul (...).”

A Região de Desenvolvimento Rural é compreendida pela bacia do rio Grande à montante da foz do córrego do Funil;

A Região de Interesse Ambiental e Ecológico é compreendida pela bacia do rio Macaé.

Na região de Desenvolvimento Urbano, encontram-se, totalmente ou em parte, os distritos de Nova Friburgo, Riograndina, Amparo, Conselheiro Paulino e Mury, e também, as áreas correspondentes à bacia do rio Bengalas e seus afluentes: córrego D'antas, rios Santo Antônio e Cônego. Por se tratar de um local com urbanização mais consolidada, encontra-se uma maior impermeabilização do solo, maior densidade de ocupação do solo e menor preservação dos recursos naturais.

A vegetação original da região, constituída pela Mata Atlântica, já foi fortemente devastada pela ação do homem, permanecendo ainda intacta em locais afastados dos núcleos urbanos e/ou de difícil acesso.

A ocupação dos terrenos da área urbana de Nova Friburgo deu-se, inicialmente com maior densidade, ao longo das planícies de inundação do rio Bengalas e de seus formadores, rios Santo Antônio e Cônego. A ocupação das encostas estendeu-se por aquelas menos íngremes, em grandes lotes, onde foram realizadas poucas intervenções para as construções.

Esta tendência perdurou até o final dos anos 60, quando o crescimento da população, alavancado pelo incremento de um importante pólo industrial no município, deu-se de forma brusca, dificultando o planejamento do uso e ocupação do solo pelas autoridades locais, passando tal ocupação a ocorrer de forma desordenada. Deste período, até os dias de hoje, a construção de moradias nas encostas e nas margens dos rios e córregos, por populações de baixa renda, acentuou-se gerando a maioria das situações de risco que precisam ser enfrentadas pelas autoridades municipais, principalmente nos períodos das chuvas intensas de verão.

Em Nova Friburgo estão inseridas as unidades de conservação listadas na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** – Unidades de Conservação

<b>UNIDADE DE CONSERVAÇÃO</b>	<b>TIPO DE UNIDADE</b>	<b>NOME</b>
Estadual	Área de Proteção Ambiental	Macaé de Cima
Estadual	Parque Estadual	dos Três Picos
Municipal	Área de Proteção Ambiental	do Caledônia
Municipal	Área de Proteção Ambiental	dos Três Picos
Municipal	Área de Proteção Ambiental	de Macaé de Cima
Municipal	Área de Proteção Ambiental	do Rio Bonito

### *3.1.3. Topografia*

Nova Friburgo faz parte da região serrana do Estado do Rio de Janeiro, com topografia acidentada e altas declividades. Em seu território se localizam os Três Picos, imponente conjunto de montanhas onde se situa o ponto culminante de toda a região, com aproximadamente 2300 metros de altitude.

Os movimentos tectônicos que atuaram durante o Terciário sobre o sudeste da costa brasileira, tiveram como consequência o basculamento da faixa litorânea em blocos escalonados, dos quais, o mais alto e mais interiorano formou a Serra da Mantiqueira, o bloco intermediário originou a Serra do Mar que forma um longo espigão entre o vale do rio Paraíba e a orla marinha, e o terceiro, mais baixo, desmantelou-se no mar, deixando como remanescentes de relevo algumas ilhas e espigões costeiros. A região de Nova Friburgo insere-se na Serra do Mar, no segmento denominado Serra dos Órgãos (PMNF/CPRM, 2007).

O Planalto de Friburgo é uma denominação local da Serra dos Órgãos, tendo por limite a escarpa serrana com vertentes em forte desnível até a baixada litorânea. Possui características peculiares em suas formas de relevo, que têm como forma preponderante um grande número de espigões residuais. Em consequência da forte influência da tectônica regional sobre o arranjo da rede de drenagem, os rios de primeira ordem estão condicionados de maneira rígida ao sistema principal de falhamentos SW/NE e ao sistema secundário transversal. Somente as formas secundárias de dissecação denotam a influência das variações litológicas (PMNF/CPRM, 2007).

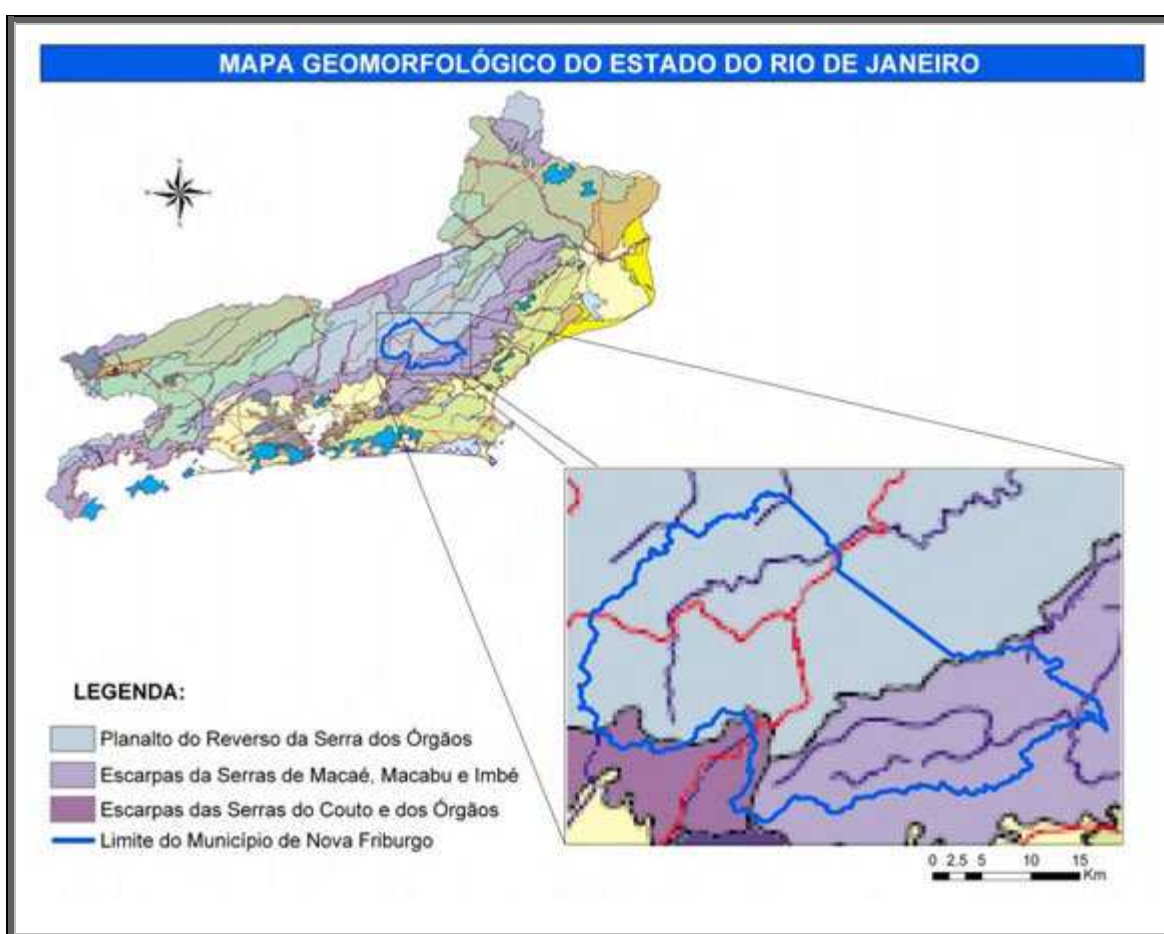
A região de Nova Friburgo conta ainda com outras formações rochosas. Podem-se destacar as serras dos Órgãos, Paquequer, Macaé, Boa Vista, Amparo, Boa Esperança e do Morro do Queimado. De uma maneira geral, Nova Friburgo é constituída por escarpas, picos e vales fluviais.

A cidade de Nova Friburgo está instalada em um vale extenso e largo, que se estende na direção aproximada N-S, preenchido por sedimentos aluvionares, representando a drenagem principal. Este vale está cercado por espigões rochosos que se alternam a vales de dissecação associados a estruturas geológicas, por onde quase sempre se desenvolve a urbanização secundária.

Em praticamente todo o Município, é nítida a associação de estruturas geológicas (falhas e fraturas) aos processos erosivos da região (PMNF/CPRM, 2007).

### 3.1.4. Geomorfologia

Conforme o Mapa Geomorfológico do estado do Rio de Janeiro - Projeto Rio de Janeiro – CPRM (Figura 3.2), o município de Nova Friburgo está inserido no Sistema de Relevos de Degradação em Áreas Montanhosas no Domínio Montanhoso, que se caracteriza por relevo montanhoso, muito acidentado, localizado, em geral, no reverso da escarpa da Serra do Mar. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados.



**Figura 3.2** – Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Destaque para o município de Nova Friburgo.

Nos vales principais há a ocorrência de compartimentos colinosos e/ou de morros, em seções alveolares. Ocorrências pontuais de relevo suave ondulado, com elevações locais, localizado nos planaltos elevados das serras do Mar e da Mantiqueira. Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 400m e gradientes de elevados a muito elevados com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

O Termo de Referência para o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (2007) faz as seguintes considerações em relação à geomorfologia da área de interesse do presente estudo:

- ☑ o planalto de Friburgo é uma denominação da Serra dos Órgãos e é limitado pela escarpa da Serra do Mar que se apresenta de forma quase retilínea, com vertentes em forte desnível. A escarpa está instalada em uma linha de falha e, aparentemente, não tem recuado muito da sua posição original. Os espigões residuais constituem a unidade principal de relevo do planalto. O nível mais elevado é o divisor de águas entre os rios que drenam para o mar e os que drenam para o rio Paraíba do Sul;
- ☑ nas áreas mais escarpadas, observam-se grandes afloramentos do substrato rochoso, de natureza granito-gnáissica. As encostas apresentam coberturas de solos coluviais e depósitos de tálus, com freqüentes ocorrências de deslizamentos dessas coberturas nos períodos de maior pluviosidade (dezembro a março). A natureza silto-argilosa dos terrenos propicia um forte escoamento superficial das águas oriundas das chuvas intensas de verão, que, além dos deslizamentos, provocam erosão e acúmulo de sedimentos nas drenagens que se desenvolvem nos vales.

Segundo LACERDA (1997), em áreas de granito observa-se com certa freqüência a existência de grandes blocos, que, quando isolados, podem rolar ou deslizar talude abaixo. Este risco é observado em algumas localidades que já possuem ocupação urbana significativa no município de Nova Friburgo, como na base da Pedra do Imperador (em Olaria) e em Riograndina.

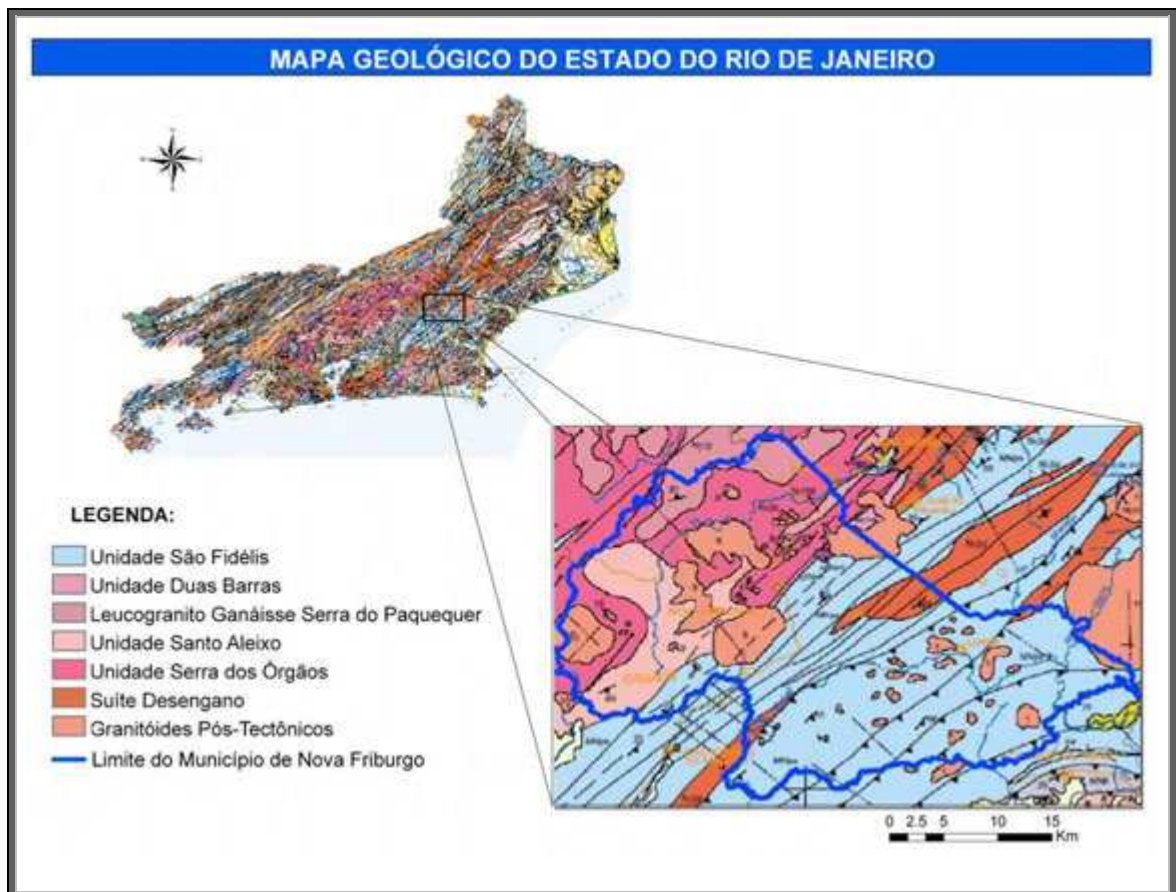
LACERDA (1997) também observa que os fundos de vales e a área adjacente ao pé da encosta estão normalmente cobertas por depósitos (tálus e/ou colúvio) oriundos de deslizamentos de terra ou erosão superficial ocorridos anteriormente. Por isso, estes depósitos costumam apresentar vários tipos de solo com blocos e matacões.

### 3.1.5. Geologia

Segundo o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro<sup>3.2</sup> (Figura 3.3), Nova Friburgo é representada na sua maioria pela Unidade São Fidélis do Complexo Paraíba do Sul, de idade meso/neoproterozóica, constituída por granada-biotita-sillimanita gnaiss quartzofeldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios anatéticos *in situ* ou injetados de composição granítica.

---

<sup>3.2</sup> Fonte: DANTAS, M. E. et al - Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro – Brasília: CPRM, 2000.



**Figura 3.3** – Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Destaque para o município de Nova Friburgo.

O substrato rochoso do município é constituído por rochas cristalinas granito-gnáissicas do Proterozóico médio superior, do Proterozóico superior e do Cambro-Ordoviciano, cortadas por diques e intrusões básicas do Terciário-Cretáceo. Estão capeadas por sedimentos aluvionares e coluvionares do período Quaternário (PMNF/CPRM, 2007).

As rochas do Proterozóico médio superior pertencem ao Grupo Serra dos Órgãos e ao Complexo Paraíba do Sul. A Suíte Intrusiva Serra dos Órgãos é constituída por: a) granitóides e migmatitos homogêneos com estruturas bandadas, nebulíticas e homófonas, injetados por diques e soleiras de granito fino (róseo) e pegmatito; b) migmatitos e, subordinadamente, gnaisses mesclados a listrados, venulados, com aspectos granitóides, injetados por diques, soleiras e filões de granito fino (róseo) e pegmatito; c) gnaisses xistosos listrados e/ou venulados com porções porfiroblásticas, injetados discretamente por diques e soleiras de granito fino (róseo) e pegmatito. As rochas do Complexo Paraíba do Sul são biotita gnaisses, microclina-biotita-gnaisses porfiroblastos, quartzitos, quartzo-xistos e cálciosilicáticas. Subordinadamente ocorrem charnockitos e dioritos (PMNF/CPRM, 2007).

Como produtos finais da granitogênese brasileira, corpos de granitos pós-tectônicos pertencentes à Unidade Granitóides Pós-tectônicos Cambrianos (εγ5) ocorrem, em geral, em formas circulares discordantes das estruturas regionais. O granitóide Nova Frigurgo, dentre outros, se destaca pela sua expressão aflorante (DANTAS, M. E. et al, 2000).

As rochas que constituem a crosta terrestre, na região, foram submetidas a esforços tectônicos de grande intensidade, sendo que a última etapa deste processo data do Terciário, quando ocorreram os grandes falhamentos de caráter regional com direção geral NE-SW, que deram origem à Serra do Mar.

Essas grandes falhas geológicas são geralmente verticalizadas, e apresentam traços retilíneos que se estendem muitas vezes por dezenas de quilômetros, com espessuras das faixas onde as rochas foram afetadas por elas, em muitos casos, superiores a 100m. À essas falhas principais estão subordinadas inúmeras falhas secundárias e fraturas com igual direção, originárias da mesma movimentação tectônica. As fraturas, em muitos casos, sofreram a intrusão de diques básicos, alguns com espessura de até uma centena de metros (PMNF/CPRM, 2007).

O sistema estrutural principal intercepta outros de idade mais antiga, provocando nítidos deslocamentos em falhas e fraturas também subverticais com direção NW-SE, que ocorrem nas regiões norte e noroeste do município.

Essa intensa movimentação tectônica que afetou a crosta terrestre na região em diversos períodos geológicos provocou também fraturamentos ao longo de planos de foliação e/ou xistosidade das rochas pré-existentes, formando sistemas secundários.

Além das rupturas de origem tectônica já tratadas, outras, associadas a movimentos isostáticos da crosta e aos processos erosivos intensamente atuantes, são também importantes dentro do contexto estrutural da região, pois representam sistemas de juntas de alívio de tensão em rochas xistosas e/ou foliadas, e de diáclases, em rochas homogêneas de natureza granítica (PMNF/CPRM, 2007).

A infiltração das águas superficiais em todas essas discontinuidades acentua os processos de alteração e a conseqüente erosão das rochas em seus planos e faixas de influência. A presença de água gerando poropressões nos planos das discontinuidades pode condicionar a ocorrência de rupturas em taludes de rocha e solo residual. A morfologia dos terrenos reflete intensamente o desenho da malha formada por elas.

### 3.1.6. Pedologia

No município de Nova Friburgo predomina a ordem de solos do tipo cambissolo (Figura 3.4), que, de acordo com CARVALHO FILHO et al. (2003), são pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral pouco profundos ou rasos e com teores de silte relativamente elevados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bi-C, com modesta diferenciação entre eles.

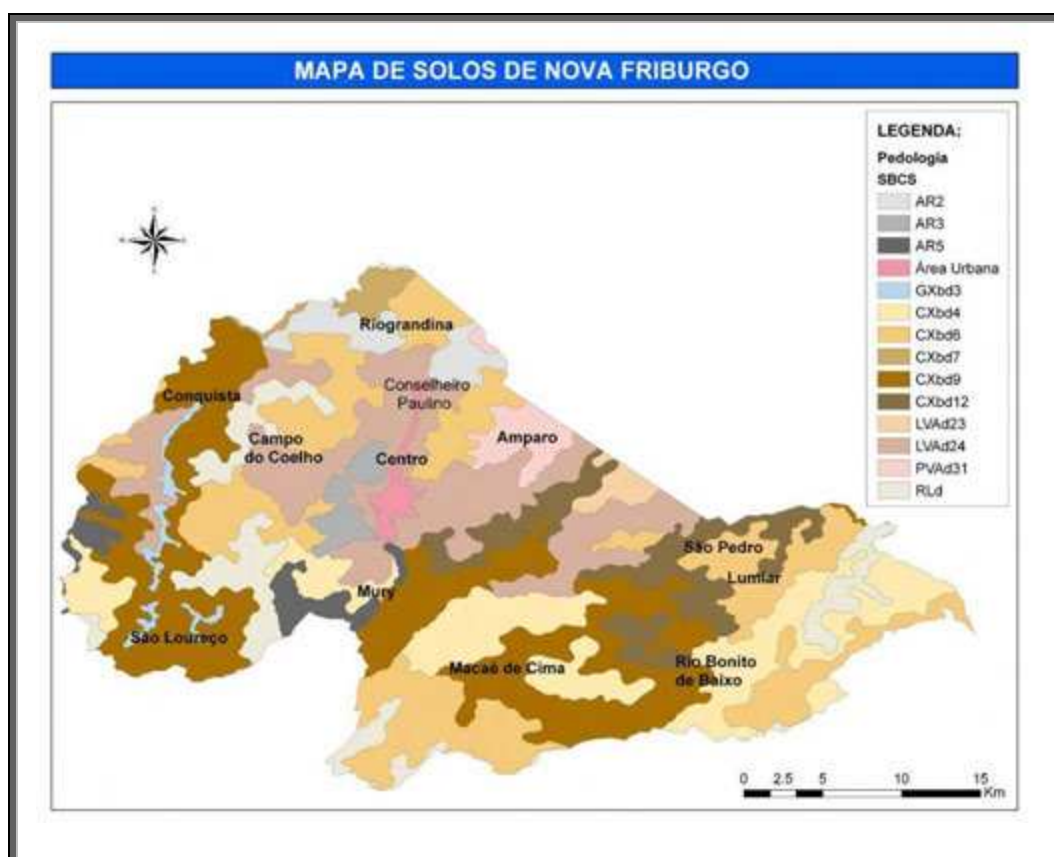


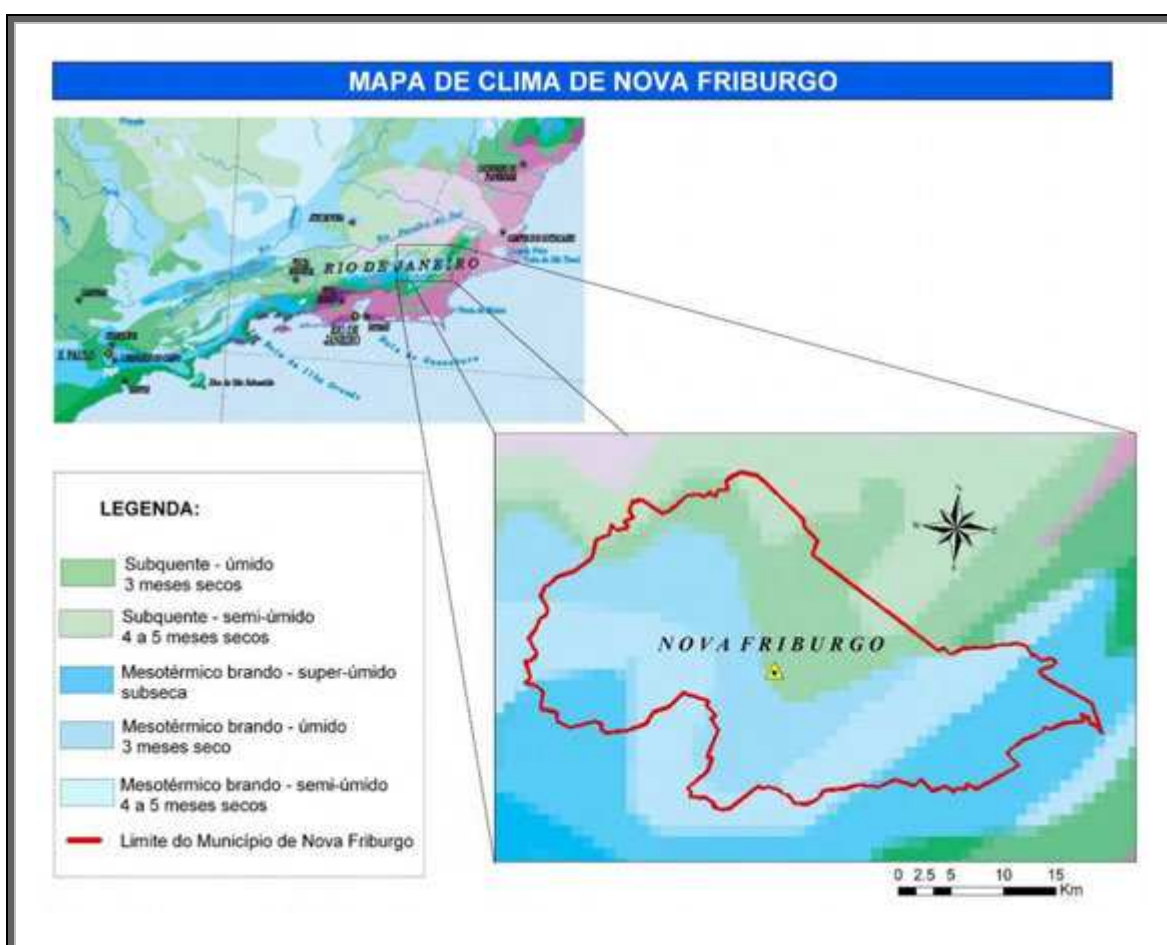
Figura 3.4 – Mapa de Solos de Nova Friburgo.

No Latossolo, que abrange parte significativa da região, estão compreendidos solos não hidromórficos, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte A. São normalmente muito profundos, com espessura do *solum* em geral superior a 2m, de elevada permeabilidade e comumente bem drenados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bw-C, com reduzido incremento de argila em profundidade.

### 3.1.7. Climatologia

O clima da região de Nova Friburgo é ameno, úmido nas proximidades das escarpas da Serra do Mar, tornando-se mais seco à medida que se afasta desta área em direção ao interior do estado.

Adotando-se a classificação de Köppen, predomina na região o tipo climático Cwb<sup>3</sup>. Trata-se do clima tropical de altitude, caracterizado por um clima mesotérmico, com verões brandos e chuvosos. Pode haver ocorrência de geadas no inverno, estação em que, em conjunto com o outono, as temperaturas médias são inferiores a 18°C e as mínimas inferiores a 12°C.



**Figura 3.5** – Mapa de Clima de Nova Friburgo (Fonte: IBGE).

De acordo com a Figura 3.5, Nova Friburgo possui clima relativamente úmido com poucos meses secos. Há o predomínio do tipo climático mesotérmico brando, com temperatura média de 13°C no inverno e 24°C no verão. Essa descrição está em conformidade com a classificação Köppen adotada.

Os dados de pluviometria indicam uma precipitação média anual para o município, em torno de 2.000 mm. Essa precipitação é mais acentuada nas proximidades da crista da

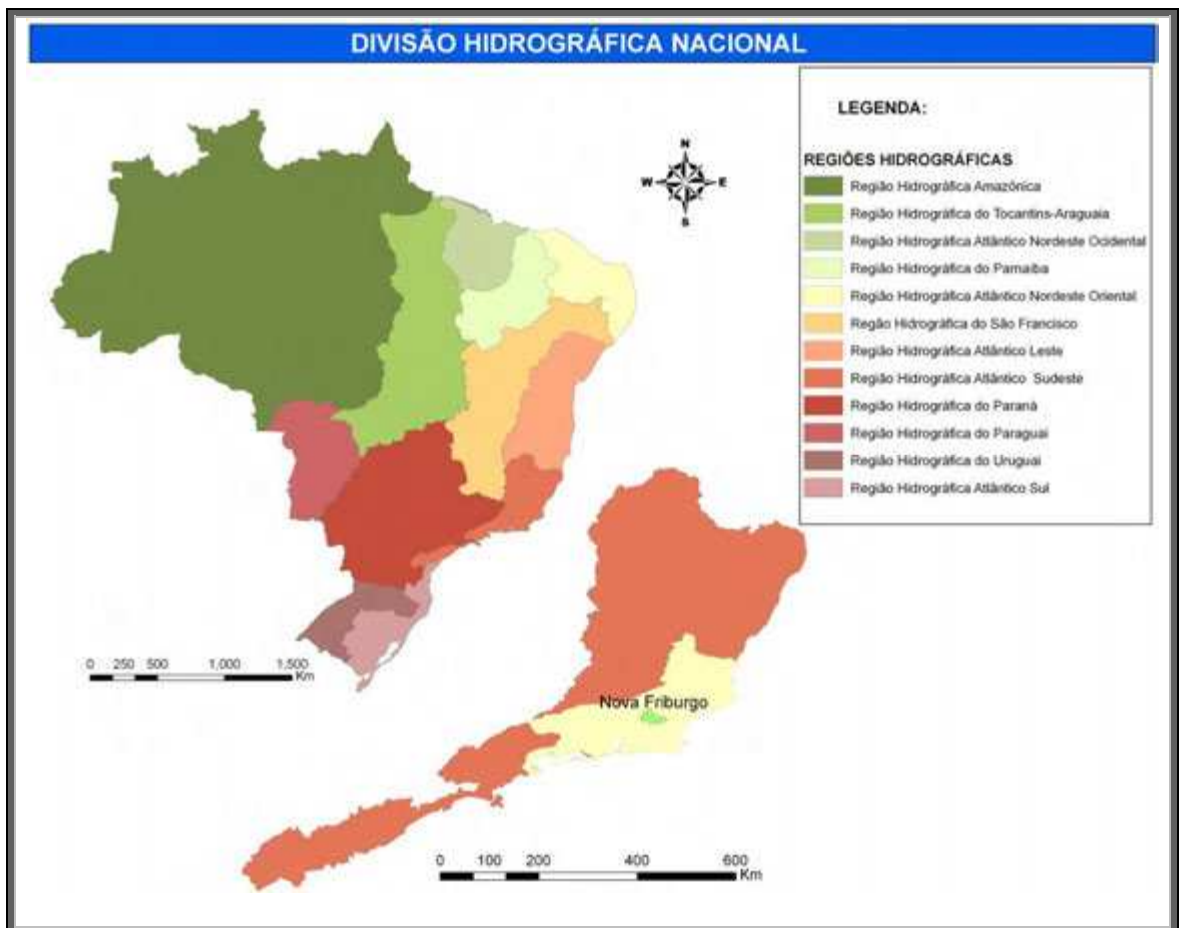
serra. Os meses onde é maior a intensidade das chuvas são dezembro, janeiro e fevereiro, com alternância dos regimes torrencial e constante. Os meses dentro do período mais seco, com precipitações mais reduzidas, são junho, julho e agosto.

Durante o período de chuvas, ocorrem grandes temporais com fortes enxurradas, acentuando o escoamento superficial em direção à drenagem, ocasionando muitas vezes, enchentes nas áreas de várzea da drenagem principal (rio Bengalas). Esses temporais alternam-se a períodos de chuvas constantes, quando há forte infiltração das águas nos solos superficiais, saturando-os e aumentando a instabilidade dos terrenos nas encostas, que ficam suscetíveis a escorregamentos. No período mais seco, que se estende de maio a outubro, incluindo os três meses de menor precipitação, esses solos tendem a secar, reduzindo sensivelmente esse risco (PMNF/CPRM, 2007).

### *3.1.8. Hidrografia*

Por hidrografia, entende-se o conjunto das águas correntes ou estáveis de uma região, representando, assim, o conjunto composto pelos rios, lagos e canais naturais ou artificiais.

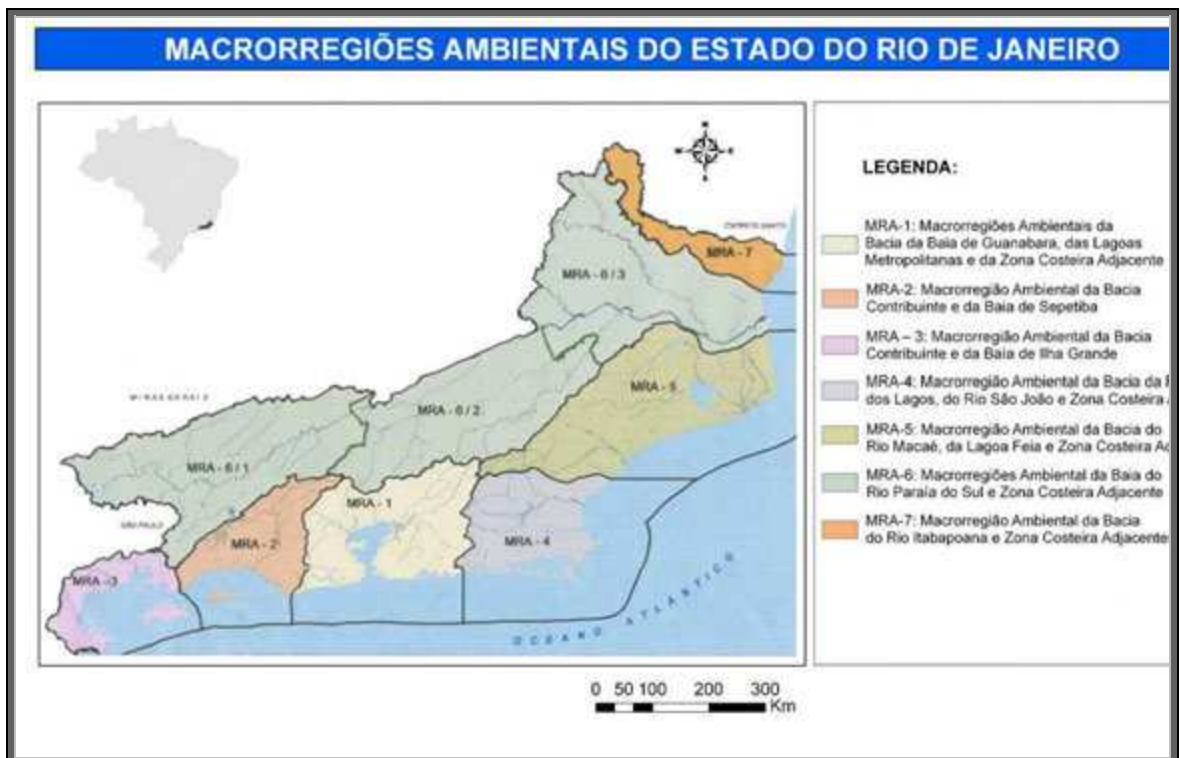
De acordo com a divisão estabelecida pela Agência Nacional de Águas (ANA) através da Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH Nº 32, de 15 de outubro de 2003, o território de Nova Friburgo se encontra na Região Hidrográfica Atlântico Sudeste (Figura 3.6). Segundo recorte hidrográfico da ANEEL, a cidade se localiza nas sub-bacias 58 e 59. A Figura 3.3 ilustra a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste.



**Figura 3.6** – Mapa da Divisão Hidrográfica Nacional, com destaque para a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste (Fonte: ANA).

Nova Friburgo pertence às Macrorregiões Ambientais MRA-5 e MRA-6, que compreendem as seguintes bacias hidrográficas (Figura 3.7):

- MRA-5: da Lagoa de Imboassica, do rio Macaé, da Lagoa Feia, microbacias das pequenas e médias lagoas da MRA-5.
- MRA-6: do rio Paraíba do Sul.

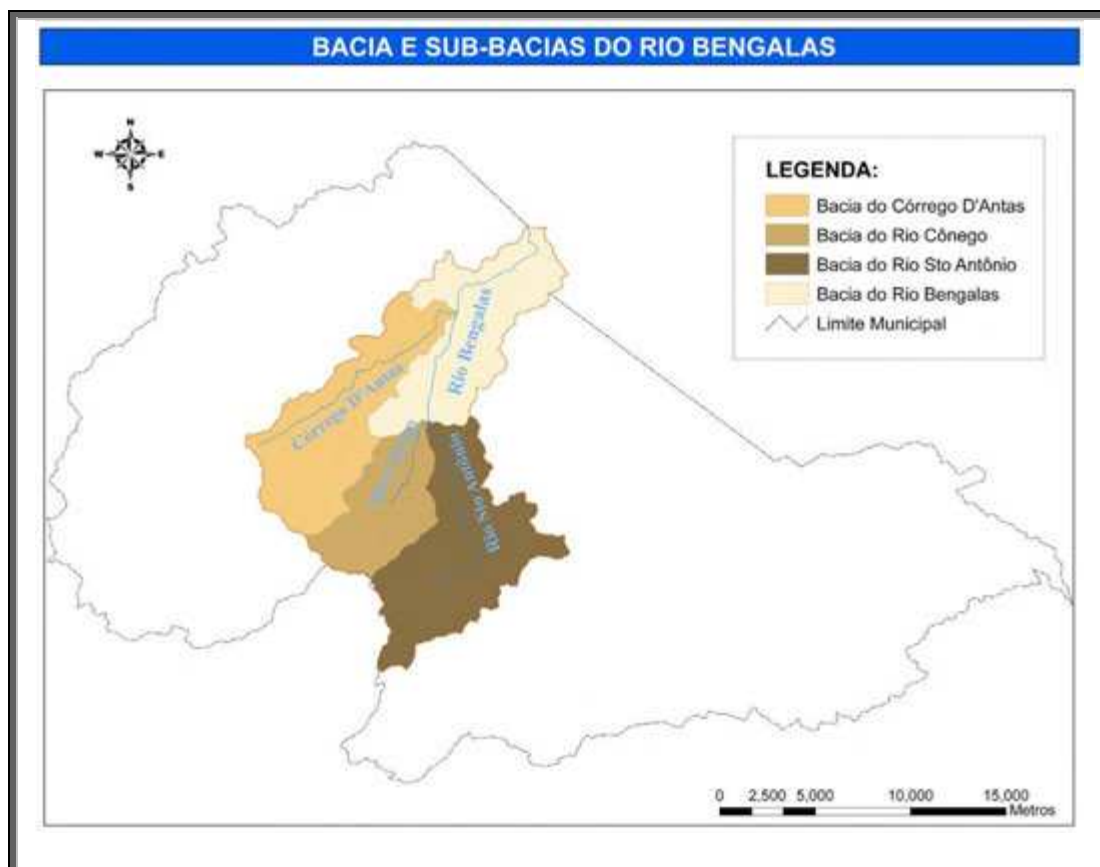


**Figura 3.7** – Macrorregiões Ambientais do Estado do Rio de Janeiro (SEMADS, 2001).

A bacia do rio Paraíba do Sul, com cerca de 57.000 km<sup>2</sup>, é uma bacia hidrográfica de domínio federal. Com 39,6 % de sua área total localizada no território fluminense, constitui a maior bacia local (SEMADS, 2001).

A macrodrenagem do município é constituída pelo rio Grande, rio Bengalas, rio Caledônia ou rio Cônego, rio Santo Antônio, córrego D'Antas, rio Macaé e rio Bonito além de bacias de menor porte como a do córrego do Curuzú, ribeirão São José, ribeirão do Capitão e ribeirão São Domingos.

A bacia do rio Bengalas é formada pelas sub-bacias dos rios Cônego, Santo Antônio e córrego D'antas. A Figura 3.8 ilustra a bacia do rio Bengalas e suas sub-bacias.



**Figura 3.8** – Bacia e Sub-Bacias do rio Bengalas.

Apresenta-se a seguir uma descrição da situação atual dos principais macrodrenos existentes no município, segundo o Plano de Águas Pluviais elaborado pela FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA da Universidade de São Paulo (FCTH/USP).

✓ Rio Macaé

O rio Macaé nasce no Distrito de Mury, cruza o Distrito de Lumiar e passa por outros municípios do Rio de Janeiro, como Macaé e Casimiro de Abreu, até desaguar no Oceano Atlântico, com extensão total de 136 km, sendo aproximadamente 87 km dentro de Nova Friburgo. Sua bacia hidrográfica apresenta área de cerca de 1.765 km<sup>2</sup>, estando 355,2 km<sup>2</sup> contidos no município de Nova Friburgo.

A bacia do rio Macaé em Nova Friburgo está inserida na 3ª Região e pertence à Zona de Proteção Natural ou de Interesse Ambiental e Ecológico, de acordo com o disposto na Lei nº 2249 de 08 de Dezembro de 1988 – Lei de Uso do Solo, e não foi objeto de proposições estruturais no PAP. Entretanto, cabe ressaltar que deverá obedecer às diretrizes de medidas não estruturais a serem implantadas pelo referido dispositivo legal.

O rio Macaé tem como principais afluentes, em Nova Friburgo, o rio das Flores, rio Bonito e o rio Boa Esperança.

De acordo com dados apresentados pela ANA, a vazão média de longo termo medida no posto fluviométrico de Macaé de Cima em Nova Friburgo é de 2,72 m<sup>3</sup>/s.

✓ Rio Grande

O rio Grande nasce na Serra do Morro Queimado em São Lourenço, no distrito de Campo do Coelho, atravessa os distritos Centro e Riograndina e, ao se unir como rio Negro, já fora do município de Nova Friburgo, forma o rio Dois Rios. O seu principal afluente é o rio Bengalas.

Segundo BNG2<sup>3.3</sup> o rio Grande é um dos quatro mananciais utilizados no sistema de abastecimento de Nova Friburgo, e se encontra a montante da confluência com o rio Bengalas.

O rio Grande está inserido quase que totalmente na 2ª Região e pertence à zona rural, ou seja, até a montante da foz do córrego do Funil, estando o restante inserido na 1ª região e zona urbana do município.

A bacia do rio Grande dentro do município apresenta área de 280,9 km<sup>2</sup> e extensão total de 48,5 km.

✓ Rio Santo Antônio

O rio Santo Antônio nasce no distrito de Mury no núcleo urbano de Teodoro de Oliveira, próximo à divisa com o município de Cachoeiras de Macacu. Segue até a confluência com o rio Cônego, já no distrito de Nova Friburgo, no centro. Sua bacia apresenta área de 57,2 km<sup>2</sup> e extensão de 16,2 km, sendo que deste total somente aproximadamente 1,2 km são detalhados no Plano de Águas Pluviais.

Segundo o Anexo 06 da Lei de Uso do Solo n° 2.249 de 08 de dezembro de 1988, o rio Santo Antônio está inserido na 1ª Região e dentro da Zona de Expansão Urbana, onde a ocupação urbana dar-se-á a médio e longo prazo.

A área da bacia do rio Santo Antônio que se encontra inserida no distrito de Nova Friburgo é a que apresenta maior índice de urbanização e conseqüente impermeabilização. As Figuras 3.9 e 3.10 exibem a urbanização às margens do rio Santo Antônio vista à montante da confluência com o rio Cônego.

---

<sup>3.3</sup> Fonte: [www.bng2.org.br](http://www.bng2.org.br)



**Figura 3.9** – Rio Santo Antônio à montante da confluência com o rio Cônego (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).



**Figura 3.10** – Rio Santo Antônio - Rua Coronel Zamite (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

✓ Rio Cônego

O rio Cônego cujo formador é o rio Caledônia, nasce na Serra da Boa Vista no Pico do Caledônia, distrito de Nova Friburgo, próximo à divisa do município com Cachoeiras de Macacu. A área drenada por este rio é de aproximadamente 29,1 km<sup>2</sup> e extensão de 10,6 km até a junção com o rio Santo Antônio, somente 3,7 km foram objeto de detalhamento no Plano de Águas Pluviais.

De acordo com o Anexo 06 da Lei de Uso do Solo n° 2.249 de 08 de dezembro de 1988, a bacia do rio Cônego pertence a 1ª Região e está inserida na Zona Urbana do município.

Nas proximidades da confluência com o rio Santo Antônio verifica-se urbanização das margens e a redução da largura do leito (Figuras 3.11 e 3.12).



**Figura 3.11** – Rio Cônego à montante da confluência com o rio Santo Antônio (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).



**Figura 3.12** – Rio Cônego próximo ao Country Clube (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

✓ Rio Bengalas

O rio Bengalas é formado pela confluência dos rios Santo Antônio e Cônego, dentro do distrito de Nova Friburgo, e se desenvolve ainda pelos distritos de Conselheiro Paulino e Riograndina. Mais à jusante, nas proximidades do limite do município de Nova Friburgo com o município de Bom Jardim, deságua no rio Grande.

A área de drenagem da bacia do rio Bengalas que inclui as sub-bacias dos seus formadores é de aproximadamente 191,36 km<sup>2</sup> com extensão total 12,3 km. O detalhamento do projeto foi de aproximadamente 8,2 km da extensão total.

O rio Bengalas, por estar inserido na área mais urbanizada de Nova Friburgo e com trechos onde há ocupação desordenada, compreende a região com o maior número de ocorrências, seja devido à enchentes ou à inundações, causando dessa forma inúmeros transtornos à população do entorno.

A topografia de sua bacia é bastante acidentada o que faz com que o rio apresente trechos com declividade acentuada e sinuosidade. Entretanto, no início do século passado, o rio teve sua sinuosidade natural alterada pela retificação do seu trecho no centro da cidade.

Em 2002 o Departamento de Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro executou uma obra de revestimento das paredes do canal por meio de cortinas atirantadas, com a

finalidade de ampliação da capacidade de vazão local. Entretanto, o revestimento das paredes resultou em aumento da velocidade e conseqüente aumento de vazão transportada, o que causa, por vezes, quando da ocorrência de chuvas intensas, inundações em seu trecho de montante, com prejuízos à população e à municipalidade.

As Figuras de 3.13 a 3.15 mostram o início da contenção das margens, a confluência dos rios Santo Antônio e Cônego e o fim da contenção, respectivamente.



**Figura 3.13** – Rio Bengalas, início da contenção das margens (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).



**Figura 3.14** – Confluência do rio Santo Antônio com o rio Cônego (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).



**Figura 3.15** – Rio Bengalas, fim da contenção das margens (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

✓ Córrego D'Antas

O córrego D'antas nasce no distrito de Nova Friburgo e drena até a confluência com o rio Bengalas em Conselheiro Paulino uma área de 52 km<sup>2</sup> e extensão de 18,6 km. Desse total, 0,6 km foi objeto de detalhamento no Plano de Águas Pluviais do Município de Nova Friburgo.

Segundo a Lei de Uso do Solo n° 2.249, a bacia do córrego D'antas está inserida na 1ª Região, com parte na Zona de Expansão Urbana e parte na Zona de Proteção Natural. O trecho com maior índice de urbanização (ocupação) está localizado a jusante, como pode ser visto na Figura 3.16. Pode-se observar ainda na imagem, ocupação desordenada à margem do rio, inclusive com risco de escorregamento.

O córrego D'antas encontra-se revestido com vegetação natural e apresenta pontos com ocorrência de inundações.



**Figura 3.16** – Córrego D'Antas próximo à confluência com o rio Bengalas (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

### 3.1.9. Informações Populacionais

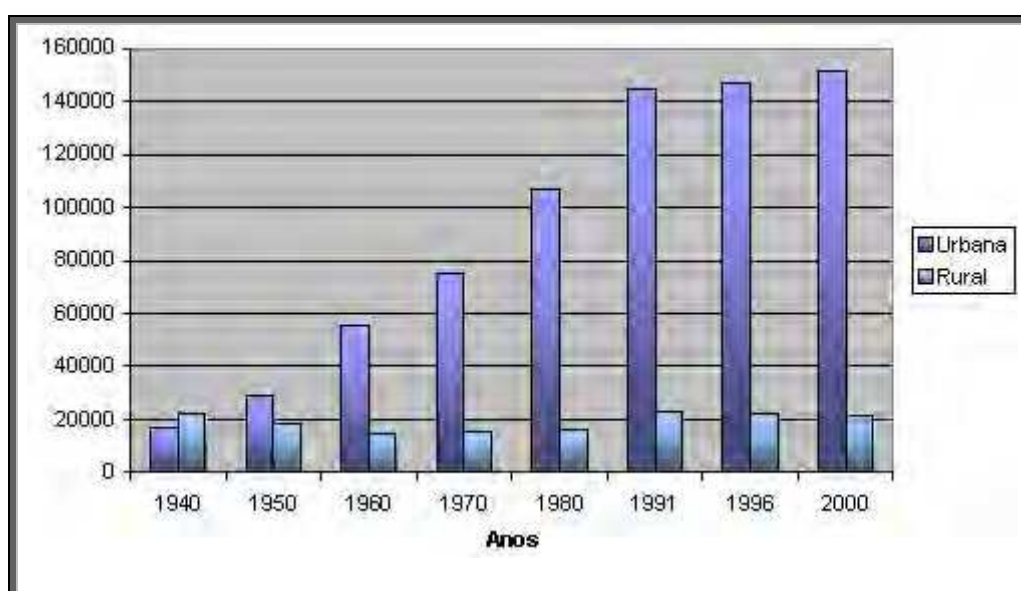
Na Tabela 3.3 encontra-se a evolução da população residente do município de Nova Friburgo entre os anos de 1940 a 2000 segundo a Fundação CIDE.

**Tabela 3.3** – População residente por situação (CIDE)\*.

<b>ANO</b>	<b>URBANA</b>	<b>RURAL</b>	<b>TOTAL</b>
1940	16975	22235	39210
1950	29365	18390	47755
1960	55651	14494	70145
1970	74756	15664	90420
1980	107126	16244	123370
1991	144354	22727	167081
1996	146779	22467	169246
2000	151820	21501	173321

Para 1940, 1950 e 1960, os dados se referem à população presente. Ano de 2000: Sinopse Preliminar do Censo Demográfico do IBGE.

A Figura 3.17 representa a evolução da população por situação de domicílio.



**Figura 3.17** – Evolução da população por situação do domicílio.

Na Tabela 3.4 encontra-se a evolução da densidade demográfica no município de Nova Friburgo entre os anos de 1970 e 2000, segundo o CIDE (Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro).

**Tabela 3.4** – Densidade demográfica (CIDE).

	<b>1940</b>	<b>1950</b>	<b>1960</b>	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>	<b>1996</b>	<b>2000</b>
<i>Hab/km<sup>2</sup></i>	41,9	51,1	75,0	96,7	131,9	178,7	181,0	184,7

\* Fonte: Fundação CIDE – Site: [www.cide.rj.gov.br](http://www.cide.rj.gov.br)

### 3.1.10. Infra-Estrutura e Serviços Públicos

#### 3.1.10.1. Abastecimento de Água

O abastecimento de água e a coleta e tratamento de esgotos no município de Nova Friburgo estão a cargo da CAENF (Concessionária de Água e Esgoto de Nova Friburgo), uma concessionária de serviços públicos, a qual é responsável por 33000 ligações de água e aproximadamente 54.000 economias.

De acordo com informações da concessionária o sistema público de abastecimento de água atende a 95% da população.

Nova Friburgo conta com cinco sistemas produtores, listados a seguir. Há ainda 10 poços profundos, que serão desativados em função dos altos custos de operação e manutenção. A Tabela 3.5 apresenta as vazões normais dos sistemas produtores de Nova Friburgo.

**Tabela 3.5** – Vazões dos sistemas produtores de Nova Friburgo (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

<b>SISTEMAS</b>	<b>VAZÃO (l/s)</b>
<b>Debossan</b>	150
<b>Cascatinha</b>	20
<b>Caledônia</b>	60
<b>Rio Grande de Cima</b>	300
<b>Curuzu</b>	30

#### 3.1.10.2. Esgotamento Sanitário

Segundo o EIA-RIMA do Sistema de Esgotamento e Tratamento dos Esgotos do Município de Nova Friburgo, o sistema de coleta e afastamento dos esgotos sanitários atende a 80% da população urbana.

O sistema possui cerca de 380 km de rede coletora e 32.000 ligações que atendem aproximadamente a 53.000 economias.

Atualmente não há estações de tratamento de esgotos em Nova Friburgo, sendo a totalidade dos efluentes coletados depositada *in natura* nos corpos d'água.

A exceção de novos loteamentos e de regiões urbanizadas, recentemente, verifica-se em Nova Friburgo a existência de redes do tipo 'Sistema Unitário', isto é, tanto o esgoto quanto as águas pluviais são transportados por uma mesma rede de tubulações. Este tipo de sistema gera grandes transtornos nos dias de fortes precipitações, podendo ocasionar o refluxo dos esgotos para o interior das edificações.

Conforme o Plano Diretor do Sistema de Coleta e Tratamento dos Esgotos do Município de Nova Friburgo, o sistema de esgotamento sanitário do município é dividido em dois grandes grupos:

- ☑ sistema Integrado de Nova Friburgo e Conselheiro Paulino: que corresponde às bacias do rio Bengalas e de seus formadores – rios Santo Antônio, Cônego e Córrego D'antas, com uma área total de aproximadamente 184 Km<sup>2</sup>, responsável por cerca de 90% da população do município (PMNF/FCTH, 2007);
- ☑ sistemas Isolados: que é composto pelos distritos de Riograndina, Amparo, Campo do Coelho, Lumiar e São Pedro da Serra. Pelas suas características topográficas, têm os seus sistemas projetados independentes.

Segundo o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo – PAP (2007), ainda em implantação, haverá estações de tratamento de esgotos em ambos os sistemas.

#### 3.1.10.3. Disposição Final dos Resíduos Sólidos

De acordo com informações da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, os serviços públicos de coleta e disposição de resíduos sólidos são realizados pela Empresa Brasileira de Meio Ambiente – EBMA.

São coletadas diariamente 4.000 toneladas de lixo. Esta coleta atende a 100% da população urbana e o trabalho é realizado por caminhões compactadores. A disposição de todo o lixo coletado é feita em aterro sanitário, com área de 23 hectares, localizado na RJ-130 - Estrada Friburgo/Teresópolis, km 63. Atualmente, essa empresa propõe, para uma área contígua ao aterro existente, a instalação de um novo aterro sanitário, que se encontra em fase de licenciamento ambiental pelo INEA. Após o início da operação da nova área, serão encerradas as atividades do antigo aterro.

A EBMA também realiza a coleta dos resíduos sólidos de saúde por meio de veículos especiais para, posteriormente, os disporem em valas sépticas separadas da área de depósito do lixo domiciliar.

A Tabela 3.6 apresenta a quantidade mensal de resíduos sólidos recebido pelo aterro para os anos de 2004 e 2005, segundo os dados fornecidos pela EBMA representada pelo Centro de Educação Ambiental (CEA).

**Tabela 3.6** – Toneladas de resíduos recebido pelo aterro por mês (CEA, 2006).

<i>Mês</i>	<i>Ano</i>	
	2004	2005
Janeiro	5315,51	6052,31
Fevereiro	4847,39	5196,11
Março	5679,59	4974,07
Abril	5672,32	4636,94
Maio	5308,05	4660,29
Junho	4217,44	4506,82
Julho	4920,35	4187,74
Agosto	4843,53	4897,02
Setembro	4586,99	4617,76
Outubro	4404,48	4397,59
Novembro	4622,22	4637,38
Dezembro	5216,04	5894,73
<b>Total</b>	<b>59633,91</b>	<b>58658,76</b>

Segundo o Plano de Recursos Hídricos para a Fase Inicial da Cobrança na Bacia do Rio Paraíba do Sul – Volume I, Nova Friburgo está contemplada no programa Pró-Lixo. Esse plano visa dotar os municípios fluminenses com população superior a 150 mil habitantes de instalações adequadas à disposição de seus resíduos sólidos.

### **3.2. Aspectos Jurídico-Legais**

O município de Nova Friburgo conta com o arcabouço jurídico legal amparado nos seguintes dispositivos:

- Lei N° 2.249, de 08 de dezembro de 1988 – Lei de Uso do Solo.
- Lei N° 2.343, de 30 de maio de 1969 – Lei Orgânica do Município de Nova Friburgo.
- Código de Posturas do município de Nova Friburgo, de 26 de maio de 1994.
- Lei N° 024, de novembro de 2007 – Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo (PDP).
- Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (PAP), em implantação.
- Decreto Lei n° 53 de 14 de janeiro de 1943.

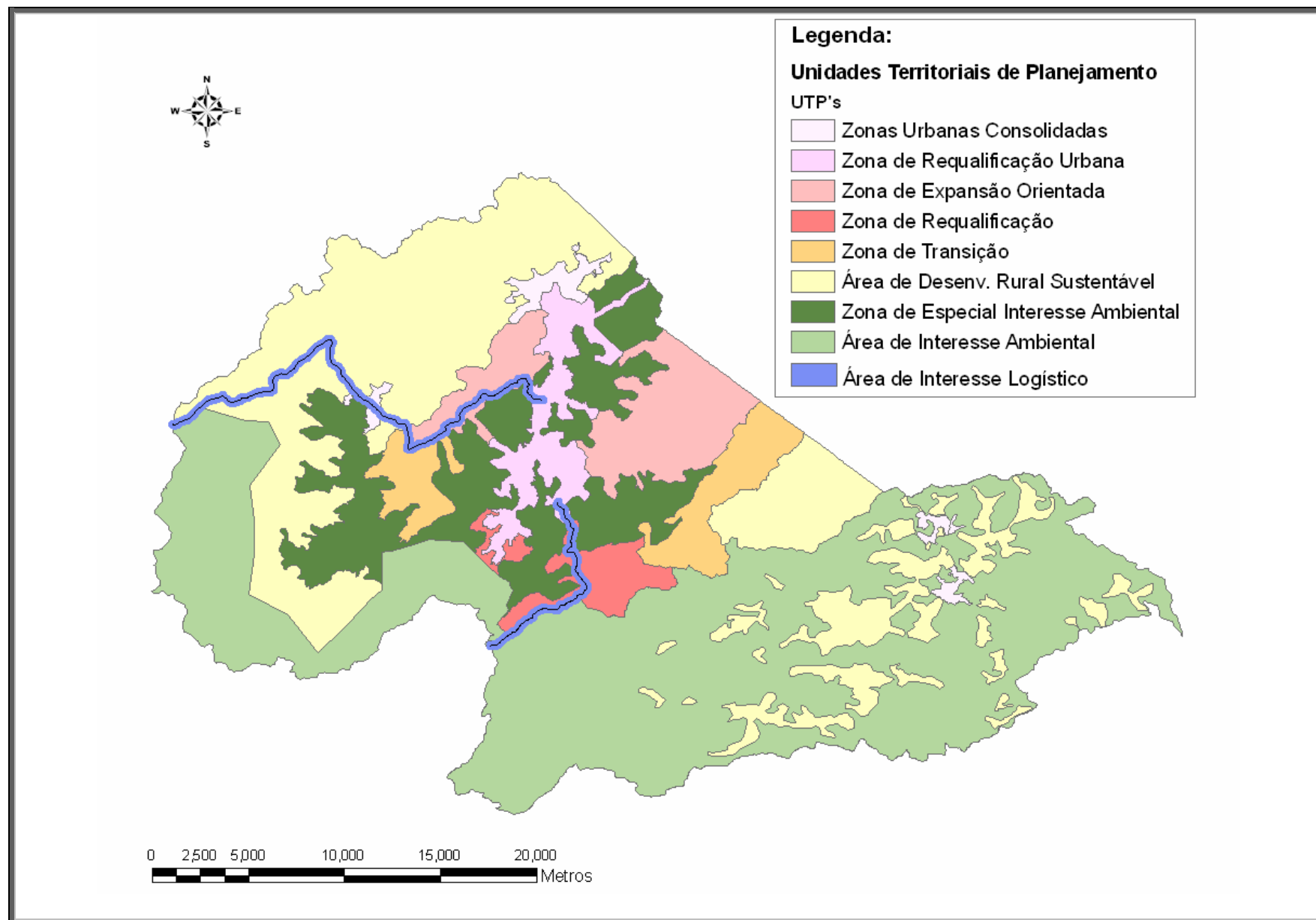
### *3.2.1. Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo (PDP)*

O PDP de Nova Friburgo passa a ser, conforme consta em seu primeiro artigo, a política de desenvolvimento e gestão urbana e territorial do Município de Nova Friburgo, observado o disposto no Capítulo da Política Urbana da Constituição Federal, no Estatuto da Cidade e na Lei Orgânica do Município de Nova Friburgo será implementada de acordo com o conteúdo desta Lei.

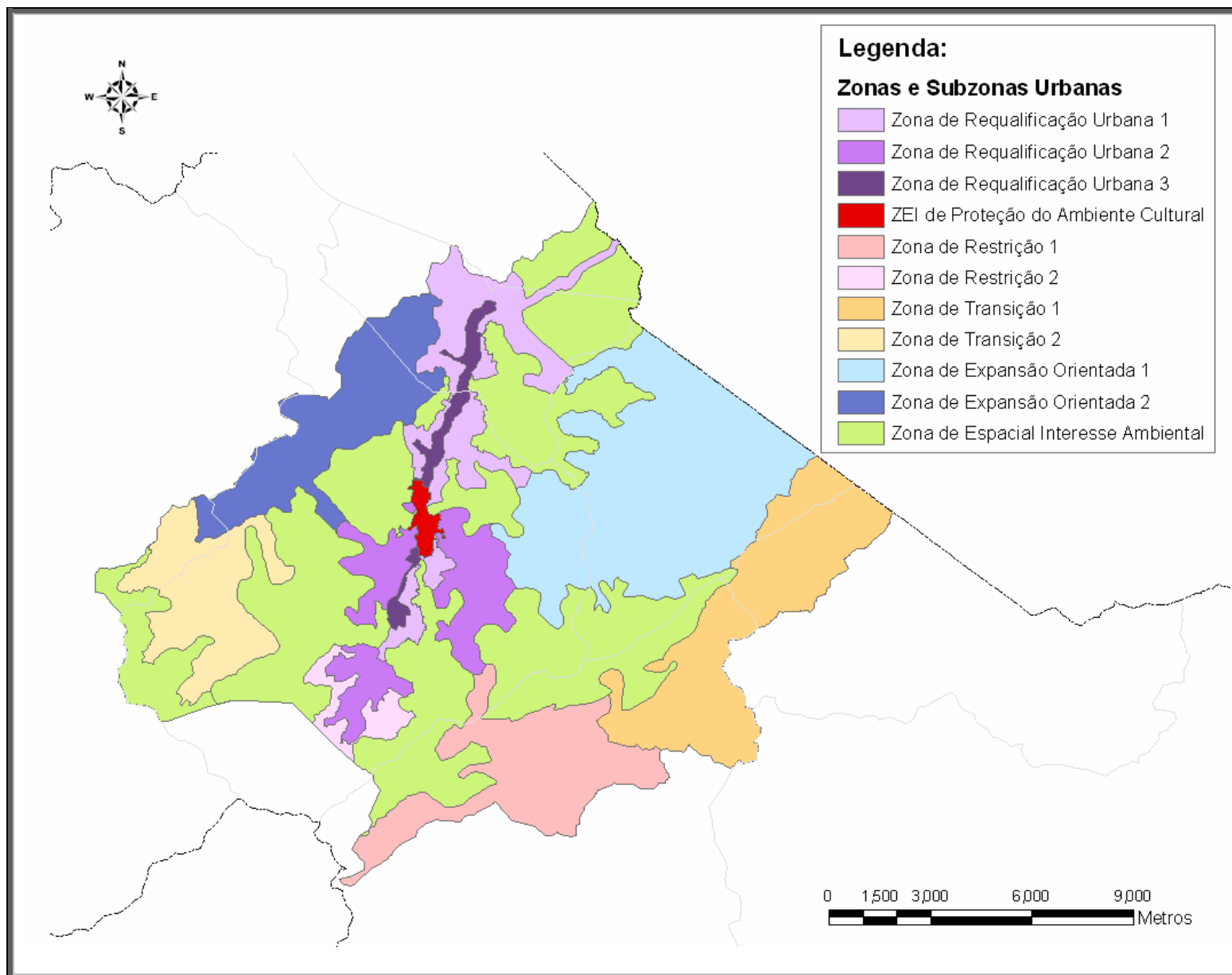
A promoção do saneamento ambiental em Nova Friburgo requer ações e investimentos dirigidos à universalização da cobertura do abastecimento de água e da coleta e tratamento do esgoto sanitário e à resolução dos problemas relacionados ao manejo dos resíduos sólidos e das águas pluviais, atendendo a demanda da população e visando a promoção da saúde pública e a integridade do meio ambiente.

Os Planos de Organização Territorial – POT de Nova Friburgo são instrumentos de ordenamento do uso e ocupação do solo das principais bacias hidrográficas do Município de Nova Friburgo, instituídas nessa Lei como Unidades Territoriais de Planejamento – UTP (Figuras 3.18 e 3.19).

Apesar de estar em fase de implantação, cabe citar o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, em face de sua importância no escopo deste trabalho.



**Figura 3.18** – Divisão das Unidades Territoriais de Planejamento (UTP), PDP de Nova Friburgo.



**Figura 3.19** – Zonas e subzonas urbanas da UTP do rio Bengalas e ribeirões, PDP de Nova Friburgo.

### 3.2.2. Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (PAP)

O Plano de Águas Pluviais ou Plano Diretor de Macrodrenagem teve por objetivo o estudo, a análise e o diagnóstico do sistema de drenagem na área urbana do município de Nova Friburgo. Dessa forma, foram analisados os principais elementos de macrodrenagem, como ribeirões, córregos, riachos e rios.

O Programa Municipal de Drenagem proposto para o encaminhamento e consolidação do sistema de drenagem de Nova Friburgo é composto de ações imediatas, ações continuadas e ações não estruturais destinadas à viabilidade física e financeira das intervenções propostas e à sua sustentabilidade ao longo do tempo. O programa segue estrutura conforme a Tabela 3.7.

**Tabela 3.7** – Estrutura seguida pelo Programa Municipal de Drenagem (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

<i>Programa Municipal de Drenagem</i>	<b>Plano de Ação Imediata – PAI</b> <b>Plano de Ação Continuada – PAC</b>
<i>Medidas de Controle Não-Estruturais do Plano de Ação Continuada</i>	Descrição das medidas não-estruturais de controle

Dessa forma, foram definidas duas etapas cronológicas de ações, uma de caráter emergencial e imediato a ser implantada entre 2007 e 2010, denominada de PAI – Plano de Ação Imediata e, outra com medidas de médio e longo prazo e que deverão integrar o cronograma da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo entre 2011 e 2025, denominada de PAC – Plano de Ação Continuada.

A situação atual, do sistema de macrodrenagem do Município de Nova Friburgo, diagnosticada resultou na necessidade de medidas de controle como apresentadas na Tabela 3.8.

**Tabela 3.8** – Hierarquização das ações emergenciais (Fonte: PAP, 2007)

<i>Nº</i>	<i>Bacias</i>	<i>População 2005 (domic)</i>	<i>População 2005 (hab)</i>	<i>Vazão (m³/s)</i>	<i>Volume (m³)</i>	<i>Extensão (m)</i>	<i>Custo (R\$)</i>
1	Reservatório de amortecimento no rio Cônego	12.602	50.407	53,707	185.000	-	18.500.000,00**
2	Canalização do rio Bengalas	22113	88.452	460,838	-	2000	21.601.573,29**
3	Drenagem de áreas baixas - Prado e Santo André	2.544	10.176	4,272*	-	2188	6.750.971,69
4	Adequação da microdrenagem afluente ao rio Bengalas, no bairro Prado	2.544	10.176	4,272*	-	2188	3.000.000,00
<b>Total</b>							<b>49.852.544,98</b>

**Nota:** 1- Foi considerada uma taxa de 4 habitantes por domicílios.

2- vazão para 2005 TR=20 anos.

\* Vazão referente a período de retorno (TR) de 10 anos, por se tratar de microdrenagem.

\*\* Não foram levados em consideração os custos relativos à desapropriação.

O Plano de Ação Continuada é constituído de medidas estruturais e não-estruturais a serem desenvolvidas ao longo do horizonte do estudo (2025). Dentre estas medidas, observa-se que serão necessárias ações estruturais e intervenções diretas na forma de obras para a adequação do sistema de macrodrenagem de Nova Friburgo. As medidas não-estruturais garantirão a conservação e a sustentabilidade das medidas estruturais propostas, sem as quais, o estudo resumir-se-ia a um plano de obras, que em pouco tempo estariam superadas.

A necessidade de orientar a implantação de elementos de macrodrenagem aos loteamentos existentes e que venham a surgir dentro do horizonte do plano (2025) nas bacias não totalmente urbanizadas, é veemente. Dessa forma, o PAP sugere que o planejamento e a execução sejam feitos em três fases de execução, da seguinte forma:

- ☑ **Fase I** – Elaboração de projetos básicos dos reservatórios de retenção do córrego D'antas, licitação e execução dessas obras. Execução da canalização e adequação das travessias, do trecho remanescente do rio Bengalas, como forma de minimizar os efeitos causados pelas inundações à jusante das quatro bacias analisadas. Assim até 2010, haverá ações em três das quatro bacias mais problemáticas do município, na medida em que no PAI já foram propostas ações na bacia do Cônego e do Bengalas. Planejar obras de microdrenagem, pavimentação e rede de esgotos, concomitantes com os projetos e execução das estruturas de drenagem localizadas nas bacias supra citadas, a fim de otimização de gastos públicos, entre outras vantagens.

As estruturas de drenagem são constituídas por canais trapezoidais e retangulares de concreto (devido à ausência de espaço à implantação de seções gramadas) de modo a garantir o escoamento das vazões correspondentes ao horizonte de 2025 e período de retorno 20 anos. A implantação da Fase I objetiva também a demarcação das faixas a serem ocupadas pelos demais canais propostos no Plano.

- ☑ **Fase II** – Consiste na licitação das obras de canalização dos rios Cônego, D'antas e Santo Antônio como consolidação das estruturas implantadas no PAI e na Fase I (reservatórios de retenção) de modo a escoar as vazões correspondentes ao horizonte 2025 e período de retorno de 20 anos. Nessa etapa serão executadas obras nos trechos de jusante dos referidos córregos, e que são objeto de anteprojeto no Plano. Sua execução depende da prévia execução das obras do PAI e da Fase I. São estruturas de drenagem constituídas por canais trapezoidais e retangulares com revestimento de grama, onde possível, e de concreto, onde não há espaço suficiente para implantação de estruturas com dimensões maiores.

- ☑ **Fase III** – Contempla a consolidação das estruturas implantadas na Fase II de modo a escoar as vazões correspondentes ao horizonte 2025 e período de retorno de 20 anos para os trechos remanescentes dos rios Cônego, D'antas e Santo Antônio, respectivamente. São estruturas de drenagem constituídas por canais trapezoidais e retangulares com revestimento de grama, onde possível, e de concreto. Sua execução depende da prévia execução das obras da Fase II e constituem a última etapa de obras propostas no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, cuja execução está prevista entre 2020 e 2025.

O Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo deverá propor diretrizes para implantação e gerenciamento sustentável da drenagem urbana no município, por meio da implantação de medidas estruturais em conjunto com medidas não-estruturais.

As medidas não-estruturais são aquelas de caráter extensivo, com ações abrangendo toda a bacia, ou de natureza institucionais, administrativas ou financeiras, adotadas individualmente ou em grupo, espontaneamente ou por força de legislação, destinadas a atenuar os deflúvios (vazões) ou adaptar os ocupantes das áreas potencialmente inundáveis a conviverem com a ocorrência periódica do fenômeno (PAP, 2007).

Na Tabela 3.9. são apresentados, de maneira sucinta, exemplos de medidas não estruturais de controle.

**Tabela 3.9** – Medidas não-estruturais de controle (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

AÇÕES / INTERVENÇÕES
✓ Regulamentação do uso e ocupação do solo (principalmente em fundo de vale);
✓ Implantação da Divisão de Drenagem;
✓ Implantação da Taxa de Permeabilização do Solo;
✓ Proteção contra inundações (medidas de proteção individual das edificações em áreas de risco);
✓ Seguro contra inundações;
✓ Sistemas de alerta, ações de defesa civil, relocações;
✓ Programas de prevenção e controle da emissão dos poluentes;
✓ Educação Ambiental;
✓ Utilização de pavimentos permeáveis;
✓ Técnicas compensatórias localizadas.

O Plano de Águas Pluviais, em seu Programa Municipal de Drenagem e Medidas de Controle Não-Estruturais, ainda prevê como proposição para novos trabalhos, a implantação de um Sistema de Alerta, Supervisão e Controle de Cheias e Encostas em Nova Friburgo e um Mapeamento das Áreas de Risco Geológico, uma vez que, são instrumentos indispensáveis e compõem medidas de caráter preventivo. Ele poderá relacionar e compilar informações hidrológicas e geológicas, visto que o município apresenta sérios problemas de deslizamentos e de drenagem, por consequência do carreamento de sedimentos em épocas de chuvas intensas.

Com o mapeamento das áreas de riscos atualizado, deverá ser elaborada a classificação do grau de risco dos terrenos dos morros em: risco baixo, médio, alto e muito alto atendendo a diversos critérios, como declividade do terreno, falta de vegetação, drenagem, e etc. A identificação do grau de risco, segundo o PAP, se faz necessária, pois embasará as ações a serem tomadas pelo poder público municipal.

Conforme consta no relatório enviado à Prefeitura Municipal de Nova Friburgo pela FCTH, o total dos investimentos propostos pelo Programa Municipal de Drenagem foram distribuídos de forma a se garantir condições de desembolso razoáveis ao longo do horizonte do plano. Os cronogramas previstos correspondem a um gasto sistemático de 0,78 a 12,4% do valor total dos investimentos com exceção dos quatro primeiros anos, reservados para o plano de ação imediata e considerados como o período de implantação da sistemática proposta.

A legislação sobre o assunto é vasta e só foram citados aqui alguns pontos. Porém, na maioria das cidades brasileiras, a legislação não tem sido cumprida em sua plenitude.

Acredita-se que as principais causas do não cumprimento da legislação são:

- ocorrência de casos anteriores à legislação, tais como antigos loteamentos aprovados em locais inadequados;
- ausência de Fiscalização eficiente em todas as esferas;
- pressão do mercado imobiliário;
- déficit habitacional.

# Capítulo 4

## MATERIAIS E MÉTODOS

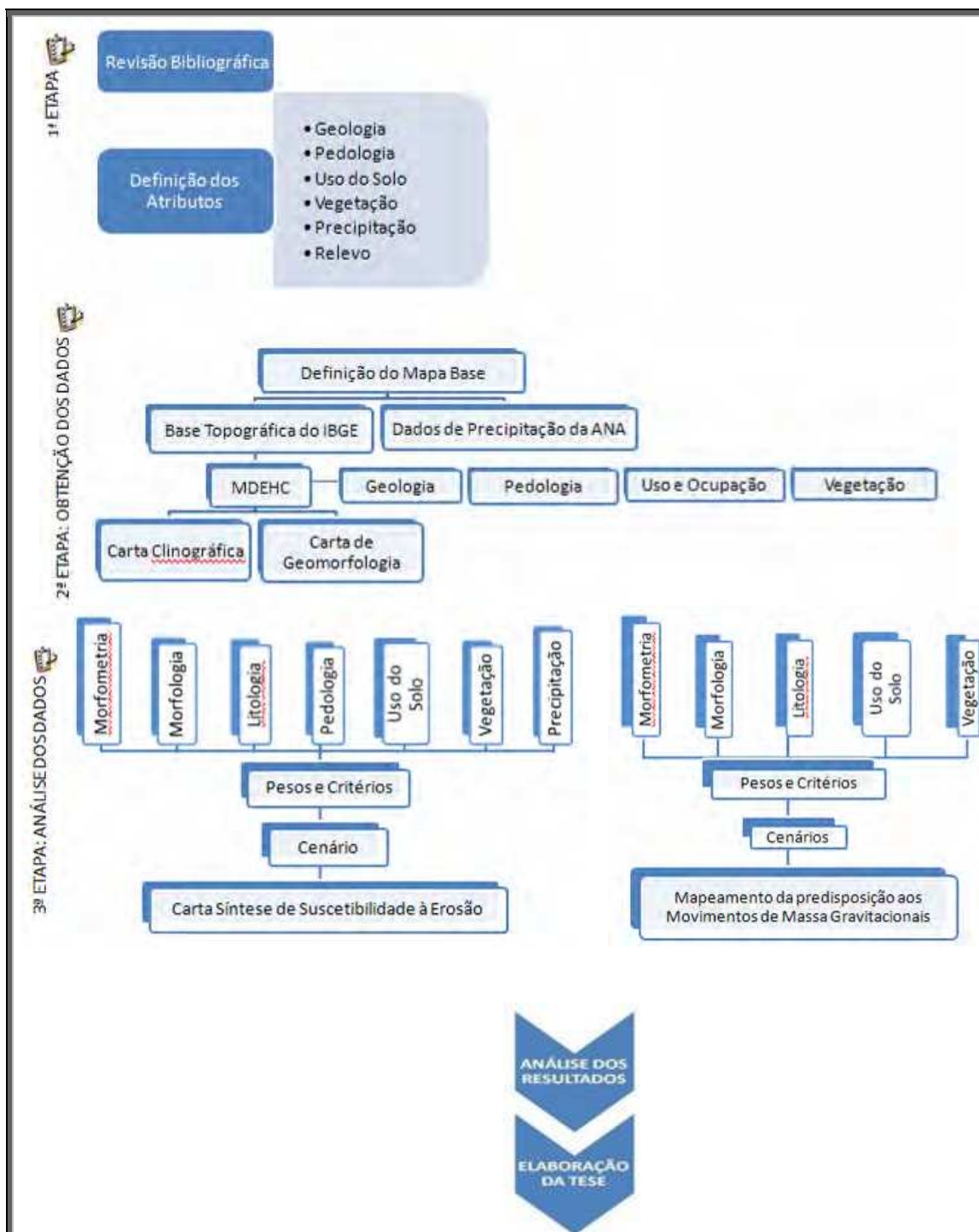
### 4.1. Materiais

Para este trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- ☑ mapas topográficos do IBGE, em escala 1:50.000, de 1978, em formato digital;
- ☑ mapa geológico, elaborado pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, em escala 1:50.000, de 1998, em formato digital;
- ☑ mapa pedológico, elaborado pela EMBRAPA Solos (1999), escala 1:250.000, em formato digital.
- ☑ mapa de vegetação e uso atual das terras (2005), na escala 1:10.000, também no formato digital, cedido pelo Programa Pró-Cidade, Prefeitura Municipal de Nova Friburgo;
- ☑ mapa das Unidades de Planejamento Territorial (2007), na escala 1:50.000, no formato digital cedido pelo Programa Pró-Cidade, Prefeitura Municipal de Nova Friburgo;
- ☑ dados hidrometeorológicos da Agência Nacional de Águas (ANA): 21 postos pluviométricos;
- ☑ *software* GIS Idrisi 32, version Andes, maio de 2006, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis;
- ☑ *software* ArcGIS/ArcGRID, version 9.2, © Environmental Systems Research Institute, Inc;
- ☑ Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo, de 2007 (Lei n° 024, de 28 de dezembro de 2007), cedido pelo Programa Pró-Cidade, Prefeitura Municipal de Nova Friburgo;
- ☑ Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (2007), em fase de anteprojeto.
- ☑ Plano Municipal de Redução de Riscos de Nova Friburgo (2007), Relatório final;
- ☑ Lei n° 2.249, de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo do Município de Nova Friburgo, de 08 de dezembro de 1988.
- ☑ Lei n° 6.766, Lei Federal que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, de 19 de dezembro de 1979.

## 4.2. Métodos

Para realização da análise de suscetibilidade à erosão e do mapeamento visando separar áreas potencialmente predispostas à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais (MMG), este trabalho foi executado segundo as etapas constantes do fluxograma da Figura 4.1.



**Figura 4.1** – Fluxograma das etapas de trabalho para a suscetibilidade à erosão e aos movimentos de massa gravitacionais.

Todos os problemas de decisão podem ser caracterizados como aqueles que tratam de múltiplos atributos, ou seja, a seleção de uma alternativa entre as várias apresentadas (MADM) ou aqueles que possuem múltiplos objetivos, ou seja, a seleção de uma ou mais alternativas com base nos objetivos apresentados (MODM), e ambos compõem a denominada Tomada de Decisão Multicriterial - MCDM (SEN & YANG, 1998).

A Tomada de Decisão baseada em Múltiplos Atributos (MADM) compreende um número finito de alternativas considerando a performance de um dado número de atributos, que podem ser baseados em dados qualitativos ou quantitativos ou em ambos.

De acordo com SAATY (1996/1997), um modelo de tomada de decisão multicriterial para traduzir eficientemente um sistema e conduzir à escolha da melhor alternativa deve ser simples de construção; adaptável tanto aos grupos quanto aos indivíduos; natural à nossa intuição e ao pensamento geral; encorajar a formação de compromisso e do consenso e não exigir uma especialização excessiva para comunicar e administrar.

Dessa forma, a proposta metodológica apresentada neste trabalho trata dos procedimentos e métodos para auxiliar na tomada de decisão quanto à prevenção ou ocorrência de movimentos de massa gravitacionais no município de Nova Friburgo, através de uma análise baseada em múltiplos atributos do meio físico, empregando-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) tem como base a representação de um problema complexo através da estruturação hierárquica do mesmo, objetivando a priorização de fatores na análise das diversas alternativas. Esse processo segue quatro etapas básicas: estruturação hierárquica, comparação paritária dos elementos em cada nível do sistema, princípio de priorização e sintetização de prioridades.

As alternativas foram obtidas através do tratamento das informações, com base no modelo selecionado (AHP) e a seleção da alternativa mais adequada ou mais favorável foi caracterizada pelos pesos obtidos através do tratamento das informações, como é mostrado a seguir.

#### 4.2.1. Metodologia Utilizada para a Geração dos Documentos Cartográficos

A elaboração do mapeamento baseou-se em um grupo de informações pré-existentes e fundamentais para a região estudada, conforme mostrado na lista de materiais.

A partir do material exposto, acima mencionado, foram elaborados o Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Consistente – MDEHC, a Carta de Declividades, o Modelo de Sombreamento Analítico e a Carta Morfométrica como descritos a seguir.

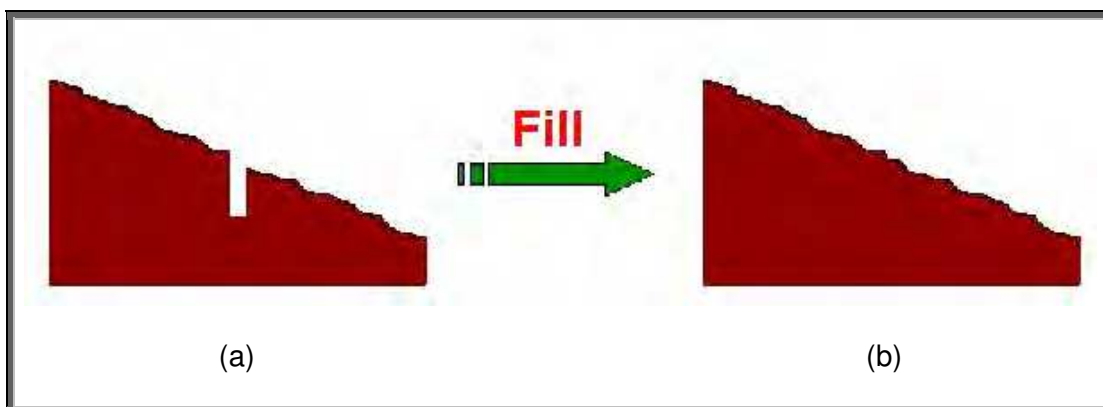
#### 4.2.1.1. MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente

Nas últimas duas décadas, diversos algoritmos têm sido implementados em módulos específicos dos sistemas de informações geográficas com a finalidade de automatizar a extração de características morfométricas da superfície terrestre, a partir dos modelos digitais de elevação, dentre as quais se destaca o delineamento de bacias hidrográficas e da respectiva rede de drenagem. As vantagens da automação em relação aos procedimentos manuais são a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais (CHAVES, 2002).

A eficiência da extração dessas informações e de outras, derivadas a partir destas, medida em termos de precisão e de exatidão, está diretamente relacionada com a qualidade do modelo digital de elevação e do algoritmo utilizado. O modelo digital deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para e ao longo da drenagem mapeada, garantindo assim a sua consistência hidrológica (BAPTISTA, 2005).

Assim, para este trabalho foi utilizado o TOPOGRID/ArcGRID, o que permitiu a imposição da hidrografia ao modelo digital de elevação (MDE). A resolução utilizada foi de 10m, tendo-se em vista a escala de trabalho.

Após a geração do MDE, foi feito o trabalho de preenchimento das depressões espúrias. As depressões são células cercadas por células com maiores valores de elevação. Sua presença em um MDE produz a descontinuidade do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha (Figura 4.2). Por definição, as depressões incluem áreas planas e depressivas. Algumas delas podem ser naturais, como os sumidouros observados em região de *Karst*, mas a maioria delas é considerada espúria, decorrentes do próprio processo de geração do MDE (amostragem e interpolação) e da truncagem dos valores interpolados para números inteiros na saída do modelo (CHAVES, 2002).



**Figura 4.2** – Vista transversal de uma depressão espúria de um MDE (a) e da depressão espúria preenchida (b). (Fonte: CHAVES, 2002).

O Modelo de Sombreamento Analítico foi obtido a partir do MDEHC gerado.

#### 4.2.1.2. Carta de Classes de Declividades

A carta de declividades, obtida a partir do MDEHC, foi subdividida em nove classes, conforme Tabela 4.1. As faixas foram definidas buscando o seu relacionamento com os diferentes tipos de movimentos de massa observados na região e ainda de acordo com a legislação vigente, Lei Federal nº 6.766/79 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Segundo esta lei, em declividades maiores que 45% não deve haver ocupação e os loteamentos e desmembramentos urbanos só serão autorizados em declividades de até 30%.

A definição das demais classes (1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 e 9) deveu-se, principalmente, à necessidade de diferenciar aquelas declividades onde as relações escoamento superficial vs. infiltração vs. diminuição da relação de forças apresentasse alguma significância (RODRIGUES, 2002).

**Tabela 4.1** – Tabela contendo as classes de declividades utilizadas.

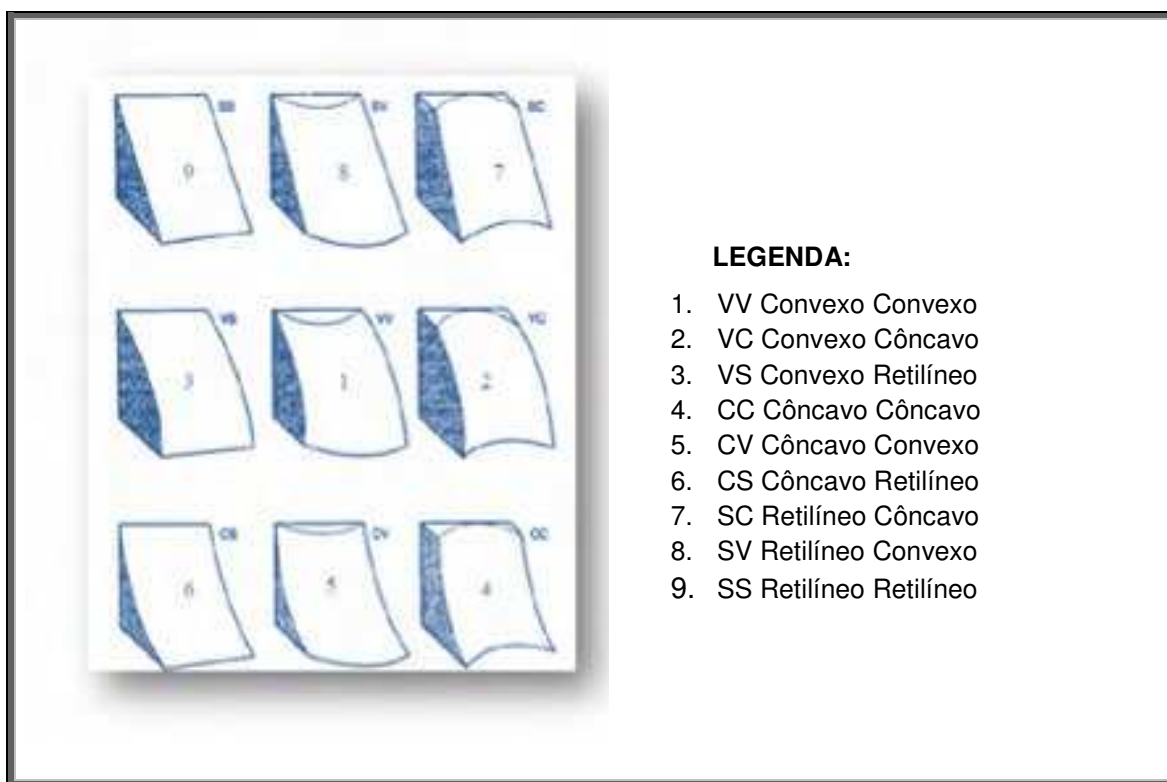
<b>CLASSES</b>	<b>INTERVALOS DE DECLIVIDADE</b>
Classe 1	0 – 2%
Classe 2	2 – 5%
Classe 3	5 – 10%
Classe 4	10 – 20%
Classe 5	20 – 30%
Classe 6	30 – 45%
Classe 7	45 – 75%
Classe 8	75 – 100%
Classe 9	> 100%

#### 4.2.1.3. Carta Geomorfológica

A concavidade e/ou convexidade das encostas é um fator variável que está relacionado ao raio de curvatura (quando retilínea, o raio tende ao infinito) e sua variação pode influenciar mais ou menos a ocorrência dos movimentos de massa gravitacionais (RODRIGUES, 2002).

A carta geomorfológica, obtida a partir da carta clinométrica, foi subdividida em três classes: classe 1, côncavo; classe 2, plano; classe 3, convexo. Posteriormente, as encostas foram reclassificadas quanto ao seu perfil vertical e longitudinal formando a morfologia da vertente (Figura 4.3).

Na região de estudo, devido a suas elevadas altitudes, um elemento importante ao estudo de movimentos de massa gravitacionais é a forma da encosta, que irá mostrar aspectos de evolução do relevo, relacionados à espessura do material inconsolidado, perfil de alteração, e conseqüentemente a instabilidade da encosta.



**Figura 4.3** – Formas das vertentes (S Retilíneo, V convexo, C côncavo), RUHE adaptado de AMARAL JR. (2007).

#### 4.2.2. Metodologia Utilizada para a Suscetibilidade aos Movimentos de Massa Gravitacionais

Técnicas de integração, manipulação e análise espacial de dados foram utilizadas neste trabalho, visando o mapeamento da suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais para o município de Nova Friburgo, tendo como base cenários descritivos, criados a partir da análise qualitativa de elementos do meio físico. O plano de trabalho adotado baseou-se em trabalhos de campo e laboratório e utilizou o geoprocessamento como ferramenta para integrar e analisar as informações produzidas.

Utilizou-se como ferramenta o Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierachy Process - AHP*), para o auxílio na tomada de decisão e definição dos pesos (grau de importância) dos diversos atributos de entrada.

O Método de Análise Hierárquica (AHP), criado por THOMAS L. SAATY, em meados da década de 70, surgiu com o intuito de promover a superação das limitações cognitivas daqueles que tomam a decisão. Segundo o método, o problema de tomada de decisão pode ser geralmente decomposto em níveis hierárquicos, facilitando assim, a sua compreensão e avaliação. Trata-se de uma técnica de tomada de decisão com múltiplos critérios, em que um problema complexo possui uma hierarquia de solução a partir das variáveis utilizadas nessa solução. A hierarquia representa a análise dos elementos mais importantes na situação e as suas relações.

As análises espaciais foram realizadas utilizando-se o módulo MCE (*Multi Criteria Evaluation*) do GIS Idrisi Andes como sistema de apoio à tomada de decisão, usando critérios múltiplos para categorizar as áreas de suscetibilidade para a área de estudo. O módulo MCE foi utilizado para avaliar e agregar os critérios oriundos das informações existentes ou geradas.

Os critérios podem ser fatores ou restrições. Os fatores são limitações relativas que definem algum grau de aptidão para as regiões geográficas, enquanto as restrições são limitações absolutas que limitam o espaço de análise. Para o mapeamento da suscetibilidade aos movimentos de massa foram utilizados apenas fatores.

Os fatores utilizados foram:

- ✓ geologia;
- ✓ declividades;
- ✓ geomorfologia;
- ✓ cobertura vegetal e uso do solo.

#### 4.2.2.1. Descrição dos Fatores

A lógica *fuzzy* é uma aproximação matemática para quantificar declarações incertas, segundo BURROUGH & MCDONNELL (1998) é indicada sempre que for necessário trabalhar com ambigüidade de abstração em modelos matemáticos ou conceituais nos quais, por distintas razões não há ou não se podem definir limites rígidos entre classes.

De acordo com EASTMAN (1998), conjuntos *fuzzy* são conjuntos que não apresentam limites nítidos entre seus componentes. Assim, esse conjunto é caracterizado por uma matriz onde a função que estabelece a possibilidade do componente pertencer ao conjunto é padronizada em uma escala de 0 a 1, que em geoprocessamento, a fim de economizar memória (uma vez que este intervalo é real), pode ser convertida para uma escala em bytes de 0 a 255.

Dessa forma, para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala de suscetibilidade, utilizou-se o modelo probabilístico *fuzzy* do GIS Idrisi Andes, reescalando-se os fatores para valores de suscetibilidade, variando de zero (menor suscetibilidade) a 255 (maior suscetibilidade), conforme descrito a seguir.

##### (i) Geologia (FS1)

As classes litológicas foram reescaladas a valores de suscetibilidade conforme mostra a Tabela 4.2.

Os elementos considerados para a atribuição de valores às classes de geologia estão relacionados à história da evolução do ambiente geológico onde está inserido o município de Nova Friburgo, permitindo assim, entender sua origem e sua tendência futura.

Considerando-se as áreas de menor suscetibilidade aquelas que apresentam as Intrusivas Básicas (Gabro -  $\beta$ ), por se tratarem de rochas maciças, sem planos de orientação preferencial ou foliação. O Batólito Serra dos (PSYL) que, apesar da resistência, são rochas sujeitas ao intemperismo químico, gerando mais facilmente solos instáveis e por isso foram consideradas as de maior suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais.

**Tabela 4.2** – Tabela contendo o grau de suscetibilidade para o condicionante geológico.

<b>CLASSES LITOLÓGICAS<sup>3.1</sup></b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
β (Gabro)	(Baixa à Média) 100
COY	(Baixa à Média) 100
PMSpGM	(Média) 150
PMSsGR	(Média) 150
PMSpGX	(Média) 150
PMSsM	(Média) 150
PSY	(Baixa à Média) 100
PSYL	(Baixa à Média) 100
Qa	(Muito Baixa) 10
Qc	(Alta) 200

(ii) Geomorfologia (FS2)

A influência do relevo nos processos de movimento de massa é também consequência da sua morfologia, sendo assim, o relevo foi dividido em três compartimentos, côncavo, plano e convexo, formando, dessa forma, a morfologia da vertente, uma vez que essas formas têm predisposição diferenciada aos movimentos de massa. A curvatura vertical afeta a aceleração e desaceleração do fluxo e, portanto, influencia a erosão e deposição. A curvatura longitudinal influencia a convergência e divergência do fluxo.

Considerando-se a forma de escoamento superficial da água, difuso na forma convexa e/ou concentrado na forma côncava, pôde-se estabelecer a vulnerabilidade natural de cada unidade homogênea.

À exemplo da geologia, as classes morfológicas foram reescaladas a valores de suscetibilidade, como descrito anteriormente, conforme ilustra a Tabela 4.3.

<sup>3.1</sup> COY: Cambro-Ordoviciano, Suítes Graníticas Pós Tectônicas; β: Terciário-Cretáceo, Intrusivas Básicas; PMSsGX: Grupo Serra dos Órgãos, Agrupamento IV, Gnaiss Xistoso; PMSsM: Grupo Serra dos Órgãos, Agrupamento IV, Migmatitos de estrutura Schieren e subordinadamente Gnaisses mesclado a venulado com aspecto Granitóide; PSY: Proterozóico Superior, Suítes Graníticas Sintectônicas, Batólito Serra dos Órgãos, Granodioritos e Biotita; PSYL: Proterozóico Superior, Suítes Graníticas Sintectônicas, Batólito Serra dos Órgãos, Leucogranitos de foliação incipiente; PMSpGM: Proterozóico Médio-Superior, Grupo Paraíba do Sul, Grupamento II; PMSsGR: Grupo Serra dos Órgãos, Agrupamento IV, Granitóides e Migmatitos homogêneos; Qa: Sedimentos Aluvionares; Qc: Sedimentos Coluvionares.

**Tabela 4.3** – Tabela contendo as classes morfológicas e o grau de suscetibilidade respectivo.

<b>CLASSES MORFOLÓGICAS</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
Convexa/Convexa (VV)	(Muito Baixa) 30
Convexa/Côncava (VC)	(Alta) 190
Convexa/Linear (VS)	(Baixa) 50
Côncava/Côncava (CC)	(Muito Alta) 250
Côncava/Convexa (CV)	(Média) 120
Côncava/Linear (CS)	(Média à Alta) 170
Linear/Côncava (SC)	(Alta) 220
Linear/Convexa (SV)	(Média) 150
Linear/Linear (SS)	(Baixa) 80

(iii) Cobertura Vegetal e Uso do Solo (FS3)

Os valores de suscetibilidade foram distribuídos dentro das classes de uso do solo de acordo com as características de cada classe e sua vulnerabilidade aos movimentos de massa e proximidade aos núcleos urbanos existentes. Às áreas degradadas assim como aquelas ocupadas pela população foram atribuídos os maiores valores de suscetibilidade (Tabela 4.4).

**Tabela 4.4** – Classes de vegetação e uso atual das terras.

<b>CLASSES DE USO DO SOLO</b>	<b>ÁREA TOTAL (%)</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
Vegetação secundária inicial e média	23,94	(Baixa) 50
Floresta densa e vegetação secundária avançada	40,18	(Baixa) 50
Pastagens	18,37	(Alta) 220
Área Urbana	3,25	(Muito Alta) 250
Agricultura	9,48	(Baixa à Média) 100
Eucaliptos e Pinheiros	2,92	(Baixa) 50
Afloramento Rochoso	1,78	(Alta) 230
Área Degradada	0,08	(Muito Alta) 250

(iv) Declividades (FS4)

A classificação e o mapeamento da declividade do terreno são indispensáveis nos levantamentos de uso da terra e do relevo, e constituem elementos importantes no levantamento de sua potencialidade de utilização. Sendo assim, a declividade foi considerada uma variável reveladora de aptidões e limitações de uso das terras no município.

O fator declividade considerado para avaliação da maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, deve sempre estar associado aos outros atributos existentes na área.

SIDLE et al. (1985) apresentam uma associação de classes de declividades relacionadas a alguns tipos de movimentos de massa gravitacionais (Tabela 4.5).

**Tabela 4.5** – Classes de declividade relacionadas aos diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais (SIDLE et al., 1985 – adaptado de RODRIGUES, 2002).

<b>TIPOS DE MOVIMENTO DE MASSA GRAVITACIONAL</b>	<b>CLASSES DE DECLIVIDADE</b>
Rastejo em solo	2,8 a 55,5 %
Escoamentos rápidos em solos	8,8 a 44,4 %
Escorregamentos rotacionais	15,5 a 40 %
Escoamentos rápidos em solos e detritos sobrejacentes a rocha	> 55,5 %

As classes de declividades foram reescaladas para os valores de suscetibilidade conforme mostrado na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6** – Classes de declividades e graus de risco.

<b>CLASSES DE DECLIVIDADES</b>	<b>ÁREA TOTAL (%)</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
0 – 2%	3,54	(Muito Baixa) 30
2 – 5%	0,57	(Baixa) 60
5 – 10%	4,44	(Baixa à Média) 100
10 – 20%	13,41	(Média) 120
20 – 30%	15,66	(Média) 150
30 – 45%	27,02	(Média à Alta) 190
45 – 75%	30,16	(Alta) 230
75 – 100%	3,89	(Muito Alta) 240
> 100%	1,31	(Muito Alta) 250

A Figura 4.4 ilustra os fatores reescalados para valores de suscetibilidade, cuja escala varia de 0 (suscetibilidade baixa) a 255 (suscetibilidade alta).

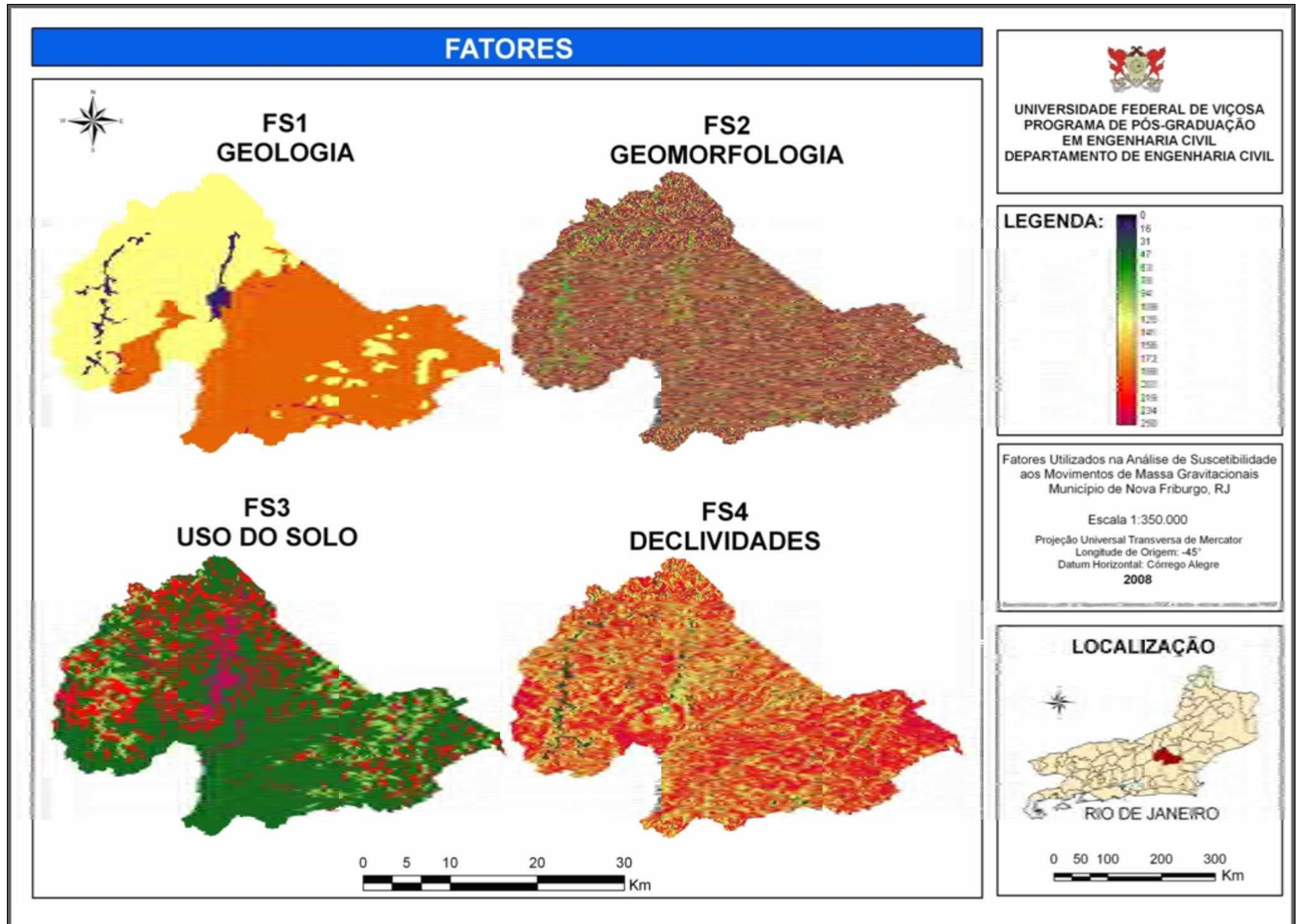


Figura 4.4 – Fatores reescalados a valores de suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais, variando de 0 (suscetibilidade mínima) a 255 (suscetibilidade máxima).

#### 4.2.2.2. Agregação dos Fatores

Para aplicar o modelo AHP, foi estabelecida uma estrutura hierárquica entre os fatores, em que o valor de dominância para um dado nível hierárquico é propagado para o nível inferior. Para cada um dos critérios utilizados, estudou-se cada alternativa, tendo-se designado valores e pesos às classes de cada variável. Estruturados os critérios e as alternativas, foram realizadas comparações pareadas, para identificar qual seria cada alternativa em relação às demais. Com base nesses critérios, foi possível realizar os julgamentos e definir os pesos utilizados na ponderação de cada variável.

O valor de compensação ou ponderação indica a importância relativa dos fatores e regula a compensação entre eles. O módulo *Weight* compara pares de fatores em termos de sua importância relativa e depois de todas as combinações possíveis, calcula um conjunto de pesos cuja somatória é 1 e uma razão de consistência.

O processo consistiu na construção de uma matriz de comparação entre critérios, de acordo com a importância relativa entre pares de modelo de susceptibilidade adotado. Foram examinadas as importâncias relativas de cada atributo, através de uma escala contínua de 9 pontos. Os fatores são comparados entre si e classificados segundo a maior importância em relação aos demais e controlam como os fatores irão compensar-se uns aos outros, em uma escala variável de extremamente menos importante até extremamente mais importante (pesos de 1/9 a 9). No processo de comparação é determinada a razão de consistência (RC).

Preenchida a matriz de comparação, calculou-se o autovalor e seu correspondente autovetor. O autovetor dá a ordem de prioridade ou hierarquia das características estudadas. Esse resultado é importante para a avaliação dos fatores, pois foi usado para dar a importância relativa de cada característica e sua prioridade na análise. O autovalor é a medida que permitiu avaliar a consistência ou a qualidade da solução obtida. Essa é outra vantagem do método, a possibilidade de verificação da consistência.

Para uma matriz ser considerada consistente, é necessário que seu autovalor máximo seja aproximadamente igual a sua ordem  $n$ . Quanto maior for essa proximidade, melhor será seu resultado, portanto, foram calculados os: Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC) a partir das seguintes equações:

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad \text{Equação 4.1}$$

$$RC = \frac{IC}{CA} \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde:

✓  $\lambda_{\text{máx}}$  = maior autovalor;

✓  $n$  = ordem da matriz;

✓  $CA$  = consistência aleatória, randômica.

Considera-se aceitável uma razão de consistência menor que 0,10 e a consistência será tanto maior, quanto IC for próximo de zero.

Posteriormente, os fatores foram agregados usando o procedimento da Combinação Linear Ponderada (WLC) através da qual cada fator padronizado é multiplicado pelo seu peso correspondente, são somados e a soma é dividida pelo número de fatores. A combinação ponderada é calculada para cada pixel na imagem e permite a compensação entre os fatores.

Foram criados cenários para a suscetibilidade aos MMG a partir da conjugação de diferentes valores de importância relativa entre os fatores. A Tabela 4.7 explicita a distribuição das importâncias relativas e o cenário criado objetivando a espacialização da suscetibilidade aos MMG.

**Tabela 4.7** – Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição para o Cenário 1.

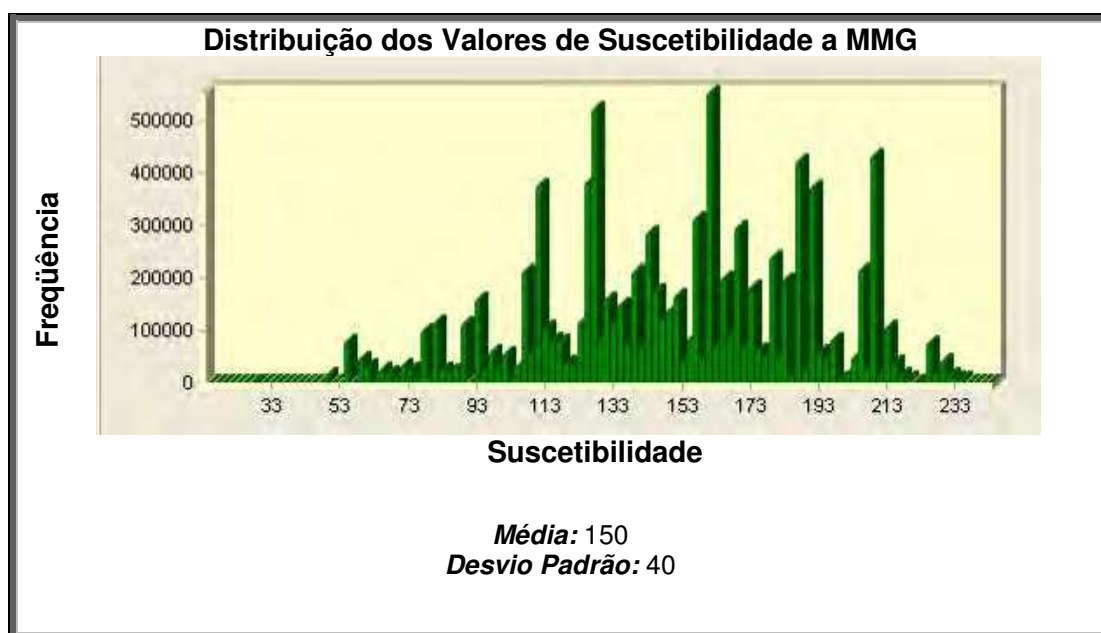
<b>FATORES</b>	<b>FS1</b>	<b>FS2</b>	<b>FS3</b>	<b>FS4</b>	<b>PESOS</b>
FS1	1				0,0747
FS2	4	1			0,3659
FS3	2	1/3	1		0,1253
FS4	6	1	4	1	0,4341

IC=0,01      RC=0,01

$\lambda_{\text{máx}}=0,09$

O Cenário 2 foi elaborado a partir da reclassificação do Cenário 1, em cinco classes de suscetibilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Essas classes foram definidas a partir dos diferentes graus de suscetibilidade gerados no Cenário 1, analisando seus valores, a média e o desvio padrão (Figura 4.5 e Tabela 4.8) de cada unidade do terreno, obtendo-se, dessa forma, as diferentes classes potenciais de

predisposição e o zoneamento das áreas potencialmente suscetíveis aos movimentos de massa gravitacionais.



**Figura 4.5** – Gráfico da distribuição dos valores de suscetibilidade aos MMG, valor de suscetibilidade vs. frequência das unidades do terreno.

**Tabela 4.8** – Classes finais definidas para o Cenário 2.

<b>CLASSES DE SUSCETIBILIDADE</b>	<b>FAIXAS DE VALORES</b>	<b>FREQÜÊNCIA</b>	<b>PORCENTAGEM</b>
Muito Baixa	6 – 50	16357	0,17
Baixa	50 – 100	928944	9,94
Média	100 – 150	3640620	38,95
Alta	150 – 200	3692676	39,51
Muito Alta	200 – 243	1068383	11,43

#### 4.2.3. Elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão

A Pedologia estuda a camada superficial do solo até dois metros de profundidade, considerado como o limite de ocorrência de processos pedogenéticos, mesmo em regiões onde o solo pode atingir maiores espessuras (PALMIERI & LARACH, 2000). Por isso, KERTZMAN & DINIZ (1995) consideram que o estudo pedológico parece ter

maior aplicação no caso de erosão do que de escorregamentos que ocorrem em profundidade na maioria das vezes.

Os movimentos de massa gravitacionais são influenciados principalmente pela litologia, geologia estrutural, hidrogeologia, topografia, clima, vegetação, sismicidade e erosão, HUTCHINSON (1988).

Segundo GUIDICINI & NIEBLE (1976), denomina-se de agentes efetivos o conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, podendo atuar de forma mais ou menos direta, e dessa forma, subdividindo-se ainda em preparatórios e imediatos. Os autores citam que entre os agentes preparatórios e imediatos está, dentre outros, a erosão. VARNES (1978) discute os principais condicionantes e mecanismos de deflagração de movimentos de massa, definindo os fatores que aumentam as solicitações e diminuem a resistência das encostas e os respectivos fenômenos ou modificações naturais e antrópicos associados, colocando a erosão como um dos fenômenos responsáveis pela remoção de massa.

Os sedimentos soltos existentes em uma bacia hidrográfica, passíveis de serem transportados pelo escoamento superficial para as calhas dos rios, têm como origem principal a erosão. A erosão pode ser agravada pela influência antrópica através dos desmatamentos desordenados, construções em geral e atividades agrícolas sem critérios conservacionistas, causando efeitos ao meio ambiente que vão desde a alteração da qualidade da água dos rios às enchentes provocadas pelo assoreamento das calhas de drenagem e reservatórios.

Dessa forma, foi elaborada uma carta síntese que conjugasse as classes de solos quanto à suscetibilidade à erosão, o relevo, a pluviosidade, a cobertura vegetal e a pressão de uso antrópico, tendo em vista a inegável importância dos processos erosivos e dos movimentos de massa como causas de alterações no meio em que se insere o município de Nova Friburgo. A metodologia utilizada foi similar àquela abordada anteriormente para suscetibilidade aos movimentos de massa, à exceção dos fatores usados na análise.

Os fatores utilizados foram:

- ✓ pluviosidade;
- ✓ geologia;
- ✓ pedologia;
- ✓ geomorfologia;
- ✓ declividades;

- ✓ cobertura vegetal e uso do solo.

#### 4.2.3.1. Descrição dos Fatores

Cada documento cartográfico foi analisado de forma individualizada, visando considerar, de forma mais específica, a contribuição de cada atributo em relação à deflagração de processos erosivos lineares.

Como descrito no item 4.2.2.1, para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala de suscetibilidade, utilizou-se o modelo probabilístico *fuzzy* do GIS Idrisi Andes, reescalando-se os fatores para valores de suscetibilidade, variando de zero (menor suscetibilidade) a 255 (maior suscetibilidade), conforme descrito a seguir.

##### (i) Chuvas (FSE1)

Segundo MEYER & MUTCHLER (1993), em áreas onde a altura de chuva anual é cerca de 1000 mm, a água precipitada sobre um hectare possui um volume de dez milhões de metros cúbicos, massa de dez milhões de quilos e queda de uma energia de impacto de 200 a 300 MJ.

A não ser que o solo esteja protegido pela vegetação ou outra cobertura, esse impacto das gotas de chuva pode remover extraordinária quantidade de sedimentos da massa do solo, embora a espessura média de solo perdida a cada ano possa ser pequena e, por conseguinte, despercebida.

De acordo com ASSIS (1973), as chuvas precisam ser consideradas em termos de quantidade, intensidade e distribuição. A quantidade, ou seja, o volume total de uma chuva exerce influência direta sobre a erosão, porque todos os solos apresentam um limite de capacidade de absorção. Ultrapassado tal limite, as águas logicamente passarão a escorrer sobre o terreno.

Através de dados disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2006), identificaram-se 8 postos pluviométricos situados no município de Nova Friburgo. A partir dos dados obtidos foi calculada a média da precipitação pluvial anual para cada posto. As médias foram interpoladas, em ambiente SIG, através do interpolador IDW.

Esse interpolador utiliza o modelo estatístico denominado “Inverso das Distâncias”. O modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma atribui maior peso para as amostras mais próximas do que para as amostras mais distantes do ponto à ser interpolado. Assim o modelo consiste em se multiplicar

os valores das amostras pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores.

Os dados originais foram ajustados com diferentes potências e diferentes raios de busca, pretendendo-se a melhor correlação entre os dados originais e os interpolados, chegando-se ao interpolador com potência dois. Entretanto, o raio de busca apresentou pouca influência na acurácia dos valores interpolados.

Posteriormente, os dados interpolados foram ajustados ao relevo através da sobreposição das isoietas com o mapa de relevo, fazendo-se um ajuste das linhas com o relevo.

As classes de precipitação pluvial média anual foram reescaladas para os valores de suscetibilidade conforme mostrado na Tabela 4.9.

**Tabela 4.9** – Precipitação pluvial média anual e suscetibilidade à erosão.

<b>CLASSES DE CHUVA</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
1400 – 1800 mm	(Baixa) 50
1800 – 2200 mm	(Baixa à Média) 100
2200 – 3100 mm	(Média) 150

(ii) Geologia (FSE2)

Além do material terroso, o material rochoso é desgastado, desagregado e removido, alterando-se lenta e continuamente. Dessa forma, a erosão inclui o intemperismo, o transporte e a deposição dos sedimentos.

As classes litológicas foram reescaladas a valores de suscetibilidade conforme mostra a Tabela 4.10.

**Tabela 4.10** – Tabela contendo as classes litológicas e o grau de suscetibilidade respectivo.

<b>CLASSES LITOLÓGICAS</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
β (Gabro)	(Baixa à Média) 100
EOY	(Média) 150
PMSpGM	(Média) 150
PMSsGR	(Média) 150
PMSpGX	(Média) 150
PMSsM	(Média) 150
PSY	(Média) 150
PSYL	(Alta) 200

Qa	(Média) 150
Qc	(Alta) 200

(iii) Pedologia (FSE3)

A erodibilidade do solo é a sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão, que é a recíproca da sua resistência à erosão. A erodibilidade de um solo pela água é determinada pelas suas propriedades intrínsecas que afetam a velocidade de infiltração da água do solo, permeabilidade e a capacidade de absorção da água; e as que conferem resistência à dispersão, ao salpicamento à abrasão e as forças de transporte da chuva e enxurrada (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Dessa forma, as classes pedológicas foram reescaladas a valores de suscetibilidade conforme mostra a Tabela 4.11.

**Tabela 4.11** – Tabela contendo as classes litológicas e o grau de suscetibilidade respectivo.

<b>CLASSES PEDOLÓGICAS</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
Afloramentos Rochosos	(Baixa) 50
Cambissolos Hápicos	(Alta) 200
Latossolos Vermelho-Amarelos	(Alta) 200
Argissolos Vermelho-Amarelos	(Baixa à Média) 100
Gleissolos Hápicos	(Baixa à Média) 100
Neossolos Litólicos	(Baixa à Média) 100

(iv; v) Geomorfologia (FSE4 e FSE5)

A influência do relevo no processo de erosão é também consequência da sua morfologia, sendo assim, o relevo foi dividido em três compartimentos, côncavo, plano e convexo, formando, dessa forma, a morfologia da vertente, uma vez que essas formas têm predisposição diferenciada à erosão. A curvatura vertical afeta a aceleração e desaceleração do fluxo e, portanto, influencia a erosão e deposição. A curvatura longitudinal influencia a convergência e divergência do fluxo.

As classes morfológicas foram reescaladas a valores de suscetibilidade, como descrito anteriormente, conforme ilustra a Tabela 4.12.

**Tabela 4.12** – Tabela contendo as classes morfológicas e o grau de suscetibilidade respectivo.

<b>CURVATURA VERTICAL</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>	<b>CURVATURA LONGITUDINAL</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
Convexa	130	Convexa	(Baixa) 50
Plana	100	Plana	(Baixa à Média) 100
Côncava	30	Côncava	(Alta) 200

(vi) Declividades (FSE6)

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), a água se move “morro abaixo” quando acumulada na superfície, e raramente se movimenta em uma lâmina uniforme sobre a superfície da terra; isso aconteceria se a superfície do solo fosse lisa e uniformemente inclinada, o que raramente pode acontecer, pois ela é quase sempre irregular. Cada pequena porção de água toma o caminho de menor resistência, concentrando em pequenas depressões e ganhando velocidade à medida que a lâmina de água e a declividade do terreno aumentam.

As diferenças topográficas afetam a erosão pela concentração do escoamento superficial mais do que o pelo impacto das gotas de chuva. A quantidade de solo removido e transportado pelo fluxo superficial e a granulometria dos sedimentos que podem ser removidos, geralmente, aumentam à medida que o declive torna-se escarpado e prolongado.

As classes de declividades foram reescaladas para os valores de suscetibilidade conforme mostrado na Tabela 4.13.

**Tabela 4.13** – Classes de declividades e graus de risco.

<b>CLASSES DE DECLIVIDADES</b>	<b>ÁREA TOTAL (%)</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
0 – 3%	4,01	(Muito Baixa)30
3 – 6%	0,61	(Baixa) 60
6 – 12%	6,35	(Baixa à Média) 100
12 – 20%	10,39	(Média) 120
20 – 30%	16,00	(Média) 150
30 – 50%	37,48	(Média à Alta) 190
> 50%	25,17	(Muito Alta) 250

(vi) Cobertura Vegetal e Uso do Solo (FSE7)

Os valores de suscetibilidade foram distribuídos dentro das classes de uso do solo, uma vez que esse fator tem grande efeito sobre a erosão, porque inclui o tipo de cobertura vegetal e seu manejo (Tabela 4.14).

**Tabela 4.14 – Classes de vegetação e uso atual das terras.**

<b>CLASSES DE USO DO SOLO</b>	<b>ÁREA TOTAL (%)</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>
Vegetação secundária inicial e média	23,94	(Baixa) 50
Floresta densa e vegetação secundária avançada	40,18	(Baixa) 50
Pastagens	18,37	(Alta) 200
Área Urbana	3,25	(Média) 150
Agricultura	9,48	(Média) 150
Eucaliptos e Pinheiros	2,92	(Baixa à Média) 100
Afloramento Rochoso	1,78	(Baixa) 50
Área Degradada	0,08	(Média) 150

A Figura 4.6 ilustra os fatores reescalados para valores de suscetibilidade, cuja escala varia de 0 (suscetibilidade baixa) a 255 (suscetibilidade alta).

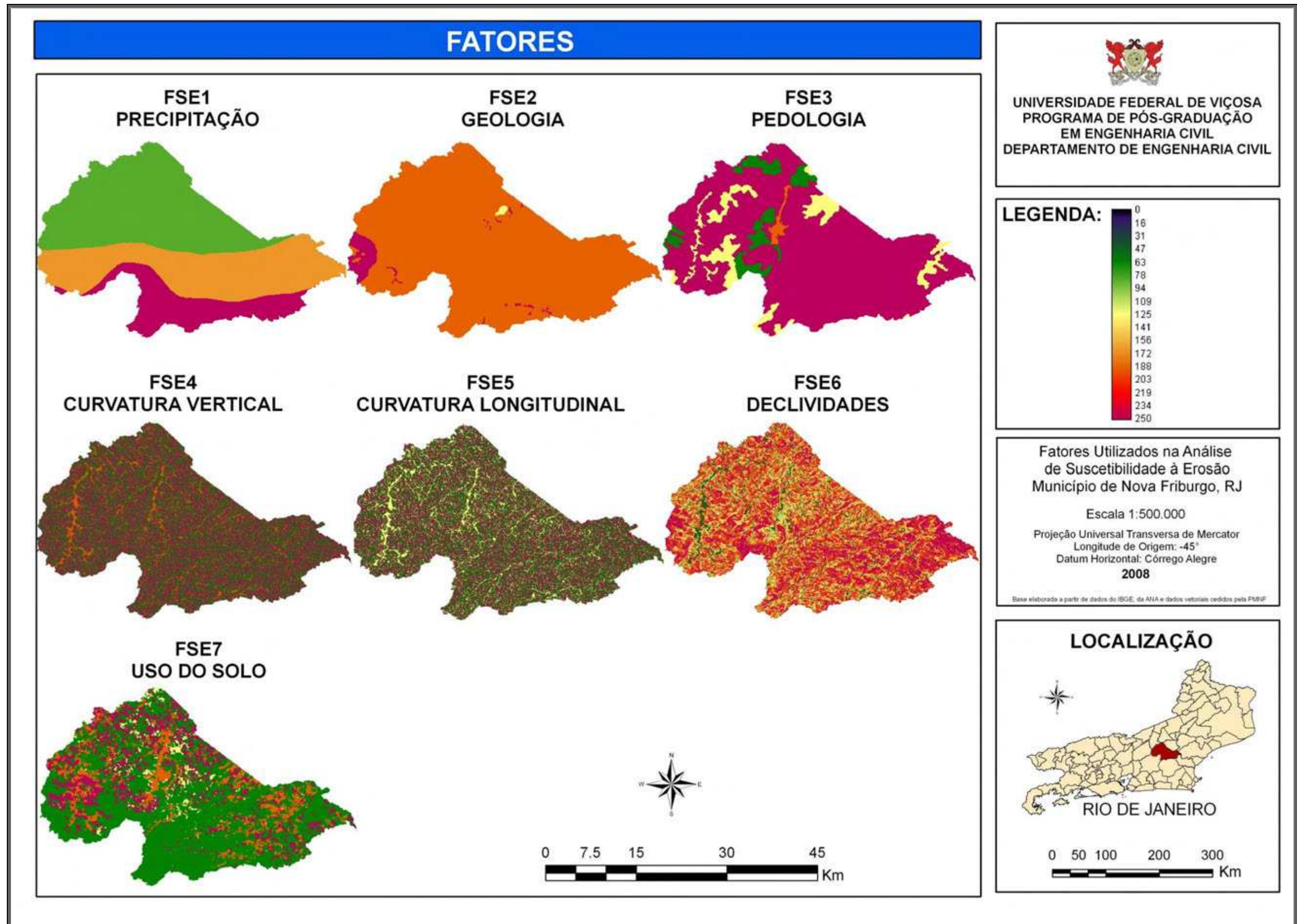


Figura 4.6 – Fatores reescalados a valores de suscetibilidade à erosão, variando de 0 (suscetibilidade mínima) a 255 (suscetibilidade máxima).

#### 4.2.3.2. Agregação dos Fatores

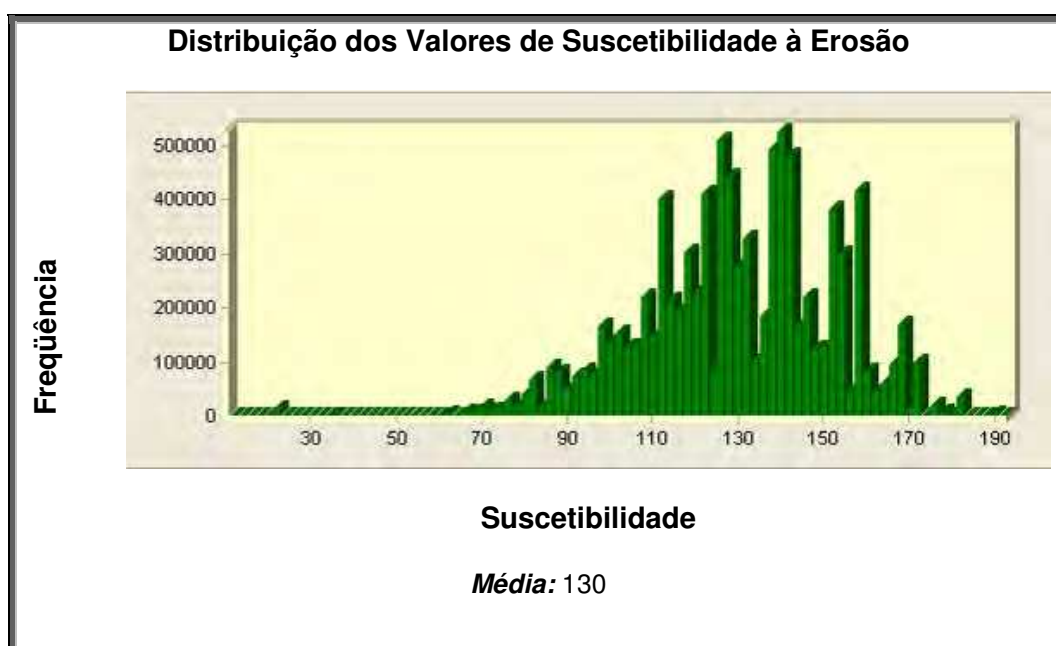
Assim como para a predisposição do meio físico aos movimentos de massa, a agregação dos fatores para a suscetibilidade à erosão foi feita aplicando-se o modelo AHP, como descrito no item 4.2.2.2, permitindo que cada variável envolvida no processo fosse ponderada, de forma a refletir a sua importância (Tabela 4.15) relativa na problemática sob análise, para gerar uma carta de suscetibilidade à erosão.

**Tabela 4.15** – Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição.

<b>FATORES</b>	<b>FSE1</b>	<b>FSE2</b>	<b>FSE3</b>	<b>FSE4</b>	<b>FSE5</b>	<b>FSE6</b>	<b>FSE7</b>	<b>PESOS</b>
FSE1	1							0,2868
FSE2	1/5	1						0,0447
FSE3	1/3	3	1					0,1124
FSE4	1/3	3	1	1				0,1124
FSE5	1/3	3	1	1	1			0,1124
FSE6	1	5	3	3	3	1		0,2868
FSE7	1/5	1	1/3	1/3	1/3	1/5	1	0,0447
		IC=0,01		RC=0,01				

$$\lambda_{\text{máx}} = 1,32$$

Considerando a suscetibilidade à erosão no município de Nova Friburgo e analisando a carta resultante dos cruzamentos pela metodologia utilizada, definiram-se três classes de susceptibilidade: baixa, média e alta (Figura 4.7 e Tabela 4.16).



**Desvio Padrão: 52**

**Figura 4.7** – Gráfico da distribuição dos valores de suscetibilidade à erosão, valor de suscetibilidade vs. frequência das unidades do terreno.

**Tabela 4.16** – Classes finais definidas para a suscetibilidade à erosão.

<b>CLASSES DE SUSCETIBILIDADE</b>	<b>FAIXAS DE VALORES</b>	<b>FREQÜÊNCIA</b>	<b>PORCENTAGEM</b>
Baixa	2 – 90	442114	4,69
Média	90 – 130	7115904	76,00
Alta	130 – 192	1808662	19,31

#### 4.2.4. Metodologia Utilizada para a Expansão Urbana

Assim como a análise de suscetibilidade, as análises espaciais foram realizadas utilizando-se o módulo MCE do GIS Idrisi Andes como sistema de apoio à tomada de decisão, usando critérios múltiplos para selecionar as áreas mais adequadas para a expansão urbana, na área de estudo, de forma a não agravar os movimentos de massa recorrentes no município de Nova Friburgo. Entretanto, os critérios, aqui utilizados, foram fatores e restrições.

As restrições estão apresentadas na Tabela 4.17, a seguir.

**Tabela 4.17** – Restrições utilizadas na análise.

<b>RESTRIÇÕES</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>R1</b>	Declividades superiores a 45%.
<b>R2</b>	Distância mínima de 30m (“buffer”) de qualquer curso d’água (de acordo com a Lei Nº 4.771, Código Florestal).
<b>R3</b>	Distância mínima de 15m (“buffer”) do sistema viário (de acordo com a Lei Federal 6766/79 e com a Lei de Uso Parcelamento e Ocupação do Solo de Nova Friburgo).
<b>R4</b>	Zonas de proteção do patrimônio natural e de conservação do patrimônio natural (de acordo com o Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo).

Os fatores utilizados nas análises foram:

- ✓ as zonas contidas no Plano Diretor;
- ✓ distância das rodovias;
- ✓ distância de áreas já urbanizadas;
- ✓ geomorfologia;
- ✓ classes de declividades;
- ✓ classes de solos;

- ✓ geologia;
- ✓ uso do solo;
- ✓ distância dos cursos d'água.

#### 4.2.4.1. Processo de Análise

Os fatores, em uma primeira etapa, foram agregados através da combinação linear ponderada (WLC), considerando seus respectivos pesos. Na segunda etapa, os fatores, juntamente com as restrições foram agregados através da combinação de média ponderada ordenada, que considera dois conjuntos de pesos, permitindo controlar o nível de compensação entre os fatores e o nível de risco na determinação da adequabilidade.

#### 4.2.4.2. Descrição dos Fatores

Para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala de adequabilidade, foram utilizadas as funções dos conjuntos *fuzzy*, em bytes, variando de zero (áreas menos adequadas) a 255 (áreas mais adequadas). Em alguns casos, os fatores foram reescalados para valores de adequabilidade (Tabela 4.18). A Figura 4.8 mostra as funções membros do conjunto *fuzzy* utilizadas nesta análise.

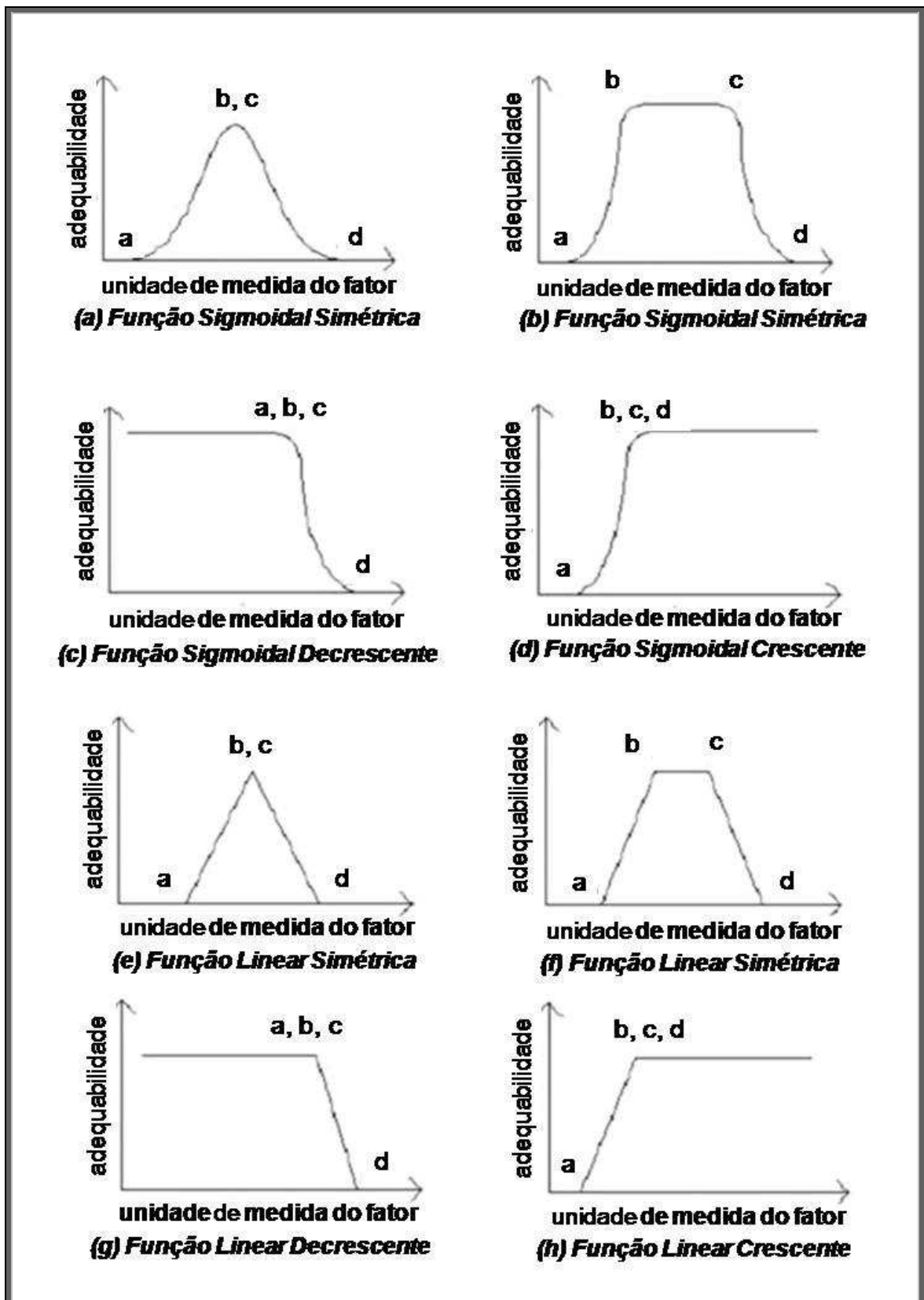


Figura 4.8 – Funções do conjunto *fuzzy* (Fonte: EASTMAN, 1998).

**Tabela 4.18** – Fatores utilizados na análise. Funções *fuzzy* adotadas e seus respectivos pontos de controle.

FATORES	DESCRIÇÃO	$d_{min.}$	FUNÇÃO FUZZY	PONTO DE CONTROLE			
				a	b	c	d
F1	Distância mínima de 30m de qualquer curso d'água.	30m	Linear monotônica crescente	30m	200m	200m	200m
F2	Pedologia	-	Escala [0-255]	-			
F3	Geologia	-	Escala [0-255]	-			
F4	Morfometria	-	Escala [0-255]	-			
F5	Uso do Solo	-	Escala [0-255]	-			
F6	Unidades de Planejamento Territorial	-	Escala [0-255]	-			
F7	Declividade máxima de 45%	0%	Sigmoidal Simétrica	0%	5%	20%	45%
F8	Áreas muito distantes do sistema viário oneram sensivelmente os custos de implantação de infra-estruturas.	15m	Linear monotônica decrescente	15m	3484m	3484m	3484m
F9	Áreas mais próximas ao centro urbano são mais valorizadas e diminuem os custos de implementação de infra-estrutura.	0m	Linear monotônica decrescente	0m	14887m	14887m	14887m

(i) Distância dos Cursos D'Água (F1)

O valor 1128m foi obtido após a aplicação do módulo *Distance* na imagem de recursos hídricos, produzindo uma superfície contínua de valores de distância Euclidiana. Como o município é bem servido de recursos hídricos, fixou-se um patamar de estabilização em 200m, pois uma distância excessiva da água pode significar maiores custos em infra-estruturas.

(ii) Pedologia (F2)

As classes pedológicas foram reescaladas a valores de adequabilidade. Para isso, entretanto, foi elaborado um mapa que conjugasse as classes de solos quanto ao risco de erosão, o relevo, a cobertura vegetal e a pressão de uso antrópico, como descrito no item 4.2.3.1. Esses temas foram reclassificados, agora, com diferentes valores de adequabilidade, ou seja, a Tabela 4.12, foi adaptada, conforme Tabela 4.19.

**Tabela 4.19** – Tabela contendo as classes de suscetibilidade à erosão e a adequabilidade correspondente para a expansão urbana.

<b>SUSCETIBILIDADE À EROSÃO</b>	<b>ADEQUABILIDADE PARA A EXPANSÃO URBANA</b>
BAIXA	230
MÉDIA	130
ALTA	50

Considerando-se as áreas mais propícias para a expansão urbana em função das classes encontradas, quanto mais favoráveis essas características nas unidades de mapeamento, maior sua aptidão. Considerou-se, de acordo com os dados obtidos, a classe de suscetibilidade muito baixa a mais adequada e a alta, a menos adequada.

(iii) Geologia (F3)

Assim como a pedologia, as classes geológicas foram reescaladas a valores de adequabilidade à expansão urbana, conforme mostra a Tabela 4.20.

**Tabela 4.20** – Tabela contendo o resultado do cruzamento entre as classes geológicas e as classes de declividades e a adequabilidade para cada nova classe.

<b>CLASSES LITOLÓGICAS</b>	<b>ADEQUABILIDADE</b>
β (Gabro)	250
EOY	150
PMSpGM	150
PMSsGR	150
PMSpGX	150
PMSsM	150
PSY	150
PSYL	100
Qa	50
Qc	50

Considerando-se as áreas mais propícias aquelas que apresentam as Intrusivas Básicas (Gabro - β). As coberturas aluvionares e colúvio-aluvionares foram consideradas as menos adequadas.

(iv) Geomorfologia (F4)

As classes geomorfológicas foram reescaladas a valores de adequabilidade conforme mostra a Tabela 4.21.

**Tabela 4.21** – Tabela contendo o resultado do cruzamento entre as classes morfométricas e as classes de declividades e o grau de risco para cada nova classe.

<b>CLASSES MORFOLÓGICAS</b>	<b>ADEQUABILIDADE</b>
Convexa/Convexa (VV)	30
Convexa/Côncava (VC)	190
Convexa/Linear (VS)	50
Côncava/Côncava (CC)	250
Côncava/Convexa (CV)	120
Côncava/Linear (CS)	170
Linear/Côncava (SC)	220
Linear/Convexa (SV)	150
Linear/Linear (SS)	80

Dessa forma, buscou-se avaliar as condições que o meio físico oferece, interagindo com um conjunto de fatores naturais, nesse caso, a morfologia, de forma a não induzir a geração de feições morfogenéticas (ravinas, voçorocas, etc.), permitindo a alocação e expansão de áreas urbanas.

(v) Uso do Solo (F5)

Os valores de adequabilidade foram distribuídos dentro das classes de uso do solo de acordo com as características viáveis à expansão urbana e proximidade aos núcleos urbanos existentes. Às áreas utilizadas como pastagem e área urbana, essa última, por apresentar vazios urbanos, foram atribuídos os maiores valores de adequabilidade (Tabela 4.22).

**Tabela 4.22 – Classes de vegetação e uso atual das terras.**

<b>CLASSES DE USO DO SOLO</b>	<b>ADEQUABILIDADE</b>
Vegetação secundária inicial e média	150
Floresta densa e vegetação secundária avançada	0
Pastagens	220
Área Urbana	190
Agricultura	50
Eucaliptos e Pinheiros	50
Afloramento Rochoso	0
Área Degradada	0

(vi) Unidades Territoriais de Planejamento

Instituídos no Art. 44 do Plano Diretor participativo de Nova Friburgo, os Planos de Organização Territorial – POT de Nova Friburgo são instrumentos de ordenamento do uso e ocupação do solo das principais bacias hidrográficas do município, estabelecidas nessa Lei como Unidades Territoriais de Planejamento – UTP e que se subdividem em:

- ✓ Áreas de Interesse Ambiental, que integram uma ou mais Unidades de Conservação da Natureza – UCN instituídas ou a serem criadas, nas quais deverão ser compatibilizados a legislação ambiental e seus respectivos planos de manejo com o uso e ocupação do solo;
- ✓ Áreas de Desenvolvimento Rural Sustentável, destinadas, prioritariamente, à manutenção e qualificação das atividades agrícolas;
- ✓ Áreas de Interesse Logístico nos seguintes eixos rodoviários:
  - a) Ao longo da RJ-130, com prioridade para a instalação de atividades econômicas de grande porte;
  - b) Ao longo da RJ-116, no trecho Teodoro de Oliveira – Ponte da Saudade, com prioridade para a instalação de atividades econômicas de apoio ao turismo;
- ✓ Áreas Urbanas, delimitadas para fins de parcelamento, uso e ocupação do solo sobre as quais incidirão o zoneamento urbano.

De acordo com o exposto acima, os valores de adequabilidade (Tabela 4.23) foram distribuídos entre as classes das unidades territoriais, privilegiando as zonas que têm por objetivo consolidar e otimizar a utilização da infra-estrutura básica instalada, concentrar o adensamento e a diminuição dos deslocamentos gerados pelas necessidades cotidianas de acesso às atividades de comércio e serviços urbanos.

**Tabela 4.23** – Unidades Territoriais de Planejamento (UTP's).

<b>CLASSES DE UTP's</b>	<b>ADEQUABILIDADE</b>
Áreas de Desenvolvimento Rural Sustentável (ADRS)	80
Áreas de Interesse Ambiental (AIA)	0
Zonas de Especial Interesse Ambiental (ZEIA)	0
Zona de Expansão Orientada (ZEO)	200
Zona de Restrição (ZR)	60
Zona de Requalificação Urbana (ZRU)	240
Zona de Transição (ZT)	100
Zona Urbana Controlada (ZUC)	150

(vii) Classes de Declividades (F7)

As classes de declividades foram padronizadas através da função *fuzzy* linear simétrica, com os pontos de controle conforme mostrado na Tabela 3.11.

A adequabilidade, inicialmente, é crescente, variando de 0 a 5%, onde atinge o valor máximo de adequabilidade que se mantém até declividades 20%, declividade máxima permitida para as vias em trecho de extensão máxima de 100m, quando começa a decrescer até atingir adequabilidade nula em 45%.

O Plano Diretor de Nova Friburgo restringe a ocupação e a expansão urbana em terrenos com declividade superior a 30%; impedindo a utilização, para qualquer fim, de áreas com declividade superior a 100%. O limite de 30% é definido por legislação federal – Lei 6766/79 – também chamada Lei Lehmann, que vai definir o limite máximo para a urbanização sem restrições, a partir do qual toda e qualquer forma de parcelamento far-se-á através de exigências específicas, conforme também é definido na Lei de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo de Nova Friburgo.

Áreas com declividades superiores a 45% podem ser ocupadas, uma vez que existem recursos técnicos para isso. Porém, podem exigir custos muito elevados, o que muitas vezes inviabiliza a sua ocupação.

(viii) Distância do Sistema Viário (F8)

O valor 3484m foi obtido após a aplicação do módulo Distance na imagem das rodovias. A adequabilidade decresce com a distância, áreas mais próximas às rodovias são mais adequadas por questões de operacionalidade, facilitando a ligação com as novas vias.

#### (viii) Distância das Áreas Urbanizadas (F9)

Como se objetiva a alocação de áreas adequadas para a expansão urbana, é importante que essas áreas estejam próximas aos núcleos urbanos existentes, devido às questões operacionais e de infra-estrutura.

#### 4.3.4.3. Agregação dos Fatores

Os fatores foram agregados, em uma primeira etapa, usando o procedimento da Combinação Linear Ponderada (WLC) através da qual cada fator padronizado é multiplicado pelo seu peso correspondente, são somados e a soma é dividida pelo número de fatores. A combinação ponderada é calculada para cada *pixel* na imagem e permite a compensação entre os fatores. A análise posiciona-se entre o risco extremo (OR) e o risco mínimo (AND).

O valor de compensação ou ponderação indica a importância relativa dos fatores e regula a compensação entre eles. No GIS Idrisi Andes, o módulo *Weight* compara pares de fatores em termos de sua importância relativa e depois de todas as combinações possíveis, calcula um conjunto de pesos cuja somatória é 1 e uma razão de consistência.

A Tabela 4.24 explicita a distribuição das importâncias relativas, objetivando a expansão urbana com redução de risco dos movimentos de massa.

**Tabela 4.24 – Importância relativa entre os fatores.**

<b>FATORES<sup>3.2</sup></b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>
<b>F1</b>	1								
<b>F2</b>	5	1							
<b>F3</b>	3	1/3	1						
<b>F4</b>	6	2	4	1					
<b>F5</b>	2	1/4	1/2	1/5	1				
<b>F6</b>	7	3	5	2	6	1			
<b>F7</b>	4	1/2	2	1/3	3	1/4	1		
<b>F8</b>	7	3	5	2	6	1	4	1	
<b>F9</b>	7	3	5	2	6	1	4	1	1

<sup>3.2</sup> F1: distância dos cursos d'água; F2: pedologia; F3: geologia; F4: geomorfologia; F5: uso do solo; F6: UTP's; F7: classes de declividades; F8: distância do sistema viário; F9: distância das áreas urbanizadas.

Em uma Segunda etapa, os fatores e as restrições foram agregados pelo processo da Média Ponderada Ordenada (OWA), no qual é aplicado aos fatores um segundo conjunto de pesos, permitindo controlar o nível total de compensação entre os fatores e também o nível de risco na determinação da adequabilidade. As restrições permanecem como máscaras *boolean*.

O segundo conjunto de pesos permite controlar o nível total de compensação entre os fatores e o nível de risco na determinação da adequabilidade. O fator com menor adequabilidade recebe o primeiro *order weight*, e assim sucessivamente, ou seja, os fatores são ponderados com base em sua ordem, do mínimo para o máximo.

Segundo EASTMAN et al. (1998), em um processo de decisão envolvendo três fatores, se for aplicado todo o peso ao fator com menor adequabilidade, o resultado será uma solução conservadora, de aversão ao risco, semelhante ao operador lógico AND (todos os critérios devem ser satisfeitos). Por outro lado, se todo o peso for atribuído ao fator com maior adequabilidade, a solução será de risco elevado, equivalente ao operador lógico OR (pelo menos um dos critérios deve ser satisfeito). Se for atribuído um conjunto de pesos iguais a todos os fatores, resultaria em uma solução de risco médio e compensação total, análogo ao operador WLC, que nada mais é que um caso particular de OWA.

Para o cálculo dos pesos ponderados, foi utilizado o módulo *Weight*, para o qual foram atribuídos os valores de importância relativa entre os fatores (Tabela 4.25).

**Tabela 4.25** – Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição.

<b>FATORES<sup>3.3</sup></b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>	<b>PESOS</b>
<b>F1</b>	1									0,2084
<b>F2</b>	5	1								0,2084
<b>F3</b>	3	1/3	1							0,2084
<b>F4</b>	6	2	4	1						0,1341
<b>F5</b>	2	1/4	1/2	1/5	1					0,0893
<b>F6</b>	7	3	5	2	6	1				0,0603
<b>F7</b>	4	1/2	2	1/3	3	1/4	1			0,0411
<b>F8</b>	7	3	5	2	6	1	4	1		0,0286
<b>F9</b>	7	3	5	2	6	1	4	1	1	0,0209

<sup>3.3</sup> Valor 1: mesma importância de um item sobre outro; valor 1/2: importância intermediária entre igualmente e moderadamente menos importante; valor 1/3: importância moderadamente menor de um fator sobre outro; 1/4: importância intermediária entre moderadamente e fortemente menos importante; 1/5: fortemente menos importante; 2: importância intermediária entre igualmente e moderadamente mais importante; 3: moderadamente mais importante; 4: importância intermediária entre moderado e fortemente mais importante; 5: fortemente mais importante; 6: importância intermediária entre forte e muito fortemente mais importante; 7: muito fortemente mais importante.

---

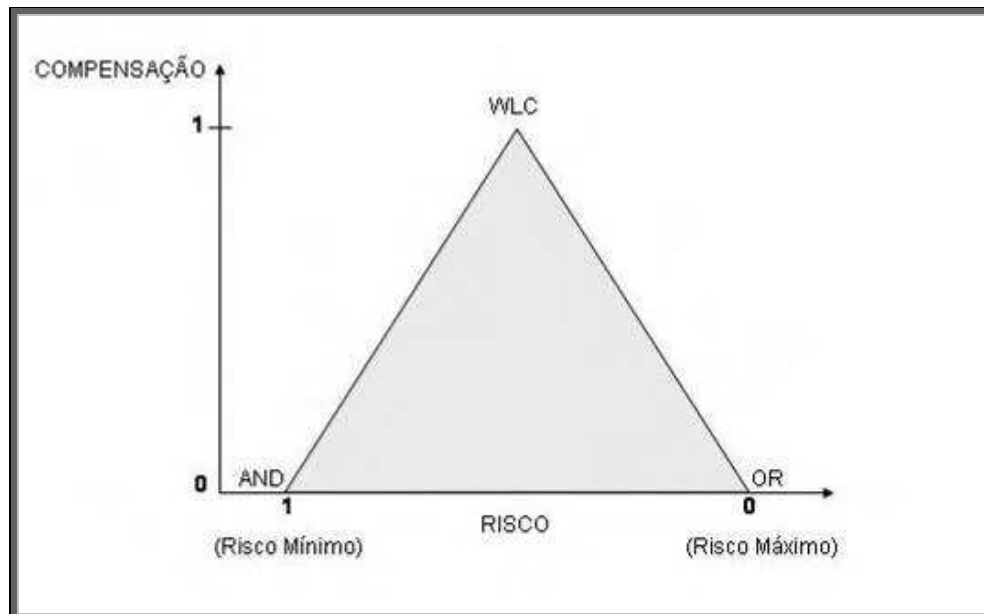

$$IC=0,02 \quad RC=0,01$$

$$\lambda = 1,45$$


---

#### 4.2.4.4. Cenários Finais

As restrições booleanas e os fatores foram agregados pelo procedimento OWA, variando os níveis de compensação gerando cenários finais de adequabilidade. Dentre as infinitas possibilidades de variação dos níveis de riscos e grau de compensação, as que representam risco extremo (análise otimista e ausência de compensação) e aversão ao risco (análise pessimista ou conservadora), não foram consideradas, pois não estão em conformidade com os objetivos propostos. A Figura 4.9 explicita o espaço estratégico de decisão OWA, onde se percebe que além dos casos particulares citados, qualquer combinação de pesos ordenados é possível, desde que o somatório dos mesmos seja a unidade. O risco assumido e o grau de compensação podem ser calculados pelas expressões 1 e 2.



**Figura 4.9** – Espaço estratégico de decisão OWA (modificado de RAMOS & MENDES, 2001).

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-1) O_i \quad \text{Equação 4.3}$$

$$C = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n (O_i - \frac{1}{n})^2}{(n-1)}} \quad \text{Equação 4.4}$$

Onde:

- ✓ R = risco;
  
- ✓ C = compensação;
  
- ✓  $O_i$  = peso ordenado na posição i;
  
- ✓ n = número de fatores.

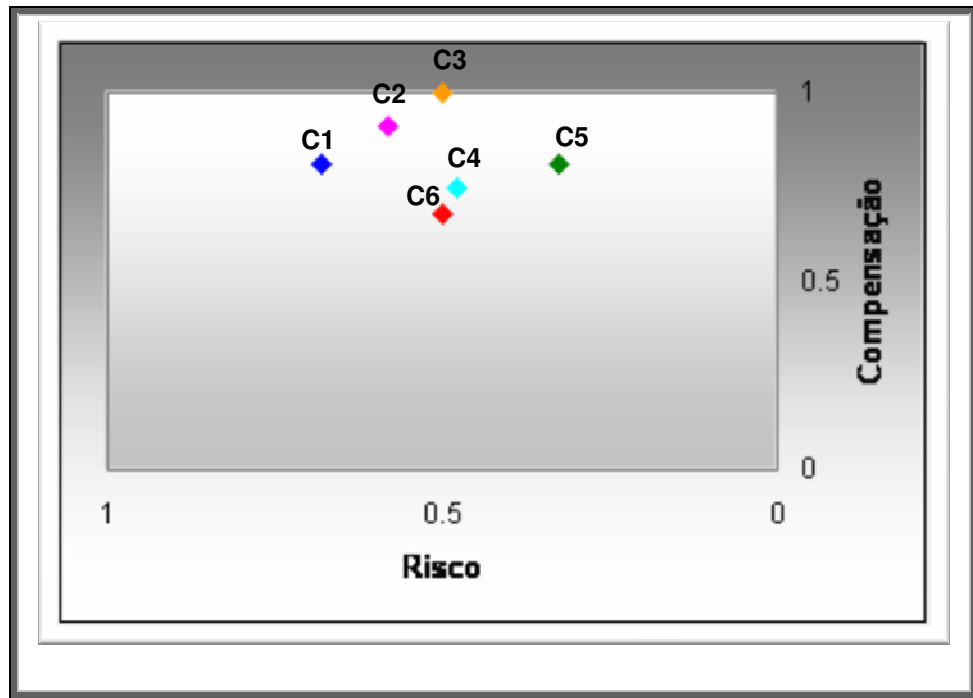
Os cenários finais, propostos a partir da variação dos níveis de risco e grau de compensação, estão apresentados na Tabela 4.26 e representados na Figura 4.11.

**Tabela 4.26** – Resumo dos cenários finais propostos.

<b>CENÁRIOS<sup>3,4</sup></b>	<b>POSIÇÃO E VALOR DOS PESOS ORDENADOS</b>									<b>RISCO</b>	<b>COMPENSAÇÃO</b>
	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>	<b>7º</b>	<b>8º</b>	<b>9º</b>		
<b>C1</b>	0,2000	0,1800	0,1600	0,1400	0,1200	0,0800	0,0600	0,0400	0,0200	0,68	0,81
<b>C2</b>	0,1600	0,1400	0,1300	0,1200	0,1100	0,1000	0,0900	0,0800	0,0700	0,58	0,91
<b>C3</b>	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,50	1,00
<b>C4</b>	0,0300	0,0600	0,0900	0,1200	0,3000	0,1600	0,1200	0,0800	0,0400	0,48	0,75
<b>C5</b>	0,0200	0,0400	0,0600	0,0800	0,1200	0,1400	0,1600	0,1800	0,2000	0,32	0,81
<b>C6</b>	0,0750	0,0750	0,0750	0,0750	0,4000	0,0750	0,0750	0,0750	0,0750	0,50	0,68

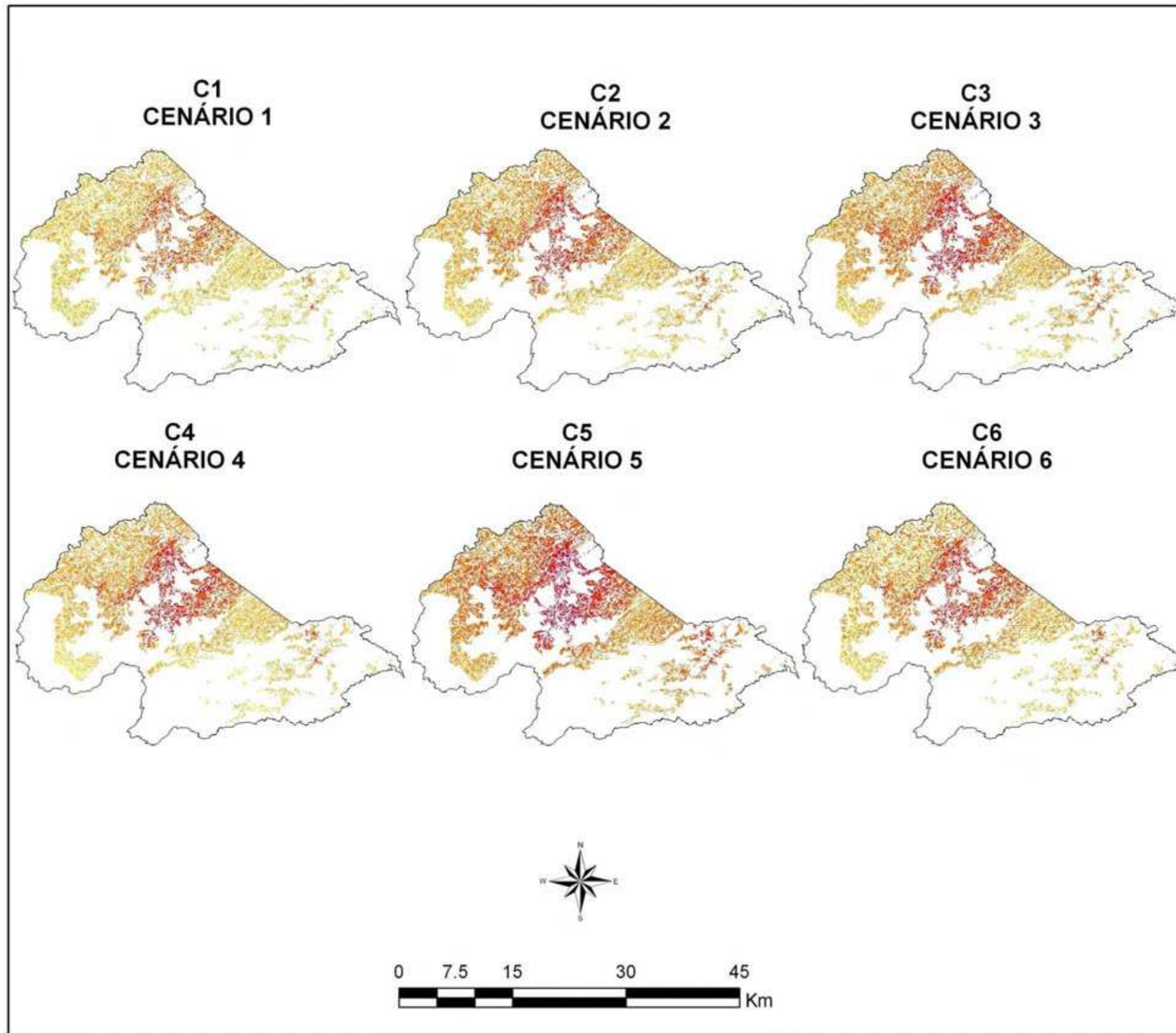
A Figura 4.10 mostra os cenários finais no espaço estratégico de decisão.

<sup>3,4</sup> C1: cenário 1; C2: cenário 2; C3: cenário 3; C4: cenário 4; C5: cenário 5; C6: cenário 6.

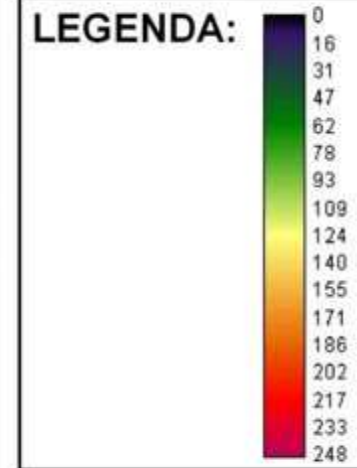


**Figura 4.10** – Posição dos cenários finais no espaço estratégico de decisão.

# CENÁRIOS DE EXPANSÃO URBANA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



Cenários Utilizados na Análise  
de Expansão Urbana  
Município de Nova Friburgo, RJ

Escala 1:500.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Longitude de Origem: -45°  
Datum Horizontal: Córrego Alegre  
2008

Base elaborada a partir de dados do IBGE, da ANA e dados vetoriais cedidos pelo PMNF

## LOCALIZAÇÃO

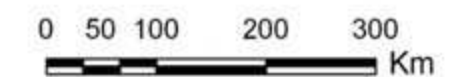


Figura 4.11 – Cenários finais.

# Capítulo 5

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho foi elaborado a partir de interpretação de material fotográfico e cartográfico, assim como análise de estudos antecedentes.

Foi confeccionado um mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais na escala 1:50.000 acompanhado de texto com as principais características dos agentes condicionantes dos movimentos de massa.

São também indicadas as condições de erodibilidade das terras em função da natureza dos solos, condições do relevo e características da cobertura vegetal e uso atual das terras.

Este estudo visa fornecer subsídios à organização do espaço territorial do município de Nova Friburgo. A avaliação da suscetibilidade das terras aos fenômenos de erosão e movimento de massa tem caráter dinâmico, com possibilidade de evolução das classes de suscetibilidade tendo em vista o avanço dos processos erosivos e de movimento de massa condicionados à tendência natural dos terrenos, agravados pela intensidade das atividades antrópicas mal orientadas na região.

As informações levantadas e reunidas neste trabalho contemplam as áreas ocupadas, áreas passíveis ou não de serem ocupadas e áreas a serem preservadas.

### 5.1. Suscetibilidade à Erosão

As diferenças nos atributos físicos e químicos explicam em muitos casos o fato de alguns solos erodirem mais que outros mesmo estando expostos a uma mesma condição ambiente.

Entretanto, a erodibilidade do solo é apenas um dos fatores que influenciam a erosão. Quanto maior a declividade maior a velocidade com que a água escoar, conseqüentemente, maior o volume carregado.

Dentre os fatores topográficos, a declividade do terreno é possivelmente o mais importante no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo. Entretanto, o comprimento de rampa não é menos importante, pois, à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas se tornam mais volumosas como também a velocidade de escoamento aumenta, progressivamente, e a maior energia resultante se traduz em maior erosão, exceto, quando a capacidade de infiltração e a permeabilidade do solo reduzem esse efeito.

Outro elemento que interfere no processo erosivo é o tipo de uso do solo e a cobertura vegetal. Além de proteger o solo contra a perda de material, o uso adequado e a cobertura vegetal o protegem direta e indiretamente contra os efeitos modificadores das formas do relevo.

As áreas que apresentaram maiores vulnerabilidades à perda de solo estão dispostas, principalmente, no trecho urbano, centro-sul do município e nas bacias hidrográficas<sup>5.1</sup> do rio Cônego, do Rio Santo Antônio, parte sul da bacia do rio Grande e do rio Macaé que, atualmente, apresentam uma cobertura vegetal que pouco contribui para a proteção ao substrato. À exceção da faixa urbanizada, onde a remoção da cobertura vegetal e a grande movimentação de terra, por cortes e aterros, se deram pela abertura de novos loteamentos, essas áreas caracterizam-se pela aptidão agrícola. A localidade de São Lourenço teve extensas áreas desmatadas, principalmente no vale do rio Grande, pela sua vocação histórica para o cultivo de hortifrutigranjeiros e expansão de pastagens a fim de desenvolver a pecuária e agricultura.

A erosão do solo proveniente de áreas em construção pode causar, no município, sérios problemas econômicos, sociais e ambientais devido à destruição de ruas, assoreamento dos rios e problemas sanitários devido a lançamentos de entulhos e lixo. Esses problemas são causados por atividades de desenvolvimento urbanístico como loteamentos, construções de casas e prédios, grandes projetos tais como centros de lazer e rodovias. Os danos causados pela erosão do terreno e sedimentação na rede de drenagem atingem seu pico durante a fase de construção, quando a exposição do solo é máxima.

No município, as vertentes mais atingidas pelas chuvas são as voltadas para o Sul, Sudeste e Leste, a maior pluviosidade nessas áreas é a responsável pelo alto grau de suscetibilidade à erosão. A presença de altas declividades e escarpamentos aumentam a probabilidade de ocorrência, em relevos ondulados e fortemente ondulados, de deslizamentos de solo e nas escarpas, além dos escorregamentos, a queda de blocos de rocha, e ainda voçorocas de encostas, ravinas e sulcos erosivos.

De uma forma geral, o município é sustentado por uma litologia, na qual os processos naturais geraram os cambissolos, solos pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral pouco profundos ou rasos e com teores de silte relativamente elevados, em geral, ocorrem associados à Latossolos Vermelho-Amarelos, em relevo montanhoso e forte ondulados, sob floresta perenifólia; ou ainda associados a solos Litólicos e afloramentos de rocha, nas áreas de relevo mais acidentado das escarpas serranas. Ocorrem ainda sob floresta subperenifólia em áreas um pouco mais baixas, associados à Latossolos ou Argissolos, mas quase sempre em relevo movimentado.

---

<sup>5.1</sup> Neste trabalho, as bacias hidrográficas serão denominadas por bacias, apenas.

Mesmo onde a litologia é mais resistente, os processos morfogenéticos ainda se sobressaem em virtude da ocorrência das maiores classes de vulnerabilidade da morfologia do relevo e da remoção da cobertura vegetal e a substituição por pastagens. Enfim, essas unidades de paisagem contêm um conjunto de elementos geográficos naturais e/ou antrópicos que tendem a potencializar os processos exógenos formadores do relevo.

A classe com grau de suscetibilidade mediana está distribuída por toda parte do município de Nova Friburgo, correspondendo à classe de maior expressão em área, 658,31 km<sup>2</sup>. Nessas unidades de paisagem, além da ocorrência de outros tipos de uso e cobertura, quase toda área é coberta por Floresta Ombrófila Densa. Nessas terras, a morfogênese está em equilíbrio com a pedogênese, mostrando existir elementos com valores de vulnerabilidade baixos (tipo de solo, baixas declividades, por exemplo) compensando aqueles que apresentam valores mais altos.

As áreas caracterizadas como de baixa suscetibilidade são áreas constituídas predominantemente por relevo com baixa declividade, praticamente planos (inferior a 2%) e por solos resistentes à erosão.

As unidades de paisagem que estão inseridas no grau baixo representam áreas localizadas de forma esparsa, principalmente, na parte Norte da área de estudo. Nessas terras, diferentemente das demais, descritas anteriormente, os processos formadores de solos sobressaem aos formadores do relevo. Predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos, que são solos em avançado estado de pedogênese, muito evoluídos, resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. São normalmente muito profundos, com espessura, em geral, superior a 2m, de elevada permeabilidade e comumente bem drenados. Observa-se também que para as áreas em questão o substrato está bem protegido por Floresta Ombrófila Densa ou ainda por reflorestamentos de eucaliptos e pinheiros. A alteração ou a retirada desse tipo de cobertura da terra poderia ocasionar em mudanças na morfodinâmica tornando essas áreas mais vulneráveis.

Os dados climatológicos, neste caso, as chuvas, foram de fundamental importância para a análise da fragilidade decorrente da sua ação direta na dinâmica do sistema ambiental. A ação das chuvas, principalmente quando concentradas em pequenos períodos, é um importante elemento modificador por regular e ativar todos os processos morfodinâmicos contribuindo diretamente para acelerar os processos erosivos.

A Tabela 5.1 e a Figura 5.1 sugerem melhor compreensão a respeito da carta de suscetibilidade à erosão obtida nesta fase.

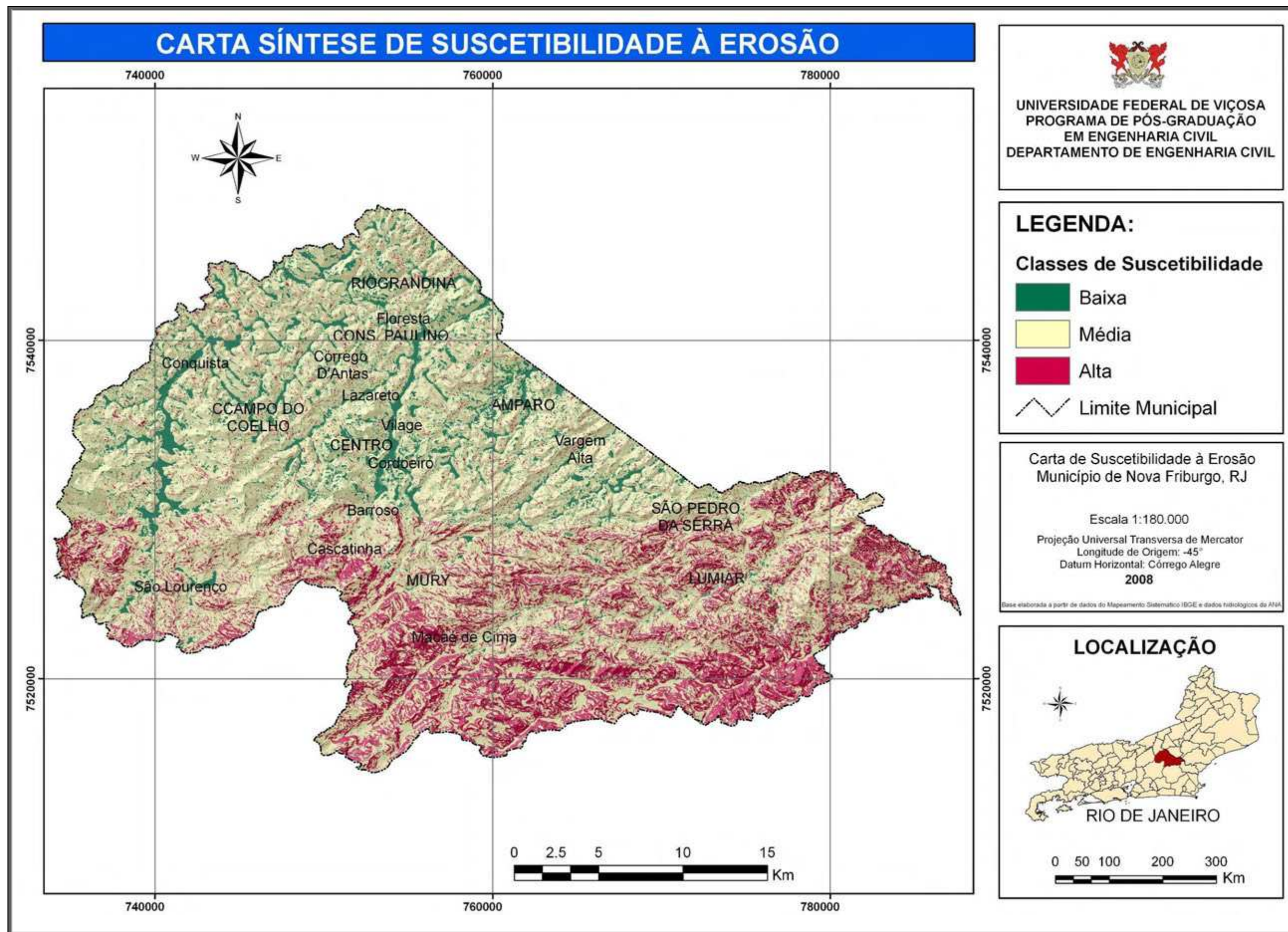


Figura 5.1 – Carta síntese de suscetibilidade à erosão.

**Tabela 5.1** – Área e percentual dos graus de suscetibilidade à erosão.

<b>GRAU DE SUSCETIBILIDADE</b>	<b>ÁREA km<sup>2</sup></b>	<b>ÁREA RELATIVA (%)</b>
BAIXA	86,10	9,21
MÉDIA	658,31	70,45
ALTA	190,04	20,34
<b>TOTAL</b>	<b>934,45</b>	<b>100,00</b>

Os locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo semelhantes, influenciados por formas de paisagem e declives diferenciados, apresentam padrões de variabilidade espacial das propriedades do solo também diferenciadas.

Erosões e movimentos de massa ocorrem principalmente em encostas ou vertentes. Onde os declives são maiores e permanecem, aproximadamente, constantes caracterizam as áreas de maior ocorrência desses fenômenos. Em áreas escarpadas quase não há solo e os fragmentos que se desprendem do maciço rochoso caem e forma-se no sopé da encosta um segmento com menor declividade.

Inclinações íngremes resultam em elevada energia do escoamento superficial, o resultado é uma rede de erosão nos vales.

A planície de inundação foi construída pela deposição de sedimentos e continua recebendo tais sedimentos em épocas de cheias, embora também sofra erosões motivadas pelos rios.

O material erodido, incluindo-se o lixo e o entulho, é depositado no fundo dos vales, em declividades inferiores a 2% (Figura 5.2), com destaque para o vale do rio Bengalas, que drena toda parte urbana do município, à jusante de duas bacias com alta suscetibilidade à erosão e, portanto, geradoras de sedimentos, as bacias do rio Cônego e do rio Santo Antônio.

A combinação da presença dos sedimentos originados pela erosão do solo com o acréscimo de lixo nos escoamentos dos rios e seus afluentes, acarreta uma grande redução da eficiência da rede de drenagem urbana do município.

Os sedimentos que atingem a macrodrenagem depositam-se devido à redução da declividade e da capacidade de transporte. Os sedimentos depositados reduzem a capacidade de escoamento de cheias dos canais da macrodrenagem e as inundações se tornam mais freqüentes.

Os terrenos planos dos vales, que estão associados aos terrenos de alta suscetibilidades à ocorrência de processos de erosão e de movimentos de massa, também apresentam alta suscetibilidade à ocorrência de assoreamento.

O Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo prevê a construção de três reservatórios de retenção (Figura 5.3) no Córrego D'Antas que irão acumular, temporariamente, as águas pluviais com a função de amortecer as vazões de cheias e reduzir os riscos de inundações a jusante. Trata-se, portanto, de ações estruturais e intervenções diretas na forma de obras para a adequação do sistema de macrodrenagem de Nova Friburgo.

Em termos de saúde pública, a poluição e a eutrofização de corpos d'água causadas pela erosão são alguns dos principais obstáculos para um efetivo controle de doenças transmitidas por vetores que requerem a existência da água parada ou de pouca movimentação para desenvolver, ao menos, parte do seu ciclo biológico. O movimento de poluentes para açudes, rios, lagos e reservatórios pela erosão e/ou escoamento superficial gera igualmente problemas de saúde pública se as águas forem usadas para consumo ou recreação.

Nesse contexto, a erosão dos solos deverá ser uma preocupação constante nas áreas situadas à montante desses reservatórios. Quanto mais sedimento for aportado para dentro da estrutura, menor será sua capacidade de armazenamento e vida útil e maiores serão os custos com a manutenção periódica, além de se tornar um foco de doenças veiculadas pela água, caso não se faça a apropriada desinfecção do local e o controle dos efluentes.

Em geral, a solução adotada é a dragagem do material depositado. Os problemas associados à dragagem são os altos custos da operação, a necessidade de uma área para depositar o material dragado, a degradação das margens e as interrupções no trânsito que ocorrem se o material é retirado por caminhões. Dessa forma, o presente estudo destaca-se como um instrumento inicial de análise para futuras simulações na implantação de monitoramento e acompanhamento da adoção de medidas de preservação ambiental, na validação de políticas e na adoção de medidas mitigadoras de controle da erosão e movimentos de massa gravitacionais no município de Nova Friburgo.

Há também de se considerar que a destruição das matas ciliares, que dão sustentação as margens, propicia seu desmoronamento.

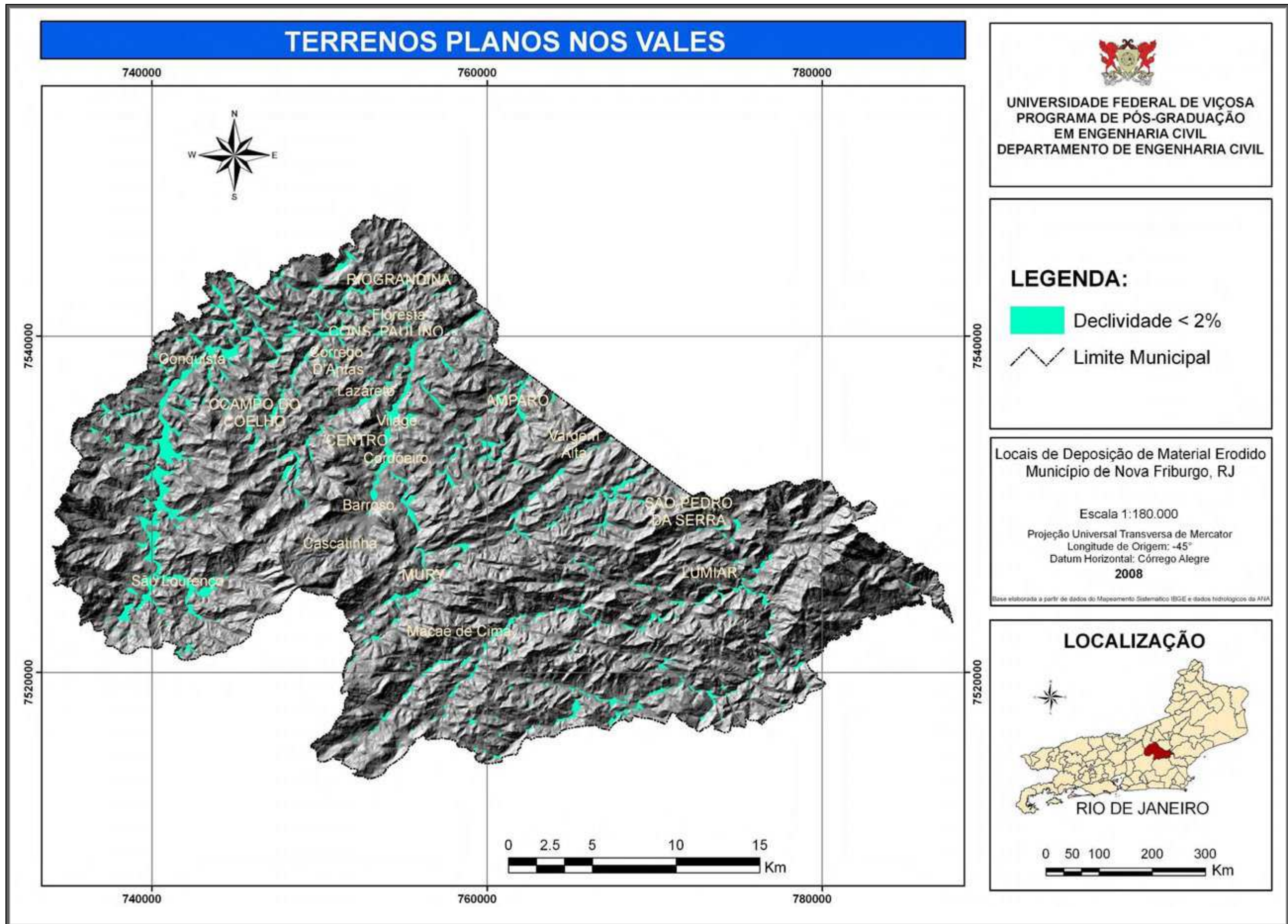
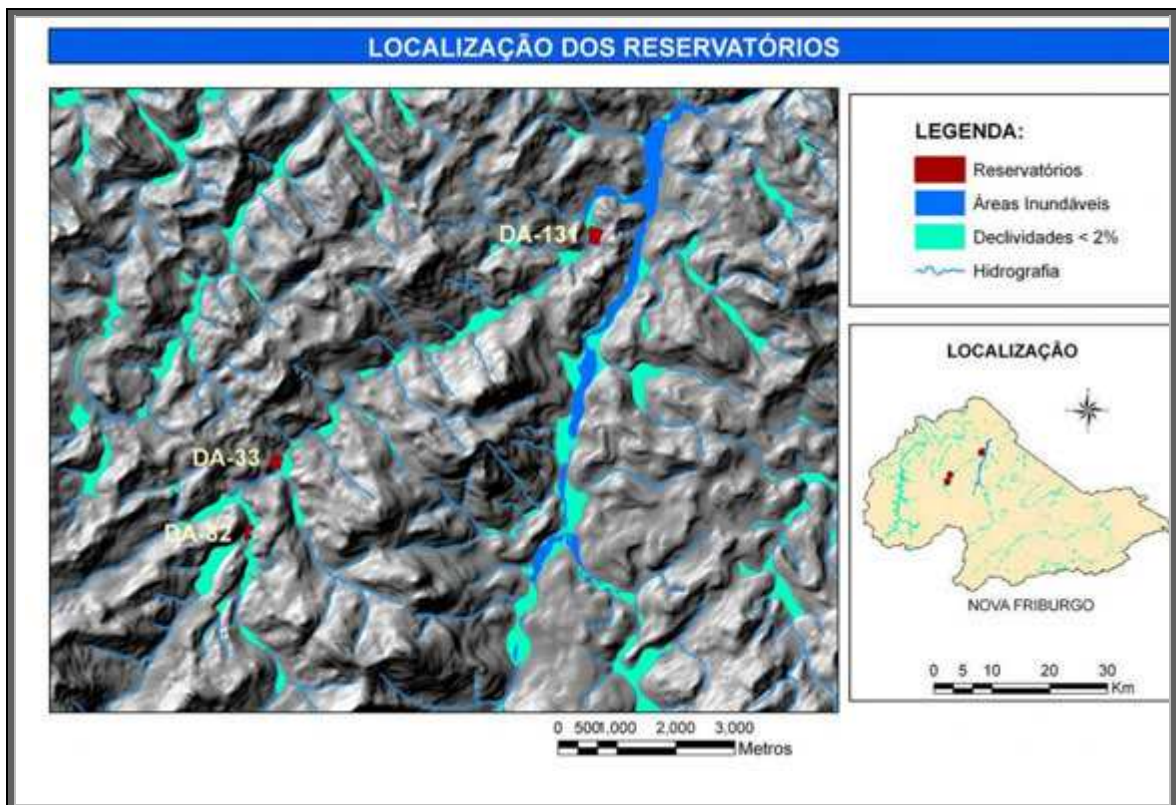


Figura 5.2 – Locais de deposição de material erodido, fundo dos vales.



**Figura 5.3** – Localização dos reservatórios de retenção no Córrego D'Antas, previsto no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (2007).

Como parte dessa dinâmica ocorrem os processos de vertente, entre os quais, os movimentos de massa, que envolvem o desprendimento e transporte de solo e/ou material rochoso vertente abaixo. A mobilização de material deve-se à sua condição de instabilidade, devido à atuação da gravidade, podendo ser acelerada pela ação de outros agentes, como a própria erosão.

A erosão atua como deflagrador de deslizamentos e tombamentos pelo aumento de solitação de mobilização de material.

Com uma precipitação pluvial prolongada, a infiltração é contínua, o que satura o solo, reduzindo a coesão do material da vertente e a resistência desse material à erosão, devido à expansão de cisalhamento em rochas ou contato rocha-solo e de interstícios do solo, o que favorece os deslizamentos.

A vegetação, de maneira geral, protege o solo de fatores que condicionam os movimentos de massa, como a compactação do solo pelo impacto de gotas de chuva e conseqüente aumento do escoamento superficial, uma vez que a cobertura vegetal intercepta as águas pluviais reduzindo a energia cinética e favorecendo a infiltração, além de certos tipos de sistemas radiculares conterem a erosividade por manterem a agregação do solo.

Contudo, nos períodos de elevada pluviosidade, a água das chuvas penetra entre as descontinuidades do dossel atingindo o solo, compactando-o, gerando e/ou reativando ravinas e canais de primeira ordem, o que ocorrem especialmente se não houver uma cobertura composta de flora de porte arbustivo. Esses ravinamentos e/ou canais são especialmente observados em trechos de elevada amplitude e declividade, onde o dossel se apresenta menos contínuo, podendo sulcar cicatrizes de antigos deslizamentos e reativá-los.

A ação antrópica destrutiva sobre a vegetação tem gerado ou acelerado processos geomorfológicos de degradação, tornando-os mais intensos que os de deposição ou se sobrepondo aos processos pedogenéticos. O corte de estradas e outras obras, em áreas de declividade desfavorável e/ou que possuam características geológicas e geomorfológicas sujeitas a deslizamentos, aceleram esses processos (Figura 5.4).



**Figura 5.4** – Deslizamento em corte, via de acesso na localidade de Barroso (Fonte: Defesa Civil, 2007).

A ação progressiva da erosão, no caso específico das rodovias, pode provocar a interrupção do tráfego e acidentes, assim como dificultar as soluções de caráter corretivo. O assoreamento dos leitos das rodovias e a obstrução dos sistemas de drenagens podem provocar a instabilização de taludes, deflagrando os movimentos de massa e contribuindo para a maior degradação da paisagem.

A erosão e o transporte de sedimentos superficiais de uma região urbanizada diferem, significativamente, dos processos em regiões onde o uso do solo é predominantemente para fins rurais. Nas áreas urbanas, embora possam ocorrer

modalidades de erosão semelhantes às áreas rurais, predominam aquelas decorrentes da concentração de fluxo, principalmente, em razão das deficiências do sistema de drenagem.

Nas áreas rurais, a transformação de um local, anteriormente, com vegetação natural em área de pastagem ou em cultura agrícola altera o regime hidrológico em menor intensidade, uma vez que ainda ocorre alguma infiltração no solo, que ainda pode ser aumentada conforme o crescimento percentual da cobertura vegetal, viva ou morta, sobre a superfície do solo.

Todavia, conforme o tipo de cultura e o manejo de solo empregado pode haver grande exposição da superfície do solo à erosividade da chuva, e com a formação da enxurrada e o solo exposto, há o carreamento de grande quantidade de sedimentos para os cursos d'água, quer seja por erosão linear ou laminar, em maior ou menor intensidade em razão das características do solo, topografia, chuva, dentre outros.

A erosão do meio urbano também afeta o regime hidrológico, em função da concentração da drenagem, diminuição da rugosidade das rampas, redução dos percursos e da infiltração, aumentando caudais de cheias e reduzindo os tempos de concentração.

A remoção da cobertura vegetal para as construções reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, esse aumento no escoamento resulta em aumentos nos níveis de água nos rios e córregos, além da obstrução de vãos de pontes e bueiros, podendo acarretar inundações em áreas que anteriormente não eram inundadas.

O tipo de rocha define a permeabilização e, portanto, o tipo de drenagem e textura, além da resistência ao intemperismo. A presença de fraturas (tectônicas ou resultantes de alívio de pressão) representa importantes pontos de descontinuidade e menor resistência, constituindo-se em caminhos preferenciais à erosão e movimentos de massa.

A declividade fornece a medida de inclinação (em graus ou percentual) do relevo em relação ao plano do horizonte. A velocidade de deslocamento de material e, portanto, a capacidade de transporte de massas sólidas e líquidas, é diretamente proporcional à declividade. Essa variável tem grande importância nos processos geomorfológicos, condicionando cursos de água e deslocamento de colúvio.

Há relação direta entre a erodibilidade do canal e a declividade. Canais perenes ou temporários encaixados próximos às cabeceiras apresentam maior erodibilidade, devido à elevada declividade e alto gradiente de energia. Assim, pode-se deduzir que regiões fortemente dissecadas, como em Nova Friburgo, (ou seja, com alta densidade

de drenagem) e alta declividade apresentam maior número de pontos favoráveis aos movimentos de massa gravitacionais.

O estudo de movimentos de massa gravitacionais considera, conforme o enfoque e a disponibilidade de dados, as variáveis climáticas, geotécnicas, pedológicas, antrópicas (estas relacionadas ao uso e cobertura do solo), geológicas e geomorfológicas. Essas últimas são as que subsidiaram o trabalho aqui desenvolvido. Geralmente, parâmetros como uso e ocupação do solo, morfometria e feições geomorfológicas são considerados nesses estudos (ZUQUETTE et al. 1995).

Sabe-se que a ocorrência desses fenômenos é decisiva na gestão de terras agrícolas, nas obras de construção civil e no planejamento urbano, sendo a própria erosão um deflagrador dos movimentos de massa, e ainda, que as ocorrências dos processos erosivos e o deslocamento de material das encostas para o fundo do vale contribuem significativamente para a elevação das cargas sólidas dos corpos d'água e, conseqüentemente, para o assoreamento e as enchentes que assolam o município.

As áreas de risco são aquelas sujeitas à ocorrência de fenômenos de natureza geológico- geotécnica e hidráulica que impliquem em possibilidade de perdas de vida e/ou danos materiais. Esses locais são, predominantemente, ocupações de fundos de vales sujeitos a inundações e solapamentos de margens, ou encostas de alta declividade passíveis de movimentação de massa.

Nos processos erosivos em áreas urbanas, o disciplinamento do fluxo superficial e a sua condição a um ponto de lançamento seguro constituem a alternativa óbvia. Essa premissa pressupõe a adoção de obras de drenagem superficial (sarjetas, bocas-de-lobo, rede coletora, poços de visita, etc.), conjugada a dissipadores de energia. As obras podem ser de caráter provisório, objetivando deter o avanço da erosão, quando há carência de recursos financeiros para a construção de obras definitivas ou de caráter definitivo, que constam de um sistema de drenagem pluvial aliado à pavimentação de vias públicas.

A ocupação da área periurbana, no município, é desordenada criando pontos de desestabilização de encostas pela ausência de técnicas adequadas para a implantação de moradias, como, por exemplo, a falta de sistema de drenagem, que aumenta o problema da erosão dos solos. O crescimento da ocupação desordenada potencializa esse problema e poderá acarretar problemas futuros como o aparecimento de trincas nas paredes das casas, surgimento de minas d'água e vazamento de fossas sanitárias, o que coloca as famílias em risco.

Deve-se salientar que as variáveis relacionadas aos processos de movimentos de massa atuam de forma interativa e, por essa razão, foram analisadas de forma conjunta, como a seguir.

## **5.2. Mapeamento da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa Gravitacionais**

Do estudo do meio físico, no caso com enfoque para a predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, gerou-se dois cenários, os quais possuem relevância significativa no planejamento da ocupação urbana de novas áreas, ou na reestruturação de áreas antigas, considerando as demandas ambientais naturais da área e seus limites de utilização. A partir da análise e do cruzamento dos dados referentes à suscetibilidade natural e da pressão de uso antrópico foi possível estabelecer a hierarquização da suscetibilidade das áreas sujeitas a processos de movimentos de massa.

A suscetibilidade, identificada, analisada e cartografada, foi condicionada pela suscetibilidade dos fatores (geologia, geomorfologia, morfometria, uso do solo e cobertura vegetal) expostos à ocorrência dos movimentos de massa.

A identificação das suscetibilidades correspondeu à indicação dos locais mais predispostos à ocorrência dos movimentos de massa pela análise dos condicionantes naturais e antrópicos. Posteriormente, a análise conduziu à hierarquização ou gradação das diferentes suscetibilidades e à definição da sua distribuição espacial, por meio da representação cartográfica.

Aproximações WLC resultaram em imagens contínuas de suscetibilidade, cujos cenários são ilustrados pelas Figuras 5.5 e 5.6.

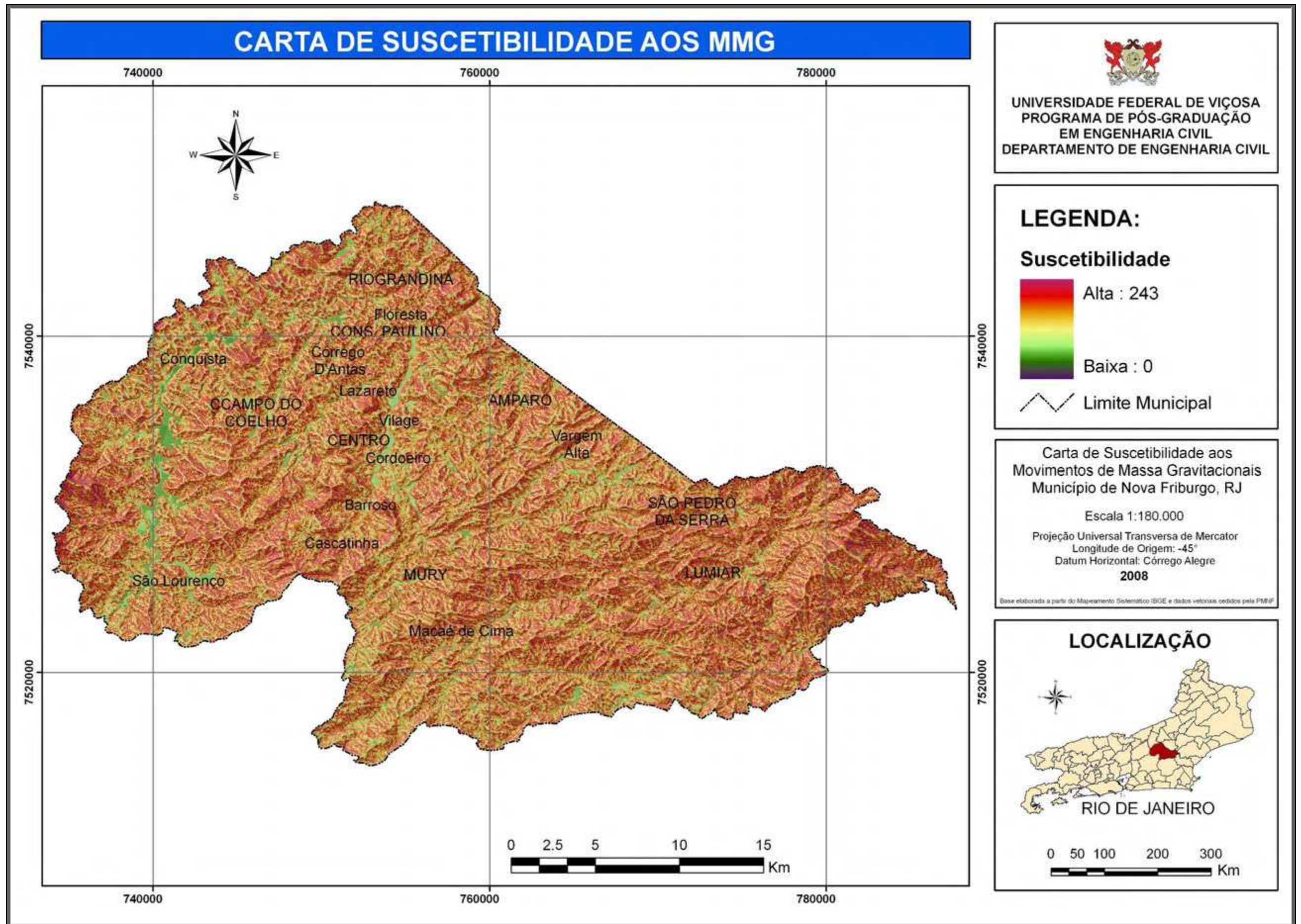


Figura 5.5 – Cenário 1.

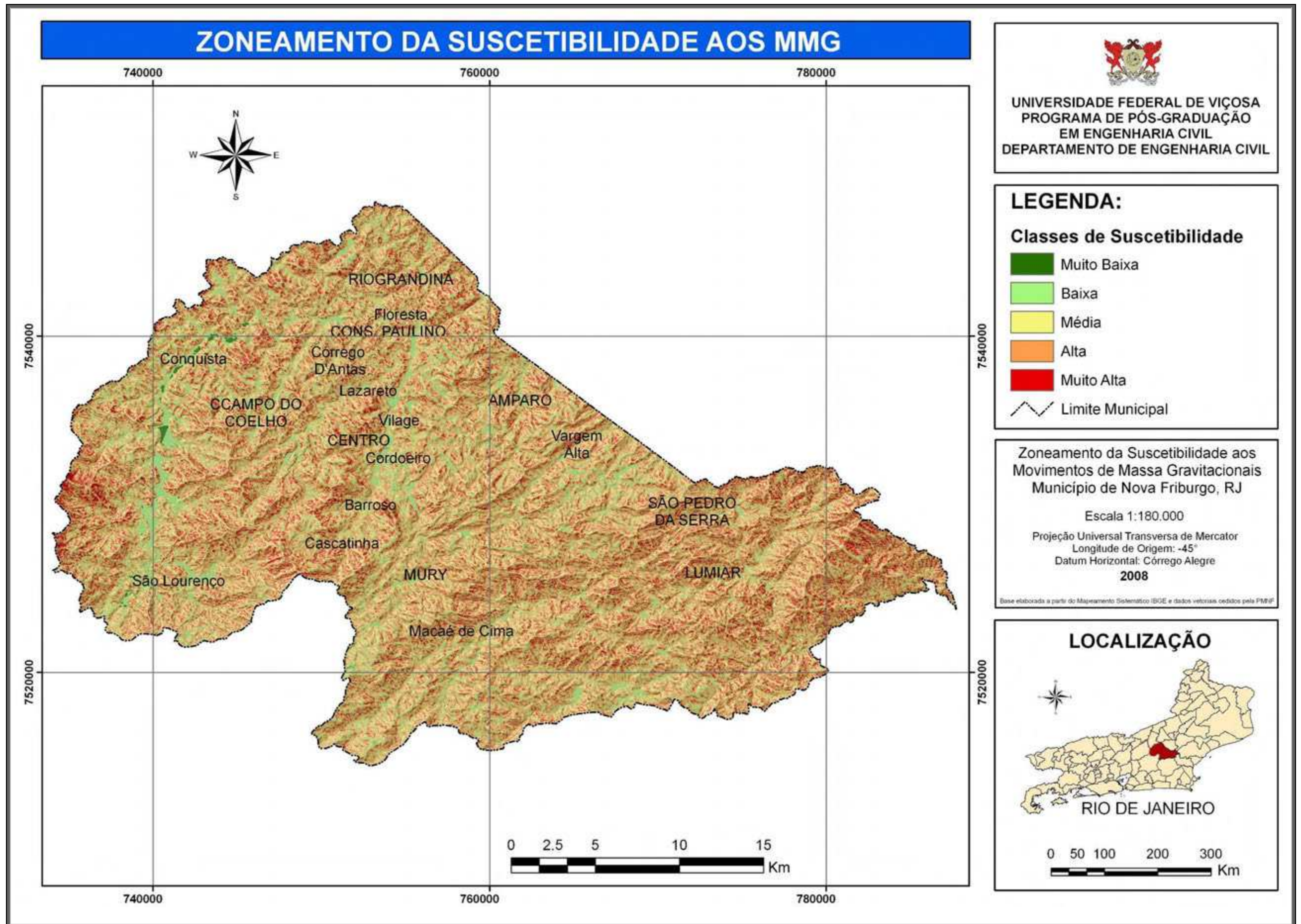


Figura 5.6 – Cenário 2.

Os elementos climáticos e os fatores analisados, combinados entre si, determinam o comportamento dos terrenos em condições naturais e/ou frente às solicitações da ocupação antrópica, definindo a natureza dos processos desencadeadores dos movimentos de massa, a Tabela 5.2 mostra a proporção das classes de suscetibilidade definidas no zoneamento.

**Tabela 5.2 – Área e percentual dos graus de suscetibilidade aos MMG.**

<b>GRAU DE SUCETIBILIDADE</b>	<b>ÁREA Km<sup>2</sup></b>	<b>ÁREA RELATIVA (%)</b>
MUITO BAIXA	1,62	0,17
BAIXA	91,18	9,76
MÉDIA	355,42	38,04
ALTA	379,37	40,59
MUITO ALTA	106,86	11,44
<b>TOTAL</b>	<b>934,45</b>	<b>100,00</b>

Na região estudada, a suscetibilidade está relacionada com os padrões de relevo e seus parâmetros morfométricos (declividade, amplitude de relevo) e morfológicos, tais como escarpas, encostas de elevações, tipos de rocha, classes de solos, processos morfodinâmicos e uso das terras. A integração desses atributos permitiu distinguir áreas com altos valores de suscetibilidade.

Observa-se que não existe uma grande variabilidade espacial da suscetibilidade nos quatro cenários elaborados. As áreas de maior suscetibilidade estão espalhadas por todo o município cobrindo as partes mais altas do relevo, concentrando-se mais expressivamente na porção sudeste. Essas vertentes apresentam declives superiores a 45% com equilíbrio precário, favorecendo a ação dos processos erosivos, que associados aos componentes da gravidade, aumentam a sua predisposição aos movimentos de massa.

O contrário também foi observado, as partes mais baixas receberam valores mais baixos de suscetibilidade, incluindo a parte urbana do município.

Valores altos de amplitude de relevo e declividade das encostas propiciam maior intensidade dos processos morfodinâmicos e mais elevada suscetibilidade à erosão e escorregamentos de terra. Em relevos menos enérgicos verificam-se menores volumes e velocidades de escoamento das águas pluviais, implicando classes de suscetibilidade menos elevadas.

Os valores de suscetibilidade mais altos correspondem às terras ocupadas por elevações rochosas de relevo montanhoso, encostas retilíneas com declividades

acentuadas, maiores que 45%. As rochas dominantes são granitóides, migmatitos e gnaisses. A presença de matacões e blocos de rocha é constante. Predominam solos pouco profundos, argilosos, de média erodibilidade (Latosolos); solos pouco profundos, siltosos, mais erodível (Cambissolos) e solos rasos (Neossolos Litólicos) ou Afloramentos de Rocha.

Os valores médios de suscetibilidade estão associados às áreas de relevo ondulado, declividades entre 15 e 30%. O substrato é composto predominantemente por gnaisses micáceos (biotita-gnaisse), migmatitos e granitóides. São terrenos bastante suscetíveis à erosão devido ao escoamento concentrado das águas superficiais. Podem ocorrer escorregamentos localizados de solos superficiais de textura argilosa também provocados pela concentração de águas pluviais.

A erosão, além da degradação localizada dos solos, causa reflexos à jusante, produzindo assoreamento dos cursos e corpos d'água, principalmente, os de menor porte, como também, obstrução de galerias.

As áreas de relevo mais suave, declividades inferiores a 15%, composto por encostas convexas receberam os menores valores de suscetibilidade. Os vales comumente controlados por fraturas estão incluídos nessas áreas. Os solos apresentam perfis de alteração variáveis com a litologia, predominando os solos siltosos mais suscetíveis à erosão. Nas planícies dos vales ocorrem solos profundos (Solos Aluviais e Hidromórficos).

As enchentes são freqüentes nas planícies aluviais, praticamente ocupadas pelo uso urbano. Além das obstruções causadas pelo uso, o assoreamento dos canais provocado pela deposição de sedimentos oriundos dos solos erodidos contribui sobremaneira com as inundações. A impermeabilidade dos terrenos pela pavimentação das áreas urbanas aumenta de forma significativa o escoamento superficial das águas pluviais diminuindo o seu tempo de concentração, resultando, também, em enchentes localizadas.

A identificação das áreas mais suscetíveis aos movimentos de massa e suas tendências revestem-se de importância para o gerenciamento do risco no município de Nova Friburgo.

A identificação da suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais com relação aos elementos dos meios físico, biótico e sócio-cultural, torna-se um instrumento para elencar as diretrizes de uso e ocupação do solo com vistas à conservação e/ou proteção dos seus recursos naturais e humanos, objetivando a sustentabilidade do desenvolvimento do município.

Às áreas cobertas por vegetação em estágio inicial de sucessão, áreas com pastagens e/ou áreas em expansão urbana, sobre terrenos dotados de média a alta suscetibilidade aos fenômenos naturais devem ser impostas severas restrições para a ocupação com áreas construídas.

Áreas de ocorrência de Floresta Atlântica primária ou em estágio avançado e intermediário de sucessão, vegetação rupestre, afloramento de rochas ou reflorestamento, apresentando relevo montanhoso a escarpado, com suscetibilidade aos fenômenos naturais alta a muito alta devem ser preservadas. Esse é o caso da bacia do rio Macaé

A região da bacia do rio Macaé apresenta 92% de sua área coberta por formações florestais diversas (45% de sua extensão ainda ocupada pela Mata Atlântica) com comunidades dispersas no meio rural, destacando-se dois núcleos urbanos nos distritos de Lumiar e São Pedro da Serra. Essa região tem duas Áreas de Proteção Ambiental Municipais – em Rio Bonito de Cima e Macaé de Cima – e duas Unidades de Conservação Estaduais – Parque Estadual dos Três Picos e APA Estadual de Macaé de Cima.

Cabe ao poder público municipal controlar atividades que possam causar prejuízos à proteção e conservação do patrimônio ambiental, regulando a expansão e adensamento urbanos.

O presente trabalho reforça o caráter preservacionista da bacia em face de sua alta suscetibilidade à erosão e aos movimentos de massa, onde a intervenção antrópica poderá agravar as condições naturais pré-existentes, já frágeis, onde sua estabilidade pode ser rompida por desmatamento e/ou escavações; ou ainda adição de aterros inadequados para a ocupação de terrenos de encosta sem cuidados técnicos; ou acompanhamento deficiente das obras em geral, por fim, pela ausência ou subdimensionamento do sistema de drenagem e proteção.

A região da bacia do rio Grande apresenta extensas áreas em pastagens, tendo na agricultura sua principal atividade econômica e de geração de renda. Abriga as Áreas de Proteção Ambiental Municipal do Caledônia e dos Três Picos e uma Unidade de Conservação Estadual, o Parque Estadual dos Três Picos.

A inexistência de indústrias de porte, de atividades comerciais e oportunidades de trabalho em serviços na região, provocam deslocamentos da população residente em busca de trabalho e renda, bem como atendimento em serviços, tais como bancos e hospitais, em outros pontos do município.

As áreas das cabeceiras da Bacia do Rio Grande, em sua maioria, encontram-se preservadas. Entretanto, a ocupação com a construção de residências e loteamentos

irregulares em áreas de proteção ambiental (APA) e de preservação permanente (APP), concentradas em Riograndina (nas margens do rio Grande), Campo do Coelho, Barracão dos Mendes e Conquista, são características da região da bacia do rio Grande.

A expansão urbana deve se dar de modo a não prejudicar a qualidade de vida da população e não comprometer o desenvolvimento rural e a proteção do patrimônio ambiental, buscando atender as demandas sociais presentes nas localidades de apoio ao desenvolvimento agrícola.

A região da bacia do rio Bengalas apresenta forte concentração urbana, com destaque para atividades comerciais, de serviços, fabris e industriais. A maior parte (85%) da população do município reside nesta região, no eixo da principal rodovia estadual – a RJ-116.

A proteção dos remanescentes florestais e afloramentos rochosos que integram a bacia deve ser considerada e a ocupação do espaço urbano deve ser promovida através da requalificação urbanística e ambiental das áreas urbanas consolidadas.

A existência de loteamentos irregulares e a construção de casas em áreas de preservação permanente traduzem o desconhecimento e descumprimento da Lei de Uso do Solo e das Leis Federais, uma fraca fiscalização por parte do poder público em todas as suas instâncias, mas, principalmente a ausência de políticas públicas habitacionais, que solucionem o déficit habitacional e a precariedade dos diversos loteamentos existentes em áreas inapropriadas (Figura 5.7).



**Figura 5.7** – Vista geral da área sujeita a inundações na margem direita e de solapamentos e deslizamentos na margem esquerda do rio Grande (Fonte Defesa Civil, 2007)

A ocupação desordenada das margens dos rios gera insegurança na população que habita moradias em áreas suscetíveis, principalmente nas épocas de chuva.

As medidas de prevenção de riscos para o município estão relacionadas com obras e serviços, mas também com aspectos legais, fiscais, administrativos, financeiros e comunitários que podem controlar ou estimular o uso adequado da terra, podendo estar associadas a programas de desenvolvimento econômico e urbano, de inclusão social, de melhoria da qualidade de vida, de planejamento territorial e urbano, de recuperação de áreas degradadas e de participação comunitária.

A integração do ambiente natural e construído e a segurança nas áreas mais declivosas são de responsabilidade conjunta do poder público e dos cidadãos que vivem e ocupam esses espaços urbanos. A responsabilidade social dos moradores concretiza-se pelo conhecimento da suscetibilidade e mudança de hábitos, adotando práticas adequadas de preservação do ambiente natural.

A predisposição aos movimentos de massa em Nova Friburgo deve-se a dois motivos principais: o predomínio de altas declividades e a presença de solos residuais que, quando erodidos e transportados, classificam-se como colúvios (à meia encosta) ou tálus (meia encosta/sopé das elevações) quando contém blocos de rocha inclusos na sua massa, tornando a área altamente suscetível a rolamento e queda de blocos.

A partir da observação da carta de classes de declividades (Figura 5.8), nota-se que 62% da área total do município possui declividades superiores a 30% (Tabela 5.3). Esse é um fator natural que, associado à concentração populacional e chuvas concentradas, traduz uma suscetibilidade potencial de movimentos de massa muito elevado.

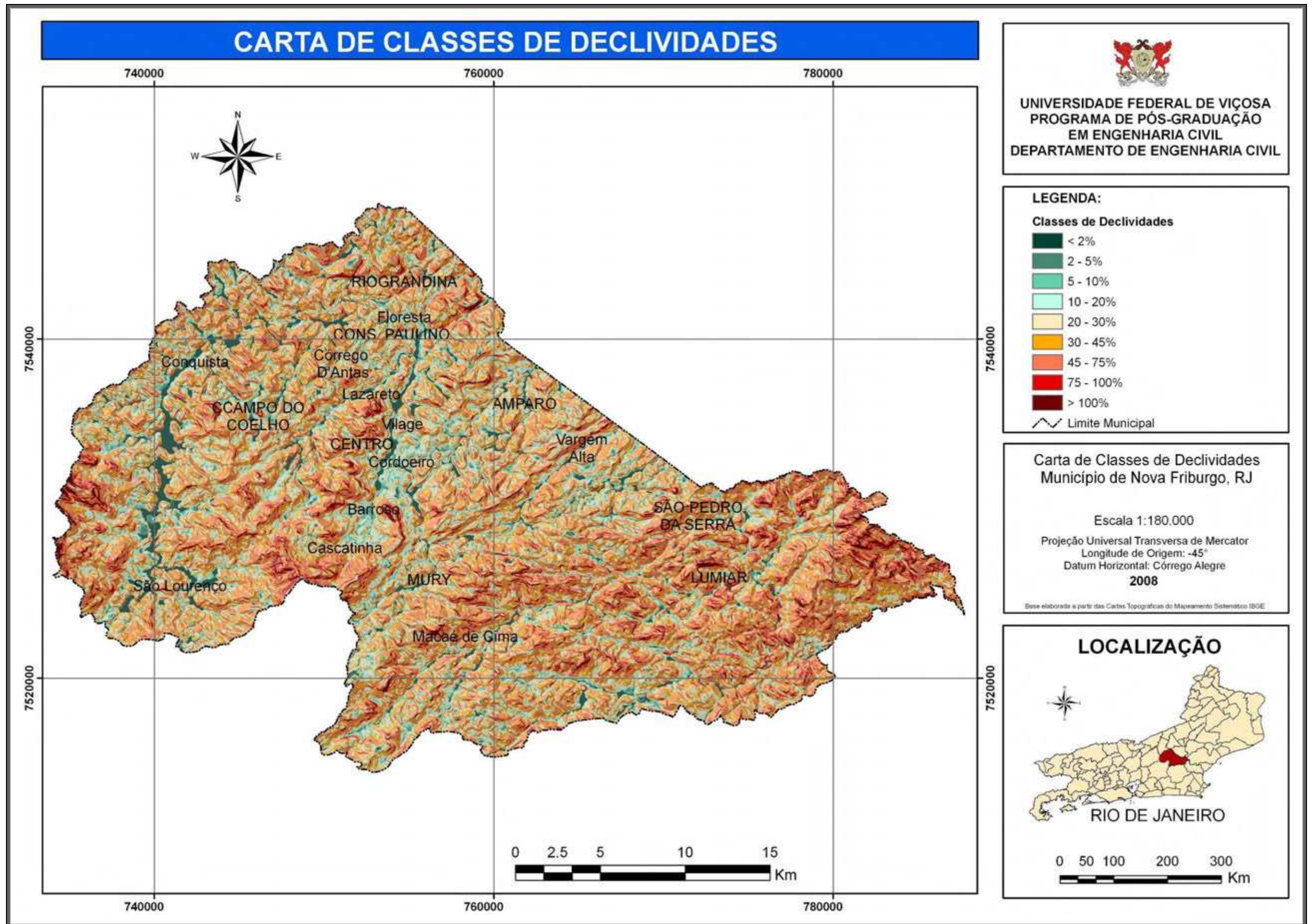


Figura 5.8 – Carta de classes de declividades.

**Tabela 5.3** – Distribuição das classes de declividades.

<b>CLASSES DE DECLIVIDADES</b>	<b>ÁREA km<sup>2</sup></b>	<b>ÁREA RELATIVA (%)</b>
< 2%	33,08	3,54
2 – 5%	5,57	0,60
5 – 10%	41,51	4,44
10 – 20%	125,19	13,40
20 – 30%	146,29	15,66
30 – 45%	252,34	27,00
45 – 75%	281,86	30,16
75 – 100%	36,40	3,90
> 100%	12,21	1,30
<b>TOTAL</b>	<b>934,45</b>	<b>100</b>

A seguir são discutidos os condicionantes (fatores) envolvidos na análise de suscetibilidade e suas peculiaridades.

#### *5.2.1. Condicionantes Naturais*

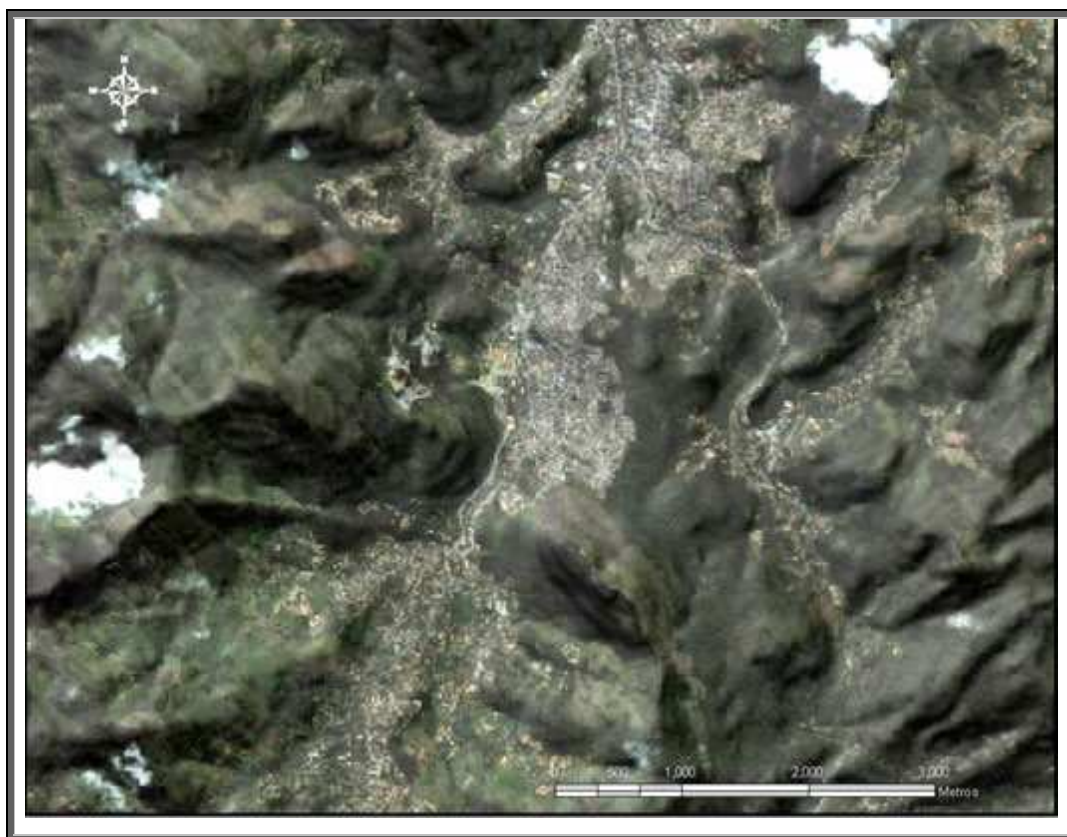
##### *5.2.1.1. Geologia*

A região serrana do Estado do Rio de Janeiro é constituída por granitos e gnaisses gerados ou retrabalhados no Ciclo Brasileiro, ao final do Proterozóico e início do Paleozóico (630-492 Ma). A área de Nova Friburgo se encontra no Terreno Oriental da Faixa Ribeira.

Regionalmente, ocorrem tonalito e diorito gnaisses do Complexo Rio Negro e corpos de hornblenda gabro, geradas a 630 Ma (idade U/Pb em zircão). Em 600 Ma (idade Pb/Pb em zircão) o terreno formado colidiu com uma margem passiva o que gerou espessamento crustal, migmatização e geração de leucogranitos. O Batólito da Serra dos Órgãos, um granodiorito com granada, foi formado a 560 Ma (idade U/Pb em zircão) em um arco magmático. Há 500 Ma (idade Rb/Sr) o edifício orogênico sofreu um colapso tectônico, com a geração de falhamentos normais. Essas estruturas controlaram o transporte e a colocação de soleiras e lacólitos de magma granítico pós-colisional de composição granítica e granodiorítica com granulometria grossa e porfirítica.

O substrato rochoso na região de Nova Friburgo é constituído por rochas metamórficas de grau médio e rochas ígneas intrusivas Pré-Cambrianas, todas intrudidas por diques de rochas básicas constituídos por gabros e microgabros, alojados em falhas e fraturas pré-existentes. Essas unidades incluem o Granito Nova Friburgo, Batólito Serra dos Órgãos, Unidade Santo Eduardo e Unidade São Fidélis.

O relevo da região é suportado por rochas Proterozóicas com predominância de rochas granitóides. Os afloramentos de rocha são muito abundantes (Figuras 5.9 e 5.10). A presença de intenso fraturamento nas rochas, além de condicionar escarpas, paredões, vales fechados, favorece a atuação do intemperismo, atingindo maiores profundidades e formando mantos de alteração mais espessos em determinados locais, principalmente onde a foliação das rochas é desenvolvida e a quantidade de minerais máficos – biotita e anfibólio – é maior.



**Figura 5.9** – Imagem orbital Quickbird, 2005, mostrando a região de Olaria e Cônego, onde são significativos os afloramentos rochosos.

Em relevos modelados sobre granito, é freqüente a ocorrência de blocos soltos formados a partir do alargamento de brechas geradas por diáclases, devido ao alívio de pressão proporcionado pelo intemperismo. Esses blocos podem, dependendo de sua posição topográfica, gerarem movimentos do tipo queda livre



**Figura 5.10** – Região no centro da cidade, os afloramentos rochosos aparecem, ora desnudos, ora cobertos por musgos, líquens e bromélias (abr/2008).

O substrato rochoso contribui com as suas características litológicas e estruturais para uma maior ou menor suscetibilidade a escorregamentos. As rochas com xistosidade ou faturamento, quando expostas, são geradoras de problemas de deslocamentos de rochas.

Além da resistência desigual das rochas aos agentes erosivos, a presença de fraturas (falhas e juntas) também contribui para a alteração diferencial das rochas.

Os maciços de granitos e granitóides (Figura 5.11) formam espigões e escarpas rochosas que liberam blocos com tendência ao arredondamento, ou grandes lascas, em decorrência do fraturamento e da esfoliação esferoidal, que é o processo erosivo próprio desses tipos litológicos. Tais blocos e lascas, em geral, representam suscetibilidade elevada de acidentes por rolamento ou tombamento, quando localizados isoladamente ou em ninhos no alto ou em meio às vertentes elevadas e com grandes declividades.



**Figura 5.11** – Maciço rochoso destacando suas feições e descontinuidades estruturais localidade Barroso (Fonte: Defesa Civil, 2007).

Os migmatitos e gnaisses podem apresentar foliação acentuada, que, quando associada ao fraturamento, tende também a liberar blocos e lascas, os quais podem se deslocar pelas encostas causando destruição à jusante. A foliação em geral reflete-se nos solos residuais, tornando-os frágeis a cortes e carregamentos quando suas atitudes são desfavoráveis, paralelas às vertentes (Figura 5.12).



**Figura 5.12** – Superfície de deslizamento no contato entre solo e rocha, expondo a rocha com foliação mergulhando no sentido do deslizamento (Fonte: Defesa Civil, 2007).

#### 5.2.1.2. Geomorfologia

A área estudada localiza-se na região serrana do Estado do Rio de Janeiro fazendo parte da Serra do Mar, que se estende desde o Espírito Santo até Santa Catarina aproximadamente paralela à linha costeira.

O município apresenta forte condicionamento estrutural: lineamentos, falhamentos e descontinuidades na formação dos modelados do relevo, onde ocorrem os principais processos erosivos, hídricos e de movimento de massa. Na região configuram-se os vales encaixados em forma de V, típicos de processo erosivo fluvial.

Em Nova Friburgo, as planícies aluviais caracterizam-se por um relevo plano, desenvolvido ao longo dos rios Bengalas, Grande (Figura 5.13) e Córrego D'Antas. O crescimento da cidade deu-se ao longo do rio Bengalas no sentido Norte-Sul. Essas planícies ocorrem de maneira extensiva, porém com pequena expressão ao longo dos rios da região. Os fundos de vales são sujeitos a inundações periódicas, quadro agravado pelo forte grau de ocupação urbana, onde as classes mais desfavorecidas constroem suas casas às margens dos rios (Figura 5.14).



**Figura 5.13** – Planície inundada após dias de chuva em janeiro de 2007, distrito de Riograndina (Fonte: Defesa Civil).



**Figura 5.14** – Ocupação irregular às margens do rio Grande, janeiro de 2007, distrito de Riograndina (Fonte: Defesa Civil).

Valores altos de amplitude de relevo e declividade das encostas propiciam maior intensidade dos processos morfodinâmicos e mais elevada suscetibilidade à erosão e escorregamentos de terra. Em relevos menos enérgicos verificam-se menores

volumes e velocidades de escoamento das águas pluviais, implicando em suscetibilidades menos elevadas.

Os escorregamentos são observados nas áreas de maior energia do relevo (pontos de alta declividade, escarpas, vertentes côncavas), e se desenvolvem a partir de processos morfodinâmicos pré-existentes (como creep) ou feições erosivas (devido à ocupação e uso de áreas inadequadas). Há registro de escorregamentos relacionados à corte de estradas, o que se verifica ao longo da rodovia dos Friburgo-Teresópolis e de estradas traçadas em outros trechos da área de estudo. O município é afetado, principalmente, por movimentos do tipo escorregamentos (*landslides*) e quedas ou deslocamento de rochas.

Nos segmentos côncavos ocorrem depósitos de tálus de constituição heterogênea e espessuras variadas, contendo desde a fração argila até blocos e matacões, às vezes métricos. Esses depósitos constituem-se em terrenos muito frágeis, sujeitos a escorregamentos planares, que têm como principais processos deflagradores induzidos, a execução de cortes e aterros e o lançamento e infiltração de águas servidas, e como processos deflagradores naturais, a ocorrência de chuvas intensas e a conseqüente infiltração das águas pluviais.

As vertentes que apresentam configuração côncava ou que possuem segmentos côncavos em sua seção por serem zonas de convergência de fluxo de água e por possuírem material disponível para a mobilização (pois tem maior volume de material depositado, como colúvio ou tálus) são as mais favoráveis à ocorrência de deslizamentos.

Sob clima úmido, as rochas cristalinas (especialmente granito e gnaisses) geram morros de vertentes predominantemente convexas, com espesso manto de regolito resultante do intenso intemperismo químico. Na área de estudo, onde se tem forte controle estrutural, encontram-se formas mais verticalizadas, como espigões e serras, com presença de anfiteatros e vertentes côncavas. Essas formas apresentam-se escarpadas com elevados de amplitude altimétrica, vertentes longas e com altas declividades.

Nas áreas convexas ou retilíneas das vertentes ocorrem coberturas colúvias pouco espessas sobre solos residuais relativamente estáveis, mesmo quando submetidos a intervenções tecnicamente mal elaboradas.

Normalmente, as áreas problemáticas localizam-se, principalmente, na parte médio-superior das encostas, contornando os anfiteatros, onde são mais acentuadas as declividades.

A região do Cônego e Cascatinha distingue-se por uma ampla bacia de drenagem, circundada por cristas assimétricas, normalmente com vertentes retilíneas em direção ao interior da bacia e formas convexas em direção à porção externa da bacia. Seus vales interiores são simétricos pouco encaixados, com pequenos morros arredondados, como ilustra a Figura 5.15.

A feição escarpada representa a principal condicionante genética das unidades citadas, tanto pela morfologia como pelas características litológicas do maciço, gerando coberturas onde predominam materiais de granulometria grossa (cascalho, pedra-de-mão e blocos rochosos). Tais coberturas, que em função das declividades pontuais das vertentes são naturalmente instáveis, podem se transformar em potenciais áreas de risco elevado quando submetidas a escavações em cortes.

Apesar de sujeito a pequenos movimentos de massa provenientes dos depósitos de tálus, a principal suscetibilidade para essa localidade está na possibilidade de rolamento de blocos de rocha apenas pela ação da gravidade.



**Figura 5.15** – Imagem orbital Quickbird, 2005, mostrando a região geomorfológica compreendida pelos bairros do Cônego e Cascatinha, em Nova Friburgo.

A região do Córrego D'Antas é intensamente estruturada com cristas simétricas bem definidas e vertentes convexas.

A região de Riograndina compreende uma área cujo substrato rochoso é composto por granodioritos e biotita granitos, foliados de granulação média a grossa, aflorantes no leito do rio Grande. Essas rochas estão individualizadas na "Suíte Intrusiva Serra dos Órgãos", e trazem registradas feições estruturais resultantes de processos tectônicos regionais, como falhamentos e fraturas, que condicionam fortemente a morfologia atual do terreno, por onde se encaixam leito de rios, córregos e vales.

A porção central da área mapeada, menos elevada, onde predominam depósitos coluvionares sobre solos residuais oriundos desta rocha encaixante, apresenta falhamentos contínuos e paralelos entre si.

O restante da área de estudo caracteriza-se como um todo por um relevo acidentado, vertentes com formatos variados e cristas com várias orientações. As formas retilíneas associam-se a porções com elevada declividade, normalmente acima de 30%, com predomínio nas regiões com declividade acima de 45%.

O aspecto do relevo é fundamental na identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa. Em inclinações entre 20 e 30% são detectados problemas de encostas quando associados a outros agravantes, principalmente a litologia e ocupação antrópica. Entre 30 e 45% encontram-se áreas sujeitas à problemas e acima de 45% são áreas notoriamente instáveis, principalmente quando associadas à forma côncava.

Nas classes de declividade 1, 2, 3, 4 e 5, a maior influência em termos de instabilização encontra-se no fato de que a menor declividade permite maior infiltração de água, possibilitando que o solo (material inconsolidado) se torne saturado e nas classes 6, 7, 8 e 9, o fator que contribui para a instabilidade do maciço é a maior inclinação do talude o que gera um aumento das componentes tangencial e normal, na relação de forças.

As formas dômicas são comuns na área, representando as porções com maiores altitudes, normalmente desprovidas de capeamento de solo e geralmente associados à exposição do Granitóide Nova Friburgo.

Em Nova Friburgo, as áreas dos anfiteatros erosivos e as de relevo convergente, mostram, nitidamente, a correlação entre as formas do relevo e os fenômenos de movimentos de massa.

O escorregamento deposita o material mobilizado no sopé da vertente. Esse tipo de processo se desenvolve ao longo dos cursos de drenagem e sobre as encostas, transportando carga proveniente de material erodido nos canais de drenagem e

também de escorregamentos adjacentes a esses canais (terraços, tálus e colúvio). É freqüente originarem-se em cabeceiras de drenagem situadas em declives maiores que 30%, formando, a jusante, cone de detritos. O material resultante é mal selecionado, composto por uma matriz de areia, argila ou silte na qual se encontra população de maior granulometria. Os vales fortemente encaixados são os mais propensos a servirem de vias para o fluxo e acúmulo desse material.

#### 5.2.1.3. Solos

O domínio de morros elevados, que, gradualmente, substitui o relevo acidentado de vertentes íngremes e rochosas do domínio montanhoso, comportando Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos e afloramentos de rocha, por um relevo de amplitudes menores e vertentes menos declivosas, apresentando solos mais espessos, contudo, em um relevo bem mais movimentado que o ambiente colinoso. Nesse domínio, os fundos de vales com sedimentação aluvial, compreendem Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos. Patamares colinosos e alvéolos intramontanos ocorrem subordinadamente nesses terrenos menos elevados do planalto, em geral relacionados com Latossolos Vermelho-Amarelos, abrangendo fundos de vales um pouco mais amplos e baixas encostas de gradientes mais suaves.

Na região, o perfil mais comum é o característico das encostas serranas, ou seja, perfil de alteração de rocha sã com solo superficial coluvionar de pequena espessura. Os próprios movimentos de massa contribuem com material movimentado para engrossar essa massa de colúvio.

Podem ser encontrados perfis tipicamente coluvionares no sopé de algumas encostas e perfis aluvionares nas baixadas próximas ao leito dos rios.

Os solos aluvionares são resultantes da deposição, em áreas de menos velocidade do rio, do material carregado das regiões mais altas, mais vulneráveis à erosão. Esses perfis caracterizam-se pela heterogeneidade granulométrica dos solos que os compõe tanto nas camadas ao longo do perfil como na distribuição na área, uma vez que o tipo de solo depositado depende da velocidade do rio, que por sua vez depende do trecho em questão (topografia) e das chuvas do período de deposição.

Uma formação que ocorre com freqüência são os tálus (Figura 5.16), favorecidos pela topografia com encostas íngremes e mesmo paredões rochosos responsáveis por sua formação. Trata-se de um material sedimentar, depositado no sopé das encostas, resultado do transporte por gravidade de rocha e solo residual das partes mais altas e inclinadas da encosta. Essa formação caracteriza-se pela granulometria heterogênea

em um mesmo maciço, apresentando desde matações métricas a solo fino siltoso como matriz (Figura 5.17).



**Figura 5.16** – Do alto da Pedra do Elefante se observa o bairro de Olaria. Blocos soltos em primeiro plano e material detritico acumulado por quedas e deslizamentos em sua base (Fonte: Defesa Civil, 2007).



**Figura 5.17** – Ocupação de terrenos de colúvio e tálus no bairro do Santo André, Nova Friburgo (Fonte: Defesa Civil, 2007).

Os colúvios também são solos sedimentares formados pelo transporte por gravidade, com a diferença básica, em relação ao tálus, de não possuir matacões ou blocos de rocha de grandes dimensões em sua massa e por caracterizar um transporte mais lento.

Na região de estudo, existem os colúvios de meia encosta e aqueles de cobertura do solo residual. Os solos coluvionares de cobertura são menos desenvolvidos, de movimentação recente ou ainda em movimentação.

Por sua vez, os solos residuais provenientes da alteração dos granitos e granitóides, em geral são homogêneos, sem planos de fraqueza definidos, a não ser as descontinuidades remanescentes de fraturamentos. Tais solos suportam taludes naturais e/ou artificiais altos e verticalizados, resistentes a movimentos de massa.

Os solos residuais possuem, geralmente, uma cobertura de solo coluvionar de pequena espessura, como descrito acima. O solo saprolítico é tipicamente arenoso com fração fina siltosa. Esse solo, apesar de alterado, apresenta clara estruturação da rocha matriz (Figura 5.18).



**Figura 5.18** – Perfil de alteração em solo residual, Estrada Granja Spinelli (abr/2008).

Para as rochas típicas da região, esse perfil de alteração que resulta em solos arenosos, acontece de forma abrangente em toda a área, contudo, os perfis de alteração dos gabros e microgabros produzem solos mais finos, entretanto, sua ocorrência resume-se a poucos diques.

Os aluviões são os solos de características geotécnicas mais desfavoráveis, no entanto, ocorrem nos vales e planícies, não sendo condicionantes ao problema de instabilização de encostas. Contudo, em algumas poucas regiões, ocorrem os colúvio-aluviões, que são depósitos de materiais menos estruturados, mais finos e em situação desfavorável por localizarem-se em antigos talvegues, apresentando movimentação para baixas inclinações, principalmente pela ação antrópica.

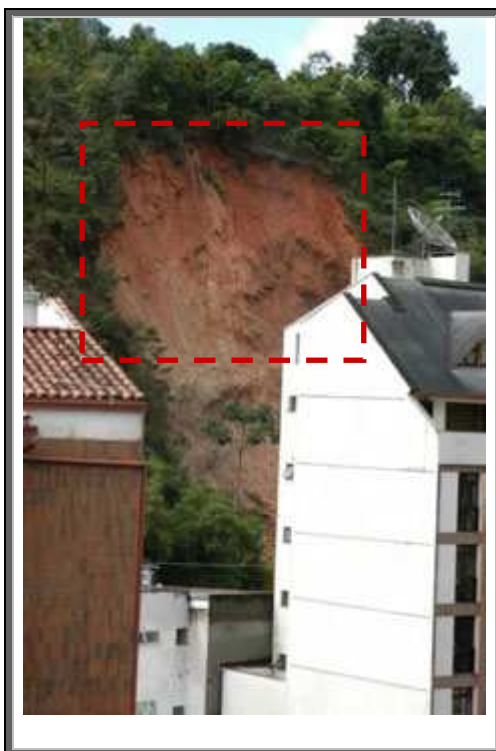
Tais sedimentos inconsolidados, por ocasião de cheias e enxurradas, podem sofrer processos de solapamento das margens junto às calhas dos rios e córregos, causando o seu desmoronamento.

No caso de Nova Friburgo a maioria dos movimentos de massa tratam-se de escorregamento de solo e de movimentação de tálus com liberação de matacões. Nos escorregamentos, a camada mobilizada é constituída pelo material superficial, sujeito a uma maior intensidade do intemperismo físico e químico (Figura 5.19).



**Figura 5.19** – Deslizamento de terra no bairro Duas Pedras, janeiro de 2007.

A espessura do material de cobertura potencialmente instável é variável, dependendo das características do material e da inclinação da encosta (Figura 5.20).



**Figura 5.20** – Escorregamento de solo, de grande proporção no Centro da cidade, janeiro de 2007 (Fonte: Defesa Civil).

Ressalta-se que essa fenomenologia é típica da dinâmica das regiões serranas, contudo, quando a ação antrópica tende a intensificar-se, esses problemas se agravam (Figura 5.21).



**Figura 5.21** – Cicatriz de escorregamento e ocupação descriteriosa no bairro da Vilage, Nova Friburgo, janeiro de 2007 (Fonte: Defesa Civil).

As coberturas inconsolidadas representadas por depósitos de tálus e cones de dejeção se encontram nos sopés de encostas com fortes declividades, acumulando materiais deslocados das mesmas por gravidade e pela ação das águas pluviais. Eles são heterogêneos, com granulometria abrangendo desde argilas até blocos e matacões, porosos e permeáveis, naturalmente instáveis, e precariamente equilibrados, com espessuras variáveis. Quando submetidos a qualquer tipo de solicitação, principalmente cortes e carregamentos por aterros, tendem a se deslocar em escorregamentos que, dependendo das dimensões do depósito, podem ser de grande porte, causando destruição acentuada.

Para os escorregamentos e as corridas de massa a precipitação pluvial é uma variável importante, uma vez que a umidade e/ou encharcamento do solo deflagram a desagregação e transporte desse material. Estes processos requerem um certo volume de material a ser mobilizado, proveniente de depósitos coluviais e tálus.

Os colúvios são, naturalmente, menos instáveis que os depósitos de tálus e cones de dejeção, com tendência a movimentos mais lentos do tipo rastejo. Quando submetidos a cortes e carregamentos por aterros, porém, principalmente estando saturados em períodos chuvosos, tendem a se deslocar em escorregamento, que, dependendo das dimensões do depósito podem ser de grande porte e destrutivos.

Dentre os diferentes tipos de movimentação de massa, as quedas de rochas e detritos constituem movimentações bruscas de material geológico (blocos de rochas, cascalho, areia, etc.). A movimentação efetua-se por queda livre, rolamento e deslizamento. Ocorrem geralmente em vertentes muito inclinadas.

Durante um desabamento de rochas (*rockfalls*), blocos individuais recentemente destacados mergulham subitamente numa queda livre de uma vertente montanhosa inclinada. Os blocos são angulosos e fragmentados do afloramento pelo intemperismo química e física e pela erosão. O intemperismo enfraquece a rocha ao longo de diaclases até que a menor pressão seja suficiente para desencadear o movimento. Os blocos caídos formam um cone de detritos ou um talude de detritos se forem vários. De um modo geral, todos os movimentos de massa originam um cone ou um talude de detritos na base da vertente.

A separação do material suscetível de movimentação ocorre, em geral, em planos de fraqueza estrutural (planos de estratificação, diaclases, falhas, etc.), sendo induzidos, muitas vezes, por escavamento, natural ou artificial, da base da vertente e/ou alteração da inclinação da encosta (abertura de novas vias, cortes inadequados, etc.).

Os desabamentos de detritos (*debris fall*) resultam da queda de material não consolidado.

Os deslizamentos constituem os movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado. Os rotacionais: possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima e predominam em solos espessos e homogêneos.

Os escorregamentos rasos de solo, geralmente, ocorrem sob a forma de movimentos translacionais.

O escorregamento tem sido o tipo de movimento de massa mais comum na região e pela intensidade e velocidade com que ocorre tem causado muitas mortes e perdas materiais, ocorrendo, principalmente, em vertentes antrópicas ou em áreas de colúvio.

O rastejo é um movimento extremamente lento de poucos centímetros ao ano, dependendo do tipo de solo, do clima, do declive da vertente e da densidade da cobertura vegetal. O movimento consiste numa deformação muito lenta do regolito, onde as camadas superiores do mesmo se movem vertente abaixo mais rapidamente do que as camadas inferiores. O grande peso da massa de solo mobilizado, no sentido da vertente, pode fragmentar muros e fender as paredes e as fundações dos edifícios. Esse movimento afeta grandes áreas e não apresenta uma superfície de ruptura muito bem definida. Com o aumento da velocidade pode se transformar em um escorregamento.

A existência de rastejo numa área pode ser notada pela inclinação de árvores, cercas, postes ou construções (Figura 5.22). Normalmente, esse é um dos movimentos mais lentos que existe, mas com o aumento da saturação de água no solo, ele pode assumir uma maior velocidade, tornando-se um perigo para as construções que existem na vertente ou no vale.



**Figura 5.22** – Muro tombado, início de movimentação (Fonte: Defesa Civil, 2007).

Os movimentos de massa modificam a paisagem deixando cicatrizes nas vertentes quando grandes massas de material caem ou deslizam das vertentes. O material que se movimenta acaba em cunhas de detritos nos vales. As cicatrizes e os depósitos de detritos constituem indícios de movimentos de massa passados.

Locais que apresentam registros antecedentes de deslizamentos são áreas potenciais para a ocorrência futura destes eventos. Conhecendo-se a frequência, características e magnitude dos deslizamentos pode-se prever futuras ocorrências.

### *5.2.2. Condicionantes Antrópicos*

Devido à situação serrana do município, em Nova Friburgo a ocupação urbana deu-se, principalmente, ao longo dos vales, nas planícies aluvionares e terraços coluvionares. O núcleo urbano principal situa-se ao longo do vale dos rios Cônego, Santo Antônio, Bengalas e Córrego D'Antas, seguindo uma direção de distribuição aproximada Norte-Sul.

A princípio, a ocupação do município se deu de forma mais ordenada e criteriosa, atingindo principalmente as regiões mais planas, contudo, a demanda por moradias de

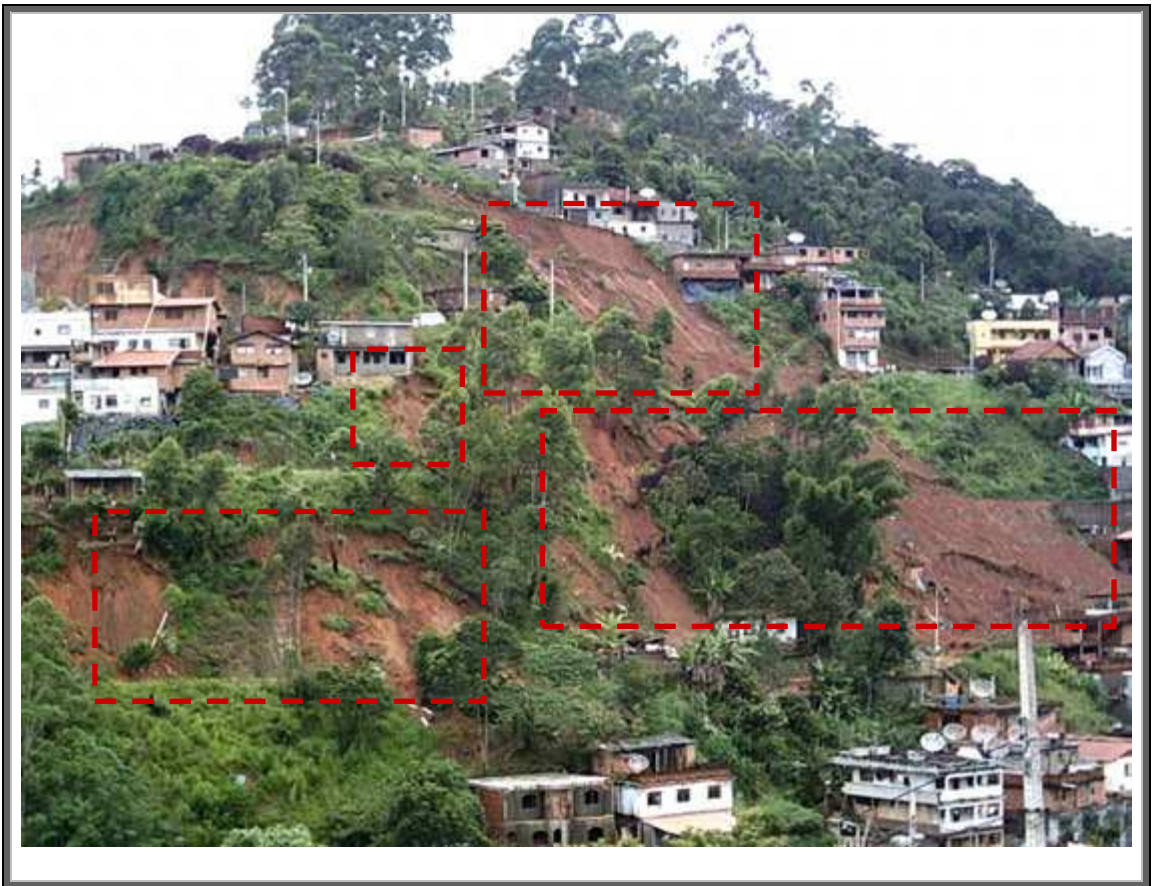
baixo custo para os operários da indústria e do comércio, nas décadas de 70 e 80, conjuntamente com a tendência de utilização das áreas planas dos vales para as atividades comerciais e industriais, fez com que a cidade começasse a se processar no sentido das áreas menos favoráveis, as encostas, uma vez que, a população operária preferiu concentrar-se nas cercanias do centro, visando diminuir a distância média de deslocamento.

A ocupação humana, através da retirada da vegetação, obras de terraplanagem, construções e até mesmo pelo mau encaminhamento dos rejeitos sépticos e sólidos, modifica de forma quase sempre desfavorável às condições naturais.

Na maioria dos casos de instabilidade relatados pela história do município, o equilíbrio do manto de decomposição das rochas foi rompido por desmatamento e/ou escavações; ou ainda adição de aterros inadequados para a ocupação de terrenos de encosta sem cuidados técnicos (Figuras 5.23 e 5.24); ou acompanhamento deficiente das obras em geral, por fim, ausência ou subdimensionamento do sistema de drenagem e proteção (Figura 5.25).



**Figura 5.23** – Escorregamento de solo no bairro da Califórnia, Nova Friburgo, janeiro de 2007 (Fonte: Defesa Civil).



**Figura 5.24** – Cicatrizes de escorregamento e ocupação descriteriosa na localidade de Canto do Riacho, Nova Friburgo, janeiro de 2007 (Fonte: Defesa Civil).



**Figura 5.25** – Deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais, ausência de guias e sarjetas, Jardim Califórnia (Fonte: Defesa Civil, 2007).

Para a instabilização de encostas, as principais modificações condicionantes verificadas são as seguintes:

- ☑ Encaminhamento inadequado de águas pluviais e/ou águas servidas, facilitando a saturação de taludes e/ou gerando processos erosivos (Figura 5.26);
- ☑ Aumento das sobrecargas pelo lançamento de lixo e entulhos diretamente no talude (Figura 5.28b), além de construções inadequadas (Figura 5.27);
- ☑ Aumento da inclinação com cortes e aterros inadequados (Figura 5.28a);
- ☑ Aumento do escoamento superficial pela impermeabilização induzida pela remoção da vegetação natural e pelo alto índice pluviométrico da região (Figura 5.29).



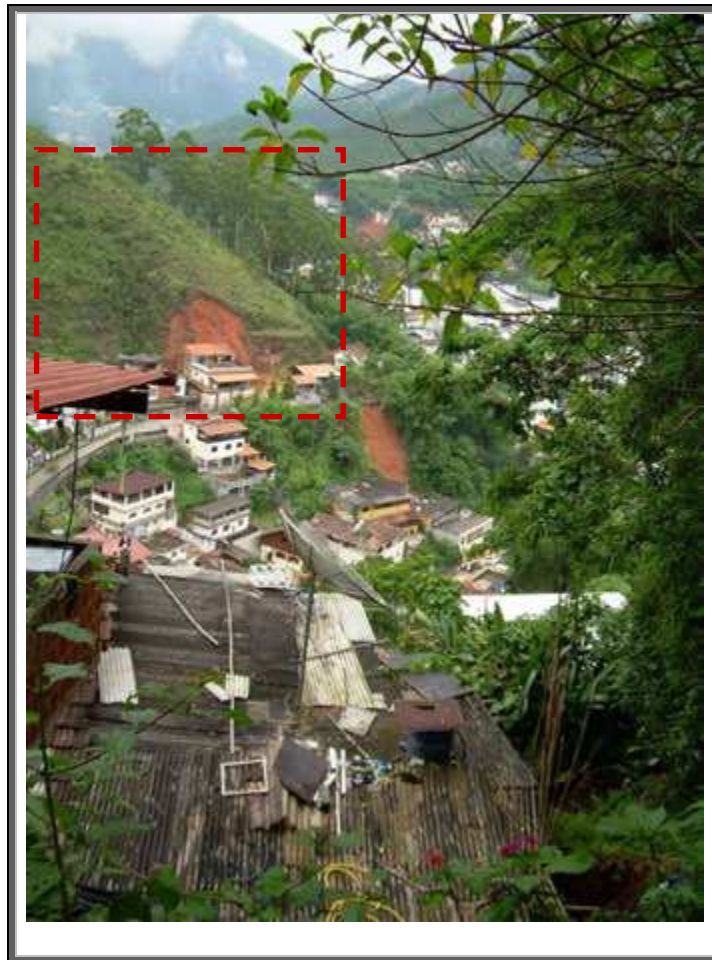
**Figura 5.26** – Precariedade da coleta do esgoto domiciliar, com lançamento de águas servidas no talude (Fonte: Defesa Civil, 2007).



**Figura 5.27** – Construção inadequada, Vila Amélia (Fonte: Defesa Civil, 2007).



**Figura 5.28** – Corte mal executado (vertical) em talude instável (a) e lançamento de lixo e detritos em talude (b), bairro Vilage (Fonte: Defesa Civil, 2007).



**Figura 5.29** – Remoção da vegetação natural, bairro Olaria. (Fonte: Defesa Civil, 2007).

O desmatamento favorece o surgimento de áreas de escoamento devido à compactação causada pelo impacto das gotas no solo.

Obviamente que as características geomorfológicas (topografia e declividade), geológicas e do solo são determinantes da capacidade de suporte do solo aos diversos tipos de ocupação e obras de engenharia. Entretanto, mesmo uma encosta de alta declividade com características geotécnicas ótimas não suportaria assentamentos caracterizados por obras de terraplanagem e habitacionais que negligenciam critérios técnicos construtivos compatíveis ao meio físico.

Os condicionantes antrópicos são determinados principalmente pelo padrão de uso e ocupação do solo: encostas desmatadas; obras de terraplanagem que geram depósitos de terra (aterro) com estabilidade precária; habitações populares oriundas de assentamentos clandestinos, construídas sem procedimentos técnicos adequados, e compatíveis com o meio; grandes assentamentos irregulares desprovidos de obras de infra-estrutura urbana básica, tais como: rede de drenagem de águas pluviais, rede coletora de esgotos e pavimentação adequada, entre outros.

Cabe ressaltar que as instabilizações ocorridas mais recentemente na área urbana de Nova Friburgo estão eminentemente associadas a intervenções antrópicas mal conduzidas.

Desde o final dos anos 60, quando o crescimento da população, alavancado pelo incremento de um importante pólo industrial no município, se deu de forma brusca, dificultando o planejamento do uso e ocupação do solo pelas autoridades locais, passando tal ocupação a ocorrer de forma desordenada. Desde período, até os dias de hoje, a construção de moradias nas encostas e nas margens dos rios e córregos, por populações de baixa renda, acentuou-se gerando a maioria das situações de risco que precisam ser enfrentadas pelas autoridades municipais, principalmente nos períodos das chuvas intensas de verão.

O Plano Municipal de Redução de Riscos de Nova Friburgo foi elaborado para estabelecer referenciais técnicos e gerenciais, permitindo a implementação de ações estruturais e não estruturais para reduzir e controlar as situações de riscos associados a escorregamentos e solapamentos de margens de córregos, que ameaçam a segurança dos moradores de assentamentos precários existentes no município.

Os trabalhos para a elaboração do Plano foram realizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM entre os meses de maio de 2006 e junho de 2007, através de contrato firmado entre essa instituição Federal e a Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, no contexto do Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários – Ação 2 – Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários, do Ministério das Cidades.

Esse plano teve início com a realização pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil - COMDEC, em 2003, de um levantamento dos assentamentos precários existentes em áreas críticas. Nesse levantamento foram selecionados, de acordo com critérios da COMDEC, dez assentamentos em pior situação, relacionados na Tabela 5.3. Esse trabalho serviu de base para a aprovação do Convênio firmado entre a Prefeitura e o Ministério das Cidades em 2005.

**Tabela 5.4** – Áreas identificadas, em 2003, pela Defesa Civil Municipal.

<b>LOCAL</b>	<b>LOGRADOURO</b>	<b>TIPO DE MOVIMENTO</b>
Riograndina I	Estrada Manoel Antônio Coutinho	Escorregamento em encosta
Riograndina II	Antiga estrada Riograndina - Banquete	Solapamento das margens do Rio Grande
Alto Floresta	Rua Aureliano Barbosa Faria (Rua B)	Escorregamento em encosta e rolamento de pedras
Floresta	Rua A (Buraco da Concha)	Escorregamento em encosta
Lazareto	Rua Benjamim Constant	Escorregamento em encosta
Village	Ruas Zair Pires Pirazzo e Humberto Gomes	Escorregamento em encosta
Cordoeira	Rua Roberto Martins e Rua Leonídia A. Ennes	Escorregamento em encosta
Alto de Olaria (Olaria I)	Rua Uruguaiana (final da rua e adjacências)	Rolamento de pedras
Alto de Olaria (Olaria II)	Rua Purus e Travessa Purus	Rolamento de pedras
Barroso	Ruas Maria da Glória Meno e Alberto Gomes	Escorregamento em encosta e rolamento de pedras

Dessa forma, foi realizada uma reavaliação das áreas de risco selecionadas, abrangendo o levantamento de dados sobre o meio físico, interpretação de fotos aéreas e imagens orbitais, fornecendo elementos para os trabalhos de campo, onde foram identificadas evidências de processos de instabilidade instalados nas encostas, os fatores condicionantes desses processos, e indícios do desenvolvimento de novos processos de instabilização.

Foram mapeados 109 pontos entre as dez localidades estudadas. Os setores de risco foram delimitados sendo a eles atribuídas as probabilidades e graus de risco de ocorrência de processos de instabilização (escorregamentos em encostas ocupadas e solapamento de margens de córregos), dando-se destaque aos setores de grau de risco 3 e 4, de acordo com os critérios de julgamento indicados na Tabela 2.7, mostrada no Capítulo 2 deste trabalho.

Os setores de risco foram comparados ao zoneamento de suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais (Cenário 2) gerado neste trabalho e é apresentado na Figura 5.30 abaixo.

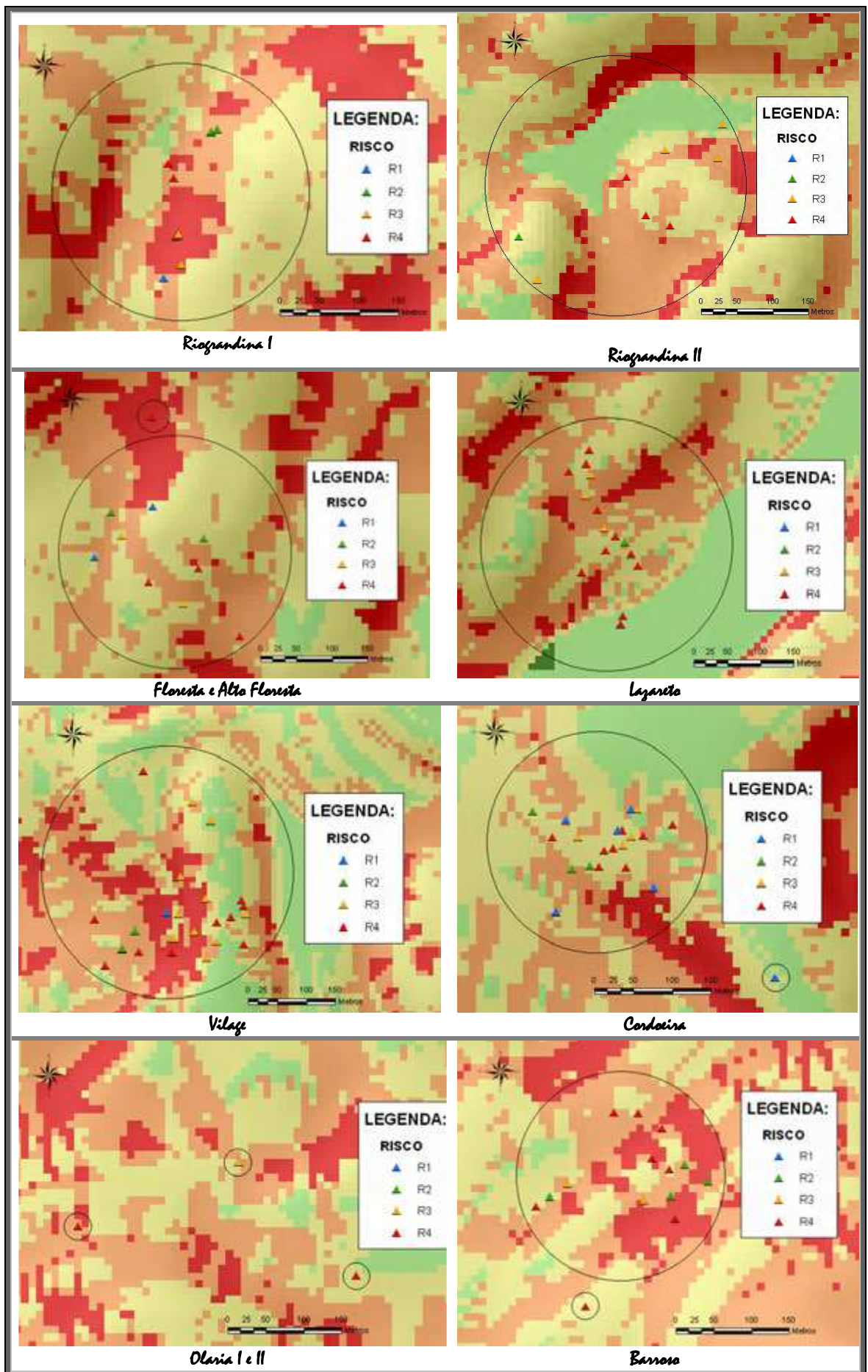


Figura 5.30 – Pontos do Plano Municipal de Redução de Riscos sobrepostos ao Cenário 2.

Observa-se que a maioria dos movimentos estão no grau de risco 3 e 4 que sobrepõem as classes de suscetibilidades alta e muito alta. Entretanto, na classe de suscetibilidade média também foram encontradas algumas movimentações devidas à interferência antrópica no local.

Dos 106 pontos, 40,20% daqueles com risco 3 e 4 estão nas classes de suscetibilidade alta e muito alta e 21,57% estão na classe de suscetibilidade média e 15,69% estão na classe de suscetibilidade baixa.

Ainda em relação ao total dos pontos mapeados pela CPRM, 6,86% são de risco médio em classe de suscetibilidade alta a muito alta e 4,90% risco médio em suscetibilidade média. Risco mínimo em classe alta a muito alta são 5,88%, 2,94% em classe média e 1,96% em classe de suscetibilidade baixa.

Cabe ressaltar que a suscetibilidade inclui movimentos de massa cuja origem é em sua própria área ou fora de sua área, mas podem se mover para ou regressar à área de origem.

O assentamento de Riograndina I localiza-se no distrito de Riograndina, ocupando as vertentes íngremes e o talvegue de um vale estreito no qual corre um riacho tributário da bacia do rio Grande. A maioria das moradias da área, algumas sólidas e bem construídas, e outras precárias, foram edificadas na parte inferior das vertentes e no talvegue desse vale.

Os lotes resultantes do parcelamento do solo são de tamanhos diversos, e, para melhor aproveitamento, foram objeto de cortes e aterros executados sem critérios técnicos, criando situações de risco de deslizamentos nos taludes resultantes das escavações. Outras moradias foram edificadas no talvegue do vale ocupando a calha da drenagem, inclusive com a construção de lajes sobre o leito do córrego, reduzindo substancialmente a sua seção.

O assentamento de Riograndina II também localizado no distrito de Riograndina, ao Norte da mancha urbana de Nova Friburgo, sendo morfológicamente dominado pela calha do Rio Grande, encaixada num vale cujas ombreiras são formadas por morros elevados.

A maior parte das ocupações localiza-se em ambas as margens do Rio Grande aproveitando, na margem esquerda, a plataforma da antiga ferrovia desativada, por onde também se dá o acesso aos veículos automotivos. Trata-se de casas que abrigam famílias de baixa renda, em geral de alvenaria sem emboço, sendo observadas ainda moradias de tapumes, sustentadas por estacas de madeira e alvenaria por sobre o leito do rio.

Segundo o Plano, as localidades em Riograndina têm 74 moradias em situação de risco alto e muito alto e 299 pessoas ameaçadas.

A grande ocupação formada pelos assentamentos Floresta e Alto Floresta têm em sua maior parte características de baixa renda, com as moradias construídas em pequenos lotes de modo desordenado, interferindo na drenagem natural, tornando as vertentes da concavidade, em forma de anfiteatro, ainda mais frágeis e suscetíveis a movimentos de massa. São 123 moradias em situação de risco alto e muito alto e 584 pessoas ameaçadas.

A comunidade do Lazareto localiza-se no segmento centro-norte da mancha urbana de Nova Friburgo, no distrito de Conselheiro Paulino. Os pequenos lotes ocupam terrenos com declividade média a alta nas encostas e no sopé de um espigão elevado, com amplitudes de relevo acentuadas e vertentes íngremes que convergem em direção à calha do rio Bengalas. O nivelamento dos lotes, em geral, deu-se pelo método de corte/aterro, resultando em taludes verticalizados tanto nos cortes efetuados, como nas saias dos aterros, simplesmente lançados sem compactação.

O Plano informa que no Lazareto são 71 moradias em situação de risco alto e muito alto e 287 pessoas ameaçadas.

O assentamento da Vilage, localizado junto ao segmento central da mancha urbana de Nova Friburgo, é uma ocupação antiga. Os lotes são em geral de tamanhos reduzidos, situados nas vertentes de um anfiteatro contornado por morros elevados, com declividades médias a altas. As áreas problemáticas do assentamento localizam-se principalmente na parte médio-superior, contornando o anfiteatro, onde são mais acentuadas as declividades.

Assim como em inúmeras outras localidades no município, as escadarias e vielas calçadas possuem quase sempre canaletas de drenagem nas laterais para escoamento das águas pluviais, que são dirigidas aos sistemas coletores principais. Em razão do dimensionamento insuficiente desses sistemas de escoamento secundários, algumas dessas canaletas encontram-se semidestruídas, direcionando as águas para os taludes de jusante, podendo causar graves acidentes. Foram observadas diversas canaletas e caixas de passagem obstruídas por entulho e/ou lixo.

Em Vilage são 71 moradias em situação de risco alto e muito alto e 296 pessoas ameaçadas.

No Cordoeira são 54 moradias em situação de risco alto e muito alto e 171 pessoas ameaçadas.

O assentamento de Cordoeira ocupa o topo e as vertentes de uma elevação localizada junto ao segmento central da mancha urbana da cidade. É uma ocupação

consolidada, contendo, inclusive, um conjunto residencial do BNH composto por dois prédios de cinco pavimentos.

O assentamento do Barroso, da mesma forma que Olaria I e Olaria II, está localizado no sopé da Pedra do Elefante. É uma ocupação antiga e consolidada, com muitos imóveis bem construídos. Entretanto, em alguns casos, esses imóveis ocuparam terrenos em encostas com declividades acentuadas e naturalmente instáveis. Assim, essas construções situadas nas partes mais elevadas, podem ser atingidas por material detrítico que venha a rolar da escarpa rochosa da Pedra do Elefante.

Esses assentamentos somam 1139 moradias em situação de risco alto e muito alto e 4568 pessoas ameaçadas.

Assim, o conhecimento dos processos desencadeadores dos desastres passa, necessariamente, pelo conhecimento dos elementos que constituem o meio físico (clima, relevo e geologia), já naturalmente frágil da região, e, também, da avaliação correta do comportamento desses elementos face às solicitações dos processos da ocupação antrópica, quase sempre efetuada de forma inadequada e agressiva às características naturais dos terrenos.

Tais fragilidades e o conseqüente comportamento dos terrenos, no entanto, são heterogêneos, dependendo de características locais do relevo, das coberturas de solo e dos tipos litológicos do substrato rochoso. Por esse motivo, essas características devem ser conhecidas e avaliadas corretamente do ponto de vista regional, como foi apresentado neste estudo.

Durante o evento de chuvas intensas, esses fatores antrópicos citados contribuem para o agravamento do grau de suscetibilidade em vários locais do município, inclusive com a ocorrência de desmoronamentos de moradias, novos deslizamentos, surgimento de trincas no solo em cristas de taludes, principalmente em trilhas sem calçamento, e ao longo dos aterros lançados, executados para a construção de moradias.

Dessa forma, a fragilidade natural dos terrenos é ainda, acentuada pelo escoamento e/ou infiltração das águas pluviais, e, também, pelo escoamento de águas servidas não coletadas.

Assim como existem áreas naturalmente suscetíveis aos movimentos de massa gravitacionais, existem outras que se caracterizam por não apresentar essa suscetibilidade naturalmente, o que poderá vir a ocorrer, conforme seu manejo (intervenção antrópica). Ou seja, áreas que, atualmente, se classificam como pouco suscetíveis podem vir a ter sua suscetibilidade agravada por uma intervenção mal

sucedida ou mal planejada. Isso pode ser verificado pela ocorrência dos riscos 3 e 4 em áreas de média e baixa suscetibilidade.

Isso significa que os condicionantes predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.), nessas áreas, são de menor potencialidade para o desenvolvimento dos movimentos de massa, mas existem indícios de desenvolvimento de processos de instabilização nas encostas dado o alto nível de intervenção antrópica nessas áreas.

O contrário também foi observado, a ocorrência de risco baixo a médio em áreas de alta suscetibilidade. Os condicionantes predisponentes são de maior potencialidade, mas ainda não existem indícios de instabilidade. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos, exceto durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.

Todavia, para o mapeamento de risco das áreas menos suscetíveis, devem ser considerados os diversos elementos dos terrenos, cujas fragilidades, quando associadas às intervenções antrópicas, podem deflagrar diferentes tipos de movimentos. As características geológico-geotécnicas de cada área devem ser levantadas em trabalhos de campo, interpretação de imagens orbitais, e interpretação de estereopares de fotos aéreas, em escala local para um maior nível de detalhamento da análise dos movimentos de massa.

Cabe salientar que a quantidade de pontos levantados no Plano Municipal de Redução de Riscos é insuficiente para a identificação das áreas mais suscetíveis a tais acidentes, para a análise dos períodos de ocorrências e suas tendências, assim como são imprecisas as informações repassadas pela Defesa Civil do Município que não possui um sistema de registro de ocorrências, nem uma base cartográfica organizada para o lançamento dessas ocorrências, não dispondo, assim, de um banco de dados consolidado e de uma equipe técnica e operacional qualificada para fazer a revisão do cadastro de risco, atender aos pedidos de vistorias preventivas, acompanhar a previsão e os índices pluviométricos e garantir a manutenção dos equipamentos de segurança e de comunicação.

Dentre as causas indutoras da ocorrência do fenômeno dos movimentos de massa em áreas urbanas destacam-se problemas sócio-econômicos e urbanísticos. Por se tratar de um aspecto de suma relevância no condicionamento da suscetibilidade desses processos, esse tema será abordado em um capítulo à parte, denominado de 'Padrões Construtivos'.

### 5.3. Expansão Urbana

Aproximações WLC e OWA resultaram em imagens contínuas de adequabilidade, que tornaram a seleção de sites, específica para um determinado fim, problemática.

Na análise de risco, o número de áreas adequadas obtidas com o processo de agregação foi tanto menor quanto menor o risco assumido. O contrário também foi verificado, quanto maior o risco, maior o número de áreas adequadas. Raciocínio idêntico é válido para o grau de compensação. Assim, quanto menor a compensação entre os fatores, menor o número de áreas adequadas ao fim do processo de agregação.

Cabe salientar que o risco, aqui descrito, refere-se ao grau de risco, que surge como incerteza, assumido na análise multicritério para a solução a ser encontrada.

Os níveis de risco e graus de compensação assumidos para os cenários finais são descritos a seguir:

- ✓ C1: risco inferior ao médio e alta compensação;
- ✓ C2: risco inferior ao médio e alta compensação;
- ✓ C3: risco médio e compensação total;
- ✓ C4: risco superior ao médio e alta compensação;
- ✓ C5: risco superior ao médio e alta compensação;
- ✓ C6: risco médio e compensação superior à média.

De posse dos cenários finais, com áreas classificadas em níveis contínuos de adequabilidade, foram aplicados dois novos critérios a fim de se obter áreas contíguas, individualizadas, que possam ser utilizadas para a expansão urbana. Os critérios utilizados foram:

- ✓ Área superior a 10 hectares;
- ✓ Adequabilidade mínima de 200 para a proposta a partir do cenário 4;
- ✓ Adequabilidade mínima de 220 para a proposta a partir do cenário 5.

Para a obtenção das áreas adequadas, foi aplicada a macro *SITSELECT* nas imagens C4 e C5. A macro usa vários módulos Idrisi para produzir dois mapas de *sites*. O primeiro mapa mostra cada *site* com identificador único para cada área, o segundo mapa mostra *sites* usando valores originais contínuos de adequabilidade. A macro também apresenta uma estatística sobre cada *site* selecionado, incluindo o valor médio da adequabilidade, a variação dos valores, desvio padrão e área em hectares.

Como resultado temos a Proposta 1 (Figura 5.31), com áreas superiores a 10 hectares e adequabilidade mínima de 200 e a Proposta 2 (Figura 5.32), também com áreas superiores a 10 hectares e adequabilidade mínima de 220.

A escolha dos cenários 4 e 5, como propostas para a expansão urbana, se deu pela observação dos graus de risco e compensação. A alta compensação equilibra-se ao maior risco, garantindo a coerência das propostas.

A maneira como o homem atua sobre o território e o torna um espaço humanizado e, como consequência define a paisagem, é proveniente de uma série de fatores. A forma do espaço natural, a princípio, é fator determinante na situação das aglomerações sobre a superfície terrestre. Condicionantes como o solo, o clima, a formação geológica e a vegetação afetam diretamente a escolha do local para se iniciar um assentamento, a disposição das construções e até mesmo a forma e materiais com que essas construções venham a ser feitas. Desse modo, entendeu-se que as características do espaço natural constituem um dos primeiros condicionantes a fornecer as diretrizes da configuração da paisagem urbana.

No entanto, a escolha dos sítios visou atender, não somente as necessidades meramente biológicas dos munícipes, mas também as sociais e culturalmente determinadas, que foram se alterando no decorrer da história de Nova Friburgo. Fatores sociais, históricos, biológicos e psicológicos direcionaram a escolha das propostas e presumiram sua forma de adaptação pela tradição cultural do município.

Dessa forma, a análise de expansão urbana para Nova Friburgo priorizou a consideração de áreas próximas às áreas já urbanizadas. Isso é de fundamental importância, principalmente, porque a população se concentra nos limites da bacia do rio Bengalas, tendo em vista que as maiores concentrações localizam-se nos Distritos Sede e Conselheiro Paulino, que correspondem ao Centro da cidade de Nova Friburgo e seus bairros periféricos. O município possui, ainda, a integração de seus principais bairros via centro da cidade, o que reitera a necessidade da expansão urbana se dar próxima aos núcleos urbanos.

Outro aspecto importante considerado na análise foi o da infra-estrutura urbana, vinculada à capacidade de acesso aos serviços básicos por parte da população. Como agravante, em uma área já bastante atingida por movimentos de massa, a abertura de novas ruas para loteamentos sem o cuidado imediato da instalação de sistemas adequados de drenagem de águas de superfície (guias, sarjetas, esgotos pluviais, valas impermeabilizadas e mesmo pavimentação) leva, inevitavelmente, à formação de sulcos que se transformarão em novas problemáticas, bem como o processo de erosão, uma vez removidos o revestimento vegetal e a camada superficial do solo, pois o processo de urbanização, por si só, pressupõe a remoção da vegetação natural.

Cabe ressaltar que o Plano Diretor de Nova Friburgo prevê novas ligações viárias que complementarão o Sistema Municipal de Mobilidade e Acessibilidade, que afetam diretamente as áreas previstas, neste estudo, para a expansão urbana:

- ✓ a ligação dos bairros Cônego e Debossan para melhor integração da área urbana e redução do fluxo de veículos no Paissandu;
- ✓ a integração da localidade de Amparo ao centro da cidade de Nova Friburgo – Estrada Velha do Amparo;
- ✓ a ligação do bairro Cônego à localidade de São Lourenço (Estrada do Imperador);
- ✓ a implementação da Av. Brasil, com a duplicação da RJ-116 no trecho entre Duas Pedras e Conselheiro Paulino.

Ainda de acordo com o Plano Diretor, nas localidades do Cônego, Parque D. João VI e Catarcione serão aplicados parâmetros urbanísticos específicos como tamanhos de lote de 360 m<sup>2</sup> e taxa de ocupação máxima de 50% para uso residencial unifamiliar e de 30% para uso multifamiliar e não residencial.

A localidade de Amparo por estar localizada em uma Zona de Expansão Orientada (ZEO) deve disciplinar a expansão urbana com reserva de áreas verdes; garantir a implantação de equipamentos urbanos e sociais adequados ao aumento da densidade populacional e compatibilizar o uso e ocupação do solo urbano com a proteção do patrimônio cultural do Centro de Amparo. Os parâmetros urbanísticos a serem aplicados são os mesmos que os das localidades anteriormente citadas.

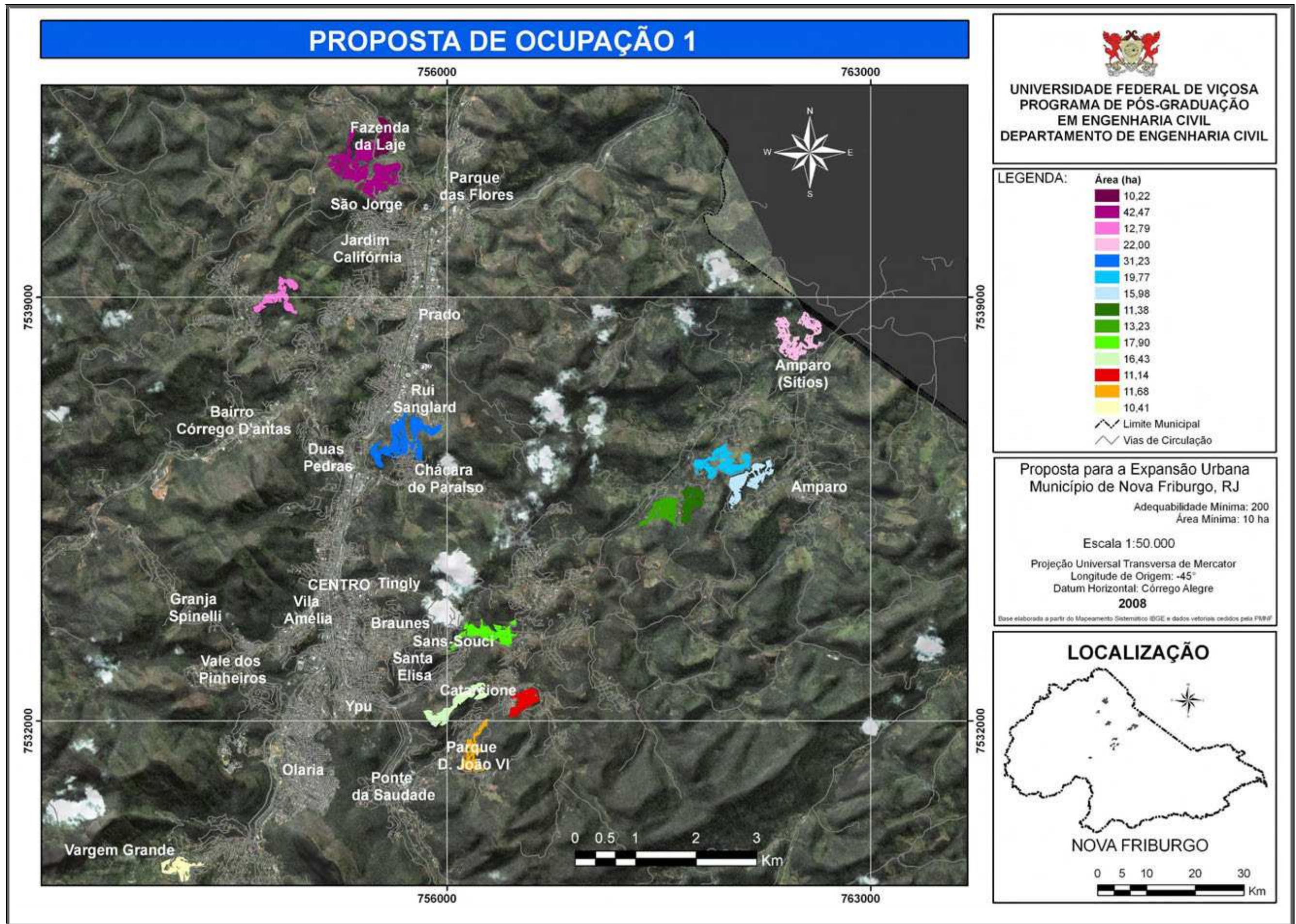


Figura 5.31 – Proposta de ocupação 1 para a expansão urbana.

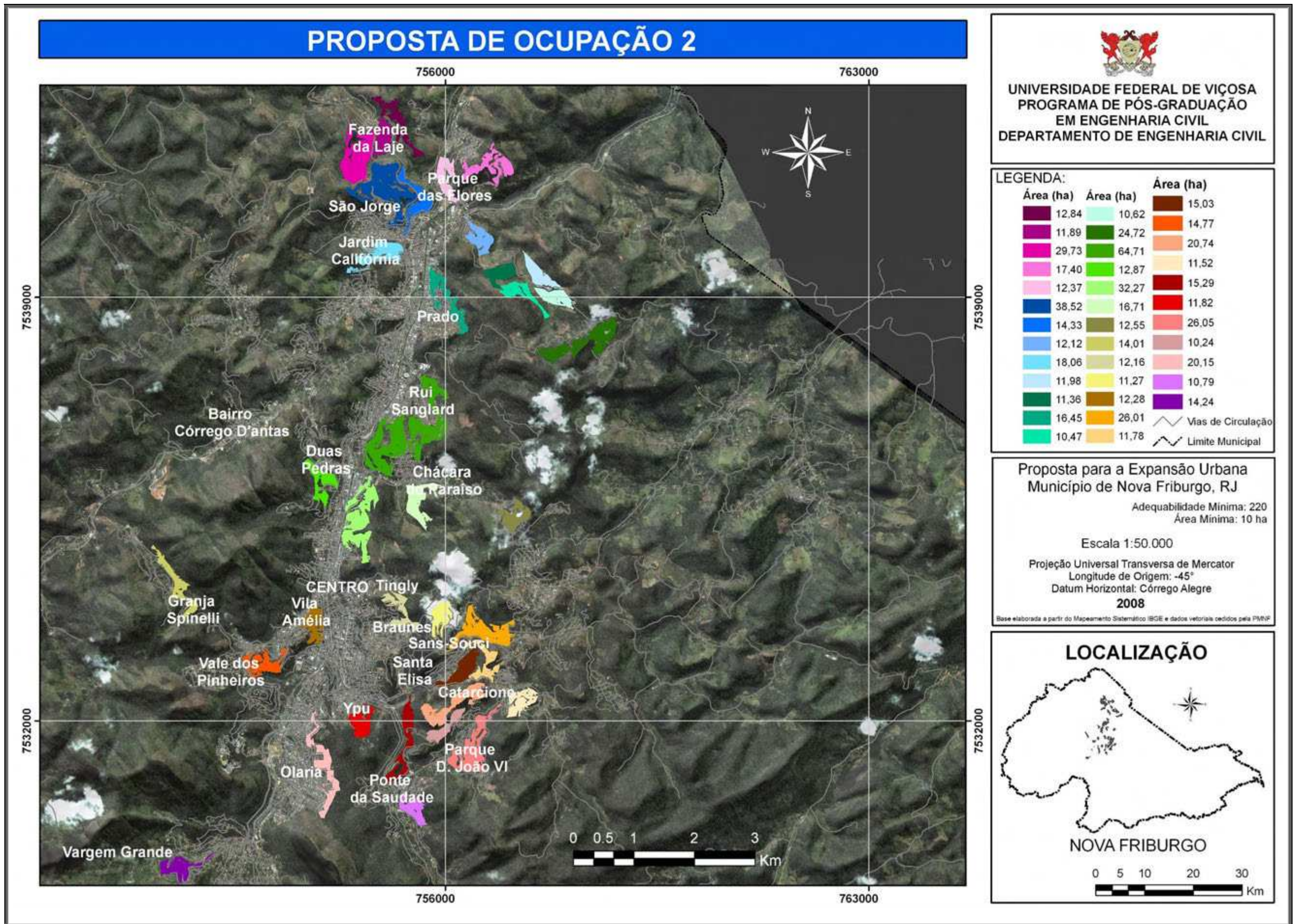


Figura 5.32 – Proposta de ocupação 2 para a expansão urbana.

A região central de Amparo por integrar um conjunto arquitetônico e paisagístico peculiar (Figura 5.33) está compreendida na Zona de Especial Interesse de Proteção do Ambiente Cultural – ZEIPAC, cujos objetivos são preservar e manter as características da ocupação local; incentivar atividades de incremento do turismo cultural; incentivar e orientar a recuperação dos imóveis que integram o conjunto arquitetônico e promover a adequação da infra-estrutura e serviços urbanos.



**Figura 5.33** – Igreja Nossa Senhora do Amparo, em Amparo, Nova Friburgo (set/ 2008).

Uma lei municipal específica indicará os imóveis a serem protegidos e indicará os respectivos instrumentos para proteção.

A região do Córrego D'antas também está inserida na Zona de Expansão Orientada, caracterizada por áreas vazias passíveis de ocupação urbana, desde que seja garantido o provimento de infra-estrutura adequada.

A Zona de Requalificação Urbana – ZRU, que abrange toda a extensão da malha urbana consolidada da sede municipal destina-se à renovação e requalificação urbana para melhor aproveitamento da infra-estrutura instalada, objetivando otimizar a infra-estrutura existente, induzindo a ocupação de imóveis não utilizados ou subutilizados.

A importância de novas áreas para a expansão urbana em Nova Friburgo destaca-se, também, pela necessidade de realocação da população desabrigada em decorrência das chuvas de janeiro de 2007.

Depois da tragédia das chuvas, de janeiro de 2007, que deixaram 11 mortos e muitos desabrigados em Nova Friburgo, 38 famílias receberam novas casas da Prefeitura, no dia 23 de dezembro de 2008, no bairro Granja Spinelli. O conjunto habitacional foi construído com parte do repasse de R\$ 4,5 milhões do governo federal para a reconstrução das áreas danificadas pelos deslizamentos de encostas em diversos bairros e distritos.

E no dia 30 de dezembro de 2008, foram entregues, pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, 38 casas populares construídas em Lagoa Seca, distrito de Conselheiro Paulino, para beneficiar os desabrigados das chuvas de janeiro de 2007.

Ao todo serão beneficiadas com casas populares 186 famílias vítimas das chuvas. Em 2008, 70 famílias foram contempladas com novas casas próprias, através de sorteios. De acordo com a Secretaria Municipal de Obras, já teve início também a construção de outras 116 novas casas populares. Serão mais 19 unidades na Granja Spinelli, outras 64 casas na Lagoa Seca, 17 em Nova Suíça e 16 no Loteamento Santa Luzia, no Alto das Braunes. Os recursos federais, em parceria com o município, já estão destinados para a próxima administração municipal dar andamento às construções.

As famílias beneficiadas passaram por uma avaliação socioeconômica da Secretaria de Assistência Social, de acordo com critérios estipulados pelo Ministério da Integração Social, que define que a família contemplada deve ter renda mensal de até dois salários mínimos.

As habitações têm 45 metros quadrados, com sala, cozinha, banheiro e dois quartos. As fundações e a estrutura serão reforçadas para que os moradores possam construir um segundo pavimento com segurança. O acabamento interno do piso e paredes de cada imóvel ficará a cargo de cada morador. Os imóveis dispõem ainda de instalações elétricas, hidráulicas e rede de esgoto.

Enquanto as casas populares não ficam prontas, a Prefeitura tem disponibilizado o pagamento do aluguel social, um auxílio financeiro mensal, para parte das famílias atingidas que comprovaram a necessidade através de avaliação socioeconômica.

O envolvimento do setor público municipal com a ocupação dos espaços físicos disponíveis deve ocorrer em vários momentos do processo. Inicialmente, por ele permitir a

ocupação de acordo com as normas do Plano Diretor Municipal e, ainda, pelo aumento que proporciona na arrecadação, através de taxas cobradas para análise, aprovação dos projetos e dos impostos gerados pelos imóveis construídos. Em um segundo momento, o município terá que fazer investimentos em serviços básicos para preservar a qualidade de vida dos munícipes.

Quando o poder público fecha os olhos à ocupação do espaço em desacordo com a legislação, o setor municipal não se envolve e também não se compromete. Logo os investimentos nesses espaços são feitos em uma grande maioria para fins eleitoreiros sem o compromisso com a qualidade de vida.

Nas encostas do município, a urbanização sem critérios, não atendendo às especificidades dessas áreas, acumulou impactos ambientais durante décadas. Esses impactos foram responsáveis pelos acidentes cada vez maiores, tanto em extensão quanto em perdas socioeconômicas, e, também, pela formação de paisagens urbanas deterioradas e impróprias para o desenvolvimento das redes de infra-estrutura.

Tão importante quanto 'onde' construir é 'como' construir. Do ponto de vista estritamente técnico, é inquestionável que implantações em encostas tendem a ser mais caras que implantações em terrenos planos. Além disso, requerem adaptações de terreno, com a execução de cortes e aterros e, na maioria das vezes, demandando obras para a contenção ou proteção de taludes que, por sinal, quase sempre foram preteridas ou executadas fora de padrões técnicos adequados.

Na interface com o projeto de arquitetura dos edifícios e com o projeto de implantação, as preocupações com os sistemas de drenagem também devem se refletir, levando à adoção de soluções que assegurem traçados e condições de escoamento mais favoráveis para as águas superficiais e pluviais.

Há que se destacar certa situação de omissão da sociedade e do Poder Público quanto aos assentamentos espontâneos nas encostas do município. A reversão dessa postura é o passo fundamental para o tratamento do problema. Uma vez identificada a tendência de ocupação informal de uma encosta, a atuação do Poder Público deve ser imediata, se for o caso orientando tecnicamente a ocupação ou, pelo menos oferecendo áreas alternativas.

O processo de expansão urbana pode ser entendido como resultado de uma dinâmica de conflitos e negociações entre os fatores naturais e antrópicos envolvidos, onde diferentes interesses vão se associar de acordo com o problema.

A abordagem integrada de todos os fatores utilizados neste trabalho assume uma dimensão ambiental, direcionando ao município de Nova Friburgo para o equacionamento desses problemas, que estão além das ações de regularização, mas que também deverão incorporar os diferentes interesses envolvidos e a participação social nas decisões.

Uma vez que o processo de ocupação do solo na bacia do rio Bengalas encontra-se bastante desenvolvido, ocorre o aumento do escoamento superficial e redução no tempo de retardamento da bacia, potencializando os efeitos da enchente.

O problema das inundações no município é um fenômeno natural condicionado a fatores climáticos, principalmente às chuvas intensas de verão, cujos efeitos são agravados pelas características do relevo: rios e córregos com forte declividade drenando, bruscamente, das partes mais altas para os vales,

Características físicas (morfométricas ou fisiográficas) compreendem uma série de parâmetros de grande importância para o comportamento hidrológico. Existe uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e as características físicas de uma bacia. Essas características são informações importantes na aferição da velocidade de escoamento para o entendimento do comportamento do escoamento superficial, assim como a capacidade de drenagem da bacia e, conseqüentemente, definir melhor o manejo da área em função da erosão e também dos movimentos de massa gravitacionais.

Esse caminho, percorrido pelas águas, tende a gerar uma série de problemas ambientais, desde aqueles relacionados à poluição de rios, córregos e mananciais, como outros tão graves quanto aqueles relacionados à saúde pública, como já mencionados anteriormente. O incremento dessas áreas impermeáveis e o relevo acidentado do município facilitam o aumento da velocidade do escoamento superficial ao longo dos canais, agrava os problemas de ordem estrutural do sistema de drenagem e intensifica o potencial para a ocorrência das inundações, castigando o município que já sofre com as inundações periódicas na época das chuvas.

As características físicas e do escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Cônego são influentes no contexto das inundações da bacia hidrográfica do rio Bengalas, uma vez que essas características têm importante papel na distribuição da água que precipita.

Portanto, com vistas a caracterizar o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Cônego e seus efeitos nas vazões máximas e nos tempos de pico de cheia para avaliar estratégias de recuperação ambiental que visem o controle e a mitigação de enchentes, foi descrito um capítulo próprio dedicado a esse tema (Capítulo 7).

# Capítulo 6

## PADRÕES CONSTRUTIVOS

Com raríssimas exceções, a implantação de uma cidade em uma região leva em conta as restrições naturais, salvo a disponibilidade de água. Em geral, a natureza perigosa do sítio de uma futura cidade não foi reconhecida ou foi subestimada pela sociedade. Todavia, não é tanto nesse sítio inicial que está o problema, mas na expansão e segmentação do perímetro urbano, a qual é acompanhada no espaço e no tempo de modificação nos locais mais suscetíveis à medida que se desenvolve espacialmente, como ilustra a expansão urbana em Nova Friburgo, em um “corredor” entre montanhas.

A morfologia urbana no município de Nova Friburgo é propícia para o surgimento de encadeamentos de acidentes geológicos, uma vez que se tornou heterogênea a partir do momento em que a área do sítio inicial foi transposta.

Os acidentes e desastres normalmente afetam as parcelas menos favorecidas da população, pois, não dispendo de capital financeiro para se estabelecer em um lugar seguro para habitar, vêm-se obrigadas a se assentar em áreas ambientalmente frágeis (planícies de inundação, áreas deprimidas, encostas íngremes). Além disso, há falta de recursos ou informações técnicas que permitam modificar o ambiente para minimizar ou mesmo evitar a ocorrência de algum acidente.

LAVELL (1996) correlaciona a pobreza com a degradação ambiental. Essa resulta da desregulamentação do direito fundiário e das normas de construção, da preponderância do setor informal, das necessidades energéticas cotidianas que acarretam o desmatamento e as más práticas, como o lançamento de lixo nos rios etc.

Esse processo, verificado na cidade de Nova Friburgo, onde a expansão do espaço construído vem intensificando-se nas últimas décadas, modificando as condições naturais e, aliado a uma forte segregação do espaço, vem provocando um incremento das áreas onde a ocupação por moradias pode causar acidentes.

A forma como se processou a urbanização em Nova Friburgo fez com que os aglomerados urbanos crescessem de maneira desordenada, com infra-estrutura física, habitações e serviços vulneráveis, avolumando ainda mais os problemas ambientais, sendo precisamente nesses locais, onde maiores condições de suscetibilidade existem para a população. É cada vez mais notório um cenário urbano crescentemente não só ameaçado, mas diretamente afetado por riscos e problemas ambientais.

Nesse sentido, o presente capítulo teve como objetivo a identificação, análise, zoneamento e hierarquização dos padrões construtivos que ocorrem no município de Nova Friburgo. Trata-se, portanto, de compreender as inter-relações vinculadas à construção social do espaço que não é totalmente físico nem totalmente social, adicionando-se à análise de suscetibilidade aos movimentos de massa e erosão, a caracterização do condicionante antrópico através da integração de uma abordagem social, histórica e fisiográfica do território de Nova Friburgo.

Os métodos construtivos utilizados em determinada região são resultado do que oferece a natureza e as relações habituais de comércio. O tipo de habitação encontrada reflete as necessidades naturais de abrigo do povo que nela vive e a tecnologia disponível (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

O método construtivo aplicado no município de Nova Friburgo, como em muitas outras regiões, está diretamente ligado à sua realidade sócio-econômica. Essa relação implica no uso de material impróprio e na utilização de técnicas não adequadas à região.

O estabelecimento dos parâmetros para essa análise considerou os ambientes urbanos ou periféricos do município de Nova Friburgo, de acordo com a visibilidade proporcionada por um mapeamento das áreas ocupadas e construídas, em escala de 1:25.000 através da representação da mancha urbana vetorizada em tela, a partir das imagens Quickbird e Ikonos de maio de 2005.

Metodologia construtiva foi a denominação dada à tipologia empregada para agrupar os elementos edificados. Os tipos de edifícios pré-determinados foram seis, podendo ser avaliados de forma geral como: de nível alto os tipos I e II, de nível médio os tipos III e IV e de nível baixo os tipos V e VI. Essa tipologia surgiu a partir da análise baseada em três critérios, que avaliam a capacidade de oferecer condições de conforto e segurança ao usuário e avaliam também a durabilidade desse edifício. O critério “estrutura” avalia a existência de estrutura, o material empregado e o grau provável de assistência recebida em sua execução. O critério “acabamento” se refere aos elementos externos do edifício que contribuem com a qualidade oferecida ao usuário. Os elementos externos referidos são a cobertura, o revestimento e as esquadrias, avaliados em qualidade, durabilidade e estado de conservação. O critério “tipologia urbana” avalia a implantação do edifício e as características urbanas de onde está localizado. A forma do lote e do loteamento é observada, assim como sua taxa de ocupação, o adensamento provocado pelo conjunto de edifícios e o uso a que esses são destinados.

## **6.1. Critério para a Avaliação dos Padrões Construtivos**

### *6.1.1. Estrutura*

- Presença de estrutura: concreto armado, alvenaria auto-portante, madeira ou aço, com algum controle tecnológico.
- Presença de estrutura: concreto armado, alvenaria auto-portante ou madeira, sem controle tecnológico.
- Ausência de estrutura.

### *6.1.2. Acabamento*

- Paredes externas revestidas, emboço com pintura, alvenaria de uso externo com acabamento, madeira tratada contra intempérie ou alternativas industrializadas, com telhado, laje tecnicamente impermeabilizada ou telhas de barro, concreto, fibrocimento ou metálicas.
- Paredes externas revestidas indevidamente, emboço sem pintura, com telhado não adequado, laje não impermeabilizada, uso inadequado de telhas ou cobertura alternativa.
- Paredes externas sem revestimento, com telhado não adequado, laje não impermeabilizada, uso inadequado de telhas ou cobertura alternativa.

### *6.1.3. Tipologia Urbana*

- Área A: lotes com formação ordenada, baixa taxa de ocupação, condomínios ou loteamentos não adensados, grandes propriedades urbanas e propriedades rurais com uso e características urbanas.
- Área central: lotes com formação ordenada, taxa de ocupação elevada, adensamento urbano vertical e edifícios tombados.
- Área I: lotes com formação ordenada, taxa de ocupação elevada, adensamento urbano residencial ou de uso não residencial com galpões industriais ou comerciais.
- Área II: lotes com formação desordenada, taxa de ocupação elevada, grande adensamento residencial podendo haver galpões industriais ou comerciais.
- Área III: lotes com formação desordenada, ocupação descriteriosa, pode ou não constituir aglomeração urbana, moradia de baixa renda.

## 6.2. Definição dos Padrões Construtivos







- I. Construções bem estruturadas normalmente seguidas de algum acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio a alto, ocupando lotes com formação ordenada e baixa taxa de ocupação.
- II. Construções bem estruturadas, seguidas de acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio a alto, ocupando lotes da área central com formação ordenada e taxa de ocupação elevada, adensamento vertical.
- III. Construções bem estruturadas, normalmente seguidas de algum acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio, ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano.
- IV. Construções providas de estrutura, executadas normalmente sem controle tecnológico, com acabamento de nível muito baixo, ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano.
- V. Construções providas de estrutura, executadas normalmente sem controle tecnológico, com acabamento de nível muito baixo ou sem acabamento, ocupando lotes com formação desordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano.
- VI. Construção desprovida de estrutura ou provida de estrutura precária, em sua maioria sem acabamento, ocupação descriteriosa de lotes, com formação desordenada, localizadas em áreas isoladas ou agrupadas, constituindo aglomeração em áreas normalmente desprovidas, ou providas indevidamente, de serviços urbanos.

## 6.3. Mapa dos Padrões Construtivos

A espacialização dos padrões construtivos está apresentada em carta (Figura 6.1) na escala 1:25.000, cuja legenda (Tabela 6.1) transcreve-se a seguir:

O uso do símbolo \* indica que o tipo construtivo observado mescla características dos tipos previamente determinados.

**Tabela 6.1 – Legenda da Carta de Padrões Construtivos.**

<b>CORES</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	<b>I.</b> Construções bem estruturadas seguidas de acompanhamento técnico, com acabamento de nível alto, geralmente bem conservadas, ocupando grandes propriedades urbanas ou lotes com formação ordenada e baixa taxa de ocupação, localizado em área não adensada ou de pouco adensamento de uso normalmente residencial ou recreativo (Figuras 6.2, 6.3 e 6.4).
	<b>I*.</b> Construções providas de estrutura executadas normalmente sem controle tecnológico com acabamento de nível baixo ou muito baixo, ocupando grandes propriedades urbanas ou rurais com baixa taxa de ocupação, localizadas em áreas não adensadas ou de pouco adensamento, de uso normalmente residencial e/ou rural (Figura 6.5).
	<b>II.</b> Construções bem estruturadas seguidas de acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio a alto, geralmente bem conservadas, ocupando lotes de área central com formação ordenada e taxa de ocupação elevada, localizado em área de adensamento urbano de uso comercial ou industrial, normalmente misto residencial (Figuras 6.6 e 6.7).
	<b>III.</b> Construções bem estruturadas, normalmente seguidas de algum acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio, cujo estado de conservação pode alterar sua classificação, com boa implantação ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada, em áreas de adensamento urbano com uso geralmente residencial (Figuras 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 e 6.12).
	<b>IV.</b> Construções providas de estrutura, executadas normalmente sem controle tecnológico, com acabamento de nível baixo ou muito baixo, algumas vezes mal implantada, ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano com uso geralmente residencial (Figuras 6.13 e 6.14).
	<b>V.</b> Construções providas de estrutura, executadas sem controle tecnológico, com acabamento de nível muito baixo ou sem acabamento, sendo este critério fundamental para sua classificação, ocupação descriteriosa de lotes com formação desordenada e taxa de ocupação elevada em área de adensamento, normalmente desprovida de serviços (Figuras 6.15, 6.16 e 6.17).
	<b>VI.</b> Construções desprovidas de estrutura ou provida de estrutura precária, em sua maioria sem acabamento, ocupação descriteriosa de lotes com formação desordenada, localizada em áreas isoladas ou em aglomerações normalmente desprovidas ou providas indevidamente de serviços urbanos, em condição inapta para moradia (figuras 6.18, 6.19 e 6.20).

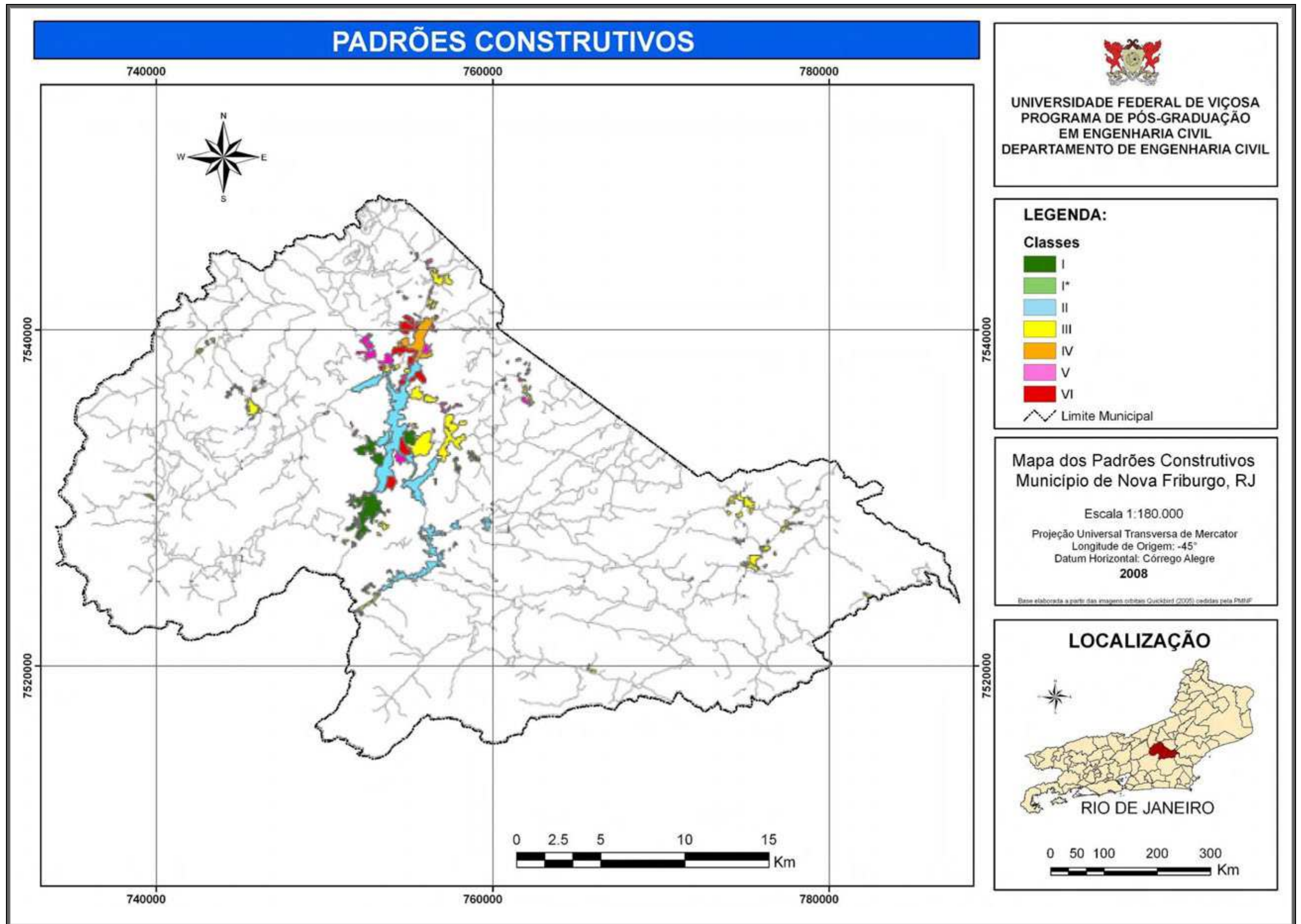


Figura 6.1 – Mapa dos Padrões Construtivos.

O município de Nova Friburgo é muito vulnerável diante das ameaças naturais por razões espaciais, sociais, históricas e institucionais. O espaço construído inclui as áreas rurais e o tecido urbano é heterogêneo tanto no centro quanto nas periferias. O crescimento urbano freqüentemente ocorreu em proveito das áreas periféricas, qualificada de informal.

A cidade é caracterizada pela segregação sócio-espacial, onde as classes ricas vivem reclusas em condomínios de alto padrão, a classe média ocupa bairros extensos, muito heterogêneos e os pobres que contribuem para a expansão em locais precários, também heterogêneos, ocupando terrenos vagos, utilizando materiais de má qualidade.

A Figura 6.2 mostra uma casa localizada no bairro Vale dos Pinheiros, servida de ótima infra-estrutura. A baixa taxa de ocupação ameniza o adensamento da área no entorno. Quando observada de perto, expõe em seus detalhes o alto padrão de técnicas utilizadas, garantindo conforto, segurança e durabilidade.



**Figura 6.2** – Padrão construtivo tipo I (abr/2008).

A casa (Figura 6.3) localizada no bairro Cascatinha, localidade também com baixa taxa de ocupação, alto padrão construtivo.



**Figura 6.3** – Padrão construtivo tipo I (abr/2008).

As casas construídas em região de vale, na estrada Friburgo/Teresópolis exemplificam como as áreas verdes, próximas ao centro, inseridas no contexto urbano, podem ser ocupadas. Não permitem o adensamento urbano e mantêm alto nível técnico (Figura 6.4).



**Figura 6.4** – Padrão construtivo tipo I (abr/2008).

As construções encontradas em Campo do Coelho, algumas com melhor ou pior técnica, são distintas às do tipo I, porém proporcionam um bom padrão da qualidade de vida (Figura 6.5).



**Figura 6.5** – Padrão construtivo tipo I\* (abr/2008).

A Figura 6.6 mostra um conjunto localizado no centro da cidade. Os edifícios com muitos pavimentos, pela lógica, primam pela boa técnica. Os edifícios assobradados, em sua grande maioria comerciais, são mantidos em boas condições pelo interesse comercial de seus usuários. Em ambos as autoridades públicas, fazendo cumprir as leis, garantem seu aspecto humanitário e bom estado de conservação.



**Figura 6.6** – Padrão construtivo tipo II (abr/2008).

Muitos bairros também têm conjuntos de edificações com características urbanísticas idênticas às do centro. A Figura 6.7 mostra sobrados comerciais e edifícios residenciais em Olaria, oferecendo ao bairro os mesmos interesses e preocupações verificados no centro da cidade.



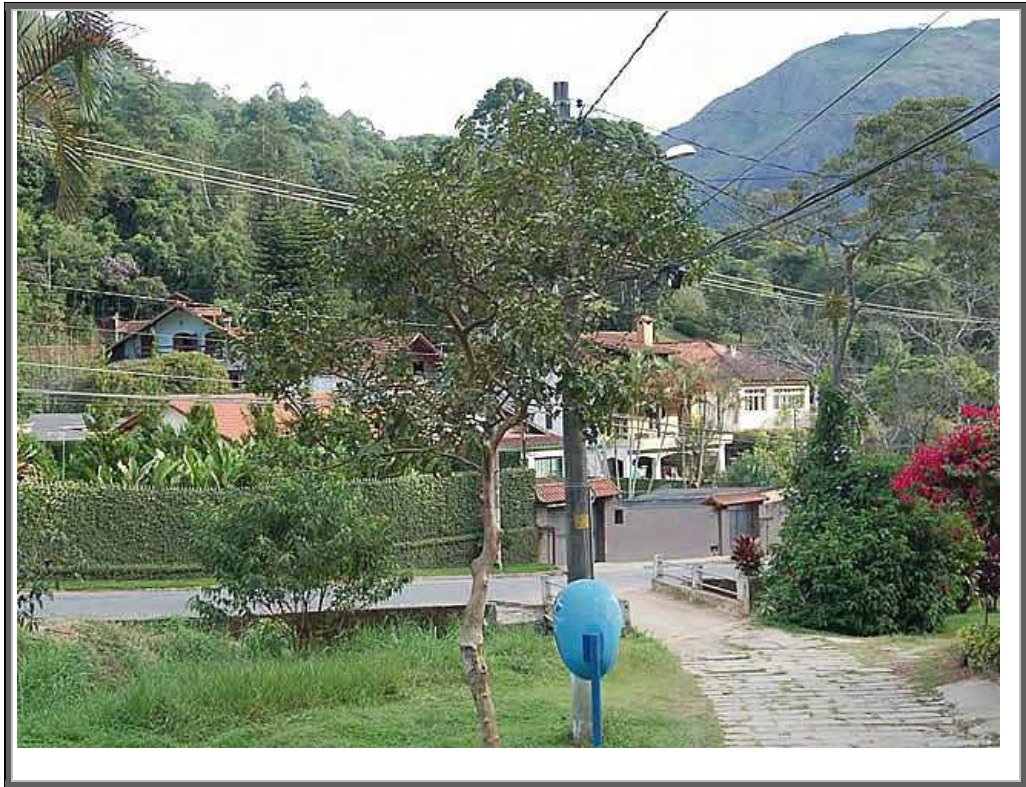
**Figura 6.7** – Padrão construtivo tipo II (abr/2008).

Conjunto de casas localizadas no bairro Chácara do Paraíso (Figura 6.8), bem implantado, com ótimo padrão técnico. A taxa de ocupação elevada dos lotes caracteriza o relativo adensamento.



**Figura 6.8** – Padrão construtivo tipo III (abr/2008).

A localidade, Ponte da Saudade, exemplifica o que se pode verificar em alguns poucos bairros da cidade: boa qualidade na construção e boa implantação em áreas urbanas com adensamento relativo (Figura 6.9).



**Figura 6.9** – Padrão construtivo tipo III (abr/2008).

As edificações existentes ao longo da maioria das ruas que acompanham os rios no centro da cidade se caracterizam por técnicas construtivas convencionais e boa implantação. Áreas como essas têm maior densidade devido à elevada taxa de ocupação, a exemplo das casas registradas na Figura 6.10 à beira do rio Santo Antônio.



**Figura 6.10** – Padrão construtivo tipo III (abr/2008).

O tipo III (Figura 6.11), em áreas próximas à região central de Olaria, é percebido no bom estado de conservação de suas casas.



**Figura 6.11** – Padrão construtivo tipo III (abr/2008).

As casas (Figura 6.12) no Parque Residencial Rivo Torto têm elevada taxa de ocupação, porém mantêm boa qualidade construtiva e conforto. O bairro se caracteriza por muita variação dos tipos construtivos.



**Figura 6.12** – Padrão construtivo tipo III (abr/2008).

A taxa de ocupação elevada associada à má conservação das edificações e mau trato do seu entorno, no bairro Jardimlândia, reduz a qualidade, o conforto, a segurança e a durabilidade (Figura 6.13).



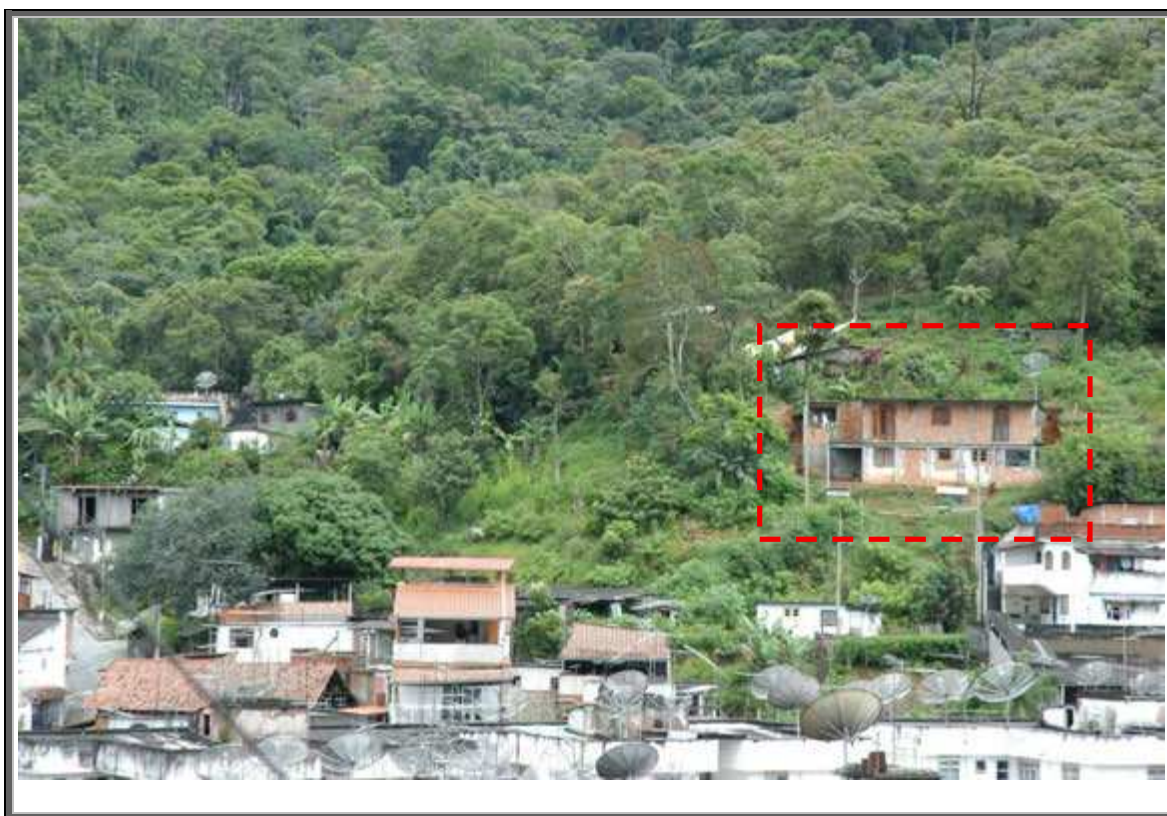
**Figura 6.13** – Padrão construtivo tipo IV (abr/2008).

Em Conselheiro Paulino (Figura 6.14), a variedade de tipos e a falta de trato nos elementos construtivos induzem a uma classificação inferior.



**Figura 6.14** – Padrão construtivo tipo IV (abr/2008).

A ocupação dos morros é logicamente nociva, porém esse mal tem se agravado no município pelo acentuado declínio das técnicas utilizadas. Na Figura 6.15 se verifica o acréscimo de uma construção que contribui para favelização<sup>6.1</sup> de uma área com características apenas humildes no bairro Vila Amélia.



**Figura 6.15** – Padrão construtivo tipo V (Fonte: Defesa Civil, jan/2007).

O acréscimo descriterioso, sem os tratamentos de proteção para alcançar conforto e durabilidade demonstram os equívocos da metodologia utilizada no Bairro das Braunes (Figura 6.16).

<sup>6.1</sup> De acordo com UN-Habitat (2007), um "domicílio de favela" refere-se a um grupo de indivíduos que vivem sob o mesmo teto em uma área urbana onde faltam um ou mais dos seguintes itens: moradia durável, área de convívio suficiente, acesso a água tratada, acesso a saneamento e posse segura.



**Figura 6.16** – Padrão construtivo tipo V (Fonte: Defesa Civil, jan/2007).

Verifica-se na Figura 6.17 a tentativa de melhoria do imóvel, usando técnicas convencionais para obter conforto e segurança, bairro Lazareto.



**Figura 6.17** – Padrão construtivo tipo V (abr/2008).

As condições de conforto, segurança e durabilidade são quase inexistentes, as construções de pau-a-pique (Figura 6.18) e a falta de serviços urbanos expõem a total falta de critério metodológico para uma construção que está inserida no meio urbano.



**Figura 6.18** – Padrão construtivo VI (Fonte: Defesa Civil, jan/2007).

Na Figura 6.19 se percebe, claramente, a falta de assessoramento técnico. Os riscos se agravam pela falta de recobrimento e proteção da alvenaria e da estrutura que, pelo mesmo motivo não oferece o conforto necessário, Distrito de Riograndina.



**Figura 6.19** – Padrão construtivo tipo VI (abr/2008).

O exemplo da Figura 6.20 está localizado em meio a casas de tipos distintos, formando um conjunto composto de diferentes classes. A necessidade faz surgir técnicas inaceitáveis, com adaptação de material impróprio, que trazem desconforto e insalubridade, associado à localização absurda do “elemento edificado”. Localidade da Estação em Riograndina.



**Figura 6.20** – Padrão construtivo tipo VI (Fonte: Defesa Civil, jan/2007).

A medição de áreas da carta de padrões construtivos resultou na Tabela 6.2 abaixo, onde se nota que 32,57 Km<sup>2</sup> do município de Nova Friburgo são urbanizados, perfazendo uma área ocupada de aproximadamente 3,5% de todo o território.

**Tabela 6.2** – Área das unidades de Padrões Construtivos.

<i>Padrão</i>	<i>Área (Km<sup>2</sup>)</i>	<i>% da Área Construída</i>
<b>Alto</b>	5,30	16,5
<b>Médio a Alto</b>	11,20	34,5
<b>Médio</b>	8,54	26,0
<b>Baixo</b>	1,98	6,0
<b>Muito Baixo</b>	2,44	7,5
<b>Péssimo</b>	3,11	9,5
<b>TOTAL</b>	32,57	100

A análise do quadro acima mostra a predominância de construções bem estruturadas, com padrão de acabamento médio a alto (77%), sendo que as de nível alto são 16% do total. As construções de nível baixo, muito baixo e péssimo respondem por 23% das moradias do município.

O espaço urbano, fruto do trabalho total da sociedade, foi repartido de forma desigual. Esse fato foi evidenciado pela total fragmentação de áreas urbanas, com a existência de bairros providos de um alto padrão urbanístico, e outros onde os serviços essenciais de infra-estrutura urbana simplesmente não existem. Assim, pode-se dizer que as áreas de risco surgem como uma complexa inter-relação entre os condicionantes físicos e as implicações maiores do sistema produtivo, que se expressa com maior intensidade no meio urbano (Figura 6.21).



**Figura 6.21** – Casas atingidas por deslizamento de terra, na localidade de Lagoinha, em janeiro de 2007 (Fonte: Defesa Civil).

Antes da ocorrência de um acidente geológico urbano, as regiões mais pobres geram novas ameaças em setores naturalmente perigosos para moradia. Após a ocorrência, elas aumentam os fatores de risco porque o nível de danos induzidos é mais elevado e o local não é objeto de uma reabilitação após a fase de socorro.

Entre os processos da dinâmica superficial causadores de acidentes que afetam a população na cidade de Nova Friburgo, têm-se as inundações, as diversas formas de erosão e os movimentos de massa, uma vez que os constituintes da natureza são

susceptíveis a desequilíbrios, em função dos impactos causados pelas diversificadas atividades antrópicas (Figura 6.22).



**Figura 6.22** – Casas atingidas por deslizamento de terra, no bairro do Jardimlândia, com uma vítima fatal, em janeiro de 2007 (Fonte: Defesa Civil).

O processo de ocupação dos centros urbanos provocou impactos no meio ambiente, particularmente, relacionados com as modificações do ciclo hidrológico e a intensa impermeabilização do solo, cujas conseqüências foram o crescimento dos eventos de inundações urbanas em número e magnitude com prejuízos materiais, patrimoniais e humanos para a sociedade.

O padrão construtivo controla em grande parte a impermeabilização do solo, sendo que em áreas de alto padrão construtivo o grau de impermeabilização é menor, devido, entre outros fatores, à maior parcela de área lazer (jardins, áreas livres gramadas, calçadas gramadas, etc.) em cada unidade imobiliária. Entretanto, nessas áreas as modificações na rede de drenagem, como canalizações e retificações são maiores.

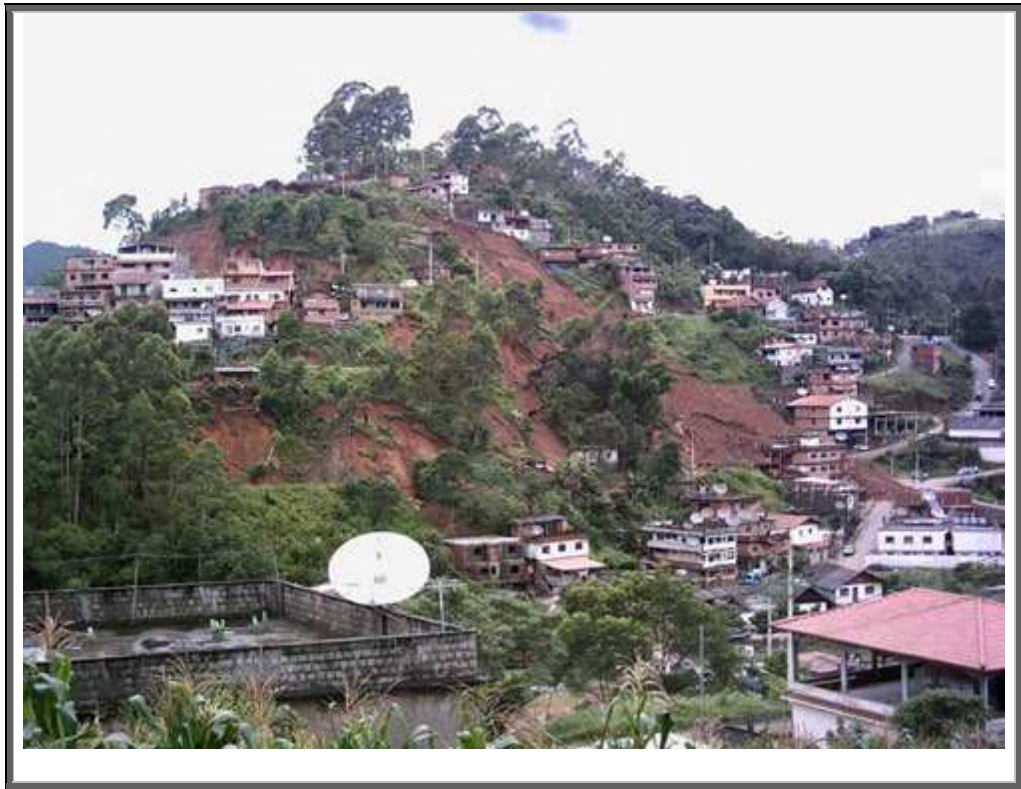
A população estabelecida na área urbana de Nova Friburgo, em especial, a de baixo poder aquisitivo, tem sido afetada por desastres causados pela ação de processos da

dinâmica superficial. Os desastres naturais, além das perdas econômicas, têm sido responsável por inúmeras vítimas.

O mercado imobiliário tornou a ocupação um produto, uma mercadoria, beneficiando as classes economicamente privilegiadas através do acesso às áreas de melhor localização e dotadas de melhor infra-estrutura. Empurrando, dessa forma, as classes de menor poder aquisitivo para a periferia da cidade. Periferia essa, caracterizada por lugares com topografia (Figura 6.23) e condições geográficas menos vantajosas ou com restrições ambientais para ocupação regular (Figura 6.24), como por exemplo, as encostas dos morros, os fundos de vales e outras áreas de risco, normalmente sem infra-estrutura e equipamentos urbanos. Estes locais periféricos concentram grandes assentamentos urbanos e problemas sócio-ambientais, tais como poluição hídrica; destruição dos recursos naturais; desintegração social; desemprego; perda de identidade cultural e altos níveis de violência.



**Figura 6.23** – Ocupação irregular em Riograndina, Nova Friburgo, janeiro de 2007. (Fonte: Defesa Civil).



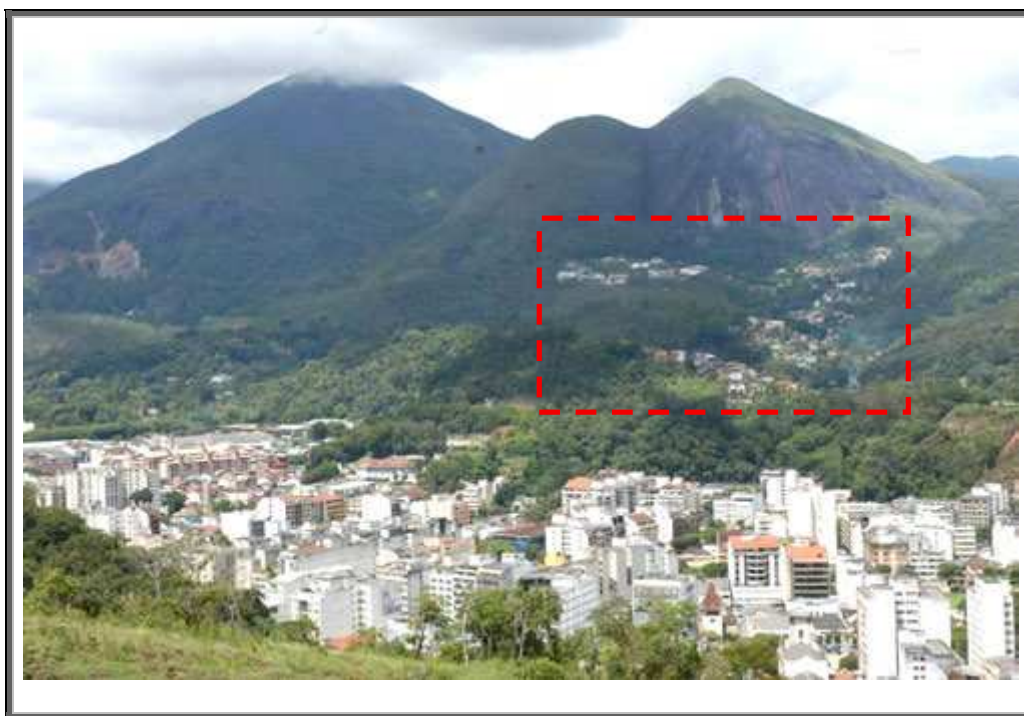
**Figura 6.24** – Ocupação intensa em encosta, no Canto do Riacho, Nova Friburgo, janeiro de 2007. (Fonte: Defesa Civil).

Os tipos de habitação observados não utilizam, em maior ou menor grau, as técnicas disponíveis e os elementos construtivos exigidos pelas condições naturais de clima, relevo, tipo de solo, intempéries etc. O fator econômico nem sempre é o responsável. A cultura local torna tradicional o desuso de material, equipamento ou tecnologia, por desconhecimento ou negligência de quem deles pode dispor. Esse mau hábito desprovê o edifício de elementos, na grande maioria das vezes, indispensáveis para o prolongamento do seu período útil e para o conforto e segurança de quem nele vive.

A região em que se insere Nova Friburgo é formada por unidades geoambientais vulneráveis a desequilíbrios do meio ambiente, quer seja por processos naturais ou pela ação do homem. Assim, as práticas que provocam acidentes nas encostas, como cortes e aterros inadequados, retirada de vegetação, lançamento de água ou bloqueio das linhas d'água naturais por lixo ou entulho, devem estar sujeitas ao controle e fiscalização dos órgãos públicos e da comunidade.

Dessa forma, observou-se que a grande ocorrência de movimentos de massa no município agrava-se, entre outros fatores, devido à concentração urbana desordenada em áreas de risco e ao relevo acidentado. Existem, de fato, construções feitas de forma

insegura, em locais impróprios, porém há também várias ocorrências de movimentos de massa em áreas nobres, áreas que não poderiam ser ocupadas por se localizarem em encostas muito íngremes, com convergência de fluxos ou pela ocorrência de tálus, como ilustra a Figura 6.25.



**Figura 6.25** – Ocupação de terrenos em colúvios e tálus, no Centro, Nova Friburgo, janeiro de 2007. (Fonte: Defesa Civil).

Um aspecto importante a se enfatizar é o impacto negativo com que se apresenta a paisagem urbana, pelo aspecto degradado do solo no entorno das construções nas encostas, as quais são desmatadas e escavadas, expondo, muitas vezes, um solo de alta erodibilidade.

A forma de ocupação e o uso social do espaço são fatores determinantes para a configuração do meio ambiente urbano, o qual por sua vez, determina, em resposta, o nível de qualidade de vida. Em Nova Friburgo fica evidente a precariedade da infraestrutura urbana e das moradias nas novas áreas ocupadas, vizinhas aos bairros já consolidados.

O processo de segregação sócio-espacial cria ou reforça a vulnerabilidade no município. As populações menos favorecidas se instalaram ao longo dos rios ou nos declives íngremes. A classe média procurou terrenos mais baratos, aproveitando-se de uma

medida geotécnica, a terraplanagem das zonas instáveis, o que agravou a suscetibilidade em zonas ainda intactas.

Tais situações foram agravadas pelo parcelamento do solo em pequenos lotes que, para serem aproveitados integralmente pelas construções, foram submetidos a cortes e aterros indiscriminados, incrementando, desta forma, as fragilidades naturais existentes nos terrenos. Por sua vez, as servidões de acesso às moradias, em muitos casos, modificaram as condições de drenagem natural das áreas ocupadas, concentrando grandes fluxos de água em determinados pontos, causando acidentes de graves conseqüências.

A falta de esgotamento sanitário adequado em parte dos assentamentos precários também é responsável por processos de movimentos de massa nas encostas, em função da saturação dos terrenos pela infiltração de águas servidas, lançadas indiscriminadamente, e, também, pela infiltração a partir de fossas.

Da mesma forma, o lixo, quando não coletado em tais comunidades, muitas vezes é lançado nas encostas, acumulando-se e passando, em função disso, a ser um importante fator de risco de deslizamentos.

Os assentamentos precários existentes em Nova Friburgo caracterizam-se, de uma forma geral, por moradias de alvenaria construídas em lotes pequenos (da ordem de 100 a 200m<sup>2</sup>), ocupando terrenos com declividades médias a altas em vertentes de morros elevados. Alguns desses assentamentos (Vilage, Floresta, Lazareto, Barroso) se expandiram por vertentes em forma de anfiteatro, nas quais uma drenagem central recebe todas as águas pluviais precipitadas nas encostas. Esse modelo de parcelamento do solo induziu as pessoas que se instalaram em tais comunidades a procederem de forma incorreta, com o objetivo de obter melhor aproveitamento do espaço disponível.

O principal procedimento empregado na ocupação dos lotes privilegiou o método de corte/aterro lançado, o que resultou em taludes instáveis em cortes praticamente verticais, executados em terrenos constituídos por unidades geotécnicas desfavoráveis (principalmente colúvios e depósitos de tálus com muitos blocos rochosos). Essa prática produziu também situações de instabilidade e risco nos taludes das saias dos aterros, simplesmente lançados sem compactação sobre esses mesmos terrenos, cujo equilíbrio natural é precário.

A tentativa de estabilizar os taludes verticalizados decorrentes dos cortes e/ou aterros, quase sempre muito próximos das casas, na maioria das vezes foi feita por meio da construção de muros de alvenaria, nem sempre eficazes para a contenção de

movimentos do solo, principalmente em função de dimensionamento inadequado e / ou drenagem precária ou inexistente.

A interferência dos acessos às moradias (Figura 6.26), implantados sob a forma de arruamentos (calçados ou não), vielas, escadarias e trilhas com sistemas de drenagem natural, muitas vezes desvia e direciona o fluxo das águas pluviais, as quais acabam adquirindo grande energia, para áreas onde ocorrem terrenos íngremes, de estabilidade natural precária, agravada pelo parcelamento dos lotes, cortes e aterros. Todos esses fatores tornam tais terrenos mais vulneráveis ainda aos processos de movimentos de massa condicionados pelo encharcamento do solo.



**Figura 6.26** – Detalhes da ocupação desordenada no bairro Floresta (Fonte: Defesa Civil, 2007).

No caso de ocorrência de chuvas torrenciais, a vulnerabilidade desses terrenos pode atingir um ponto crítico, desencadeando sucessivos deslizamentos que acabam por destruir, não só os arruamentos como, também, as moradias construídas a jusante, nas encostas.

O mapa obtido confirmou a forte correlação dos fatores naturais e socioeconômicos e mostrou seis tipos de padrões construtivos mais ou menos vulneráveis. A divisão espacial engendrou uma suscetibilidade desigual, os bairros mais frágeis se reagruparam sobre as encostas íngremes e setores marginais à classe média. À vulnerabilidade assim definida se soma à que é oriunda da pobreza, do desemprego, da insegurança e da violência.

A população mais pobre que vive perto dos rios percebe a sua predisposição às inundações, mas não consegue avaliar o grau da gravidade. Os munícipes que vivem fora das áreas alagáveis e que dispõem de um melhor nível de vida, demandam a informação, mas mostram uma consciência limitada. Em suma, existe uma lacuna entre a consciência do perigo e o conhecimento da suscetibilidade ao evento.

Entretanto, pouco se faz em relação às ações de recuperação de áreas atingidas, como a utilização de técnicas preventivas: deslocamento da população das áreas de risco; fiscalização de ocupações irregulares, entre outras.

Os efeitos dos eventos climáticos podem ser mitigados por sistemas de drenagem bem projetados e dimensionados, construídos ao longo das vias ou nas vertentes, e que direcionem as águas captadas para coletores, reduzindo a saturação dos terrenos.

As políticas de gestão do município são poucas e mal aplicadas e a própria existência não significa que elas sejam aplicáveis ou eficazes. Os principais atores sociais envolvidos, principalmente a própria população e os poderes públicos não tomam parte ativa nas decisões que concernem à gestão dos riscos. Os obstáculos à aplicação de uma verdadeira prevenção e gestão do município frente aos acidentes geológicos são de ordem técnica, socioeconômica, institucional ou política e, enfim, cultural.

# Capítulo 7

## BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CÔNEGO

### 7.1. Estudos Hidrológicos

#### 7.1.1. Aspectos Gerais

O presente capítulo descreve as diretrizes metodológicas que nortearam a elaboração dos estudos hidrológicos para a fase de diagnóstico da bacia hidrográfica do rio Cônego, considerando-se que os estudos hidrológicos, consubstanciados no cálculo das vazões de cheias em seções ou trechos fluviais de interesse e associando perfis de escoamento com as vazões de cheias notáveis, representam um tema de suma importância para a análise das inundações ocorridas no município de Nova Friburgo, interagindo no diagnóstico, direcionando a atuação das formas de controle.

Essas atividades compreenderam o estabelecimento de uma base de dados, sua análise e consistência, o processamento desses dados e a elaboração do diagnóstico dos problemas de drenagem com a busca de alternativas de solução que compuseram a ferramenta de planejamento para a bacia do rio Cônego e, conseqüentemente, a interpretação do comportamento do sistema de macrodrenagem urbano do município.

Da conclusão dos estudos básicos foram obtidos produtos extremamente importantes. Dentre eles destacam-se: a determinação do regime de chuvas para a bacia e as relações de intensidade – duração – frequência. A definição da chuva de projeto serviu para as estimativas das vazões afluentes.

#### 7.1.2. Procedimentos Metodológicos

Pelas características da concepção urbanística de Nova Friburgo, os talwegues dos cursos de água que atravessavam o município foram sendo revestidos em canalizações de concreto a céu aberto ou em galerias subterrâneas que acompanhavam o sistema viário.

A implantação dessas obras de macrodrenagem não evitou que o problema das inundações na cidade fosse recrudescendo ao longo do tempo, acompanhando o crescimento da cidade. Como a expansão da malha urbana ocorria em direção às cabeceiras dos cursos de água, as obras de canalização foram sendo implantadas no sentido de jusante para montante, com uma tendência crescente de impermeabilização dos terrenos e aumento dos picos das cheias.

Somente em 2007, com o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo foram elaborados diversos estudos para projetos da rede de macrodrenagem e estabelecidos critérios e parâmetros para os dimensionamentos hidrológicos e hidráulicos.

Derivou-se desses estudos uma metodologia para elaboração deste trabalho, segundo os seguintes fundamentos básicos:

- ☑ discretização da bacia hidrográfica em sub-bacias;
- ☑ adoção da equação de Kirpich apenas para o cálculo dos tempos de concentração das sub-bacias das cabeceiras e sem revestimento nos talwegues, uma vez que essa equação foi obtida a partir da análise de diversos loteamentos *in natura*, situação similar encontrada nas sub-bacias 1, 2, 8, e 11;
- ☑ adoção da equação de Kerby para as demais sub-bacias, indicada para pequenas bacias (BRASIL, 2005);
- ☑ cálculo dos hidrogramas das bacias elementares pelo método do hidrograma unitário do SCS<sup>7.1</sup>;
- ☑ simulação do trânsito dos hidrogramas de cheias nos canais fluviais, a partir da composição dos hidrogramas das bacias elementares, empregando o método de propagação Muskingum-Cunge;
- ☑ desagregação dos blocos de chuva seguindo a distribuição de Huff, correspondente ao terceiro quartil, onde ocorre mais freqüentemente chuvas com duração entre 12.1 e 24 horas (HUFF, 1990);
- ☑ incorporação das condições reais de uso e ocupação do solo para o cálculo das abstrações hidrológicas, que foi processada pelo método do SCS, utilizando as estimativas do parâmetro CN (número da curva);
- ☑ simulação das cheias no canal fluvial principal, a partir da composição dos trechos, de acordo com suas características: base, altura e tipo de revestimento, empregando-se a equação de Manning;
- ☑ simulação de eventos de chuva de várias durações, definindo-se o tempo mais crítico em termos de geração dos hidrogramas com maiores vazões de pico.

Os estudos hidrológicos foram elaborados com a finalidade de calcular vazões de pico e/ou hidrogramas de cheias nas seções fluviais de interesse. Pelas características de não estacionariedade dos regimes dos cursos de água analisados e dada a ausência de registros fluviométricos, todos os cálculos foram elaborados com aplicação de métodos indiretos, baseados na transformação de chuva em vazão. Por seções fluviais de interesse compreendem-se todas as singularidades hidráulicas (travessias,

---

<sup>7.1</sup> O Soil Conservation Service (SCS) é agora conhecido como o Natural Resources Conservation Service (NRCS).

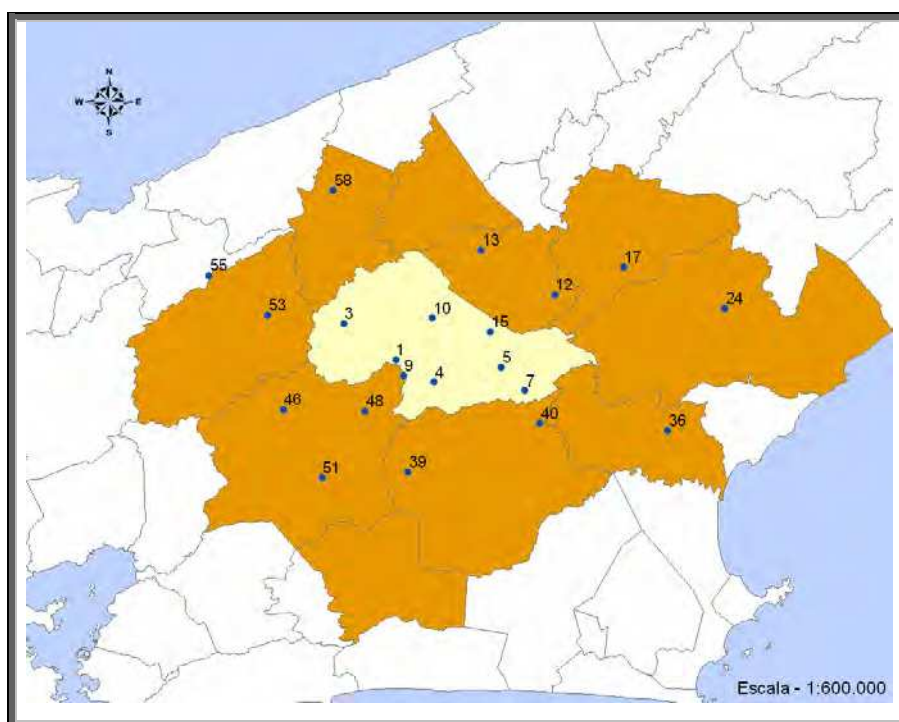
mudanças de seções em trechos canalizados, locais críticos de ocorrência de inundações, emboques de canais e galerias) e confluências dos cursos de água principais das sub-bacias.

### 7.1.3. Análise de Precipitações

A atividade preliminar dos estudos hidrológicos consistiu na coleta de dados básicos, principalmente aqueles relacionados à cartografia e estudos anteriores, destacando-se como referência de maior importância os cadastros e diagnósticos do Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo.

Através de dados disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2006), identificaram-se 58 postos pluviométricos situados na região de Nova Friburgo e municípios adjacentes.

Conforme verificado, há séries incompletas e antigas. Realizou-se então uma seleção dos postos pluviométricos que melhor atendessem às necessidades deste trabalho de acordo com os seguintes critérios: proximidade geográfica, tamanho da série histórica (pelo menos 25 anos, incluindo falhas) e defasagem com relação ao período atual. Desta forma, estudaram-se os postos relacionados na Figura 7.1 e Tabela 7.1 apresentadas na seqüência.



**Figura 7.1** – Postos pluviométricos na região de Nova Friburgo e adjacências.

**Tabela 7.1 – Postos pluviométricos selecionados.**

<i>ÍNDICE</i>	<i>NOME</i>	<i>MUNICÍPIO</i>	<i>CÓDIGO ANA</i>
01	Cascatinha do Cônego	Nova Friburgo	2242025
03	Fazenda Mendes	Nova Friburgo	2242022
04	Fazenda São João	Nova Friburgo	2242005
05	Galdinópolis	Nova Friburgo	2242004
07	Piller	Nova Friburgo	2242003
09	Teodoro de Oliveira	Nova Friburgo	2242024
10	Vargem Grande	Nova Friburgo	2242020
12	Barra Alegre	Bom Jardim	2242018
13	Bom Jardim	Bom Jardim	2242021
15	Vargem Alta	Bom Jardim	2242019
17	Maria Mendonça	Trajano de Morais	2242002
24	Fazenda Oratório	Macaé	2241004
36	Rio Dourado	Casimiro de Abreu	2242006
39	Gaviões	Silva Jardim	2242008
40	Quarteis	Silva Jardim	2242007
46	Fazenda do Carmo	Cachoeiras de Macacu	2242013
48	Fazenda São Joaquim	Cachoeiras de Macacu	2242016
51	Japuiba	Cachoeiras de Macacu	2242014
53	Bom Sucesso	Teresópolis	2242026
55	Fazenda Sobradinho	Teresópolis	2242027
58	Sumidouro	Sumidouro	2242029

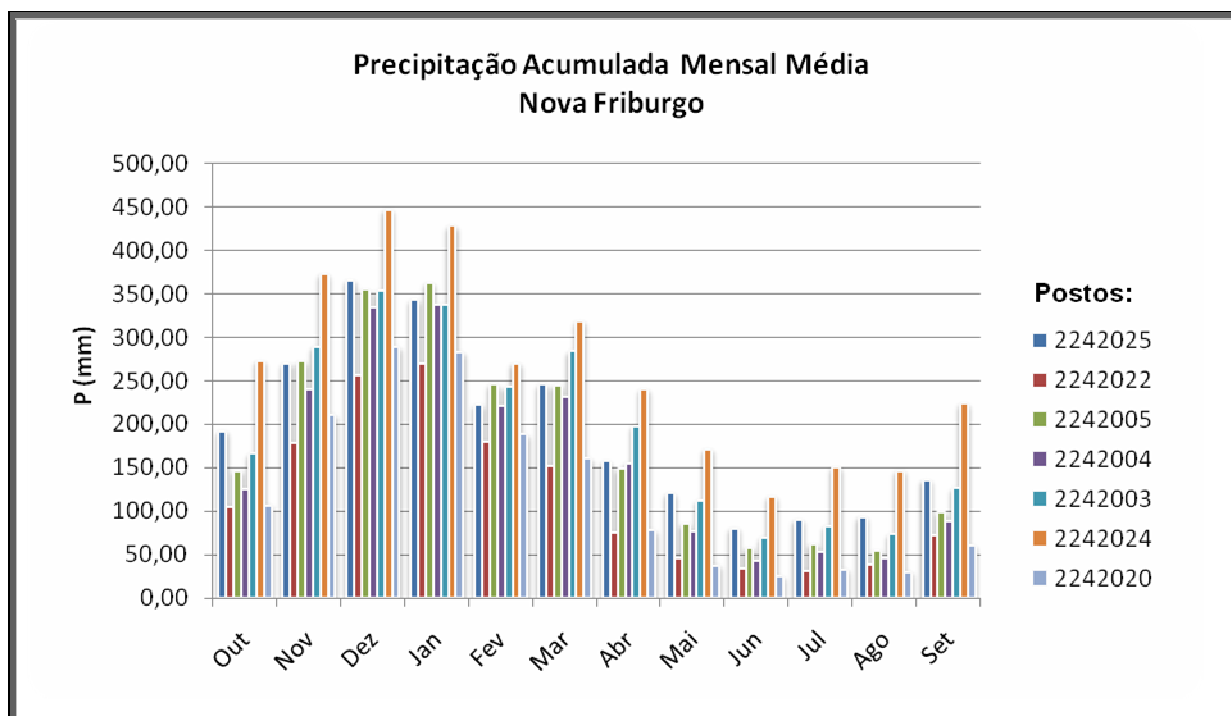
Deve-se destacar a inexistência de postos pluviométricos, que constem no HidroWeb, na bacia hidrográfica em estudo – Bacia hidrográfica do rio Cônego.

As Tabelas 7.2, 7.3 e as Figuras apresentadas na seqüência ilustram o comportamento das precipitações nos locais onde se situam os postos pluviométricos. Para tanto, analisaram-se dados de chuvas máximas e de precipitações acumuladas mensais.

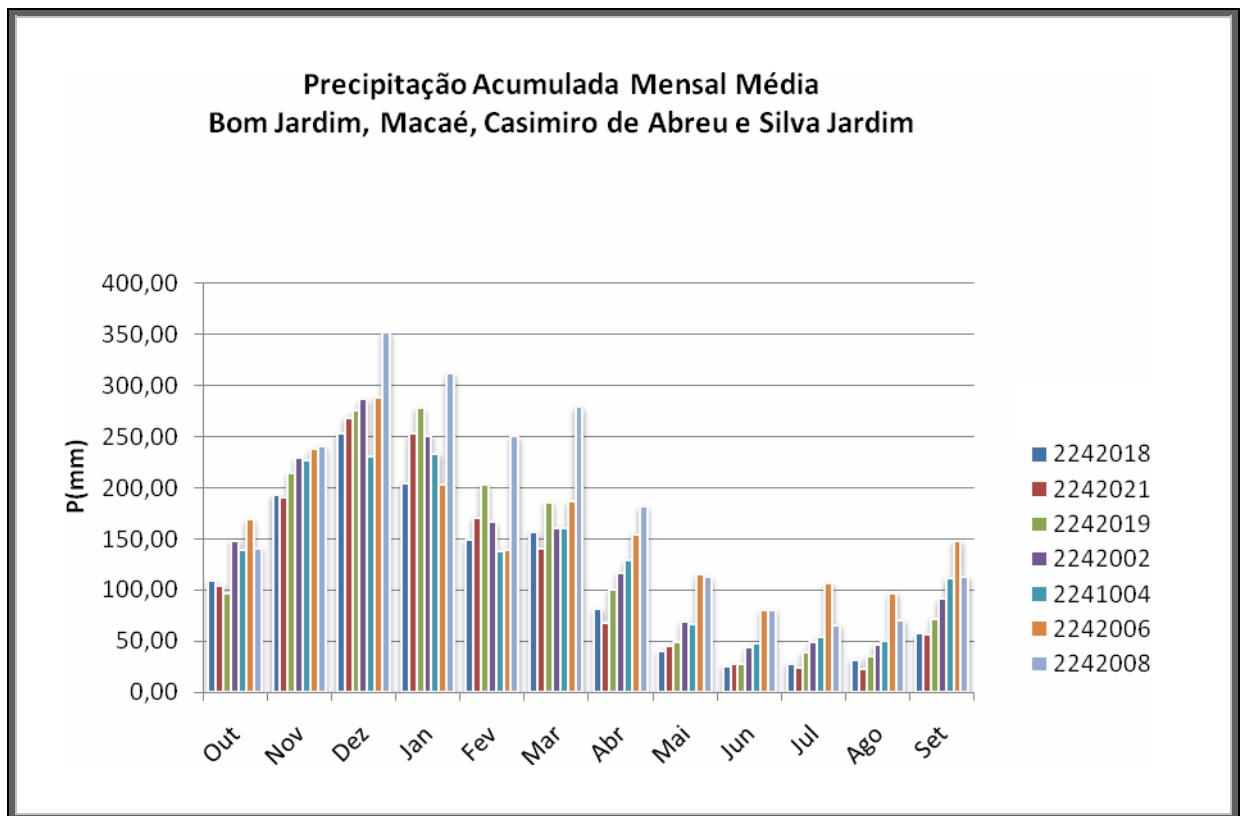
Para os postos pluviométricos selecionados no item 1.1, efetuou-se um levantamento das precipitações máximas ocorridas em cada ano hidrológico. Isto é, selecionaram-se os dados das maiores chuvas ocorridas em períodos de 12 meses contados a partir do início do mês em que se verificou o mais baixo armazenamento hídrico. Portanto considera-se para a região estudada o mês de outubro como o primeiro do ano hidrológico por se tratar do início do período chuvoso.

**Tabela 7.2** – Média das chuvas acumuladas mensais de outubro a setembro (mm).

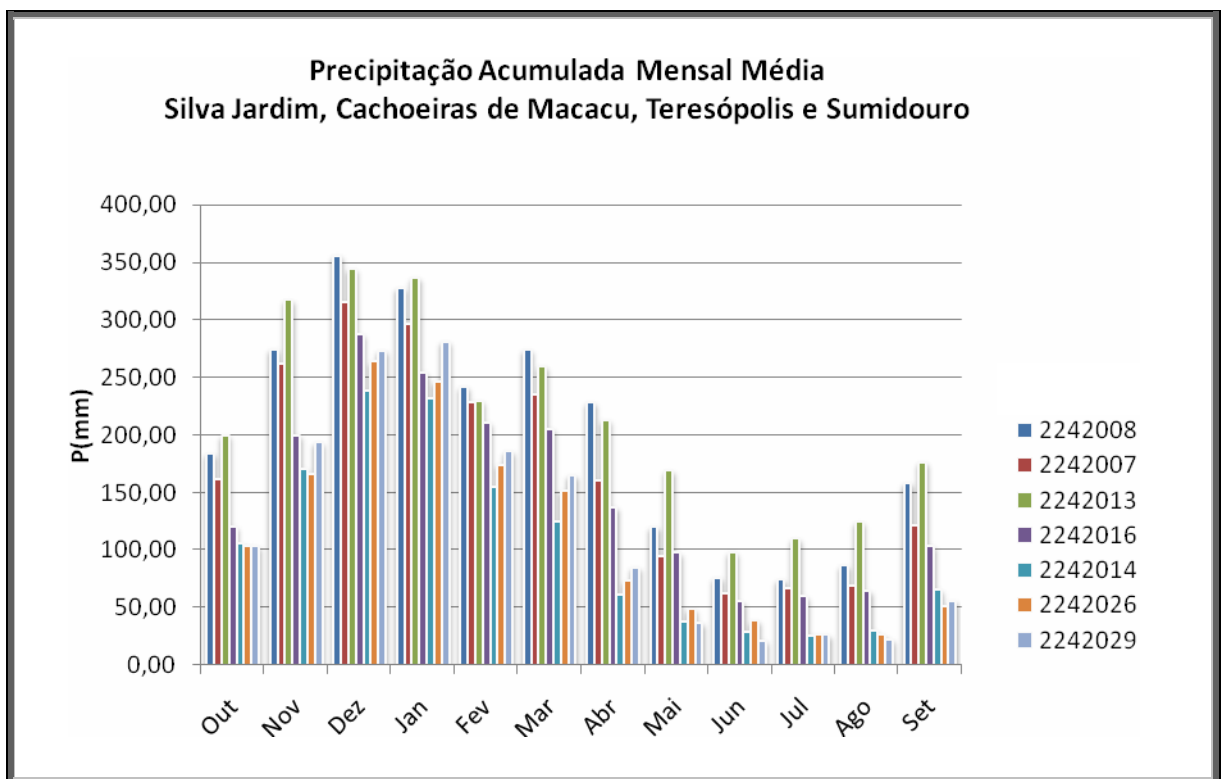
Posto/Mês	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
2242025	192.71	270.34	366.29	343.54	222.41	246.07	157.59	120.97	80.78	90.65	94.00	136.45
2242022	105.76	178.47	256.50	270.87	181.04	152.72	76.04	46.95	34.07	31.97	38.98	72.37
2242005	146.75	272.48	355.10	363.22	246.30	245.36	149.34	85.79	57.95	62.44	54.39	98.98
2242004	125.31	240.70	334.88	337.39	222.10	231.56	155.69	76.83	43.84	54.18	46.22	88.83
2242003	166.32	289.65	354.10	338.13	243.23	284.59	198.67	112.18	70.01	83.22	73.76	126.79
2242024	273.52	373.52	447.62	428.65	270.58	319.15	240.79	171.78	117.06	150.85	147.14	224.11
2242020	107.17	211.06	289.28	283.40	188.53	160.70	78.08	38.09	25.14	33.52	30.52	60.82
2242018	109.51	193.59	253.22	205.38	149.33	157.40	82.42	41.43	25.79	28.58	32.61	57.90
2242021	104.28	190.61	269.24	253.32	171.05	140.75	68.62	45.41	28.49	24.40	23.44	56.86
2242019	97.38	214.67	275.53	278.63	204.03	186.29	100.96	49.03	28.62	39.27	36.02	72.31
2242002	148.76	229.60	286.84	251.58	167.42	161.15	117.32	69.77	44.04	49.92	46.82	91.68
2241004	139.93	227.77	230.70	233.60	138.72	161.11	129.73	67.35	48.90	54.20	50.99	112.36
2242006	169.25	238.62	288.91	203.69	140.09	186.81	155.30	115.63	80.95	106.58	97.55	148.11
2242008	141.41	241.05	352.00	312.07	250.76	279.30	181.76	113.56	80.73	66.21	70.65	113.23
2242007	183.63	274.25	355.75	327.58	241.61	273.71	227.99	119.94	75.77	74.10	86.38	158.03
2242013	161.41	262.03	315.59	296.66	228.02	235.50	160.47	94.46	62.53	66.71	68.76	121.66
2242016	199.47	316.97	344.02	336.29	229.33	259.43	212.83	168.77	97.90	109.69	124.19	176.16
2242014	120.29	199.61	287.30	254.02	210.82	205.22	137.15	97.45	54.95	59.68	64.52	103.76
2242026	105.22	169.98	238.66	232.15	155.15	124.26	60.79	37.84	28.89	25.42	29.62	65.30
2242027	103.87	165.33	263.63	246.33	174.20	151.68	72.88	48.56	38.55	26.18	26.15	50.57
2242029	103.30	193.18	273.25	281.04	185.74	164.81	84.75	36.82	21.24	26.16	22.30	55.50



**Figura 7.2** – Precipitação acumulada mensal média nos postos pluviométricos na região de Nova Friburgo.



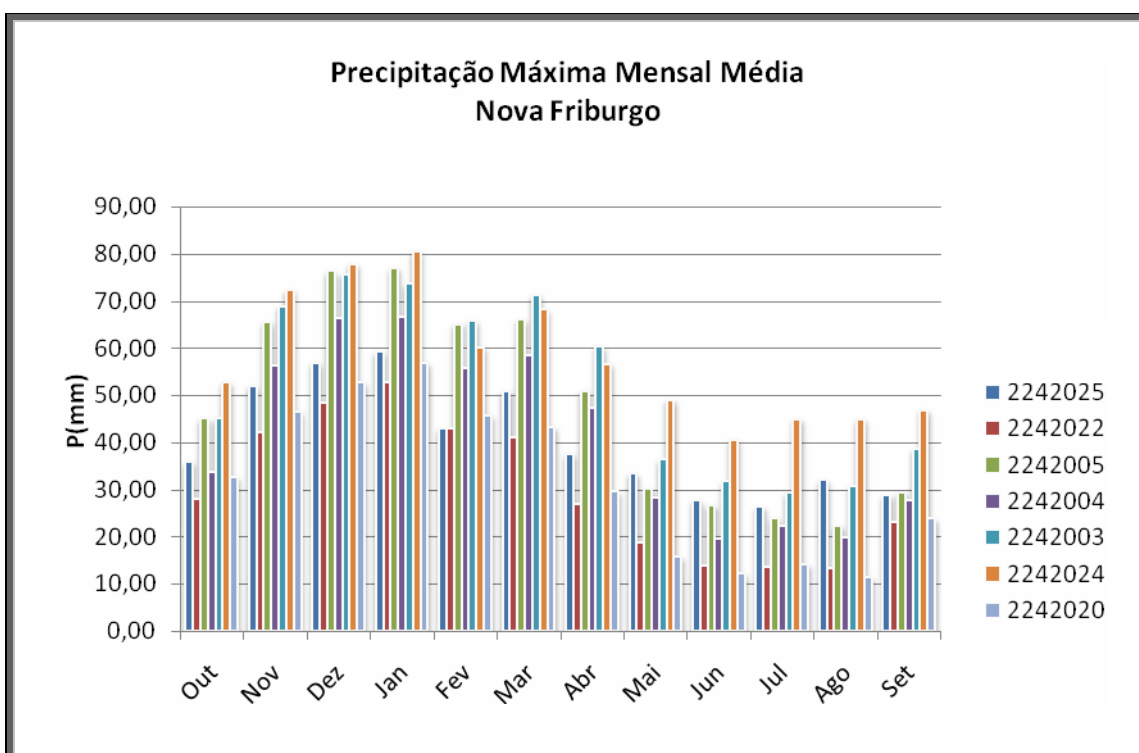
**Figura 7.3** – Precipitação acumulada mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo.



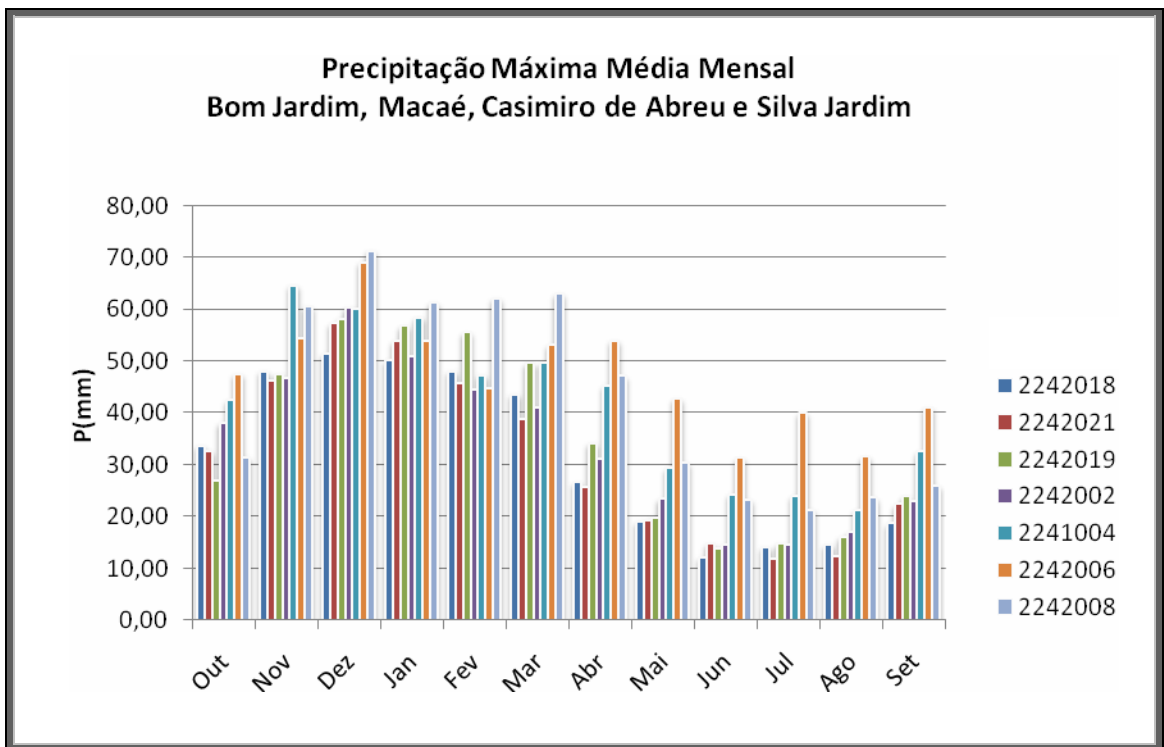
**Figura 7.4** – Precipitação acumulada mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo.

**Tabela 7.3** – Média mensal das precipitações máximas de outubro a setembro (mm).

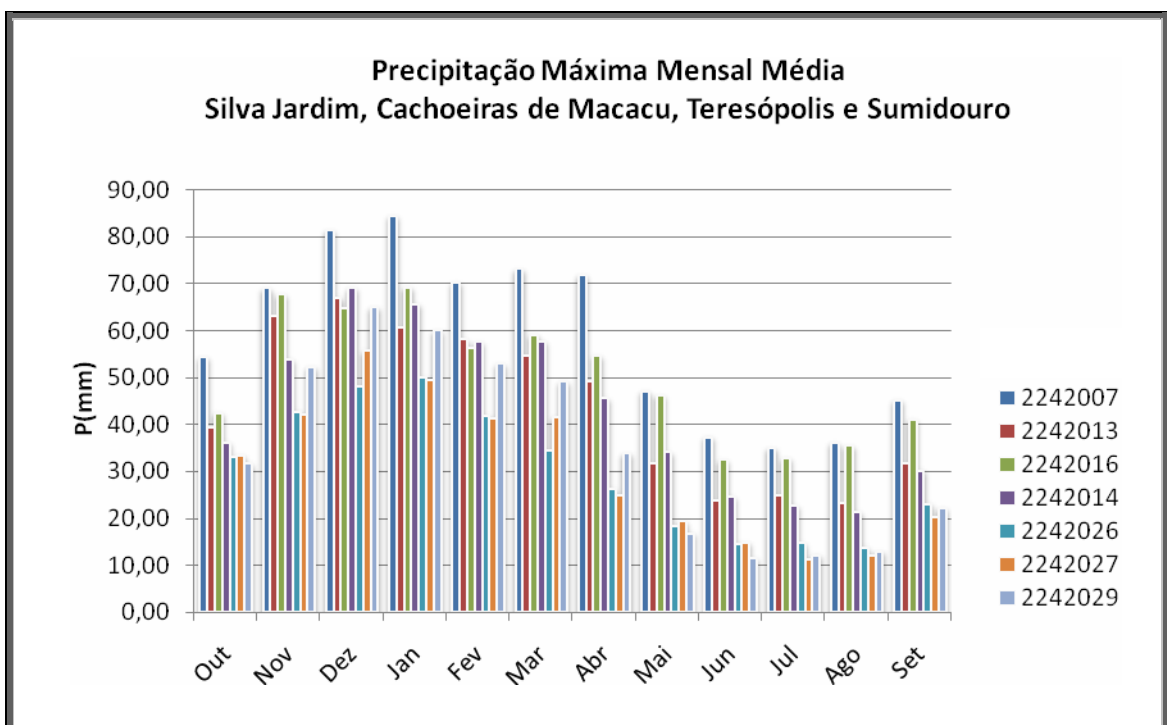
Posto/Mês	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
2242025	35.80	51.85	56.77	59.15	42.90	50.85	37.44	33.35	27.66	26.30	31.90	28.72
2242022	27.98	42.14	48.38	52.58	42.84	40.93	26.95	18.70	13.76	13.41	13.22	23.02
2242005	44.99	65.41	76.29	76.98	65.05	65.94	50.90	30.15	26.61	23.85	22.18	29.38
2242004	33.64	56.24	66.37	66.59	55.77	58.54	47.38	28.23	19.64	22.11	19.77	27.68
2242003	45.08	68.86	75.71	73.55	65.74	71.31	60.23	36.26	31.65	29.25	30.70	38.56
2242024	52.72	72.20	77.79	80.47	60.19	68.12	56.63	48.97	40.58	44.89	44.87	46.81
2242020	32.65	46.44	52.64	56.83	45.70	43.24	29.46	15.71	12.12	14.13	11.40	23.76
2242018	33.57	47.93	51.36	50.01	47.95	43.50	26.54	18.93	12.05	14.05	14.46	18.54
2242021	32.53	46.15	57.12	53.76	45.64	38.57	25.51	19.17	14.68	11.62	12.22	22.24
2242019	26.83	47.39	58.07	56.66	55.40	49.51	34.07	19.72	13.82	14.72	16.04	23.78
2242002	37.98	46.50	60.19	50.87	44.45	40.92	31.00	23.32	14.33	14.49	16.84	22.78
2241004	42.35	64.48	60.07	58.30	47.19	49.53	45.19	29.23	24.21	23.91	21.17	32.43
2242006	47.41	54.23	68.91	53.75	44.74	53.00	53.82	42.62	31.19	39.94	31.44	40.90
2242008	31.34	60.36	71.14	61.17	61.95	62.82	46.98	30.21	23.16	21.22	23.52	25.81
2242007	54.51	69.14	81.56	84.61	70.41	73.24	72.04	47.21	37.43	35.10	36.23	45.29
2242013	39.47	63.15	67.17	60.69	58.30	54.73	49.31	31.93	23.84	25.13	23.27	31.86
2242016	42.59	67.88	64.99	69.36	56.31	59.24	54.78	46.31	32.53	32.96	35.53	41.14
2242014	36.31	54.01	69.24	65.83	57.71	57.90	45.65	34.20	24.71	22.79	21.47	30.32
2242026	33.19	42.89	48.29	50.11	41.95	34.60	26.34	18.35	14.71	14.84	13.90	23.20
2242027	33.53	42.23	55.77	49.71	41.38	41.66	25.07	19.43	14.93	11.50	12.15	20.34
2242029	31.77	52.40	65.12	60.17	53.01	49.23	33.99	16.96	11.56	12.28	13.04	22.28



**Figura 7.5** – Precipitação máxima mensal média nos postos pluviométricos na região de Nova Friburgo.



**Figura 7.6** – Precipitação máxima mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo.



**Figura 7.7** – Precipitação máxima mensal média nos postos pluviométricos nas regiões em torno de Nova Friburgo.

Nota-se através dos dados apresentados que o período chuvoso em Nova Friburgo se concentra entre os meses de novembro e março, com maiores intensidades normalmente verificadas em dezembro e janeiro. Nos demais meses, mesmo

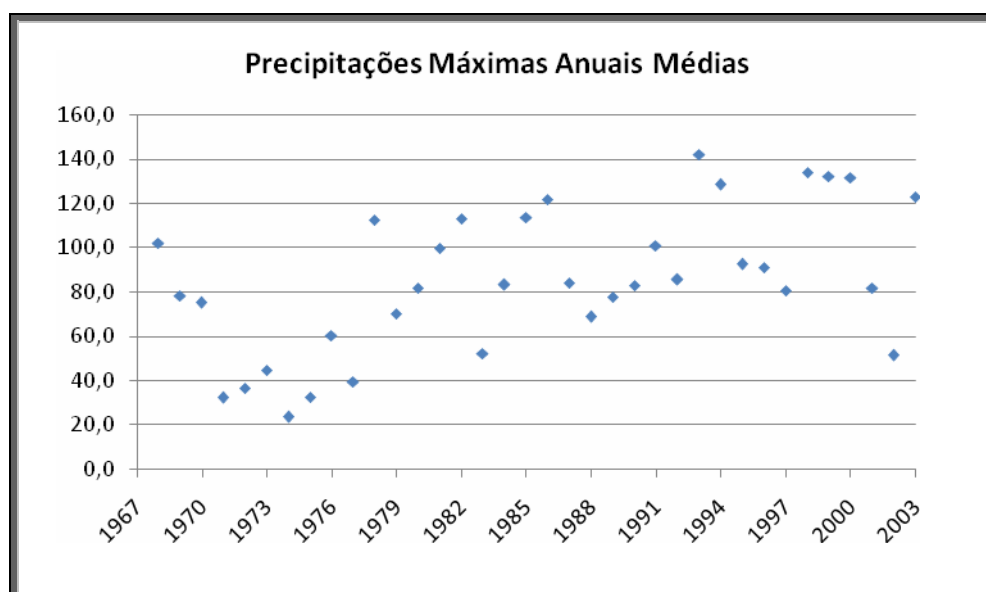
ocorrendo uma redução significativa do volume de água precipitada, não se observa um período de estiagem.

Obteve-se uma correlação preliminar e aproximada entre volumes precipitados e períodos de retorno por meio da análise das chuvas máximas (Figura 7.8) registradas em cada ano hidrológico.

A tabela 7.4 a seguir apresenta os dados calculados para o posto pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025) localizado na bacia de estudo.

**Tabela 7.4** – Período de retorno para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025).

<b>P (mm)</b>	<b>T (anos)</b>
141.80	38.00
134.00	19.00
132.00	12.67
131.50	9.50
128.40	7.60
122.90	6.33
121.50	5.43
113.40	4.75
112.80	4.22
112.20	3.80
102.00	3.45
100.80	3.17
99.60	2.92
96.00	2.71
92.40	2.53
90.80	2.38
85.40	2.24
84.00	2.11
83.00	2.00
82.60	1.90
81.60	1.81
81.50	1.73
80.40	1.65
78.00	1.58
77.40	1.52
75.00	1.46
70.20	1.41
69.80	1.36
68.50	1.31
60.20	1.27
52.00	1.23
51.20	1.19
44.60	1.15
39.40	1.12
36.40	1.09
32.20	1.06
32.00	1.03
23.40	1.00



**Figura 7.8** – Precipitações máximas anuais médias para o posto Cascatinha do Cônego (2242025), rio Cônego.

Após a coleta e compilação de todos os dados disponíveis, foram procedidas diversas visitas de inspeção ao campo, onde foram observados os seguintes elementos principais:

- tipologia de uso e ocupação do solo das bacias;
- identificação das seções de controle hidráulico, comparando a inspeção visual com os dados cadastrais obtidos no Plano de Águas Pluviais;
- identificação das áreas de risco sujeitas a inundações, comparando as impressões de campo com as informações repassadas pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo (PMNF);
- identificação dos trechos de fundo de vale em condições naturais, canalizados e em processo de ocupação;

Nos subitens seguintes são apresentados com maiores detalhes os critérios adotados nos principais elementos dos estudos hidrológicos.

#### 7.1.4. Características Físicas das Sub-Bacias

Para a obtenção dos parâmetros necessários à caracterização física das bacias, foi utilizada a base cartográfica em meio digital, disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo (PMNF), que se refere às imagens Quickbird de 2005.

De posse da base cartográfica, foram traçados os limites da bacia do rio Cônego e respectivas sub-bacias. A nomenclatura utilizada para a identificação das sub-bacias seguiu o critério estabelecido no Plano de Águas Pluviais.

Para cada sub-bacia foram calculados os parâmetros área de drenagem, comprimento axial e declividade média equivalente, bem como identificadas as condições presentes de uso e ocupação do solo, segundo as especificações da legislação específica do município de Nova Friburgo.

O parâmetro declividade média equivalente ( $S_e$ ) foi calculado pela Equação 7.1:

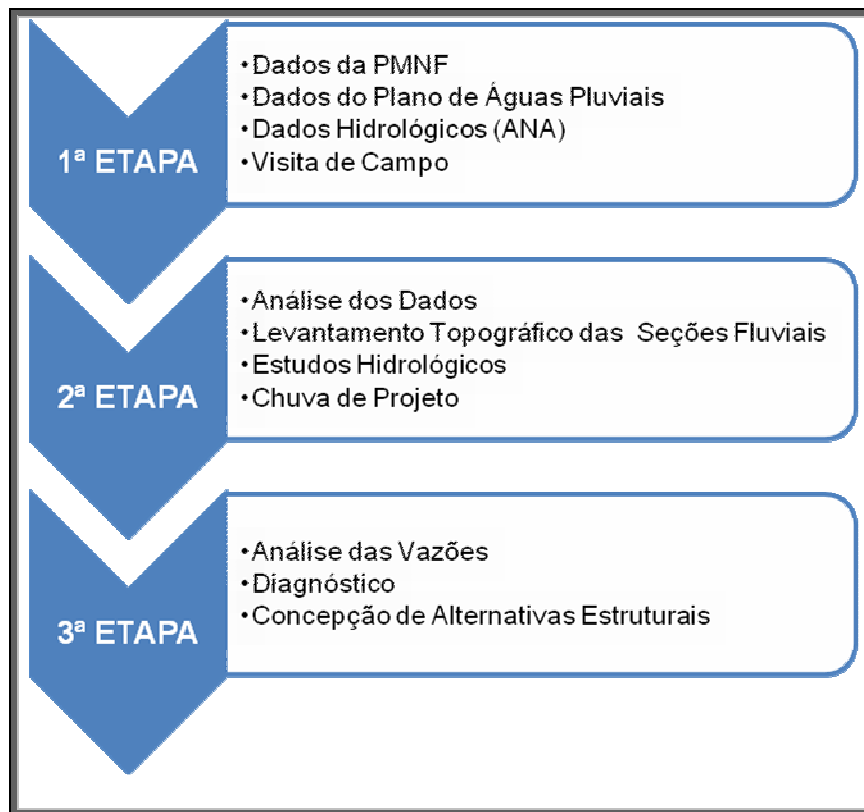
$$S_e = \left( \frac{\sum_i L_i}{\sum_i \frac{L_i}{S_i}} \right)^2 \quad \text{Equação 7.1}$$

Sendo  $S_e$  a declividade média equivalente (m/m),  $L_i$  o comprimento do talvegue entre

curvas de níveis consecutivas (m) e  $S_i$  a declividade total (m/m) de cada comprimento

elementar  $L_i$ .

A utilização de informações cartográficas e topográficas representou insumos em todas as etapas de desenvolvimento dos estudos, conforme indicado de forma esquemática na Figura 7.9.



**Figura 7.9** – Fluxograma de execução dos estudos hidrológicos.

#### 7.1.5. Modelagem de Chuvas Intensas

No estudo climático de uma região, uma das variáveis meteorológicas mais importantes é a precipitação, devido às conseqüências que o seu excesso pode ocasionar, principalmente, em eventos de chuva intensa. A chuva intensa é aquela que apresenta grande lâmina precipitada, durante pequeno intervalo de tempo, sendo que, freqüentemente, essas chuvas causam consideráveis prejuízos materiais e humanos. A principal forma para caracterização de chuvas intensas é através da equação de intensidade, duração e freqüência da precipitação pluvial (SILVA et al., 2003).

A definição das vazões afluentes aos principais canais fluviais é feita a partir de coeficientes hidrológicos e da determinação dos volumes de precipitação para o período de retorno desejado. Essa modelagem de chuvas pode ser efetuada através de equações IDF (Intensidade, Duração e Freqüência – I-D-F).

SCHWAB et al. (1966) e VILLELA & MATTOS (1975) reportam que a equação mais utilizada para expressar a relação intensidade-duração-freqüência da precipitação pluvial pode ser expressa da seguinte forma:

$$i = \frac{k.T^a}{(t+b)^c}$$

Equação 7.2

Em que:

- ✓  $i$  = intensidade máxima média da chuva, mm h-1;
  
- ✓  $T$  = período de retorno, anos;
  
- ✓  $t$  = tempo de duração da chuva, min; e
  
- ✓  $k, a, b, c$  = coeficientes de ajustamento específicos para cada localidade.

O período de retorno (ou tempo de recorrência) de um evento é o tempo médio (em anos) em que esse evento é superado ou igualado pelo menos uma vez. É definido por:

$$T = \frac{1}{F}$$

Equação 7.3

Na qual,

- ✓  $T$  = período de retorno, em anos;
  
- ✓  $F$  = frequência de um evento hidrológico.

Se o período de retorno for bem inferior ao número de anos de observação, a frequência poderá dar uma boa idéia do valor real da probabilidade. Entretanto, para grandes períodos de retorno, as observações deverão ser ajustadas a uma distribuição de probabilidades, de modo que o cálculo da probabilidade possa ser efetuado de modo mais correto.

É importante salientar o caráter não-cíclico dos eventos randômicos, ou seja, uma enchente com período de retorno de 100 anos (que ocorre, em média, a cada 100 anos) pode ocorrer no próximo ano, ou pode não ocorrer nos próximos 200 anos, ou ainda, pode ser superada diversas vezes nos próximos 100 anos.

#### 7.1.5.1. Chuva de Projeto

Em Engenharia o conhecimento das características das precipitações apresenta grande interesse de ordem técnica por sua freqüente aplicação nos projetos hidráulicos. Nos projetos dos vertedores de barragens, no dimensionamento de canais, na definição das obras de desvio dos cursos d'água, na determinação das dimensões de galerias de águas pluviais, no cálculo de bueiros, deve-se conhecer a magnitude das enchentes que poderiam ocorrer com uma determinada freqüência. Nos projetos de irrigação e abastecimento d'água, deve-se conhecer a grandeza das estiagens que adviriam e com que freqüência ocorreriam. Portanto, há a necessidade da determinação das precipitações extremas esperadas (PINTO et al., 1976).

Segundo o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, a partir da comparação com os dados de séries históricas, a expressão de DAVIS & NAGHETTINI (2000) foi a que melhor se ajustou às características locais, em comparação à expressão desenvolvida por OTTO PFAFSTETTER (1957).

Em Estudos de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro (DAVIS & NAGHETTINI, 2000), encontra-se o desenvolvimento do modelo para a determinação de precipitações para a região do município de Nova Friburgo.

$$\hat{i}_{T,d,j} = 39,445 \cdot d^{-0,339} \cdot P_j^{0,234} \cdot \mu_{T,d} \quad \text{Equação 7.4}$$

Equação 7.4: equação IDF para o posto Nova Friburgo para  $T \leq 100$  e  $5 \text{ min} \leq d < 1 \text{ h}$ .

$$\hat{i}_{T,d,j} = 16,204 \cdot d^{-0,761} \cdot P_j^{0,564} \cdot \mu_{T,d} \quad \text{Equação 7.5}$$

Equação 7.5: equação IDF para o posto Nova Friburgo para  $T \leq 100$  e  $1 \text{ h} \leq d < 24 \text{ h}$ .

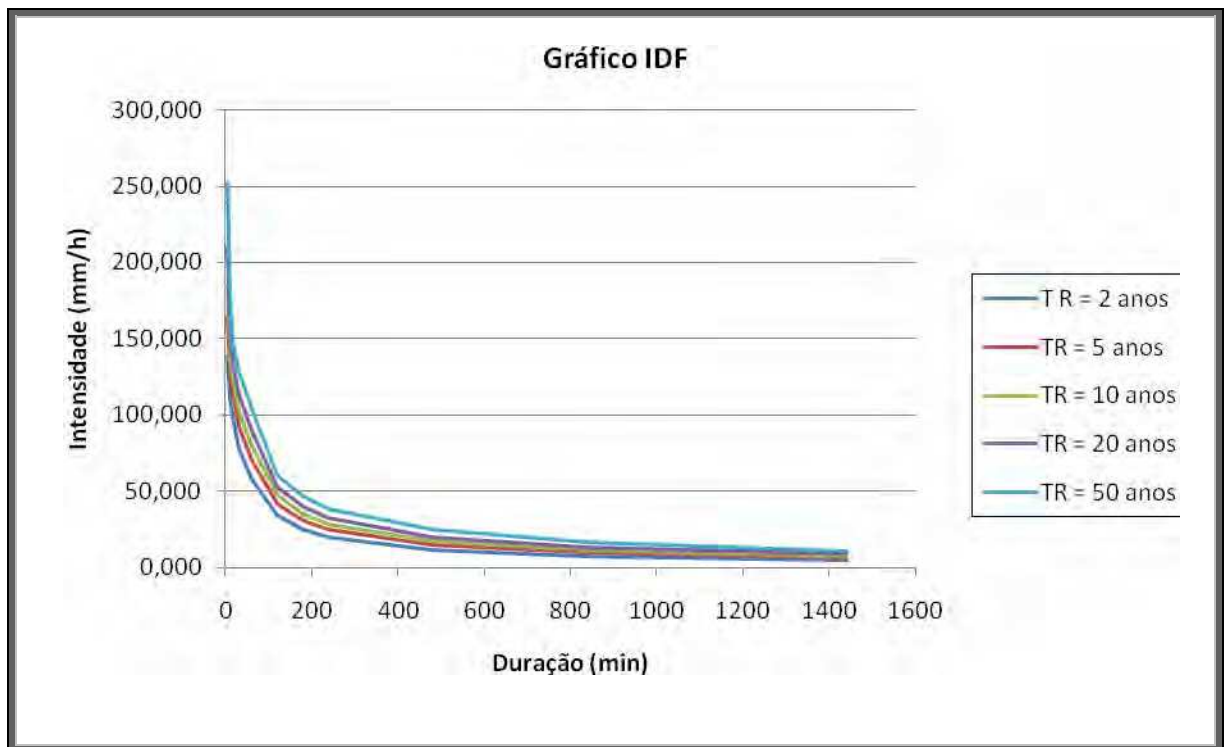
Os índices T, d e j correspondem respectivamente a período de retorno, duração da

precipitação e local do cálculo. O parâmetro  $\hat{i}$  representa a estimativa de intensidade de chuva (mm/h). Para a incógnita d deve-se utilizar o valor da duração da precipitação em minutos.  $P_j$  é a precipitação média anual no local (mm),  $\mu_{T,d}$  corresponde a um quantil adimensional regional, disponível na Tabela 7.5 de acordo com o período para o posto Nova Friburgo.

**Tabela 7.5** – Quantil adimensional ( $\mu$ ) para o posto Nova Friburgo (DAVIS & NAGHETTINI, 2000).

<b>DURAÇÃO</b>	<b>PERÍODO DE RETORNO – TR (anos)</b>						
	2	5	10	20	50	75	100
5 min	0,9948	1,1711	1,3211	1,5013	1,8049	1,9697	2,1002
10 min	1,0041	1,1526	1,2692	1,4011	1,6087	1,7155	1,7979
15 min	1,0274	1,1906	1,2962	1,3998	1,5388	1,6020	1,6475
30 min	1,0214	1,2121	1,3457	1,4843	1,6827	1,7775	1,8477
45 min	1,0205	1,2397	1,3972	1,5637	1,8071	1,9254	2,0137
1 hora	1,0197	1,2489	1,4151	1,5923	1,8536	1,9813	2,0771
2 horas	1,0328	1,2693	1,4294	1,5915	1,8172	1,9226	1,9998
3 horas	1,0211	1,2658	1,4438	1,6337	1,9142	2,0515	2,1545
4 horas	1,0181	1,2734	1,4626	1,6675	1,9750	2,1275	2,2426
8 horas	1,0063	1,2807	1,4979	1,7450	2,1366	2,3393	2,4959
14 horas	1,0061	1,2880	1,5112	1,7650	2,1673	2,3756	2,5365
24 horas	1,0152	1,2862	1,4917	1,7178	2,0636	2,2375	2,3699

A Figura 7.10 apresenta os resultados de intensidade da chuva para diferentes tempos durações e períodos de retorno para a bacia do rio Cônego.



**Figura 7.10** – Dados de intensidade de precipitação calculados a partir da equação IDF de DAVIS & NAGHETTINI, 2000.

Nos projetos de obras hidráulicas, as dimensões são determinadas em função de considerações de ordem econômica, portanto corre-se o risco de que a estrutura venha a falhar durante a sua vida útil. É necessário, então, conhecer esse risco. Para isso analisam-se estatisticamente as observações realizadas nos postos pluviométricos, verificando-se com que freqüência elas assumiram cada magnitude. Em seguida, podem-se avaliar as probabilidades teóricas.

Dessa forma, as atuais tendências hidrológicas convergem para a necessidade da elaboração de uma análise estatística das precipitações, na medida em que atualmente, a utilização de equações IDF restringe-se, principalmente, a projetos de microdrenagem, enquanto para os de macrodrenagem é feita uma análise mais aprimorada e detalhada da precipitação, inclusive com a análise dos efeitos causados por eventos críticos ocorridos (In: Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, Relatório Final, PMNF/FCTH, 2007).

#### 7.1.5.2. Distribuição da Chuva

A maioria dos problemas hidrológicos requer a determinação da altura de chuva ocorrida em uma bacia hidrográfica. Devido a precipitação, pela própria natureza do fenômeno, não ocorrer de modo uniforme sobre toda a bacia, é necessário calcular a altura média precipitada.

Para a definição da precipitação média que cai sobre a bacia do rio Cônego foi levada em consideração a chuva máxima anual e analisadas as séries históricas do posto pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025) por tratar-se do mais significativo e por estar localizado dentro da bacia estudada.

A precipitação média nada mais foi do que a média aritmética dos valores de precipitação medidos na área da bacia, o que implica na admissão de que o posto 2242025 tem a mesma influência em toda a bacia em estudo.

Uma característica comum a toda as técnicas de regionalização é a utilização do conceito de região hidrológicamente homogênea. Devido à variabilidade de clima, de topografia, de cobertura vegetal e de tipo de solo, regiões hidrológicamente homogêneas não devem se estender por grandes áreas. Por outro lado a delimitação de áreas excessivamente reduzidas resulta numa carência de dados que prejudica a confiabilidade das estimativas.

As regiões que subdividem uma área maior são escolhidas, teoricamente, com base na homogeneidade das características hidrológicas. Na prática, a homogeneidade na regionalização é traduzida por um alto coeficiente de determinação, obtido da aplicação da regressão múltipla das vazões com as características físicas e climáticas das sub-bacias. Entretanto, a qualidade desse ajuste, mesmo procurando-se aplicar maior rigor no controle da regressão como coeficiente de determinação ajustado, erro padrão fatorial e teste  $F^{7.2}$ , o resultado pode ocultar ajustes inadequados ou tendenciosos devido ao número reduzido de graus de liberdade da regressão, principalmente quando se tem um número reduzido de estações (sub-bacias).

Para se evitar tais resultados deve-se procurar definir sub-regiões nas quais as características das funções apresentem maior homogeneidade, representando melhor os eventos individuais.

Dessa forma, neste estudo agruparam-se as sub-bacias de acordo com as características que apresentassem maior homogeneidade, por exemplo: regiões que apresentem índices diferenciados de vazões e precipitações, presença de serras, pontos de maiores altitudes, declividade dos cursos d'água e das sub-bacias, densidade de drenagem, tipo de solo, aquífero etc.

#### 7.1.5.3. Estatística de Extremos

---

<sup>7.2</sup> ABRAMOWITZ & STEGUN (1972) apresentaram um método para o cálculo da função de distribuição F teórica. Tendo em vista que existe um número considerável de variáveis independentes, que podem ser utilizadas no modelo e correlacionadas com a variável dependente, deve-se avaliar a validade das variáveis no modelo. Para isso, utiliza-se o teste F parcial. Ou seja, o teste avalia a significância de determinada variável inserida no modelo.

Os dados hidrológicos apresentam variações sazonais que podem ser irregulares e ainda a ocorrência de valores extremos em diferentes seqüências caracterizam as variáveis hidrológicas como aleatórias. Assim, variáveis hidrológicas estarão sempre associadas a uma probabilidade de ocorrência e técnicas estatísticas são aplicadas para avaliar a ocorrência de fenômenos hidrológicos com determinada magnitude.

Não se trata, portanto, de previsão de valores, e sim estimativa de risco ou ainda de probabilidade de ocorrência.

Várias distribuições tem sido propostas para representar os eventos máximos. Neste trabalho foram selecionadas para representar os eventos máximos as distribuições de Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson tipo III e log-Pearson tipo III, por terem sido as mais empregadas (KITE, 1978; MAIONE, 1977; LETTENMAIR & BURGESS, 1982; CRUFF & RANTZ, 1965).

Ao se aplicar uma distribuição de probabilidade como modelo para descrever as vazões de um curso d'água deve-se testar a adequação deste procedimento, ou seja, verificar a boa ou má aderência dos dados da amostra ao modelo. Essa verificação é realizada por meio de testes de aderência como o teste do Qui-Quadrado, método de Kolmogorov-Smirnov e graficamente.

O teste de Qui-Quadrado é específico para dados agrupados, em que as classes que possuem valores menores do que três ou cinco, devem ser agrupados em outras classes, sendo um fator limitante para uso em dados com poucas classes. Esse teste é baseado na soma dos erros absolutos das freqüências que é comparado com um valor tabelado de acordo com o nível de significância desejado e os graus de liberdade da distribuição.

O teste de Kolmogorov-Smirnov pode ser usado para dados agrupados tanto quanto para dados individuais. Nos dados agrupados não faz restrição quanto ao número nem valor das classes. Baseia-se no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e estimada que é comparada com um valor tabelado de acordo com o número de observações da série sob teste.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é um dos mais utilizados para análise de aderências de distribuições em estudos climáticos, contudo o seu nível de aprovação de uma distribuição sob teste é muito grande.

No programa RH 3.0 é utilizado o método de Kolmogorov-Smirnov (Teste K-S) para testar os ajustes dos modelos probabilísticos. O programa permite também a visualização gráfica das condições de ajuste da curva da distribuição aos dados observados.

Uma distribuição de probabilidade é definida a partir da frequência relativa de uma variável acumulada sobre essa variável. Os valores do chamado “fator de frequência” (K) conforme KITE (1978) para as distribuições estudadas são apresentados a seguir:

✓ Distribuição Normal

$K = t$

Sendo,

$$t = a - \frac{c_0 + c_1 a + c_2 a^2}{1 + d_1 a + d_2 a^2 + d_3 a^3} \quad \text{Equação 7.5}$$

$$a = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{p^2}\right)} \quad \text{Equação 7.6}$$

e,

$$c_0 = 2,515517$$

$$c_1 = 0,802853$$

$$c_2 = 0,010328$$

$$d_1 = 1,432788$$

$$d_2 = 0,189269$$

$$d_3 = 0,001308$$

Em que,

t - desvio normal padronizado,

p - probabilidade do evento ser menor ou igual x.

✓ Distribuição Log-Normal II

$$K = \frac{e^{\left(\sigma_y^2 t - \frac{\sigma_y^2}{2}\right)} - 1}{\left(e^{\frac{\sigma_y^2}{2}} - 1\right)^2} \quad \text{Equação 7.7}$$

Em que,

$$\sigma_y = \sqrt{\ln(z^2 + 1)} \quad \text{Equação 7.8}$$

$$\mu_y = \ln \mu - \frac{\sigma_y^2}{2} \quad \text{Equação 7.9}$$

Sendo,

$$z = \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{Equação 7.10}$$

e,

$\mu$  - média da amostragem do evento  $x$ ;

$\sigma$  - desvio padrão da amostragem do evento  $x$ .

✓ Distribuição Log-normal III

$$K = \frac{e^{\left( \left( \ln(1 + z_2^2) \right)^{\frac{1}{2}} t - \frac{\ln(1 + z_2^2)}{2} \right) - 1}}{z_2} \quad \text{Equação 7.11}$$

Em que,

$$z_2 = \frac{1 - \omega^{\frac{2}{3}}}{\omega^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Equação 7.12}$$

$$\omega = \frac{-\gamma_1 + \left( \gamma_1^2 + 4 \right)^{\frac{1}{2}}}{2} \quad \text{Equação 7.13}$$

$$\gamma_1 = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \quad \text{Equação 7.14}$$

Sendo,

$\gamma_1$  - coeficiente de assimetria;

✓ Distribuição Gumbel

$$K = - \left\{ 0,45 + 0,7797 \ln \left( - \ln \left[ 1 - \frac{1}{T} \right] \right) \right\} \quad \text{Equação 7.15}$$

Em que,

T - tempo de retorno, anos.

✓ Distribuição Pearson III

$$K = t + \left(t^2 - 1\right) \frac{\gamma_1}{6} + \frac{1}{3} \left(t^3 - 6t\right) \left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^2 - \left(t^2 - 1\right) \left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^3 + t \left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^5 \quad \text{Equação 7.16}$$

✓ Distribuição Log-Pearson III

Aplica-se a distribuição Person III aos logaritmos dos eventos amostrados.

✓ Distribuição Weibull

$$K = A_\alpha + B_\alpha \left( \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right) \quad \text{Equação 7.17}$$

Sendo,

$$\alpha = \frac{1}{a_1 + a_2 \gamma_1 + a_3 \gamma_1^2 + a_4 \gamma_1^3 + a_5 \gamma_1^4} \quad \text{Equação 7.18}$$

Em que,

$$a_1 = 0,2777757913$$

$$a_2 = 0,3132617714$$

$$a_3 = 0,0575670910$$

$$a_4 = -0,0013038566$$

$$a_5 = -0,0081523408$$

e,

$$A_\alpha = \left( 1 - \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right) B_\alpha \quad \text{Equação 7.19}$$

$$B_\alpha = \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{\alpha} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 7.20}$$

Em que,

$$\Gamma(x) = (x - 1)! \quad \text{Equação 7.21}$$

As Tabelas 7.6 e 7.7 mostram os resultados obtidos para cada distribuição probabilística.

**Tabela 7.6** – Aplicação dos modelos probabilísticos para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025).

<b>MODELO PROBABILÍSTICO</b>	<b>PERÍODOS DE RETORNO – TR (anos)</b>					
	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
Normal	85,165	126,253	137,905	151,016	159,755	177,441
Log-Normal II	79,705	127,091	145,070	168,357	185,920	227,273
Log_Normal III	84,429	126,684	139,127	153,377	163,025	182,925
Gumbel	80,211	133,469	153,819	180,160	199,898	245,512
Pearson III	86,109	125,595	136,244	147,943	155,576	170,625
Log-Pearson III	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Weibull	86,195	125,951	136,273	147,416	154,580	168,483

**Tabela 7.7** – Aderências dos modelos probabilísticos para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025).

<b>MODELO PROBABILÍSTICO</b>	<b>TESTE (%K-S)</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (C. V.)</b>
Normal	20,000	5,784
Log-Normal II	20,000	11,411
Log_Normal III	20,000	6,228
Gumbel	20,000	12,722
Pearson III	20,000	6,005
Log-Pearson III	1,000	111,277
Weibull	20,000	5,302

A primeira tabela apresenta valores da precipitação para tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, segundo as funções de distribuição Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, Gumbel, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull. A segunda tabela apresenta informações sobre a aderência das funções à distribuição das precipitações. As informações apresentadas são: significância pelo teste Kolmogorov-Smirnov (% K-S) e o coeficiente de variação entre a função de distribuição e os dados (C. V.).

Definindo-se o tempo de retorno, para a escolha do melhor modelo probabilístico, buscou-se a função de distribuição que fosse significativa pelo método de Komogorov-Sminorv (maior valor de %K-S) e que tivesse o menor coeficiente de variação (C. V.).

A partir da série histórica de chuvas máximas mensais pode-se estimar também os parâmetros estatísticos como: média, máximo, mínimo, amplitude, mediana, moda, variância e o desvio-padrão da série, como apresentado abaixo (Tabela 7.8).

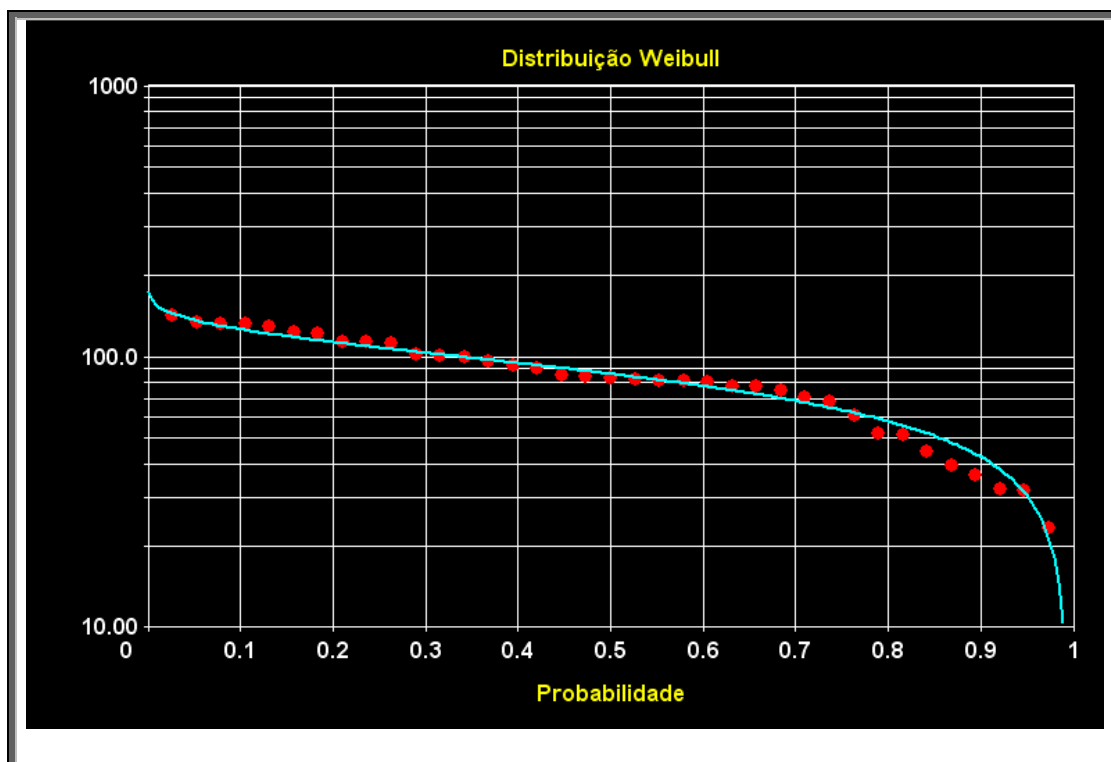
**Tabela 7.8** – Estimativa de parâmetros estatísticos para o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (2242025).

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS</b>	<b>VALORES</b>
Média	84,76
Máximo	141.80
Mínimo	23.40
Amplitude	118.40
Mediana	82.80
Variância	1006.09
Desvio Padrão	31.72

Os valores da precipitação de projeto serão então, determinados a partir de uma das distribuições analisadas. Entretanto, não existe até o momento uma metodologia que indique a melhor distribuição. Sua escolha, se conservadora, pode resultar em alto custo de implantação de projetos futuros, por outro lado, se for uma escolha arrojada pode levar a adoção de riscos para tais projetos. Assim, no caso da bacia do rio Cônego, a distribuição que melhor se ajustou a série de dados foi a Weibull (Figura 7.11) e, portanto seus valores serão adotados nas simulações hidrológicas para TR = 20 anos e TR-50 anos, seguindo os padrões de projeto especificados pela Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA<sup>7.2</sup>, para obras de macrodrenagem em áreas residenciais e comerciais.

Os períodos de retorno adotados referem-se à importância e segurança da obra e ao estudo do benefício-custo, a partir da avaliação dos danos para vazões superiores à vazão de projeto.

<sup>7.2</sup> Em 12 de janeiro de 2009, a FEEMA, a SERLA e o IEF foram instintos com a implantação do INEA – Instituto Estadual do Meio Ambiente, criado pela Lei Estadual N° 5101, de 4 de outubro de 2007.



**Figura 7.11** – Distribuição probabilística de melhor ajuste para o posto Cascatinha do Cônego (2242025), rio Cônego.

Os valores de precipitação de projeto resultantes foram (Tabela 7.9):

**Tabela 7.9** – Precipitações resultantes da distribuição Weibull.

<i>TR (anos)</i>	<i>PRECIPITAÇÃO (mm)</i>
20	136,27
50	147,42

As precipitações foram também analisadas levando-se em consideração os eventos ocorridos no município e relatados pela equipe da Prefeitura e constantes no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo. Após a análise desses dados pode-se então calcular os períodos de retorno de cada evento crítico com a utilização do gráfico da Figura 7.10, uma vez que o período de retorno é o inverso da probabilidade de excedência e portanto, também pode ser estimado a partir de uma distribuição probabilística. Diante de todas as considerações e observações, as precipitações que geram problemas no município são da ordem de 130 mm, aproximadamente TR=18 anos.

#### 7.1.6. Modelagem Hidrológica

O uso de modelos hidrológicos precipitação-vazão para a estimativa do hidrograma de projeto em bacias urbanas é freqüente devido à falta de dados observados de vazão e pela alteração das características das bacias (TUCCI, 1998).

Segundo TUCCI (1998), as bacias urbanas apresentam dificuldades adicionais para estimativa da vazão devido ao seguinte:

- ✓ existe um reduzido número de postos fluviométricos em áreas urbanas devido a dificuldade de estabelecer uma curva de descarga, dos efeitos de jusante na seção de medição e a manutenção de operação de um posto sujeito a muito vandalismo;
- ✓ as séries hidrológicas em bacias urbanas em desenvolvimento não são homogêneas devido as alterações no usos do solo, que influenciam a vazão resultante.

Essas dificuldades fazem com que quantidade e a qualidade dos dados disponíveis sejam reduzidas.

Ainda segundo o autor, os modelos hidrológicos precipitação-vazão como MIT (LECLERC & SCHAAKE, 1973); SCS (SCS, 1975) E IPH II (TUCCI ET al., 1981) têm sido utilizados para minimizar esse tipo de problema. Esses modelos utilizam a precipitação existente na bacia para estimar a vazão e necessitam de informações históricas do local ou de outras bacias com características semelhantes para estimar os parâmetros que geralmente compõem a estrutura dos mesmos.

O Modelo Hidrológico SCS (MHSCS) (SCS, 1972), desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (*United States Soil Conservation Service - SCS*) tem como função a modelagem do escoamento superficial. O MHSCS leva em consideração o grupo hidrológico do solo, o tipo de cobertura do solo, a condição hidrológica e a umidade antecedente.

O MHSCS é um modelo empírico amplamente utilizado na estimativa de escoamento superficial em bacias hidrográficas. Portanto, o modelo pode auxiliar nos trabalhos de planejamento e gerenciamento do meio ambiente que visam à conservação de solos, o controle de enchentes e a execução de obras hidráulicas (SCS, 1972; ENGEL et al., 1993; MACK, 1995; JOHNSON & MILLER, 1997; THOMPSON, 1999; PULLAR & SPRINGER, 2000; TUCCI, 2000).

Justifica-se sua aplicação, principalmente, pelo reduzido número de parâmetros e pela facilidade na aplicação. Dispõe-se, também como vantagem, a utilização de um único parâmetro o *curve number* ou número da curva (CN) e a vasta bibliografia existente em experiências de sua utilização.

Na aplicação do MHSCS, as características físicas da bacia, tais como o grupo hidrológico do solo, tipo de cobertura superficial, condição hidrológica, tipo de tratamento e condição de umidade antecedente, são de fundamental importância, uma vez que a combinação destas características determina a escolha do parâmetro

número da curva (CN), o qual estima o escoamento superficial gerado por uma chuva. O CN é um parâmetro adimensional que varia de 0 (sem geração de escoamento superficial) a 100 (toda a chuva é convertida em escoamento superficial). O CN foi estabelecido a partir de medidas de chuva e escoamento superficial em uma grande quantidade de bacias, com uma ampla variedade de tipos de solo.

Esse método relaciona o escoamento direto acumulado com a precipitação total a partir do traçado das curvas número. O número de cada curva está relacionado com a perda potencial inicial máxima S, dado pela equação 7.1.

$$CN = \frac{25400}{(10+S)} \quad \text{Equação 7.22}$$

Para a utilização do método da curva número do SCS dividiu-se a bacia hidrográfica do rio Cônego em 14 sub-bacias e efetuou-se a determinação do parâmetro CN para cada uma das sub-bacias (Figura 7.12). Seus valores são função do tipo de solo e do uso do solo e na literatura existem tabelas, geradas com base em condicionamentos urbanos americanos, que apresentam esse relacionamento de informações (TUCCI, 1993).



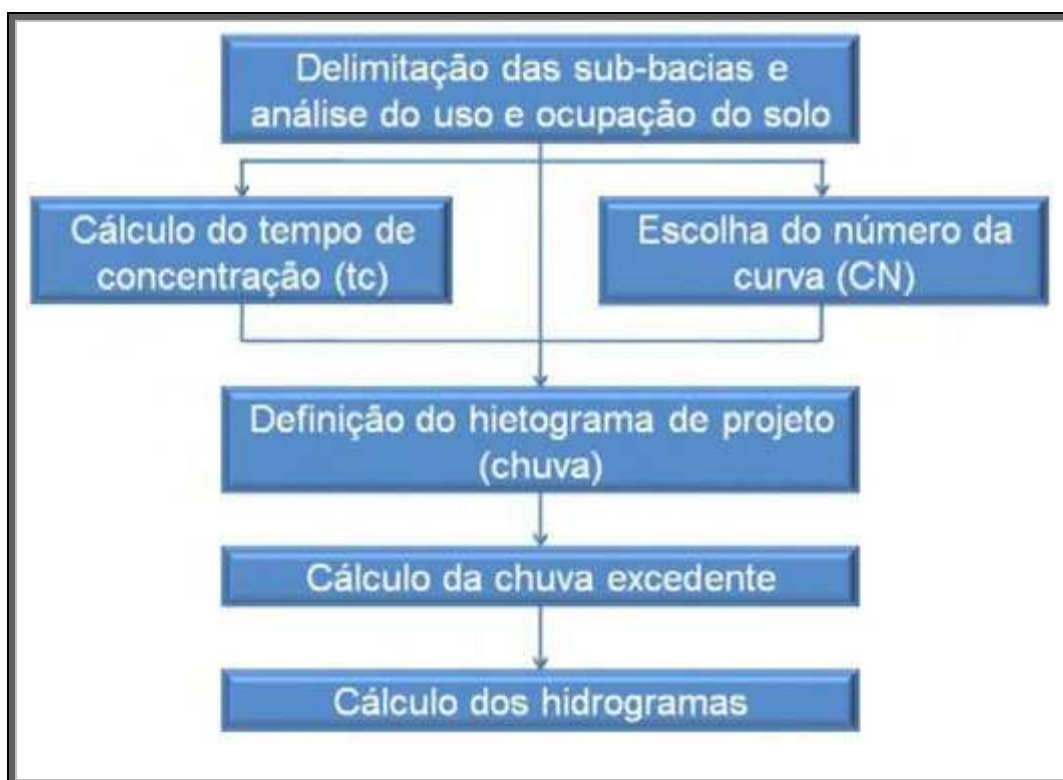
**Figura 7.12** – Imagem contendo a bacia hidrográfica do rio Cônego e suas sub-bacias.

Ressalta-se que o modelo não considera os efeitos de percolação, ou seja, o modelo não permite avaliar o escoamento subterrâneo e também não considera o processo de recuperação da capacidade de infiltração do solo.

Para a estimativa das vazões afluentes aos diferentes pontos de interesse, associadas a sua probabilidade de ocorrência, uma vez definida a precipitação a ser considerada, a transformação chuva-vazão foi efetuada a partir da consideração dos efeitos de infiltração e retenção da bacia.

Para o cálculo das vazões, dentre os vários métodos existentes, a partir das precipitações e da teoria do hidrograma unitário também se selecionou o Método do “Soil Conservation Service” (SCS), extremamente prático e que vem sendo empregado no Brasil em larga escala, implementado no *software* IPHS1 (Versão 2.11, 1999) – Modelagem Hidrológica e Hidráulica, desenvolvido, em parceria, pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas do UFRGS, Faculdade de Engenharia Agrícola da UFPel e a Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim - UFPel.

A Figura 7.13 apresenta os passos de cálculo que foram seguidos para a obtenção do hidrograma em cada seção da bacia hidrográfica.



**Figura 7.13** – Seqüência de cálculo do Método do Soil Conservation Service.

Para realizar os cálculos hidrológicos foi realizada a delimitação das sub-bacias do curso d'água em questão, o rio Cônego, procurando separar as áreas que fossem

razoavelmente homogêneas do ponto de vista de características hidrogeológicas, geomorfológicas e de ocupação do solo, de forma a representar o mais fielmente possível as características de cada sub-bacia que determinam o escoamento superficial.

A determinação do tempo de concentração da bacia foi cuidadosa uma vez que os picos de vazão obtidos pelo método do SCS são inversamente proporcionais ao tempo de concentração estimado para cada sub-bacia.

O tempo de concentração define o histograma tempo-área e pode ser estimado previamente por expressões adequadas ao sistema que está sendo estudado (TUCCI, 1998).

O tempo de duração da precipitação deve ser igual ou superior ao tempo de concentração da bacia, ou seja, é o tempo necessário para que toda a área de drenagem passe a contribuir para a vazão na seção estudada.

Segundo TUCCI (1993), as características fisiográficas que influem principalmente no tempo de concentração são:

- ✓ área da bacia;
- ✓ comprimento e declividade do canal mais longo;
- ✓ comprimento ao longo do curso principal, desde o centro da bacia até a seção de saída considerada.

As seguintes equações foram utilizadas para a determinação do tempo de concentração (OLIVEIRA, 1999):

- ✓ Kerby:

$$t_c = 1.44 \left( \frac{L \cdot c}{S^{0.5}} \right)^{0.467} \quad \text{Equação 7.23}$$

Onde:  $t_c$ : tempo de concentração (min); L: comprimento do talvegue (m); c: coeficiente

de retardo (adimensional); S: declividade média (m/m).

✓ Kirpich:

$$t_c = 57 \frac{L^{0,385}}{h^{0,385}}$$

Equação 7.24

Onde:  $t_c$ : tempo de concentração (min); L: comprimento do talvegue (km); h: diferença

de nível entre o ponto mais remoto da bacia e a seção de deságüe (m).

O cálculo do escoamento superficial direto proposto pelo SCS é:

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \text{ para } P \geq 0,2.S$$

Equação 7.25

Onde:

- ✓ Q: escoamento superficial direto (mm);
- ✓ P: precipitação (mm);
- ✓ S: retenção potencial do solo (mm).

O valor de S depende do tipo de solo e pode ser determinado facilmente por tabelas próprias. A quantidade '0,2.S' é uma estimativa das perdas iniciais devidas à interceptação e retenção em depressões. Por esta razão impõe-se a condição 'P ≥ 0,2.S'.

Para facilitar a solução gráfica da equação faz-se a seguinte mudança de variável:

$$CN = \frac{1000}{10 + \left(\frac{S}{25,4}\right)}$$

Equação 7.26

Os valores de CN dependem de três fatores:

- ✓ umidade antecedente do solo;
- ✓ tipo de solo;
- ✓ ocupação do solo.

Para a definição do CN, o método do SCS distingue três condições de umidade do solo, que são (TUCCI & MARQUES, 2001):

- condição I: Solos Secos - as chuvas nos últimos dias não ultrapassam 1 mm;
- condição II: Situação muito freqüente em épocas chuvosas, as chuvas nos últimos 5 dias totalizam entre 1 e 40 mm;

- ☑ condição III: Solo Úmido (próximo da saturação), as chuvas nos últimos dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas não foram favoráveis à evaporação.

Os valores de CN puderam ser obtidos a partir da Tabela 7.10, que corresponde a condição II de umidade do solo.

**Tabela 7.10** – Correspondência entre os valores de CN para as diversas condições de umidade do solo (TUCCI & MARQUES, 2001).

<b>CONDIÇÕES DE UMIDADE</b>		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Os tipos de solo definidos pelo SCS-USDA são A, B, C e D (PRUSKI et al., 2004), conforme descritos a seguir:

- ☑ solo A: baixo potencial de escoamento, alta taxa de infiltração quando completamente úmido e perfil profundo, geralmente arenoso, com pouco silte e argila;
- ☑ solo B: moderada taxa de infiltração quando completamente úmido e profundidade moderada;
- ☑ solo C: baixa taxa de infiltração quando completamente úmido, consistindo principalmente por camadas que dificultam o movimento da água de camadas superiores para inferiores e considerável taxa de argila;
- ☑ solo D: elevado potencial de escoamento e baixa taxa de infiltração, raso e de camada impermeável.

A ocupação do solo é caracterizada pela sua cobertura vegetal e pelo tipo de defesa contra a erosão, eventualmente adotado. Os valores de CN podem ser obtidos através das curvas de Escoamento Superficial de Chuvas Intensas conforme o tipo hidrológico do solo e sua cobertura vegetal. A simplicidade e praticidade do método proposto pelo SCS tornou-o extremamente popular e difundido entre profissionais de todo o mundo.

Os valores de CN podem ser obtidos a partir da Tabela 7.11, que corresponde a condição II de umidade do solo.

**Tabela 7.11 (continua)** – Valores de CN em função da cobertura e do tipo de solo (condição II de umidade) (TUCCI & MARQUES, 2001).

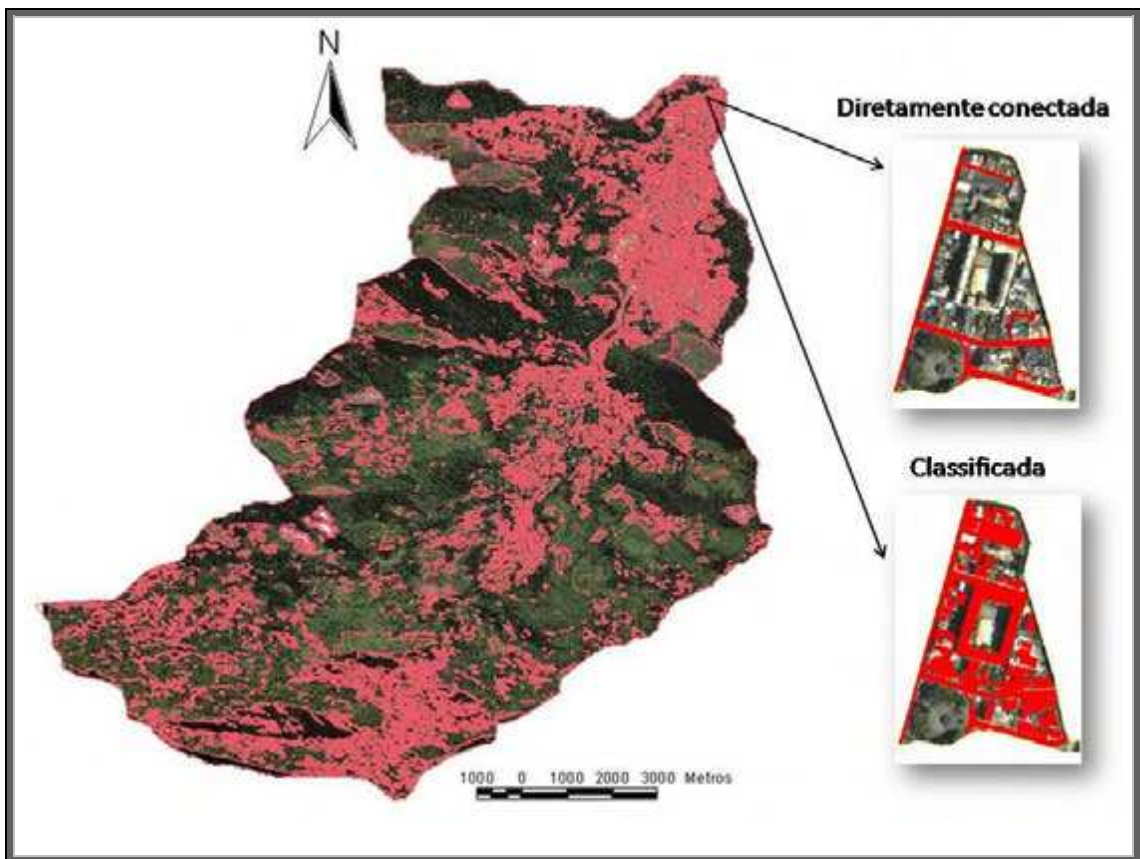
<b>TIPO DE USO DO SOLO/TRATAMENTO</b>		<b>GRUPO HIDROLÓGICO</b>			
<b>CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Uso residencial					
Tamanho médio do lote	% Impermeável				
até 500 m <sup>2</sup>	65	77	85	90	92
1000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
1500 m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
Pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto					
Plantio em linha reta		77	86	91	94
Culturas em fileira					
linha reta	condições ruins	72	81	88	91
	boas	67	78	85	89
curva de nível	condições ruins	70	79	84	88
	boas	65	75	82	86
Cultura de grãos					
linha reta	condições ruins	65	76	84	88
	boas	63	75	83	87
curva de nível	condições ruins	63	74	82	85
	boas	61	73	81	84

<b>TIPO DE USO DO SOLO/TRATAMENTO</b>		<b>GRUPO HIDROLÓGICO</b>				
<b>CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	
Pasto: s/ curva de nível	condições ruins	68	79	86	89	
	médias	49	69	79	84	
	boas	39	61	74	80	
	curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
		médias	25	59	75	83
		boas	6	35	70	79
Campos						
	Condições boas	30	58	71	78	
Florestas						
	Condições ruins	45	66	77	83	
	Condições boas	36	60	73	79	
	Condições médias	25	55	70	77	

Agregou-se ainda à análise, o método de cálculo dos CN, específico para áreas com ocupação urbana, baseado em coleta de dados nas cidades de São Paulo, Porto Alegre e Curitiba, desenvolvido por CAMPANA & TUCCI, 1994, que associa a densidade demográfica ao grau de impermeabilização do solo.

No processamento digital, utilizam-se tradicionalmente os métodos de classificação de imagens para mapear áreas homogêneas da superfície.

Nesse contexto, um dos métodos mais convencionais é a classificação supervisionada, ou '*pixel a pixel*', procedimento que utiliza a informação espectral isolada de cada *pixel* (célula elementar que compõe a imagem) para achar regiões homogêneas. A classificação supervisionada foi aplicada às imagens orbitais Quickbird (2005) para o mapeamento de áreas impermeáveis. Para tanto, foram escolhidas em cada área homogênea algumas amostras representativas do todo, e, em cada amostra, identificaram-se conjuntos de *pixels* homogêneos e representativos da classe de interesse (ou seja, *pixels* que representassem na imagem áreas impermeáveis). Com o auxílio do *software* SPRING 4.3, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cada amostra foi submetida ao processo de classificação e, como resultado final, obteve-se uma imagem digital que constitui um mapa de *pixels* classificados. A Figura 7.14 que segue ilustra esses resultados.

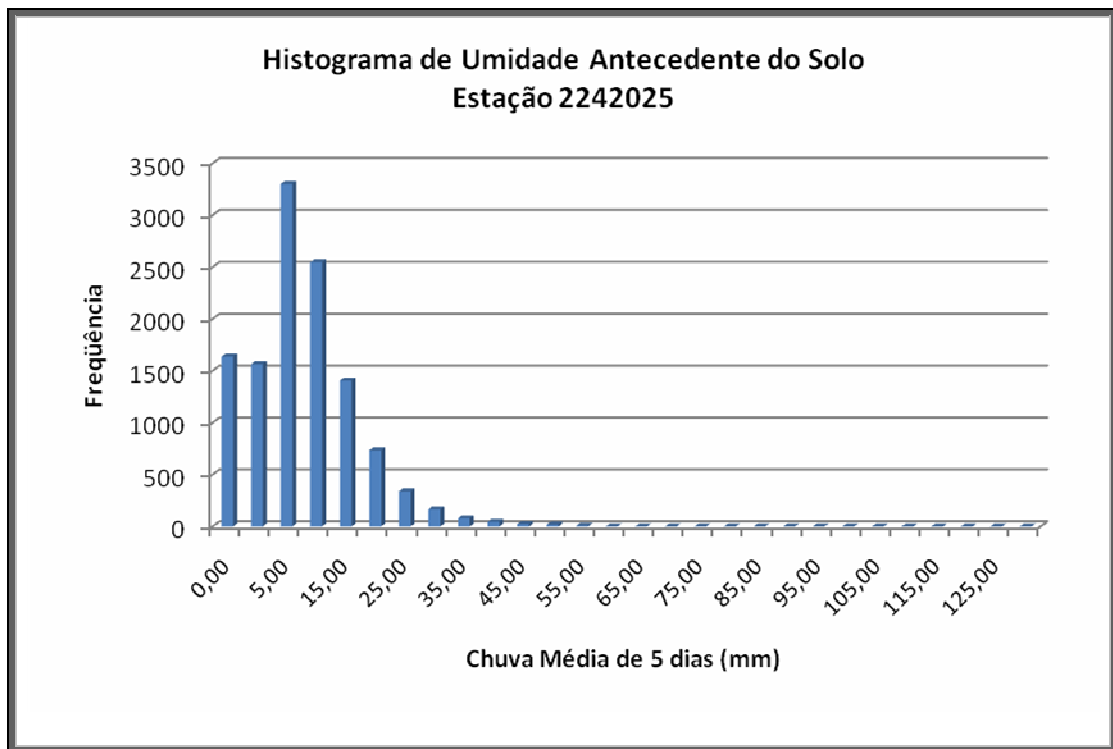


**Figura 7.14** – Imagem segmentada e classificada.

#### 7.1.6.1. Cálculo do Número da Curva (CN)

O parâmetro CN foi estimado com base nas características atuais (2005) da bacia. Um dos fatores analisados para sua definição foi a condição de umidade antecedente do solo.

Baseado na série histórica do posto pluviométrico operado pela ANA cujo prefixo é 2242025, Cascatinha do Cônego, foi calculada a média móvel para cinco dias, com a análise de 11.869 dados como mostra a Figura 7.15.


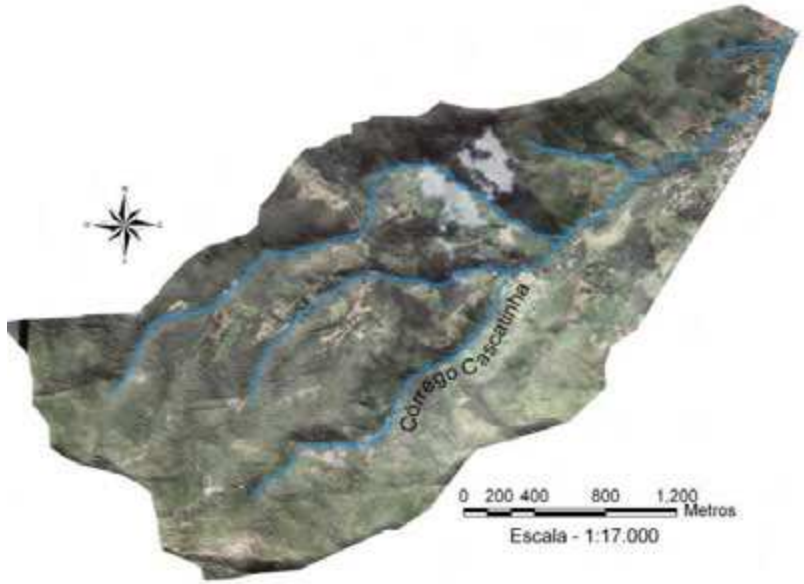


**Figura 7.15** – Histograma de umidade antecedente do solo para a estação 2242025.


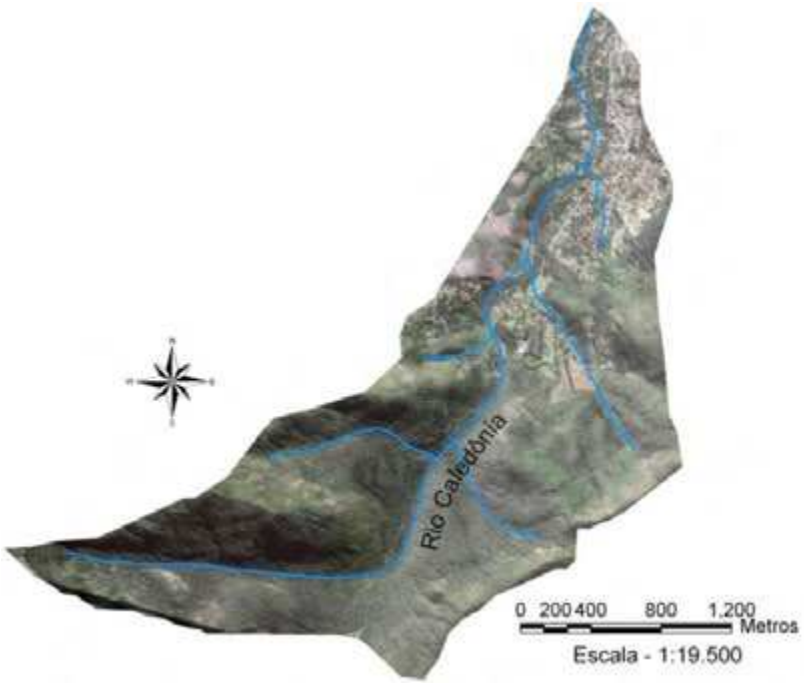
Dessa forma, considerou-se a bacia de estudo inserida na condição II de umidade, que refere-se às condições médias de umidade antecedente, para o cálculo do número da curva (CN) para cada sub-bacia, como ilustram as Tabelas 7.12 a 7.25, a seguir. Essa é uma situação muito freqüente em épocas chuvosas - as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 1 e 25 mm. A adoção dessa condição torna-se prudente, uma vez que a bacia do rio Cônego apresenta declividades bastante altas e solo predominantemente argiloso e suscetível à erosão. Por estarem em um contexto maior, dentro da bacia do rio Bengalas, todas as sub-bacias foram tratadas como bacias urbanas e/ou suburbanas.

As sub-bacias do rio Cônego foram numeradas de montante para jusante, desde a cabeceira até a sua foz, onde ocorre o encontro do rio Cônego com o rio Santo Antônio e a formação do rio Bengalas.

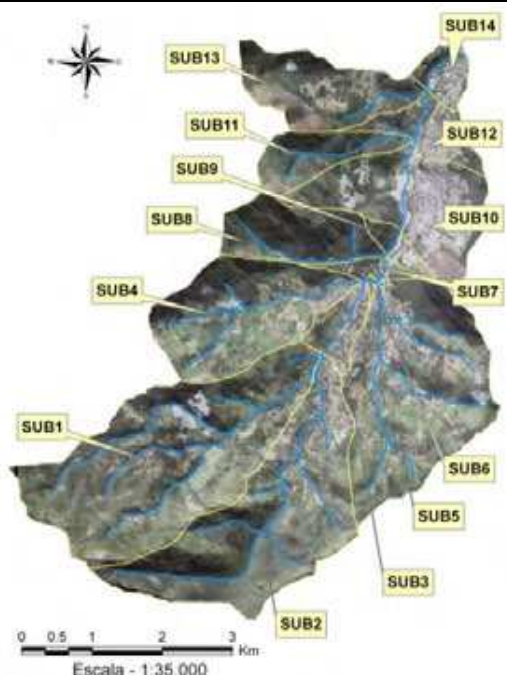
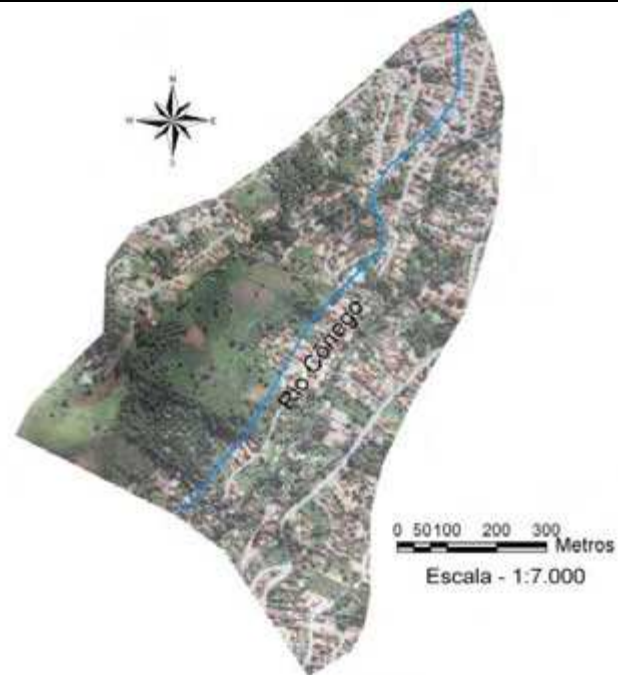
**Tabela 7.12** – Caracterização da sub-bacia 1 (SUB1) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA1 (SUB1)</b>	
	
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Montanhoso e escarpado	<p>A SUB1 possui uma área de 6,94 km<sup>2</sup>, que corresponde a 21,98% da área da bacia do rio Cônego. Trata-se de uma sub-bacia com boa cobertura florestal, composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila e silte.</p> <p><b>CN = 70</b></p>
<b>Solos</b>	
Predomínio de Cambissolo háplico, associado a afloramentos rochosos nas áreas de relevo mais acidentado	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas pós tectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	



**Tabela 7.13** – Caracterização da sub-bacia 2 (SUB2) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA2 (SUB2)</b>	
 <p>Mapa da sub-bacia 2 (SUB2) com 14 sub-bacias (SUB1 a SUB14) delimitadas em amarelo sobre um relevo topográfico. A sub-bacia 2 está localizada na parte inferior direita. Escala: 1:35.000.</p>	 <p>Mapa detalhado da sub-bacia 2 (SUB2) mostrando o curso do Rio Calderônia. Escala: 1:19.500.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Montanhoso e escarpado	A SUB2 possui uma área de 5,53 km <sup>2</sup> , que corresponde a 17,51% da área da bacia do rio Cônego. Existem zonas cultivadas sem práticas de conservação do solo. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos e constituídos por elevadas quantidades de argila e silte.
<b>Solos</b>	<b>CN = 70</b>
Predomínio de Cambissolo háplico, associado a afloramentos rochosos nas áreas de relevo mais acidentado	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas pós tectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

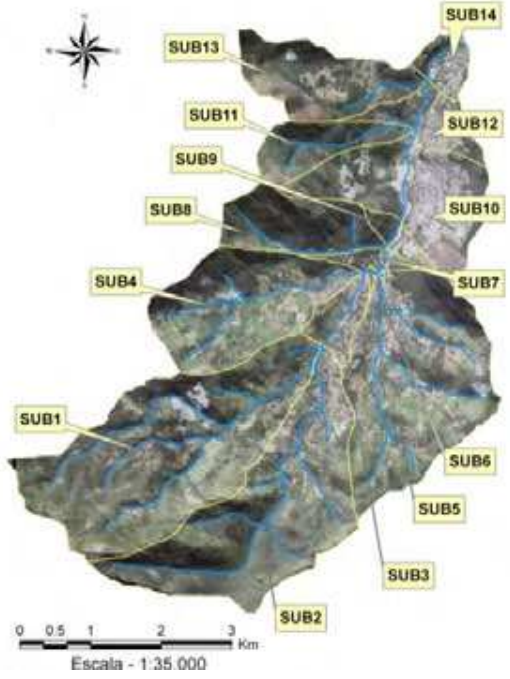

**Tabela 7.14** – Caracterização da sub-bacia 3 (SUB3) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA3 (SUB3)</b>	
 <p>Mapa de relevo da sub-bacia 3 (SUB3) com sub-bacias numeradas de SUB1 a SUB14. A sub-bacia 3 está destacada em amarelo. Escala: 1:35.000.</p>	 <p>Mapa de relevo da sub-bacia 3 (SUB3) com o rio Cônego destacado em azul. Escala: 1:7.000.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado e forte ondulado	<p>A SUB3 possui uma área de 0,64 km<sup>2</sup>, que corresponde a 2,03% da área da bacia do rio Cônego. A vegetação natural foi substituída por zonas residenciais, com lotes em torno de 500 m<sup>2</sup> e pastagens. Os solos possuem baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila.</p> <p><b>CN = 83</b></p>
<b>Solos</b>	
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas sintectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	



**Tabela 7.15** – Caracterização da sub-bacia 4 (SUB4) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA4 (SUB4)</b>	
	
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado e forte ondulado	<p>A SUB4 possui uma área de 3,36 km<sup>2</sup>, que corresponde a 10,64% da área da bacia do rio Cônego. Existem zonas cultivadas sem práticas conservacionistas. Quanto ao uso do solo, há o predomínio de pastagens, a ocupação urbana se concentra na foz do córrego Alagoinha. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos e profundidade moderada, constituídos por elevadas quantidades de argila.</p> <p><b>CN = 78</b></p>
<b>Solos</b>	
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas pós tectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

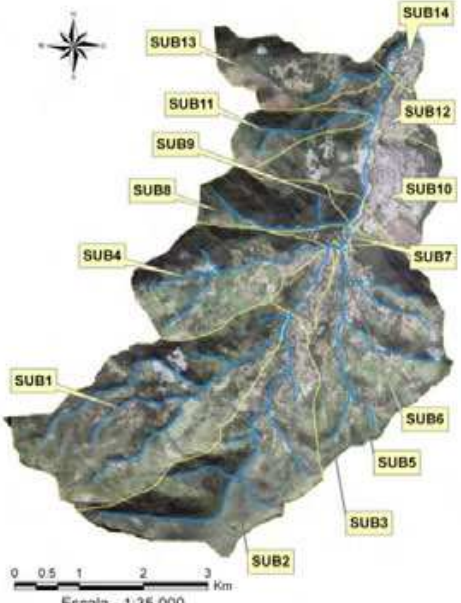

**Tabela 7.16** – Caracterização da sub-bacia 5 (SUB5) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA5 (SUB5)</b>	
 <p>Mapa de uma bacia hidrográfica dividida em sub-bacias numeradas de SUB1 a SUB14. A sub-bacia 5 (SUB5) está localizada na parte inferior direita. O mapa inclui uma escala de 0 a 3 km e uma rosa dos ventos.</p>	 <p>Mapa detalhado da sub-bacia 5 (SUB5) mostrando o curso do córrego Garrafão. O mapa inclui uma escala de 0 a 1.200 metros e uma rosa dos ventos.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado e forte ondulado	<p>A SUB5 possui uma área de 5,25 km<sup>2</sup>, que corresponde a 16,62% da área da bacia do rio Cônego. Devido ao relevo, em geral, movimentado em que ocorrem e à baixa fertilidade propiciou a pastagem como o uso dominante. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila.</p> <p><b>CN = 86</b></p>
<b>Solos</b>	
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas pós tectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

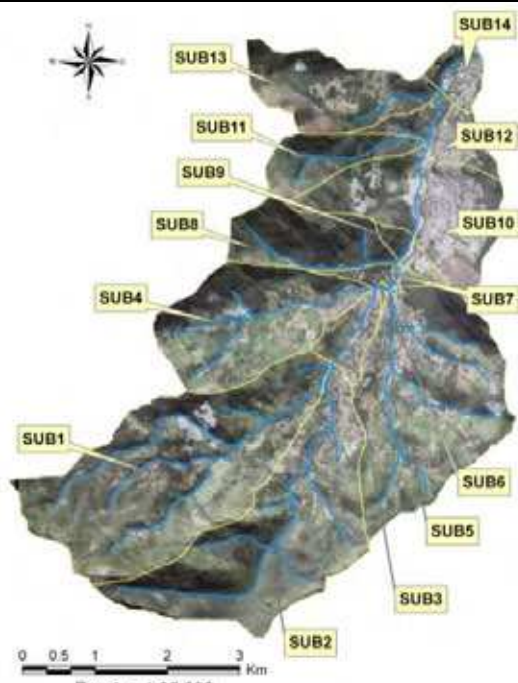

**Tabela 7.17** – Caracterização da sub-bacia 6 (SUB6) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA6 (SUB6)</b>	
 <p>Mapa de relevo da sub-bacia 6 (SUB6) com sub-bacias numeradas de SUB1 a SUB14. A sub-bacia 6 (SUB6) está destacada em amarelo. Escala: 1:35.000.</p>	 <p>Mapa aéreo detalhado da sub-bacia 6 (SUB6) mostrando o Rio Cônego e áreas residenciais. Escala: 1:2.600.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado	<p>A SUB6 possui uma área de 0,04 km<sup>2</sup>, que corresponde a 0,13% da área da bacia do rio Cônego. Caracteriza-se por ser uma zona residencial com pequenos lotes, o que lhe confere um solo com elevado potencial de escoamento, baixa taxa de infiltração e de camada impermeável.</p> <p><b>CN = 87</b></p>
<b>Solos</b>	
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas sintectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	


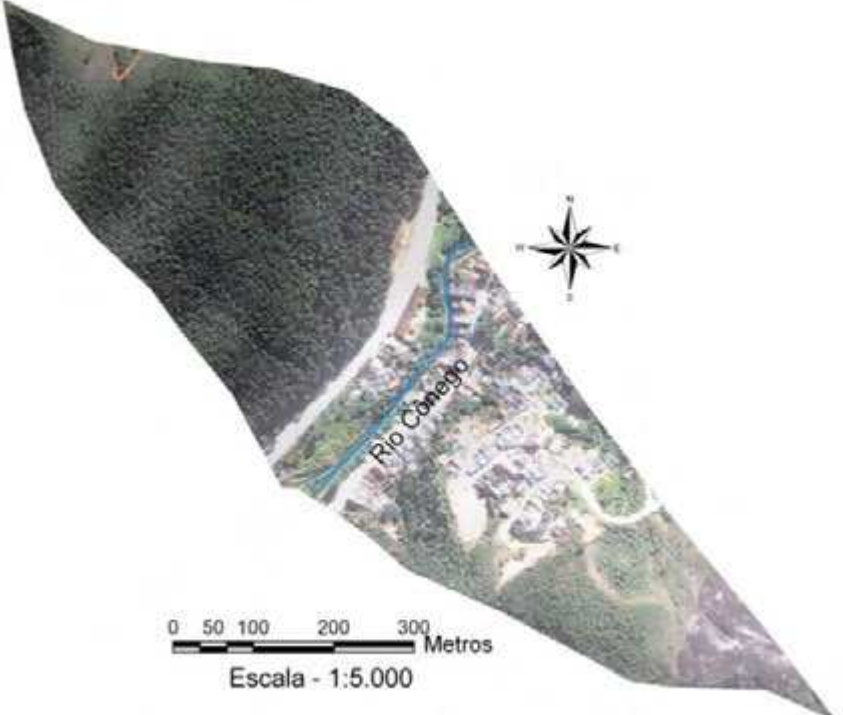
**Tabela 7.18** – Caracterização da sub-bacia 7 (SUB7) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA7 (SUB7)</b>	
 <p>Mapa da sub-bacia 7 (SUB7) com sub-bacias numeradas de SUB1 a SUB14. O mapa mostra o relevo e a rede hidrográfica. Escala: 1:35.000.</p>	 <p>Mapa detalhado da sub-bacia 7 (SUB7) com o rio Cônego. Escala: 1:7.000.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado e forte ondulado	<p>A SUB7 possui uma área de 0,30 km<sup>2</sup>, que corresponde a 0,95% da área da bacia do rio Cônego. Existem zonas florestais em estágio inicial e médio de sucessão. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila.</p> <p><b>CN = 70</b></p>
<b>Solos</b>	
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Predomínio das suítes graníticas sintectônicas e sedimentos aluvionares	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

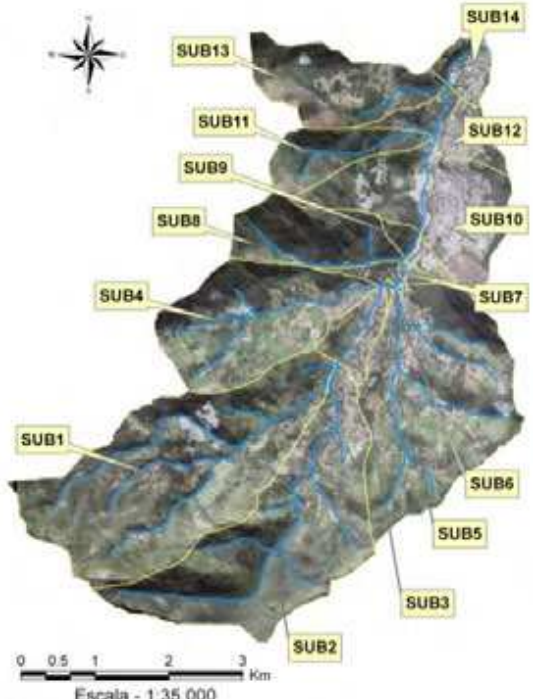
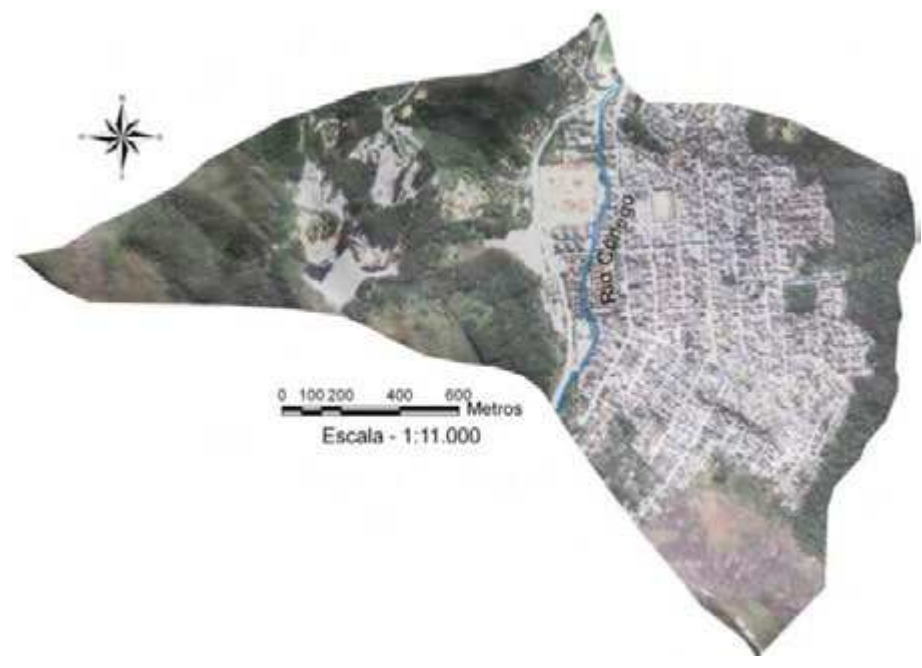
**Tabela 7.19** – Caracterização da sub-bacia 8 (SUB8) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA8 (SUB8)</b>	
 <p>Mapa de uma sub-bacia hidrográfica com 14 sub-bacias numeradas (SUB1 a SUB14) e uma escala de 1:35.000.</p>	 <p>Mapa topográfico detalhado da sub-bacia 8 (SUB8) com uma escala de 1:9.000.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Montanhoso e escarpado	A SUB8 possui uma área de 1,68 km <sup>2</sup> , que corresponde a 5,32% da área da bacia do rio Cônego. Existem zonas cultivadas sem práticas conservacionistas. Cobertura florestal em estágio inicial e médio de sucessão. A sub-bacia é composta por solos com elevado potencial de escoamento, baixa taxa de infiltração e presença de camada impermeável.
<b>Solos</b>	<b>CN = 77</b>
Predomínio de afloramentos rochosos	
<b>Geologia</b>	
Predomínio das suítes graníticas sintectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

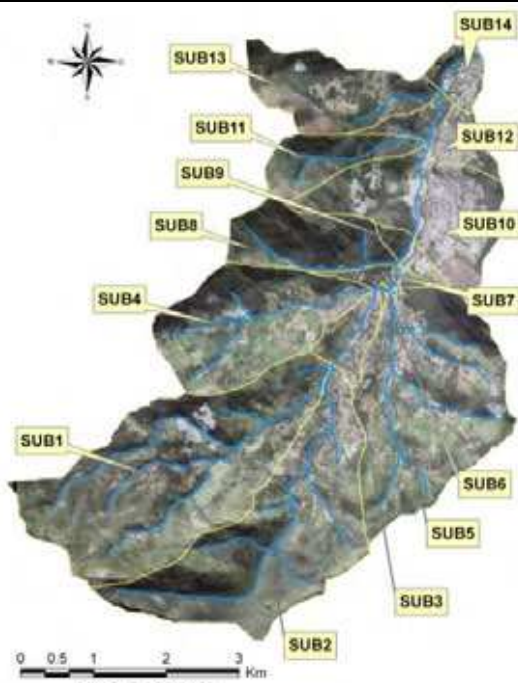
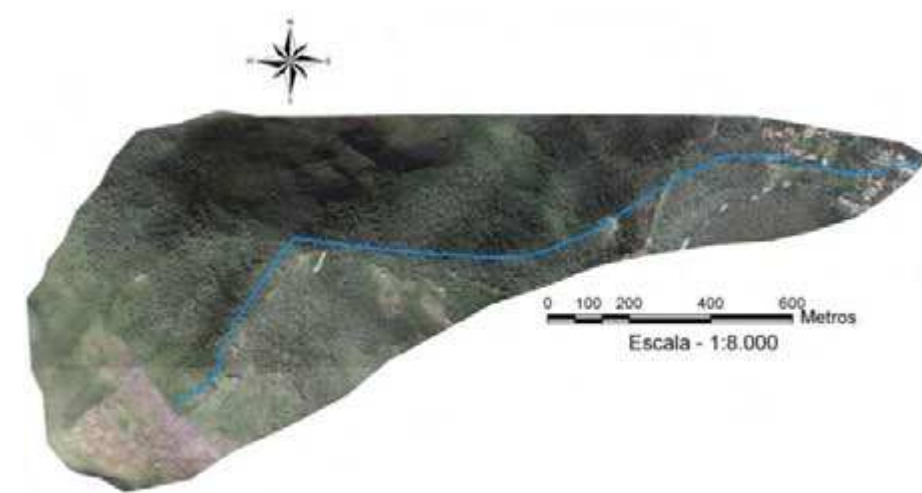
**Tabela 7.20** – Caracterização da sub-bacia 9 (SUB9) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA9 (SUB9)</b>	
 <p>Mapa de relevo da sub-bacia 9 (SUB9) com sub-bacias numeradas de SUB1 a SUB14. Inclui uma escala de 0 a 3 km e uma rosa dos ventos.</p>	 <p>Mapa de satélite da sub-bacia 9 (SUB9) mostrando o Rio Cônego e áreas urbanas. Inclui uma escala de 0 a 300 metros e uma rosa dos ventos.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado e forte ondulado	A SUB9 possui uma área de 0,33 km <sup>2</sup> , que corresponde a 1,04% da área da bacia do rio Cônego. Existem zonas florestais em estágio inicial e secundário de sucessão. A ocupação urbana residencial também é bastante expressiva. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por considerável porcentagem de argila.
<b>Solos</b>	<b>CN = 77</b>
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas sintectônicas e sedimentos aluvionares	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	


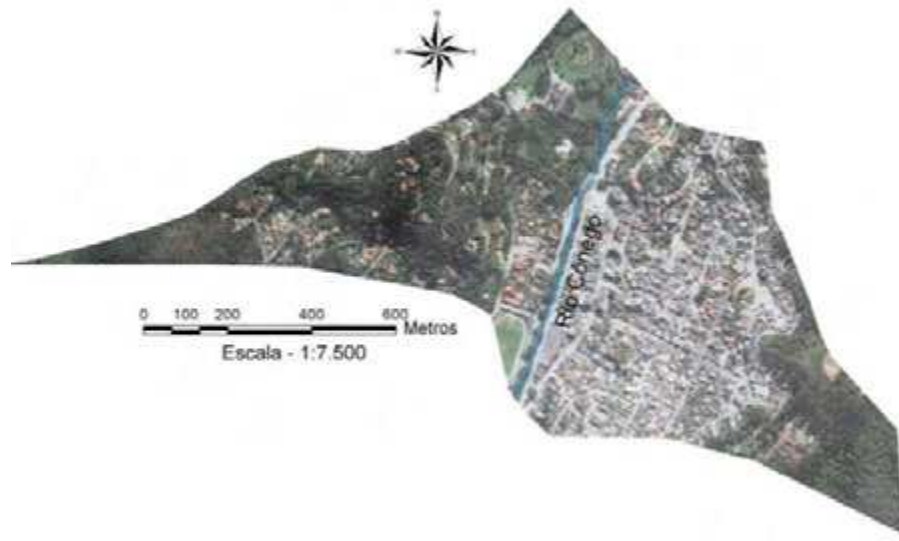
**Tabela 7.21** – Caracterização da sub-bacia 10 (SUB10) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA 10 (SUB10)</b>	
	
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado e Forte ondulado	<p>A SUB10 possui uma área de 2,89 km<sup>2</sup>, que corresponde a 9,15% da área da bacia do rio Cônego. A sub-bacia abriga o bairro mais populoso de Nova Friburgo - Olaria. Possui uma área degradada por uma pedreira. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila.</p> <p><b>CN = 90</b></p>
<b>Solos</b>	
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas sintectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

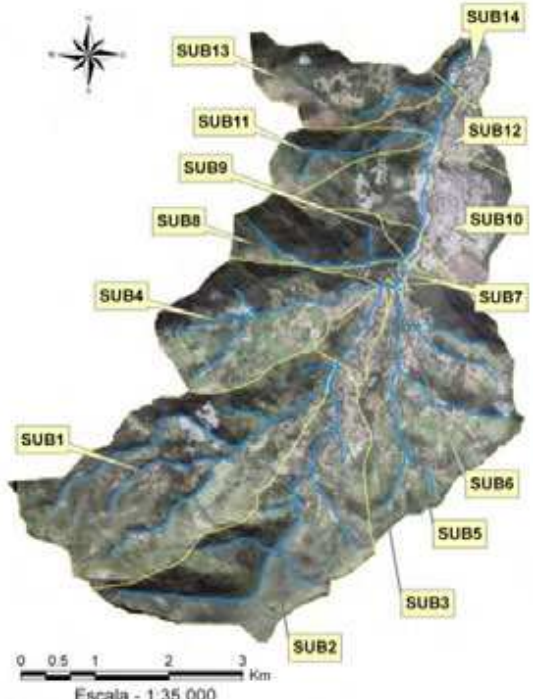
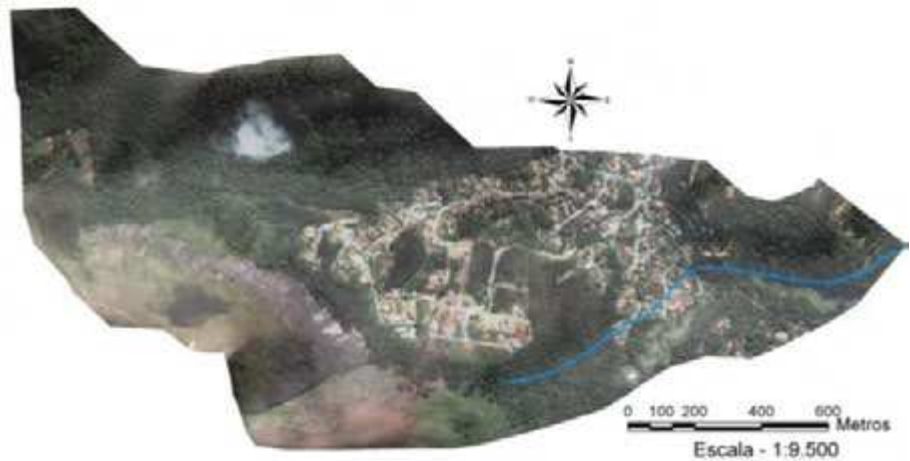
**Tabela 7.22** – Caracterização da sub-bacia 11 (SUB11) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA11 (SUB11)</b>	
 <p>Mapa da sub-bacia 11 (SUB11) com sub-bacias adjacentes rotuladas de SUB1 a SUB14. O mapa mostra o relevo com cores de elevação e o curso do rio em azul. Uma escala de 0 a 3 km e uma bússola estão presentes.</p>	 <p>Mapa detalhado da sub-bacia 11 (SUB11) com o curso do rio em azul. Uma escala de 0 a 600 metros e uma bússola estão presentes.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Montanhoso e escarpado	A SUB11 possui uma área de 1,12 km <sup>2</sup> , que corresponde a 3,55% da área da bacia do rio Cônego. A sub-bacia possui zonas de floresta nativa e de vegetação em estágio inicial e secundário de sucessão. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila e de camada impermeável junto aos afloramentos.
<b>Solos</b>	<b>CN = 77</b>
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e afloramentos rochosos	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas sintectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	



**Tabela 7.23** – Caracterização da sub-bacia 12 (SUB12) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA 12 (SUB12)</b>	
	
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Plano e ondulado	<p>A SUB12 possui uma área de 0,91 km<sup>2</sup>, que corresponde a 2,88% da área da bacia do rio Cônego. A sub-bacia abriga os lagos do Country Clube e ainda parte do bairro Olaria. A sub-bacia é composta por solos com baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila.</p> <p><b>CN = 90</b></p>
<b>Solos</b>	
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Suítes graníticas sintectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

**Tabela 7.24** – Caracterização da sub-bacia 13 (SUB13) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA13 (SUB13)</b>	
	
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Ondulado e forte ondulado	A SUB13 possui uma área de 2,08 km <sup>2</sup> , que corresponde a 6,59% da área da bacia do rio Cônego. A sub-bacia possui zonas de floresta nativa e de vegetação em estágio inicial e secundário de sucessão. Os solos possuem baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos, constituídos por elevadas quantidades de argila e extenso afloramento rochoso.
<b>Solos</b>	<b>CN = 83</b>
Predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	
<b>Geologia</b>	
Predomínio de suítes graníticas sintectônicas	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia	

**Tabela 7.25** – Caracterização da sub-bacia 14 (SUB14) para obtenção do número da curva (condição II de umidade).

<b>SUB-BACIA14 (SUB14)</b>	
 <p>Mapa de relevo da sub-bacia 14 (SUB14) com sub-bacias numeradas de SUB1 a SUB14. A escala é de 1:35.000.</p>	 <p>Mapa aéreo da sub-bacia 14 (SUB14) mostrando o rio Cônego e áreas urbanas. A escala é de 1:5.000.</p>
<b>Relevo</b>	<b>Número da Curva (CN)</b>
Plano e suave ondulado	<p>A SUB14 possui uma área de 0,51 km<sup>2</sup>, que corresponde a 1,61% da área da bacia do rio Cônego, é o exultório dessa bacia. A sub-bacia é composta por zonas comerciais e de escritórios, além de residências. Os solos possuem baixa taxa de infiltração, má drenagem, constituídos por elevadas porcentagens de argila.</p> <p><b>CN = 90</b></p>
<b>Solos</b>	
Gleissolos háplicos	
<b>Geologia</b>	
Sedimentos aluvionares	
<b>Vegetação Nativa</b>	
Floresta tropical perenifólia de várzea	

O município de Nova Friburgo se desenvolveu ao longo de alvéolos intramontanhosos, apresenta solos pouco espessos (Cambissolos) e lixiviados (Latossolos Vermelho-Amarelo háplicos) e clima úmido e ameno.

A bacia hidrográfica do rio Cônego, quanto à característica de uso e ocupação do solo, apresenta: espaços abertos, jardins, campos, florestas e culturas, além de área urbana e loteamentos.

Assim após a análise, a bacia pertence ao grupo de solo C, caracterizado conforme TUCCI & MARQUES (2001): solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2 m. Nota-se, a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no tipo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

Considerando-se todos os fatores citados, o CN médio calculado para a bacia hidrográfica do rio Cônego para as três condições de umidade são mostrados na Tabela 7.26, a seguir.

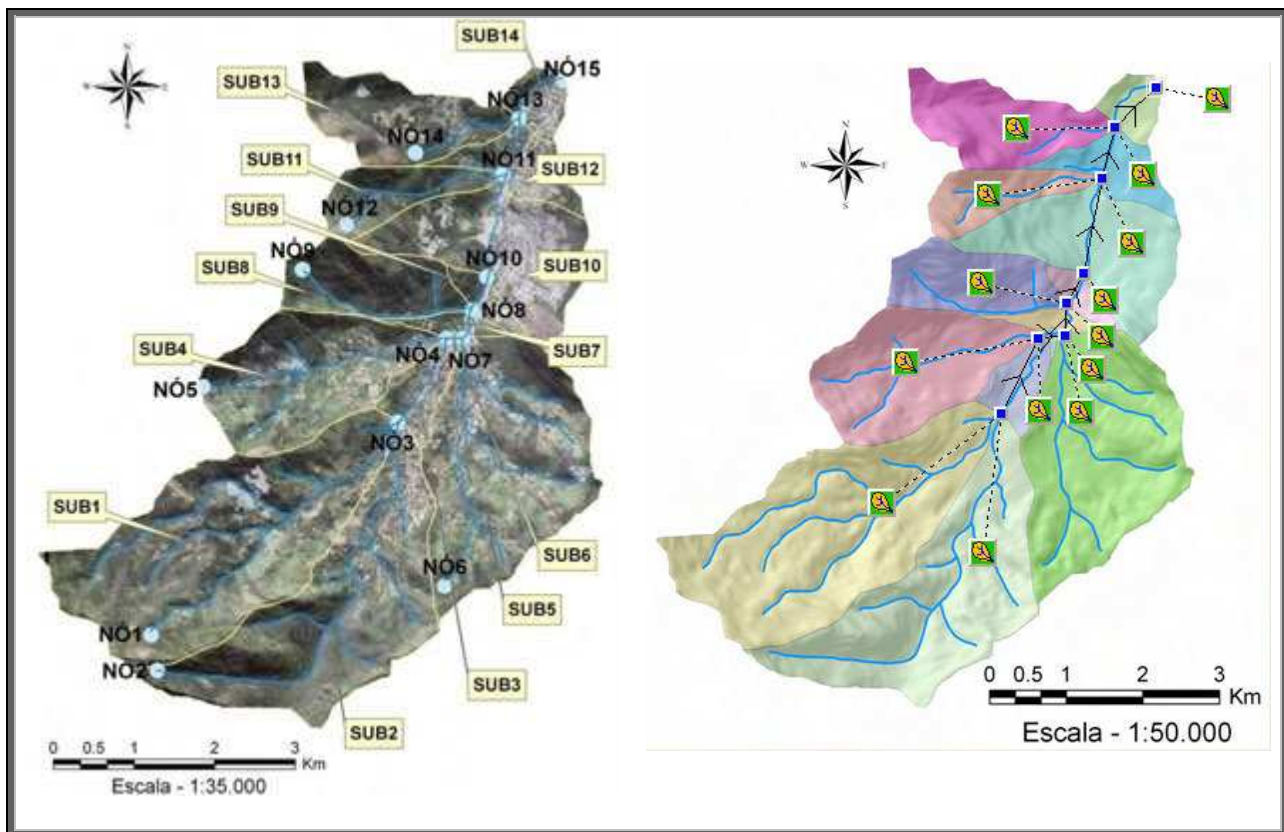
**Tabela 7.26** – Valores médios de CN, calculados para a bacia do rio Cônego.

<b>CONDIÇÕES DE UMIDADE</b>	<b>VALOR DO NÚMERO DA CURVA (CN)</b>
Condição I	61,48
Condição II	78,07
Condição III	88,81

Entretanto, cabe ressaltar que, como ilustrou o histograma de umidade antecedente do solo (Figura 7.7), a bacia em estudo encontra-se na condição de umidade II, portanto, para a bacia, foi adotado como CN médio, o valor 81,44.

#### *7.1.7. Cálculo dos Hidrogramas*

A Figura 7.16 ilustra o esquema de cálculo empregado no IPHS1. Cada sub-bacia de drenagem foi associada a nós que compõem a rede de macrodrenagem. A essas sub-bacias foram associadas às características físicas, área impermeável e a precipitação de projeto.



**Figura 7.16** – Esquema para a bacia do rio Cônego.

Segundo PRUSKI et al. (2004), visando a simplificação do emprego do Método do SCS, a precipitação total de uso recomendado é aquela correspondente ao total precipitado para determinado período de retorno e duração de precipitação requerida, normalmente 6, 12 ou 24 horas. Para a bacia de estudo foram selecionados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos e durações de 8, 14 e 24 horas em função dos quantis da equação IDF utilizada.

Como descrito no item 7.1.2, o tempo de concentração foi estimado pelas equações de Kirpich e Kerby.

Com as características físicas e com as chuvas de projeto anteriormente citadas (para diversos períodos de retorno), foram calculadas as vazões críticas.

O sistema IPHS1 utiliza, entre outros o método do Hidrograma Unitário Adimensional do SCS para transformação dos incrementos de escoamento superficial direto em vazões afluentes num determinado ponto da bacia.

O hidrograma adimensional do SCS é um hidrograma unitário sintético, onde a vazão ( $Q$ ) é expressa como fração da vazão de pico ( $Q_p$ ) e o tempo ( $t$ ) como fração do tempo de ascensão do hidrograma unitário ( $t_p$ ). Dadas a vazão de pico e o tempo de resposta (*Lag-Time*) para a duração da chuva excedente, o hidrograma unitário pode ser estimado a partir do hidrograma-adimensional sintético para uma dada bacia.

Os valores de  $Q_p$  e  $t_p$  podem ser estimados, utilizando-se um modelo simplificado de um hidrograma unitário triangular onde o tempo é dado em horas e as vazões em  $m^3/s.cm$  (ou  $pes^3/pol$ ) (SCS, 1972). A partir da observação de um grande número de hidrogramas unitários, o Soil Conservation Service sugere que o tempo de recessão seja aproximadamente  $1.67 t_p$ .

Como a área sob o hidrograma unitário deve ser igual ao volume de escoamento superficial direto de 1 cm (ou 1 pol), pode ser visto que:

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad \text{Equação 7.32}$$

Onde  $C = 2.08$  e  $A$  é a área de drenagem em  $Km^2$ .

Um estudo posterior de hidrogramas unitários de muitas bacias rurais grandes e pequenas indicou que o tempo de resposta (Lag-Time) é aproximadamente igual a 60% de  $t_c$ , onde  $t_c$  é o tempo de concentração da bacia. Assim, o tempo de ascensão  $T_p$  pode ser expresso em função do tempo de resposta " $t_r$ " e da duração da chuva excedente " $t_r$ ".

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad \text{Equação 7.33}$$

Quando se dispõe de um hidrograma unitário para uma chuva excedente com uma determinada duração unitária  $d_t$ , pode-se obter os hidrogramas unitários para outras durações. Se essas durações forem múltiplas da duração dada, o novo hidrograma unitário pode ser obtido facilmente, aplicando-se os princípios da independência (ou superposição) e da proporcionalidade. Entretanto, para uma nova duração qualquer, pode-se aplicar um processo geral denominado 'Método da Curva S'.

A Curva S é um hidrograma resultante de uma chuva com intensidade unitária ( $1/d_t$ ) e de duração infinita, obtido a partir da superposição de diversos hidrogramas unitários, cada um defasado de uma duração unitária em relação ao anterior.

Se a Curva S for desenhada com uma defasagem no eixo dos tempos igual à nova duração unitária pretendida ( $d_r$ ), nota-se que a diferença de ordenadas em cada instante  $t$  corresponde à ordenada de um hidrograma de escoamento superficial direto, resultante de uma chuva excedente com intensidade  $1/d_t$  e duração  $d_t$ . Para se converter esse hidrograma em um hidrograma unitário basta utilizar o princípio da proporcionalidade, multiplicando-se a diferença das curvas S por  $d_t/d_r$ . Assim, pode-se considerar a chuva unitária de intensidade  $1/d_r$  e duração  $d_r$ .

Para a obtenção da Curva S basta recordar que no instante  $t$  seu valor corresponde à soma das ordenadas de hidrogramas unitários defasados da duração unitária  $d_t$ , isto é:

$$h'(t) = \frac{dt}{dt'} [S(t) + s(t + dt')] \quad \text{Equação 7.34}$$

$$S(t) = h(t) + h'(t - dt) + h(t - 2dt) \dots \quad \text{Equação 7.35}$$

Após a simulação da transformação chuva-vazão ter sido realizada, obteve-se, como resultado, o hidrograma de cada sub-bacia. Dessa forma, o hidrograma é propagado no canal até a seção de interesse ou, então, até encontrar outro canal onde, nesse caso, será um afluente, podendo também receber contribuições de outras sub-bacias ou canais. O modelo hidráulico utilizado, para isso, foi o Muskingum-Cunge linear.

O modelo de Muskingum foi desenvolvido por McCARTHY *apud* CHOW (1959) e IPHS1 (2004), no rio Muskingum. Baseia-se baseia na equação da continuidade concentrada (Equação 7.27) e numa função empírica (Equação 7.28), que relaciona o armazenamento ( $Q_a$ ) com as vazões de entrada ( $Q_i$ ) e saída ( $Q_o$ ) do trecho de propagação.

$$\frac{dQ_a}{dt} = Q_i - Q_o \quad \text{Equação 7.27}$$

$$Q_a = K[XQ_i + (1 - X)Q_o] \quad \text{Equação 7.28}$$

Em que:

- ✓  $K$  = parâmetro representativo do tempo de deslocamento da onda no trecho de

propagação, adimensional; e

- ✓  $X$  = parâmetro que pondera a influência das vazões de entrada e saída do

trecho na função de armazenamento, adimensional.

A Equação 7.25 é diferencial ordinária e será linear, quando os coeficientes K e X

forem constantes. Substituindo-se a Equação 7.28 na Equação 7.27 e discretizando-a, a referida equação, resulta em:

$$Q_{o2} = C_1 Q_{i2} + C_2 Q_{i1} + C_3 Q_{o1} \quad \text{Equação 7.29}$$

Em que:

$Q_{o1}$  = vazão de saída no trecho do canal no início do intervalo de tempo, m<sup>3</sup>/s;

$Q_{o2}$  = vazão de saída no trecho do canal ao final do intervalo de tempo, m<sup>3</sup>/s;

$Q_{i1}$  = vazão de entrada no trecho do canal no início do intervalo de tempo, m<sup>3</sup>/s;

$Q_{i2}$  = vazão de entrada no trecho do canal ao final do intervalo de tempo, m<sup>3</sup>/s; e

$C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  são coeficientes resultantes da discretização, que dependem de K, X e t,

adimensionais, ou seja:

$$C_1 = \frac{-KX + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}}; \quad C_2 = \frac{KX + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}}; \quad C_3 = \frac{K(1-X) - \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}}$$

Porém, nas ondas de cheia, o escoamento em rios e canais pode sofrer o amortecimento da onda devido à variação na capacidade de armazenamento e do efeito das forças dinâmicas. CUNGE, *apud* IPHS1 (2004), demonstrou que não existe esse amortecimento dinâmico no modelo Muskingum. CUNGE, ainda, relacionou a difusão numérica, produzida pelo modelo de Muskingum, ao coeficiente de difusão hidráulica da equação de difusão linearizada, ou seja, CUNGE igualou a difusão numérica do modelo de Muskingum à difusão real, transformando, dessa forma, o modelo Muskingum em um modelo de difusão, que representasse esse amortecimento da onda de cheia no canal.

Dessa forma, os parâmetros K e X para o modelo de Muskingum-Cunge podem ser

estimados, com base nas características físicas do trecho de propagação e com base na discretização, diferentemente do modelo de Muskingum, em que estes eram definidos por soluções estatísticas, isto é:

$$X = 0,5 - \frac{q}{2cdL} \quad \text{Equação 7.30}$$

$$K = \frac{L}{c} \quad \text{Equação 7.31}$$

Em que:

q = vazão específica por unidade de largura do canal, m<sup>3</sup>/s/m;

d = declividade do fundo do canal, m/m;

L = comprimento do trecho de propagação, m; e

c = celeridade da onda de cheia, m/s.

A celeridade da onda pode ser obtida pela expressão:

$$c = \frac{5}{3} \frac{g^{0,5} q^{0,4}}{n^{0,5}} \quad \text{Equação 7.32}$$

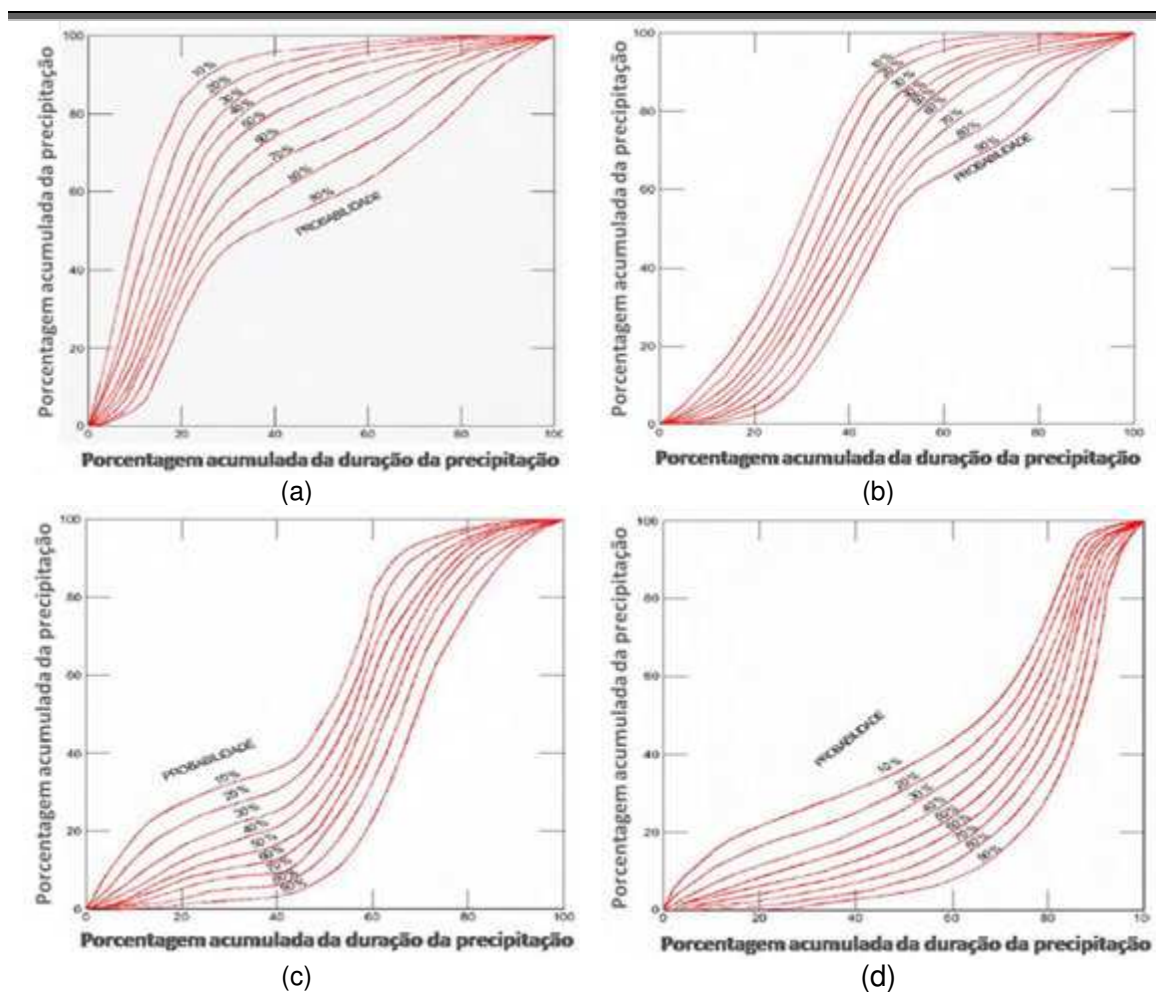
em que:

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional.

### 7.1.8. Distribuição Temporal da Chuva

HUFF (1967) propôs uma forma de classificação com base na distribuição temporal de chuvas, na qual as tormentas são divididas em quatro grupos. Cada grupo equivale a um quartil da duração da tormenta. A classificação é realizada de acordo com o quartil onde a intensidade do evento é mais elevada. As distribuições temporais foram expressas em termos de probabilidade, devido à grande variabilidade das distribuições encontradas nas tormentas.

A Figura 7.17 apresenta as distribuições temporais propostas por Huff para o 1º, 2º, 3º e 4º quartil.



**Figura 7.17** – Distribuição acumulada da precipitação, 1º quartil (a), 2º quartil (b), 3º quartil (c) e 4º quartil (d) (Fonte: HUFF, 1990).

## 7.2. Diagnóstico do Sistema Atual

### 7.2.1. Localização e Principais Características

O rio Cônego é formado pelo rio Caledônia (um dos mananciais do sistema de abastecimento do município), que por sua vez surge na Serra Boa Vista no Pico do Caledônia, localizado na APA Caledônia. A área da bacia de drenagem é de 31,52 km<sup>2</sup>. Esse rio drena parte do distrito Sede e apresenta extensão aproximada de 10,87 km e declividade de 11,5% (cotas entre 2090 m e 840 m), ou seja, 115m/Km.

O trecho inicial (cabeceiras de drenagens) desenvolve-se em encostas de alta declividade, ou seja, 16,29% (162,9 m/Km), com desnível de 1224 metros (cotas 2090 m e 866 m) em um trecho de aproximadamente 7512,45 m (2/3 do curso total). O trecho final desenvolve-se em uma região de relevo plano, formado por sedimentos aluvionares, com declividade de 0,78% (78,0 m/Km) e desnível de 26 m (cotas 866 m

e 840 m) em um trecho de 3356,18 m (1/3 do curso total). A passagem de um segmento para o outro é relativamente abrupta, o que favorece o seu assoreamento por materiais particulados e lixo de toda natureza.

Possui como principais afluentes:

- ✓ Córrego Cascatinha – margem esquerda;
- ✓ Córrego Vargem Grande - margem esquerda e;
- ✓ Córrego Garrafão – margem direita;

Dentre os pequenos afluentes existentes, destaca-se o que atravessa o Country Clube, além dos tributários que cruzam áreas urbanizadas.

Ao lado dos lagos do Country Clube existe um canal para o qual a água que chega ao clube é desviada quando da ocorrência de chuvas intensas. Essa operação é realizada por meio de comportas, com o objetivo de facilitar a manutenção dos lagos, visto que durante as precipitações, o escoamento verificado no local contém um maior volume de sedimentos (Figura 7.18).



**Figura 7.18** – Estrutura de partilha do escoamento das águas pluviais (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

Entretanto, cabe ressaltar que o desvio das águas provoca a eliminação do efeito de amortecimento de cheias proporcionado pelos lagos. Conseqüentemente, o escoamento superficial captado pelo clube é diretamente lançado no rio Cônego.

Observa-se uma variação das características do leito maior conforme o rio se aproxima do rio Bengalas. À montante, há um predomínio de características de corredeiras (Figura 7.19).



**Figura 7.19** – Rio Cônego, trecho localizado no bairro Cascatinha (jan/2009).

À jusante, na região de Olaria, verifica-se a ocorrência de um alargamento da seção transversal do rio (Figura 7.20).



**Figura 7.20** – Rio Cônego, trecho localizado no bairro Olaria (jan/2009).

Por outro lado, nas áreas próximas à confluência com o rio Santo Antônio, verifica-se uma redução da largura do leito e uma maior urbanização nas margens (Figura 7.21).



**Figura 7.21** – Rio Cônego, na região central do distrito Sede, próximo à confluência com rio Santo Antônio (jan/2009).

Os bairros integrantes da bacia mais afetados com inundações são Olaria e Centro (Figura 7.22).



**Figura 7.22** – Áreas inundáveis na bacia do rio Cônego, segundo o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, para uma chuva com TR de 20 anos.

As características, associadas, de relevo e solos dessa bacia configuram uma situação de vulnerabilidade do meio físico à erosão, especialmente no curso superior dos rios, onde o relevo apresenta grau de dissecação muito forte e onde predominam os cambissolos.

#### *7.2.2. Análise dos Dados Hidrométricos*

A partir da compilação dos dados apresentados, obteve-se uma relação do número de precipitações máximas registradas em cada mês do ano hidrológico. Nessa análise, constata-se que as maiores precipitações registradas em Nova Friburgo entre os meses de outubro de 1967 e de setembro de 2004 ocorreram normalmente entre novembro e abril. Trata-se de um período correspondente a 37 anos ou 444 meses de dados de observações.

Para os postos pluviométricos utilizados, efetuou-se um levantamento das precipitações máximas ocorridas em cada ano hidrológico. Isto é, selecionaram-se os dados das maiores chuvas ocorridas em períodos de 12 meses contados a partir do início do mês em que se verifica o mais baixo armazenamento hídrico. Portanto, considera-se para a região estudada o mês de outubro como o primeiro do ano hidrológico por se tratar do início do período chuvoso.

Nota-se através dos dados apresentados que o período chuvoso em Nova Friburgo se concentra entre os meses de novembro e março, com maiores intensidades normalmente verificadas em dezembro e janeiro. Nos demais meses, mesmo ocorrendo uma redução significativa do volume de água precipitada, não se observa um período de estiagem.

Foram pesquisados junto à Prefeitura e Defesa Civil os eventos críticos de chuva (Tabela 7.27), ou seja, os eventos que causaram transtornos e prejuízos, sob o ponto de vista social, econômico e ambiental, tanto à municipalidade como a população em geral. Esses eventos foram correlacionados aos dados históricos armazenados nos pluviômetros da região estudada para obtenção das precipitações que assolaram o município nos dias dos referidos eventos.

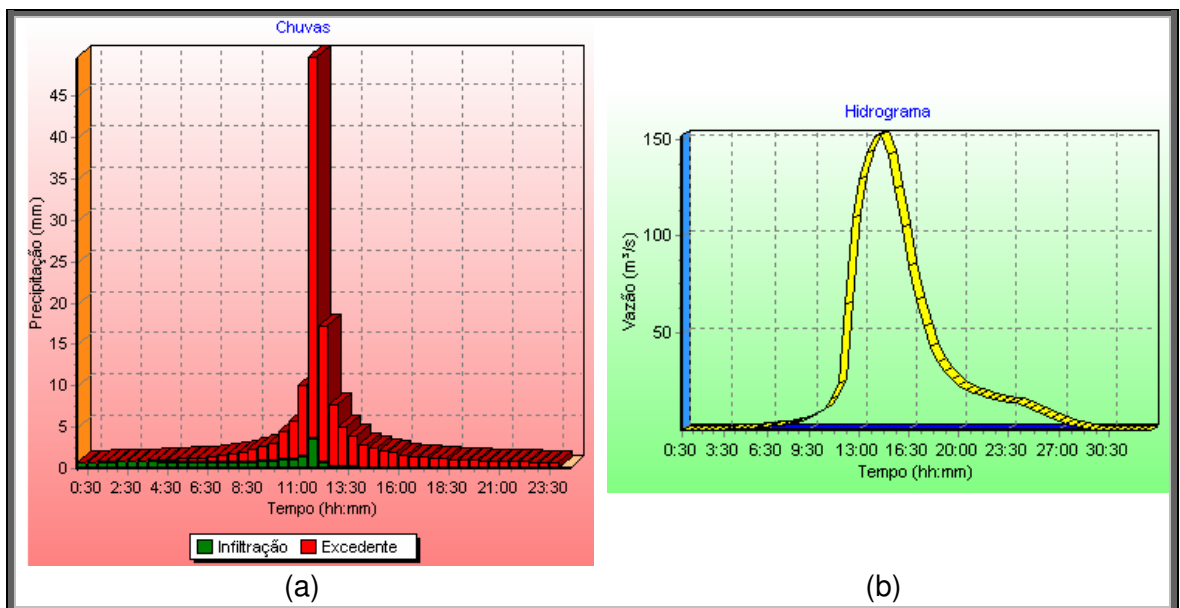
**Tabela 7.27** – Histórico das precipitações que resultaram em inundações, período entre 1971 e 2005 (Fonte: PMNF/FCTF, 2007).

<b>POSTO PLUVIOMÉTRICO</b>	<b>DATAS</b>						
	5/2/1979	6/2/1979	7/2/1979	20/10/1984	8/12/1986	13/1/1991	14/1/1991

2242025	70,2	65,8	59	67,2	75,5	60,4	100,8
<b>DATAS</b>							
<b>POSTO PLUVIOMÉTRICO</b>	18/1/1991	25/12/1996	6/12/2002	12/12/2002	13/12/2002	19/1/2005	
2242025	71,2	56,4	120,8	73,2	122,9	49,9	

Na precipitação do dia 18/01/2005, quando foi decretado pela Prefeitura “Situação de Emergência”, o pluviômetro que registrou o maior índice foi o da Fazenda São João, localizado no rio Bengalas, com 99 mm que corresponde a um período de retorno de 2 anos, enquanto o pluviômetro do Posto Teodoro de Oliveira registrou 54,5 mm (bacia do rio Santo Antonio) e o Posto Cascatinha do Cônego – 49,90 mm (bacia do rio Cônego). A capacidade de descarga do rio Bengala no trecho retificado suporta a vazão produzida que foi da ordem de 156,58 m<sup>3</sup>/s. Entretanto, as contribuições que chegaram dos rios Santo Antônio e Cônego concomitantes à do rio Bengalas resultaram na inundação (PMNF/FCTH, 2007).

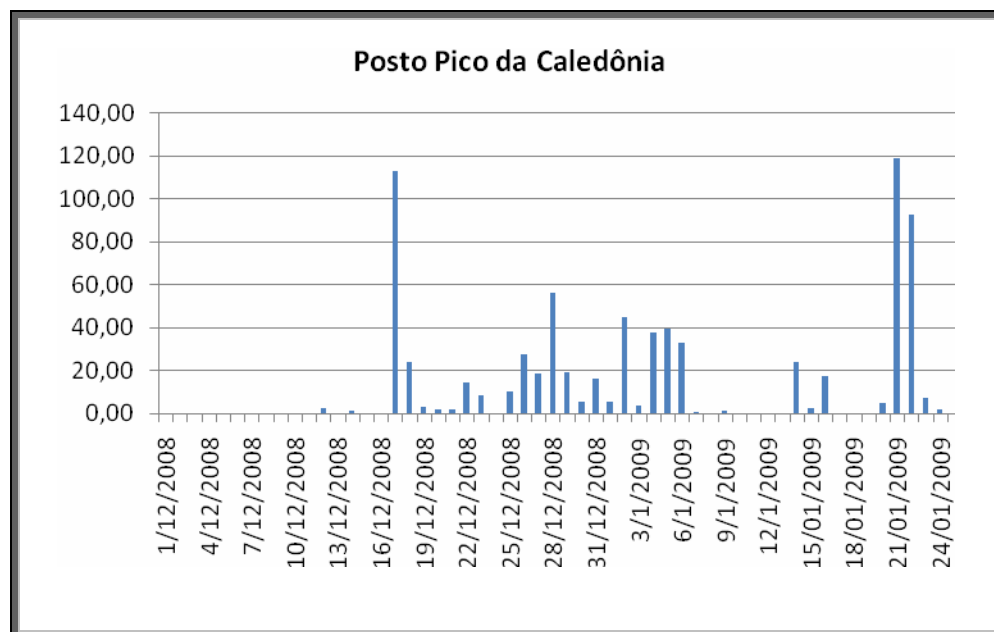
A Figura 7.23 ilustra o hietograma gerado após as simulações, os valores encontrados mostram que precipitações em torno de 50 mm geram um hidrograma de vazão máxima da ordem de 152,00 m<sup>3</sup>/s na saída da bacia. Esse valor é esperado para um período de retorno de 20 anos.



**Figura 7.23** – Hietograma gerado para uma chuva de 24h e TR de 20 anos (a) e hidrograma (b).

Entretanto, no dia 21/01/2009, o Posto Pluviométrico Pico da Caledônia, recém administrado pela SERLA, registrou uma chuva de 118,6 mm, enquanto a estação de Conselheiro Paulino registrou 58,6 mm. As chuvas do período foram responsáveis pelo alagamento em alguns trechos do rio Bengalas (Figura 7.24), no distrito de

Conselheiro Paulino, principalmente, aqueles que se encontram em cotas mais baixas que o rio e 29 escorregamentos contabilizados pela Defesa Civil de Nova Friburgo, sendo Mury o distrito mais afetado. A Figura 7.25 mostra o hietograma no período de 01/12/2008 a 25/01/2009 da estação Pico da Caledônia.



**Figura 7.24** – Hietograma para a estação Pico da Caledônia.

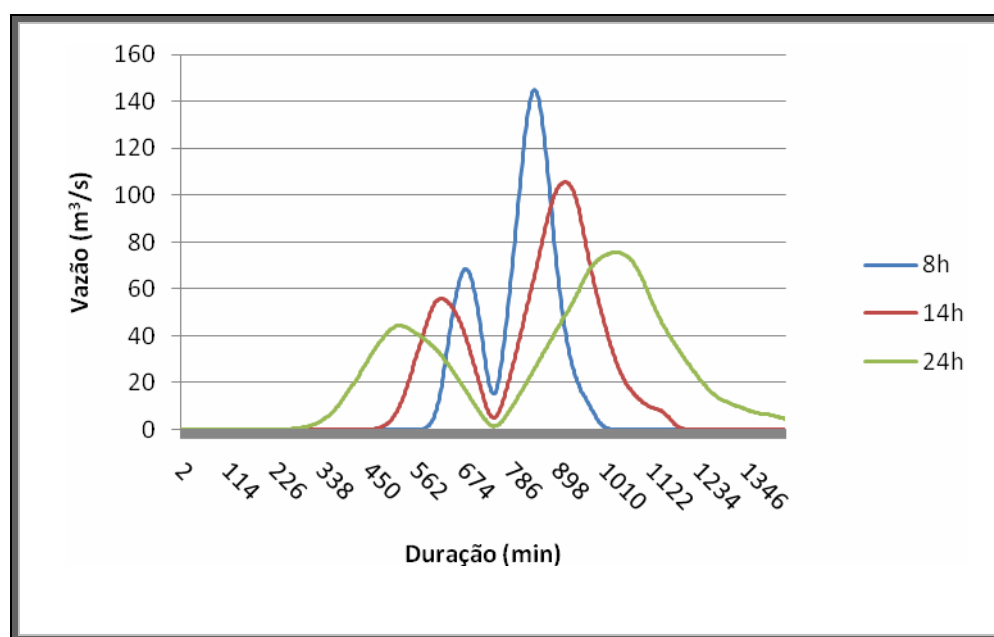


**Figura 7.25** – Localidade do Ouro Preto, afetada pelas chuvas do dia 21/01/2009.

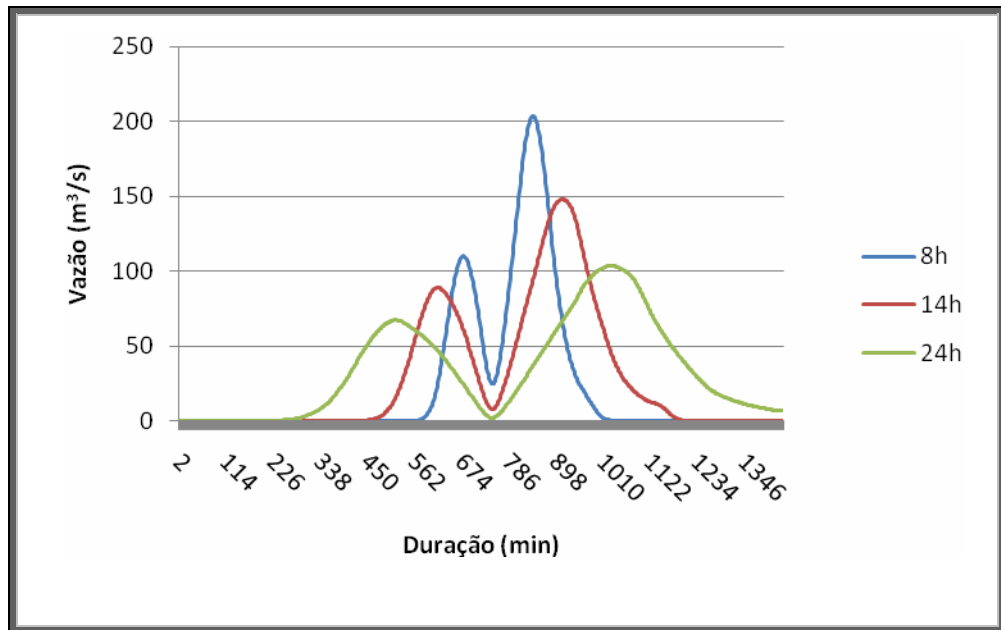
A bacia do rio Cônego é uma das responsáveis pelas inundações quando da ocorrência de eventos críticos e que esses eventos nem sempre correspondem a períodos de retorno (TR) de grande magnitude. Quando da ocorrência de eventos concomitantes, ou seja, quando as precipitações assolam as bacias do rio Cônego, do rio Santo. Antônio (formadores do rio Bengalas) e do rio Bengalas, mesmo com períodos de retorno de pequena magnitude, a cidade provavelmente terá problemas de inundação. Aliam-se a esses fatores as grandes declividades que resultam em velocidades altas nos macrodrenos e o solo suscetível a deslizamentos que causam, por vezes, e o carreamento de material diminuindo, inclusive as seções úteis dos condutores da micro e macrodrenagem, levando ao assoreamento dos rios.

### 7.2.3. Resultado das Simulações

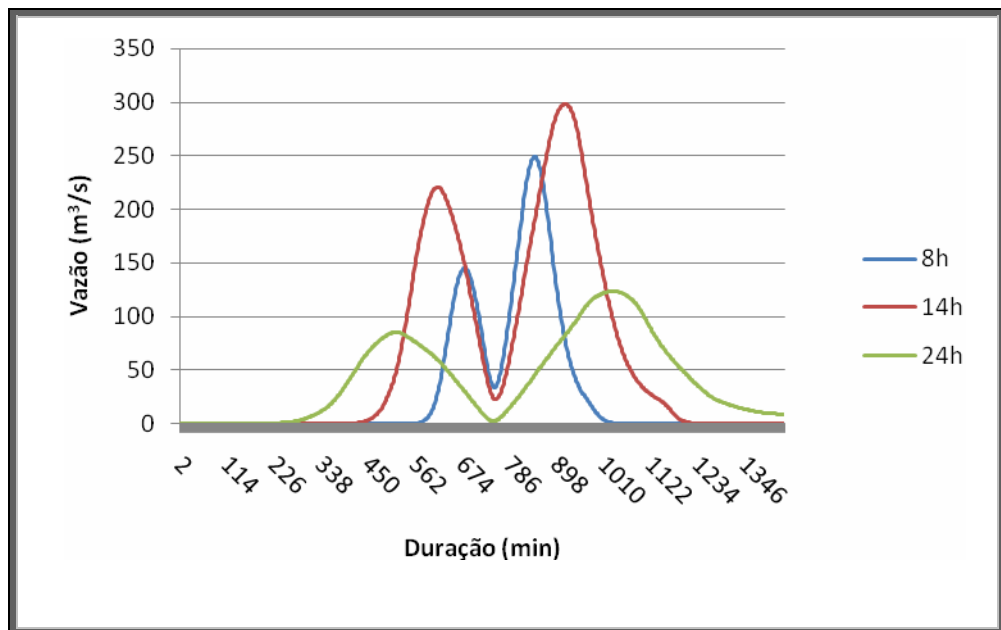
As Figuras 7.26 a 7.30 ilustram os hidrogramas obtidos a partir das simulações.



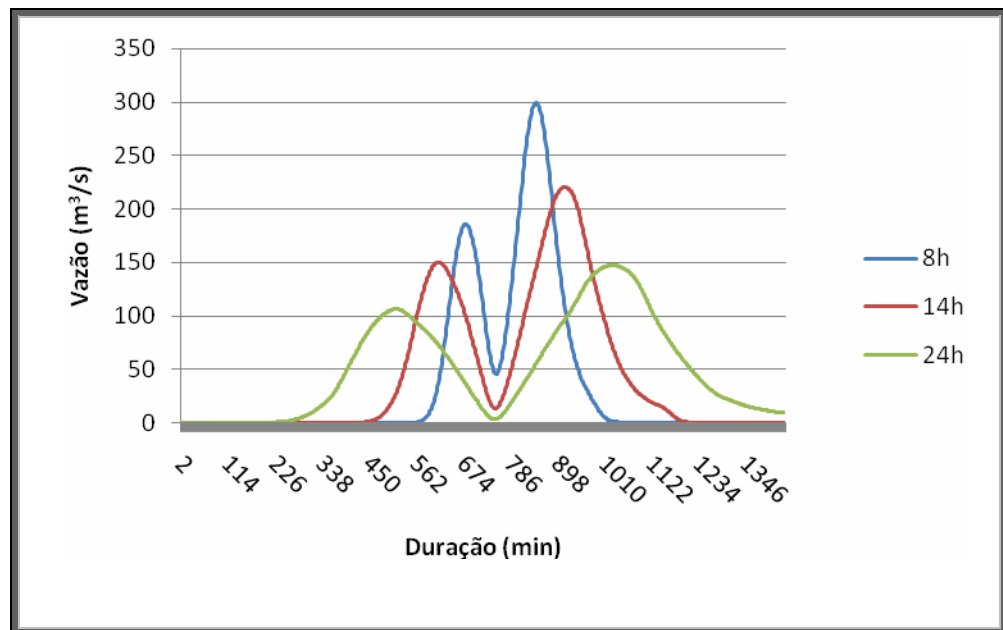
**Figura 7.26** – Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 2 anos.



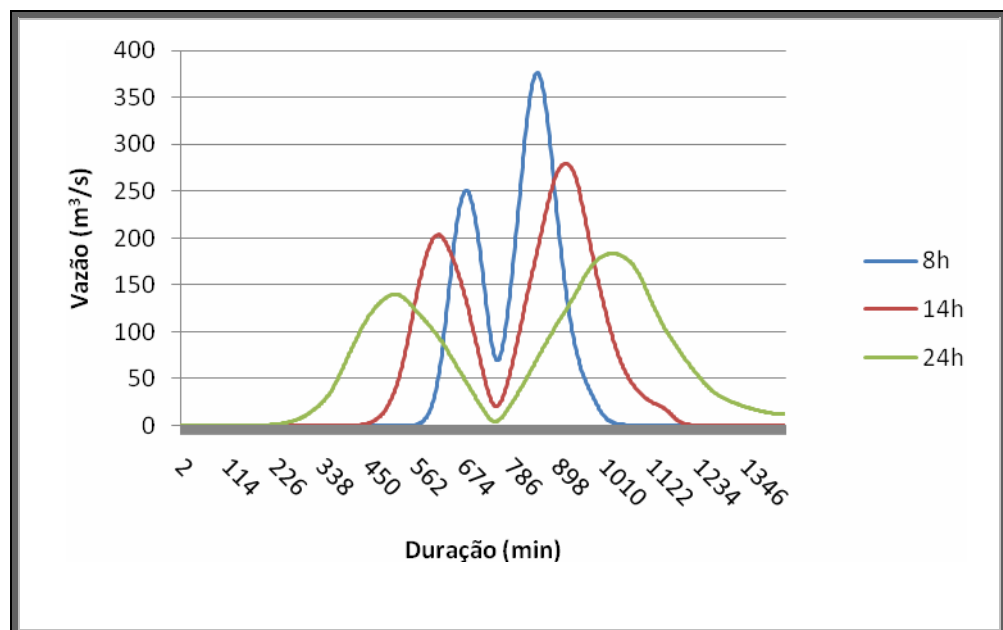
**Figura 7.27** – Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 5 anos.



**Figura 7.28** – Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 10 anos.



**Figura 7.29** – Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 20 anos.



**Figura 7.30** – Hidrograma para chuvas com duração de 8, 14 e 24 horas e TR de 50 anos.

De acordo com os dados apresentados nas figuras acima, a vazão crítica para a bacia de estudo é aquela com duração de 8 horas e TR de 50 anos. Entretanto, cabe ressaltar que o Modelo Hidrológico do SCS foi desenvolvido para chuvas de 24 horas, dessa forma, adotou-se a chuva de 24 horas como a chuva crítica de entrada para o modelo e TR de 20 anos, uma vez que a intensidade da chuva varia consideravelmente durante uma tempestade, e o TR de 20 anos se aproxima do período de retorno da chuva crítica observada na análise estatística dos dados de

precipitação diária para o posto Cascatinha do Cônego (item 7.1.5.3) e, ainda, é considerado no dimensionamento de obras hidráulicas de pequeno porte, mas corriquiras, como canais e travessias.

Usualmente para bacias pequenas (área até 5 km<sup>2</sup>) adota-se a duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica. Entretanto, para bacias maiores, como no caso da bacia de estudo (área igual a 31,52 km<sup>2</sup>), usualmente adota-se uma chuva com duração igual a 24 horas (PMNF/FCTH, 2007).

Cabe ressaltar que o objetivo deste capítulo não foi definir as vazões para as sub-bacias, mas sim diagnosticar a macrodrenagem e propor sua concepção. As bacias pequenas deverão ser estudadas como microdrenagem.

Dessa forma, foram analisados os eventos para duração de 24 horas para a bacia, adotando-se como intervalo básico de cálculo 2 minutos, uma vez que na literatura especializada, recomenda-se que o intervalo de discretização dos cálculos seja da ordem de 1/10 do tempo médio de concentração da bacia (OLIVEIRA et al., 1999).

A bacia do rio Cônego é uma bacia alongada. Seus taludes naturais, com fortes declividades ao longo de todo talvegue principal, geram um escoamento rápido das águas precipitadas ao longo dos cursos d'água.

O encaixamento da drenagem está intimamente ligado a feições estruturais como fraturas, falhas e contatos geológicos, que exercem o controle sobre essas porções da bacia hidrográfica.

A bacia começou a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação à jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso. Com as primeiras canalizações executadas à jusante, o hidrograma à jusante aumentou, mas é ainda contido pelas áreas que não inundam à montante e pelas sub-bacias que não estão densificadas pela ocupação urbana.

Entretanto, com a maior densificação, a pressão pública fez com os administradores municipais continuassem o processo de canalização para montante, fazendo com que as inundações retornassem à jusante, a canalização simplesmente transferiu a inundação para jusante e já não existem espaços laterais para a ampliação dos canais.

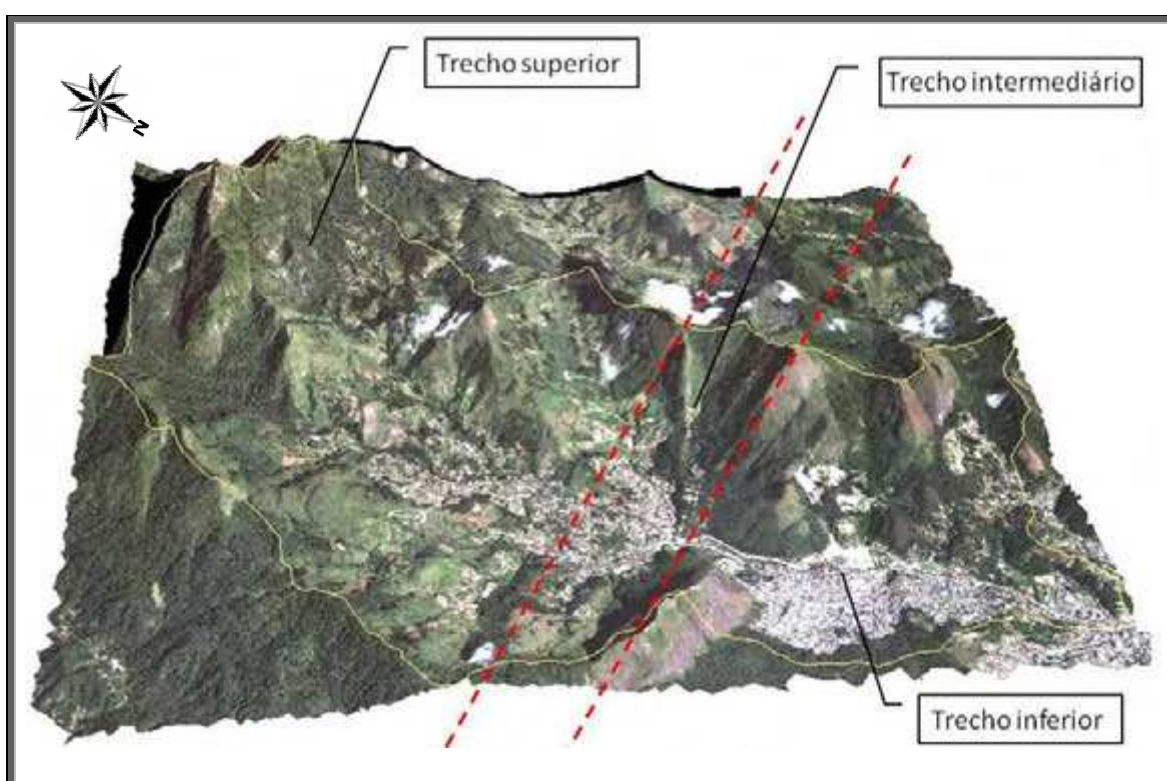
As vazões obtidas nos estudos hidrológicos, referentes às principais seções indicadas nos nós da bacia hidrográfica, são apresentadas na Tabela 7.28.

**Tabela 7.28** – Características físicas e vazões calculadas para a bacia do rio Cônego.

<b>BACIA DE DRENAGEM</b>	<b>NÓ INICIAL</b>	<b>NÓ FINAL</b>	<b>Q<sub>MAX</sub> INICIAL</b>	<b>Q<sub>MAX</sub> FINAL</b>	<b>ÁREA DA BACIA (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA ACUMULADA (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>ESPECÍFICA</sub> (m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA IMPERMEÁVEL (%)</b>	<b>ÁREA DIRETAMENTE CONECTADA (%)</b>	<b>CN</b>	<b>DURAÇÃO DA CHUVA (h)</b>	<b>TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min)</b>	<b>COMPRIMENTO DO TRECHO (m)</b>
SUB1	NÓ1	NÓ3	0	48,20	6,94	6,94	6,95	1,0	0,5	70	24	22	4353,4
SUB2	NÓ2	NÓ3	0	38,58	5,53	5,53	11,36	2,0	1,0	70	24	28	5526,4
SUB3	NÓ3	NÓ4	69,39	80,90	0,64	13,11	8,10	27,0	9,0	83	24	11	1383,0
SUB4	NÓ5	NÓ4	0	45,95	3,36	16,47	14,06	6,0	2,0	78	24	20	3134,9
SUB5	NÓ6	NÓ7	0	75,94	5,25	21,72	14,46	7,0	2,0	86	24	17	3231,5
SUB6	NÓ4	NÓ7	91,04	94,69	0,04	21,76	5,48	32,0	12,0	87	24	2	182,2
SUB7	NÓ7	NÓ8	132,62	142,76	0,30	22,06	7,34	9,0	3,0	70	24	3	504,1
SUB8	NÓ9	NÓ8	0	23,29	1,68	23,74	13,86	0,0	0,0	77	24	13	2308,4
SUB9	NÓ8	NÓ10	132,60	144,07	0,33	24,07	6,85	11,0	4,0	77	24	2	451,6
SUB10	NÓ10	NÓ11	144,07	145,47	2,89	26,96	6,09	16,0	6,0	90	24	7	1375,3
SUB11	NÓ12	NÓ11	0	15,64	1,12	28,08	13,96	1,0	0,0	77	24	13	2172,9
SUB12	NÓ11	NÓ13	147,33	149,45	0,91	28,99	5,71	17,0	6,0	90	24	5	696,3
SUB13	NÓ14	NÓ13	0	39,03	2,08	31,07	18,76	24,0	8,0	83	24	7	1320,8
SUB14	NÓ13	NÓ15	147,08	151,99	0,51	31,58	5,35	18,0	7,0	90	24	9	851,1

Os hidrogramas foram se formando em cada um dos afluentes, uns mais rapidamente que os outros, ganhando volume, até que, dependendo do tempo de concentração das sub-bacias, atingiram o curso principal em seções diferentes e em tempos também diferentes

O relevo (Figura 7.31) foi o agente fundamental na concentração e na velocidade de propagação dos hidrogramas parciais de enchente que se formaram no curso principal. Quanto maior as diferenças de altitude entre as cabeceiras e a seção de desembocadura do canal, mais intenso foi o regime dos escoamentos das águas de chuva e maior a formação rápida dos hidrogramas de enchente. Sub-bacias mais íngremes tiveram tempos de concentração menores, relativamente, e maiores picos do escoamento. Sub-bacias mais vegetadas tiveram maior infiltração e menores picos.



**Figura 7.31** – Divisão da bacia em trechos em decorrência das diferentes declividades longitudinais do canal principal – rio Cônego.

Esses hidrogramas, formados de acordo com a variabilidade dos fatores climatológicos e sob a influência das características físicas e geométricas de cada sub-bacia, se encontraram com o conseqüente crescimento do volume de escoamento e do pico de vazão máxima.

Do N67 ao N68 observa-se um estrangulamento do vale, transformado na única saída para o escoamento de montante. Essa é uma região marcada por afloramentos

rochosos, a ação do escoamento torrencial atua removendo o material de cobertura das vertentes.

O trecho superior caracteriza-se por fortes declividades longitudinais, regime turbulento e irregular, instabilidade de margens, grande capacidade erosiva e de transporte de sedimentos de maior granulometria. Em geral, as águas são transparentes e despoluídas.

O trecho intermediário ou médio apresenta declividades menores e certo equilíbrio morfológico e sedimentológico. No extremo superior desse trecho, forma-se uma região de deposição dos sedimentos oriundos do trecho superior, como conseqüência da redução da declividade e da velocidade do escoamento. No trecho médio, as vazões são mais uniformes no tempo e as calhas mais estáveis e permanentes. As águas são turvas pelo transporte de sedimentos finos.

No trecho inferior, as declividades são ainda menores e as águas ainda mais turvas. Diante das baixas declividades, as velocidades são mais reduzidas, promovendo a sedimentação dos sólidos em suspensão, o que elevou ao longo dos anos, o nível inferior da calha de escoamento.

As condições médias de umidade do solo, em conseqüência das chuvas antecedentes (condição de umidade II considerada para o CN), tiveram, também, grande influência sobre as características das enchentes. As águas das chuvas subseqüentes a uma precipitação intensa encontraram o solo mais úmido, havendo menores perdas por infiltração e maior disponibilidade para os escoamentos superficiais.

À medida que a área urbana se expandiu para a parte superior da bacia, a capacidade de retenção natural foi sendo, gradativamente, descaracterizada e diminuída. Essa descaracterização se deu pelo desmatamento, pela mudança dos padrões naturais de drenagem e pela impermeabilização do solo.

A implementação dos loteamentos com a remoção da cobertura vegetal para a implantação das casas, ruas, entre outras edificações mudaram as curvas naturais da gleba. A exposição do solo às intempéries, pelos serviços de terraplenagem executados, fez com que fosse desagregado mais facilmente, sendo carregado para os leitos dos rios e galerias de águas pluviais que compõem a bacia.

Com o aumento de áreas impermeáveis, a velocidade de escoamento das águas precipitadas aumentou ainda mais, gerando maiores transtornos, além das inundações, erosões e assoreamento de leitos de rios e galerias de águas pluviais.

As sub-bacias 1 e 2 estão localizadas na parte alta da bacia, onde está situada a maior parte das nascentes das mesmas. Nessas sub-bacias o processo de ocupação

do solo ainda não se encontra em um estágio desenvolvido, entretanto, observa-se a substituição da vegetação natural de Mata Atlântica, principalmente, por pastagens.

Nessas áreas, a diminuição da retenção natural também se deu pela adoção de práticas não conservacionistas, mesmo não sendo bacias de características predominantemente rurais, o plantio morro abaixo e a formação de pastos, formando trilhas que serviram para acelerar a drenagem das águas de chuva, e a abertura de valetas perpendicularmente às curvas de nível, com a finalidade de dividir e separar áreas, são alguns dos exemplos.

Qualquer que tenha sido o uso do solo, a retenção natural foi modificada. Mesmo nas sub-bacias mais a montante, a descaracterização da retenção teve sua parcela de influência na formação do hidrograma, no trecho inferior do curso de água principal.

Nas áreas à jusante dotadas de sistemas de esgotamento de águas pluviais, a redução da retenção natural foi bastante significativa. As águas de chuva foram rapidamente direcionadas para as caixas coletoras internas das edificações que, por sua vez, deságuam nas galerias implantadas sob as vias públicas. As águas juntam-se àquelas coletadas sobre as referidas vias e rapidamente são levadas para coletores – tronco ou diretamente para o curso de água mais próximo.

Houve a remoção da mata ciliar em alguns trechos o que provoca o aumento da poluição do leito do rio, uma vez que não existe mais o sistema de filtro natural, além do lançamento *in natura* de águas residuárias (Figura 7.32).



**Figura 7.32** – Remoção da mata ciliar, ocupação do leito maior do rio Cônego e lançamento de águas residuárias, trecho no bairro Cônego.

Observou-se também o lançamento de resíduos sólidos urbanos nas margens (Figura 7.33), inclusive lixo domiciliar, contribuindo muitas vezes para obstrução das tubulações e do canal de escoamento.

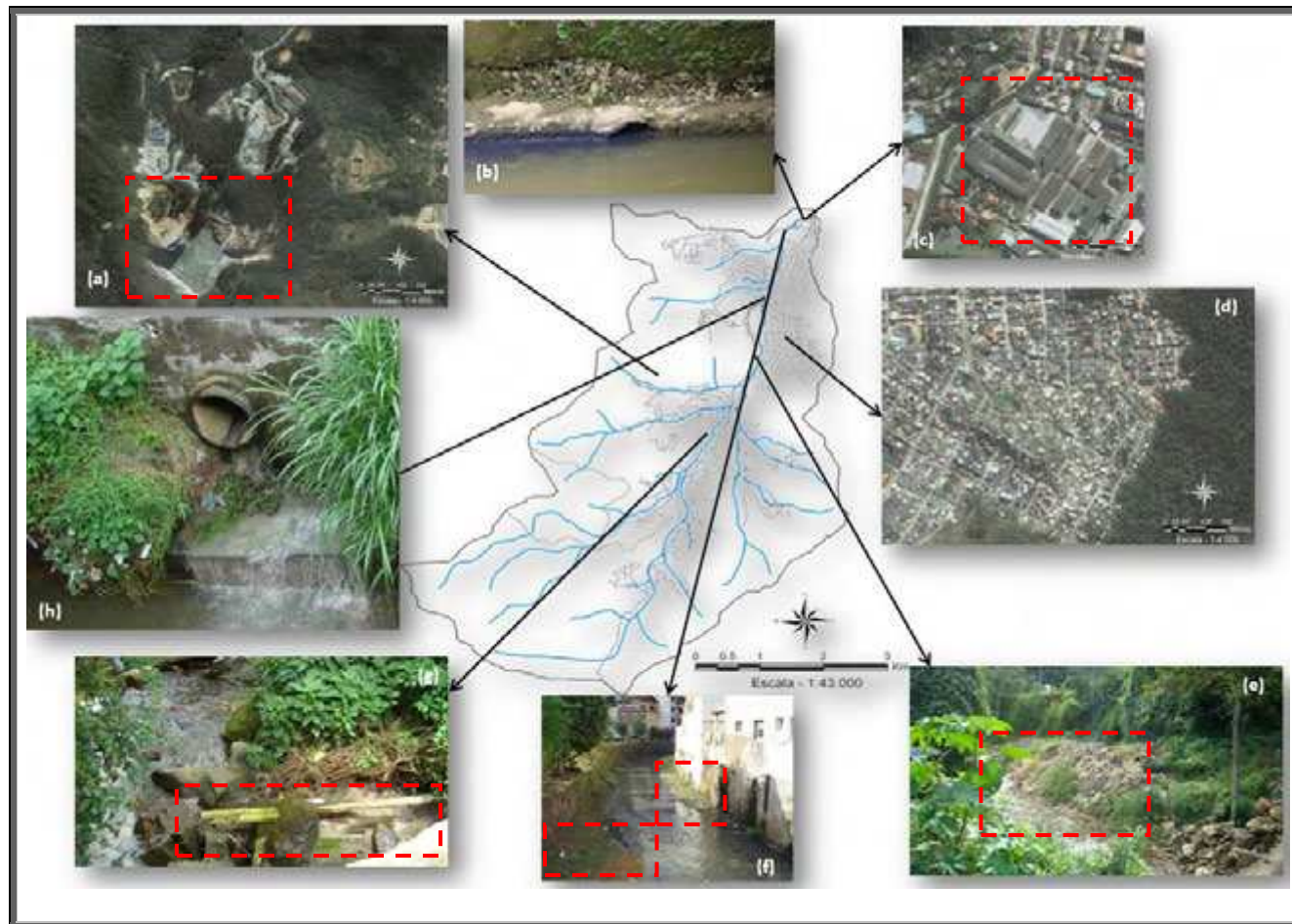


**Figura 7.33** – Lançamento de resíduos sólidos domésticos nas margens do rio Cônego, trecho localizado no bairro Olaria.

A bacia, com exceção de algumas ruas, não possui sistema de drenagem (galerias, bocas de lobo, etc.) de águas pluviais, portanto, a maioria das águas pluviais escoam naturalmente sobre a sua superfície, até a parte mais baixa.

A desarmonia da ocupação das encostas favoreceu as linhas de drenagem, concentrando os fluxos de águas, os acessos às moradias, normalmente, posicionados na linha de maior declive, favoreceram a enxurrada, funcionando como agente desagregador do solo, causando a erosão.

A Figura 7.34 mostra diferentes tipos de degradação ambiental ocorridas na bacia. A Figura 7.34 (a) refere-se à pedreira existente no bairro Cônego. A figura 7.34 (b) mostra o ponto de lançamento de resíduo industrial, tendo em vista a existência de uma fábrica nas proximidades. A Figura 7.34 (c) ilustra a ocupação irregular das margens do rio Cônego por residências e indústrias. A Figura 7.34 (d) revela o descaso público quanto à ocupação irregular das encostas e a remoção da cobertura vegetal. A Figura 7.34 (e) mostra o lançamento de resíduos de construção. A Figura 7.34 (f) ilustra bancos de sedimentos em um trecho do rio Cônego. A Figura 7.34 (g) revela a tubulação de esgoto lançado *in natura* e a Figura 7.34 (h) o lançamento de águas residuárias.



**Figura 7.34** – Degradação ambiental na bacia do rio Cônego; (a) pedreira; (b) resíduo industrial; (c) ocupação das margens; (d) ocupação de encostas; (e) resíduo sólido; (f) assoreamento; (g) esgoto doméstico; (h) águas residuárias.

Existem inúmeros problemas associados aos corpos d'água receptores de águas pluviais, que interferem nos principais usos das águas do meio urbano. O aumento das vazões cria problemas significativos no *habitat* dos rios urbanos pela variação na geometria do canal, causando significativa erosão na calha fluvial e condições instáveis do leito.

As ocupações marginais afetam dramaticamente o *habitat* pela remoção das matas ciliares e vegetações ribeirinhas e pelo lançamento de detritos orgânicos diretamente sobre os rios e córregos. Outro impacto é o aumento do transporte de sedimentos associados à falta de controle do material erodido em áreas em construção ou com movimentação de terras.

Outro fator estressante é a quantidade de material flutuante e lixo que são levados pelo escoamento durante as tempestades e se acumulam ao longo dos cursos d'água. Isso cria um impacto visualmente desagradável e condições potencialmente perigosas, interferindo com o uso dos recursos hídricos e no desempenho hidráulico do sistema de drenagem pluvial.

Evidentemente, a melhor estimativa das vazões de enchente em um determinado curso d'água, associadas a baixas probabilidades de ocorrência, é efetuada quando estão disponíveis dados de observação dos deflúvios nos pontos de interesse. Esses dados, entretanto, ainda não estão disponíveis, apesar do recente monitoramento de alguns trechos pela SERLA, com a instalação de limnógrafos, para a posterior implantação do Sistema de Alerta de Cheias, mas ainda não foram instalados os medidores de descarga.

O Modelo SCS utilizado tem como foco a simulação de hidrogramas de cheias de projeto (vazão máxima) de obras hidráulicas, bem como o estabelecimento de risco de enchente para um determinado local. A sua utilização em todo o mundo se deve ao reduzido número de parâmetros e à relação entre os parâmetros e as características físicas da bacia. Originalmente preparado para simulação concentrada de uma bacia, o SCS pode ser utilizado em conjunto com um modelo de escoamento em rios e canais, para simular a propagação de hidrogramas de diferentes sub-bacias.

Estruturalmente, o modelo comporta três algoritmos: precipitação de projeto; determinação do volume superficial; e propagação do escoamento na bacia.

Seu uso, entretanto, não pode ser feito indiscriminadamente e os seguintes aspectos foram levados em conta:

- ✓ a fórmula proposta pelo SCS é empírica e teoricamente inconsistente se for transformada em fórmula de infiltração;

- ✓ a fórmula do SCS foi determinada para chuvas de 24 horas. A sua aplicação para intervalos de tempo menores que um dia é uma extrapolação que não encontra respaldo em estudos experimentais ou teóricos;
- ✓ o SCS não apresenta informações que fundamentem sua afirmação de que a perda inicial é aproximadamente igual a '0,2.S'.

A técnica baseada na teoria do hidrograma unitário foi utilizada devido à necessidade de se considerar a variação temporal da intensidade da chuva e o amortecimento na bacia, pois do contrário as vazões de pico seriam superestimadas.

A grande quantidade de fórmulas que fornecem o valor do tempo de concentração em função das características da bacia e da intensidade de precipitação se originam de estudos experimentais, dessa forma, as equações adotadas neste trabalho foram escolhidas pela observação das condições aproximadas àquelas para as quais foram determinadas.

#### *7.2.4. Capacidade de Descarga*

As enchentes e inundações são processos de natureza fluvial associados à dinâmica de escoamento das águas superficiais. As águas da chuva, ao alcançar um curso d'água, causam o aumento na vazão por determinado período de tempo. Esse acréscimo na descarga d'água tem o nome de cheia ou enchente. Por vezes, no período da enchente, as vazões atingem tal magnitude que podem superar a capacidade de descarga da calha do curso d'água e extravasar para áreas marginais habitualmente não ocupadas pelas águas.

Dessa forma, fez-se necessária a avaliação da capacidade de descarga do rio Cônego, em algumas seções (numeradas de jusante para montante), onde foi possível a aplicação da equação de Manning (CHOW, 1959), ou seja, nos trechos caracterizados como escoamento uniforme.

Em 1889, Manning determinou o valor do coeficiente C da equação de Chezy para o cálculo do escoamento uniforme livre em canais, como sendo igual à razão entre o

raio hidráulico elevado à potência de  $1/6$  e o parâmetro  $n$ , representativo da

rugosidade das paredes do canal. Atualmente, a equação de Manning é uma das metodologias de cálculo mais utilizadas por projetistas de países ocidentais no dimensionamento de canais abertos. Na maneira como é apresentada a seguir

(CHOW, 1959), essa equação pode ser utilizada no cálculo do escoamento uniforme em canais, qualquer que seja a forma geométrica da seção transversal.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Equação 7.33}$$

Onde  $A$  é a área da seção transversal do escoamento,  $R$  o raio hidráulico,  $S$  a

declividade do fundo do canal e  $n$  o coeficiente de rugosidade de Manning que, apesar

de representar a rugosidade das paredes do canal, é considerado um fator adimensional (CHOW, 1959).

A obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning para as seções no rio cônego foi realizada com base no procedimento proposto em CHOW (1959), analisando-se as características físicas do canal fluvial em cada seção:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_s \quad \text{Equação 7.34}$$

Onde  $n_0$  é o valor básico de  $n$  para um canal retilíneo, uniforme e com superfícies

planas, de acordo com o material associado à superfície de contato,  $n_1$  é o valor

adicional a  $n_0$  para correção dos efeitos das irregularidades da superfície, tais como

erosões, assoreamento, saliências e depressões na superfície,  $n_2$  correspondente à

freqüência de ocorrência de variações de forma, conforme as possibilidades de causar

perturbações no fluxo,  $n_3$  é o valor para a presença de obstruções, como matacões,

troncos, etc.,  $n_4$  é o valor para a influência da vegetação no escoamento, segundo o

tipo, densidade e altura da vegetação, e  $m_5$  é um fator de correção das sinuosidades

do canal.

As Tabelas 7.29, 7.30 e 7.31 ilustram diferentes valores para o coeficiente de rugosidade de Manning de acordo com as condições ou tipo (natural ou artificial) do canal.

**Tabela 7.29** – Valores do coeficiente de rugosidade de Manning para as condições do canal (CHOW, 1959).

<b>CONDIÇÕES DO CANAL</b>		<b>VALORES</b>
<b>n<sub>0</sub></b>	Solo	0,020
Material envolvido	Rocha	0,025
	Pedregulho fino	0,024
	Pedregulho graúdo	0,028
<b>n<sub>1</sub></b>	Liso	0,000
Grau de irregularidade	Pequeno	0,005
	Moderado	0,010
	Severo	0,020
<b>n<sub>2</sub></b>	Gradual	0,000
Variações da seção transversal	Alternâncias ocasionais	0,005
	Alternâncias freqüentes	0,010 – 0,015
<b>n<sub>3</sub></b>	Desprezível	0,000
Efeito de obstruções	Pequeno	0,010 – 0,015
	Apreciável	0,020 – 0,030
	Severo	0,040 – 0,060
<b>n<sub>4</sub></b>	Baixa	0,005 – 0,010
Vegetação	Média	0,010 – 0,025
	Alta	0,025 – 0,050
	Muito alta	0,050 – 0,100
<b>m<sub>5</sub></b>	Pequeno	1,000
Grau de meandrização	Apreciável	1,150
	Severo	1,300

**Tabela 7.30** – Valores do coeficiente de rugosidade de Manning para canais artificiais (CHOW, 1959).

<b>REVESTIMENTO</b>	<b>RUGOSIDADE</b>		
	<b>MÍNIMA</b>	<b>USUAL</b>	<b>MÁXIMA</b>
Concreto pré-moldado	0,011	0,013	0,015
Concreto com acabamento	0,013	0,015	0,018
Concreto sem acabamento	0,014	0,017	0,020
Concreto projetado	0,018	0,020	0,022
Gabiões	0,022	0,030	0,035
Espécies vegetais	0,025	0,035	0,070
Aço	0,010	0,012	0,014
Ferro fundido	0,011	0,014	0,016
Aço corrugado	0,019	0,022	0,028
Solo sem revestimento	0,016	0,023	0,028
Rocha sem revestimento	0,025	0,035	0,040




**Tabela 7.31** – Valores do coeficiente de rugosidade de Manning para canais naturais (CHOW, 1959).

<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>RUGOSIDADE</b>		
		<b>MÍNIMA</b>	<b>USUAL</b>	<b>MÁXIMA</b>
Canais de pequeno porte em planície ( $B^{7.3} < 30$ m)	Limpos	0,025	0,033	0,045
	Trechos lentos	0,050	0,070	0,080
Canais de pequeno porte em montanhas ( $B < 30$ m)	Leito desobstruído	0,030	0,040	0,050
	Leito com matacões	0,040	0,050	0,070
Canais de grande porte ( $B > 30$ m)	Seções regulares	0,025	-	0,060
	Seções irregulares	0,035	-	0,100
	Pastagens	0,025	0,030	0,035
Planícies de inundação	Culturas	0,020	0,040	0,050
	Vegetação densa	0,045	0,070	0,160

As Tabelas 7.32 a 7.42 mostram a caracterização de cada seção para a obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.




<sup>7.3</sup> B: largura do canal.

**Tabela 7.32** – Caracterização da seção 1 (SEC1) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 1 (SEC1)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>Seção localizada na foz da bacia do rio Cônego. Esse trecho do canal foi revestido com blocos de granito.</p> <p>A seção, do tipo retangular aberta, possui 8,98 m de largura e 3,04 m de altura.</p> <p>O canal apresenta densa cobertura com ervas daninhas em ambas as margens, o leito é composto por material rochoso, pedras arredondadas. A densa ocupação urbana e rodovias emolduram as suas margens.</p>
<p><b>Coeficiente de Manning</b></p> <p style="font-size: 1.2em;">n = 0,025</p>	
	
<p>Vista para montante (jan/2009)</p>	<p>Exultório do rio Cônego (jan/2009)</p>

\*NOTA: As setas indicam o sentido do fluxo.  
Largura e profundidade médias.




**Tabela 7.33** – Caracterização da seção 2 (SEC2) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 2 (SEC2)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>Seção localizada próximo à foz da bacia do rio Cônego.</p> <p>A seção, do tipo retangular aberta, possui 12,14 m de largura e 2,90 m de altura.</p> <p>Esse trecho do canal possui, em sua margem direita, cobertura vegetal com ervas daninhas e, em toda margem esquerda, observa-se a ocupação por habitações.</p> <p>Trata-se de um canal em solo aluvial siltoso.</p>
<b>Coeficiente de Manning</b>	
$n = 0,025$	
	
Vista para montante (jan/2009)	Vista para jusante (jan/2009)




**Tabela 7.34** – Caracterização da seção 3 (SEC3) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 3 (SEC3)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>A seção localiza-se no Country Clube de Nova Friburgo.</p> <p>A seção, do tipo retangular aberta, possui 8,0 m de largura e 2,24 m de altura.</p> <p>Da seção para jusante, as margens foram revestidas de concreto, recobertas por graminea e brachiaria.</p> <p>Trata-se de um canal em solo aluvial siltoso.</p> <p>À montante, o rio recebe as águas provenientes dos lagos do clube.</p>
<b>Coeficiente de Manning</b>	
$n = 0,029$	
	
Vista para montante (jan/2009)	Vista para jusante (jan/2009)




**Tabela 7.35** – Caracterização da seção 4 (SEC4) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 4 (SEC4)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>A seção localiza-se no Parque São Clemente.</p> <p>A seção, do tipo retangular aberta, possui 16,51 m de largura e 5,76 m de altura.</p> <p>Da seção para montante, a margem esquerda foi revestida, recentemente, de concreto. A margem direita encontra-se recobertas por vegetação brachiaria aparada.</p> <p>Trata-se de um canal de terra escavado em solo aluvial siltoso. Ao longo de suas margens, nesse trecho, é intensa a ocupação urbana por residencial e comercial.</p>
<b>Coeficiente de Manning</b>	
$n = 0,021$	
	
Vista para montante (jan/2009)	Vista para jusante (jan/2009)



**Tabela 7.36** – Caracterização da seção 5 (SEC5) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 5 (SEC5)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>A seção localiza-se no bairro Olaria.</p> <p>A seção, do tipo trapezoidal aberta, possui 14,11 m de largura e 3,56 m de altura.</p> <p>Da seção para jusante, a margem esquerda foi revestida, recentemente, de concreto. A margem direita encontra-se recobertas por vegetação brachiaria aparada.</p> <p>Trata-se de um canal de terra escavado em solo aluvial siltoso. Ao longo de suas margens, nesse trecho, é intensa a ocupação urbana residencial e comercial. A fábrica Drive Sol possui um sistema de drenagem pluvial regulado através de comportas que lança suas águas para o rio.</p>
<b>Coeficiente de Manning</b>	
$n = 0,025$	
	
Vista para montante (jan/2009)	Vista para jusante (jan/2009)

**Tabela 7.37** – Caracterização da seção 6 (SEC6) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 6 (SEC6)</b>	
	<b>Descrição</b>
	<p>A seção localiza-se no bairro Olaria, início da Via Expressa.</p> <p>A seção, do tipo trapezoidal aberta, possui 15,60 m de largura e 4,49 m de altura.</p> <p>À montante, o rio encontra-se recoberto por vegetação brachiaria densa.</p> <p>Trata-se de um canal natural de terra em solo aluvial siltoso.</p> <p>Ao longo de todo o trecho, observa-se a ocupação de suas margens.</p>
	<b>Coeficiente de Manning</b>
	<p><math>n = 0,029</math></p>
	
<p>Vista para montante (jan/2009)</p>	<p>Vista para jusante (jan/2009)</p>

**Tabela 7.38** – Caracterização da seção 7 (SEC7) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 7 (SEC7)</b>	
	<b>Descrição</b>
	<p>A seção localiza-se no bairro Olaria. A seção, do tipo retangular aberta, possui 12,0 m de largura e 3,92 m de altura. A vegetação de brachiaria e ervas daninhas ocupa toda a margem do rio. Trata-se de um canal natural de terra em solo aluvial siltoso, com depósito de areia no fundo do leito. Ao longo de todo o trecho, observa-se a ocupação de suas margens.</p>
<b>Coeficiente de Manning</b>	
<p><math>n = 0,029</math></p>	
	
<p>Vista para montante (jan/2009)</p>	<p>Vista para jusante (jan/2009)</p>

**Tabela 7.39** – Caracterização da seção 8 (SEC8) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 8 (SEC8)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>A seção localiza-se no bairro Olaria. A seção, do tipo retangular aberta, possui 8,95 m de largura e 2,75 m de altura. No trecho ocupado por habitações, o rio foi revestido por material de alvenaria das próprias construções. No trecho, à montante, a vegetação é bastante densa. O fundo do leito do rio é de material rochoso.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Coeficiente de Manning</b></p> <p style="text-align: center;"><math>n = 0,025</math></p>
	
<p>Vista para montante (jan/2009)</p>	<p>Vista para jusante (jan/2009)</p>

**Tabela 7.40** – Caracterização da seção 9 (SEC9) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 9 (SEC9)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>A seção localiza-se no bairro Olaria, onde se encontra uma estação hidrométrica do Sistema de Alerta de Cheias de Nova Friburgo, monitorada pela SERLA.</p> <p>A seção, do tipo retangular aberta, possui 9,37 m de largura e 2,91 m de altura.</p> <p>No trecho ocupado por habitações, o rio foi revestido por material de alvenaria das próprias construções.</p> <p>No trecho, à montante, a vegetação é bastante densa.</p> <p>O fundo do leito do rio é de material rochoso, em forma angular.</p>
<b>Coeficiente de Manning</b>	
$n = 0,036$	
	
Vista para montante (jan/2009)	Vista para jusante (jan/2009)

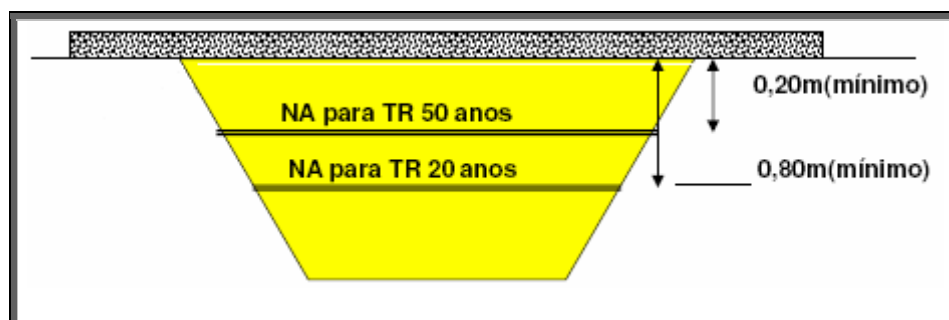
**Tabela 7.41** – Caracterização da seção 10 (SEC10) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 10 (SEC10)</b>					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #1a3d54; color: white; padding: 5px;">Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"> <p>A seção localiza-se no bairro Olaria, onde está sendo construído um reservatório do tipo soleira.</p> <p>A seção, do tipo trapezoidal aberta, possui 13,45 m de largura e 4,38 m de altura.</p> <p>O leito é composto de material arenoso e rochoso. As margens e as seções transversais são irregulares.</p> </td> </tr> <tr> <th style="background-color: #1a3d54; color: white; padding: 5px;">Coeficiente de Manning</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> <math>n = 0,040</math> </td> </tr> </tbody> </table>	Descrição	<p>A seção localiza-se no bairro Olaria, onde está sendo construído um reservatório do tipo soleira.</p> <p>A seção, do tipo trapezoidal aberta, possui 13,45 m de largura e 4,38 m de altura.</p> <p>O leito é composto de material arenoso e rochoso. As margens e as seções transversais são irregulares.</p>	Coeficiente de Manning	$n = 0,040$
Descrição					
<p>A seção localiza-se no bairro Olaria, onde está sendo construído um reservatório do tipo soleira.</p> <p>A seção, do tipo trapezoidal aberta, possui 13,45 m de largura e 4,38 m de altura.</p> <p>O leito é composto de material arenoso e rochoso. As margens e as seções transversais são irregulares.</p>					
Coeficiente de Manning					
$n = 0,040$					
					
Vista para montante (jan/2009)	Vista para jusante (jan/2009)				

**Tabela 7.42** – Caracterização da seção 11 (SEC11) para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning.

<b>SEÇÃO 11 (SEC11)</b>	
	<p><b>Descrição</b></p> <p>A seção localiza-se no bairro Cônego. A seção, do tipo retangular aberta, possui 10,0 m de largura e 2,71 m de altura. O leito é composto de material rochoso, com constante presença de matacões. A partir dessa seção para montante, o rio torna-se mais encachoeirado, uma vez que a declividade aumenta consideravelmente. Esse é um trecho com 176,38 m, bastante atípico, onde o rio Cônego faz duas curvas bruscas. À montante, as margens passam a ser emolduradas por vegetação de maior porte, como arbustos e árvores.</p>
<b>Coeficiente de Manning</b>	
$n = 0,045$	
	
Vista para montante (jan/2009)	Vista para jusante (jan/2009)

A verificação da capacidade de descarga atual do rio Cônego levou em consideração os critérios de período de retorno e borda-livre praticados pela Diretoria de Obras e Apoio Técnico da SERLA para aprovação de projetos, conforme ilustra a Figura 7.35.



**Figura 7.35** – Parâmetros hidráulicos para definição do nível d'água em seções de travessias ou pontes.

Os estudos hidráulicos foram realizados para período de retorno de 20 anos, com definição do nível d'água, deixando-se um mínimo de borda-livre (*free-board*) igual à 0,80 m e período de retorno de 50 anos com borda-livre mínima de 0,20 m (Tabela 7.43).

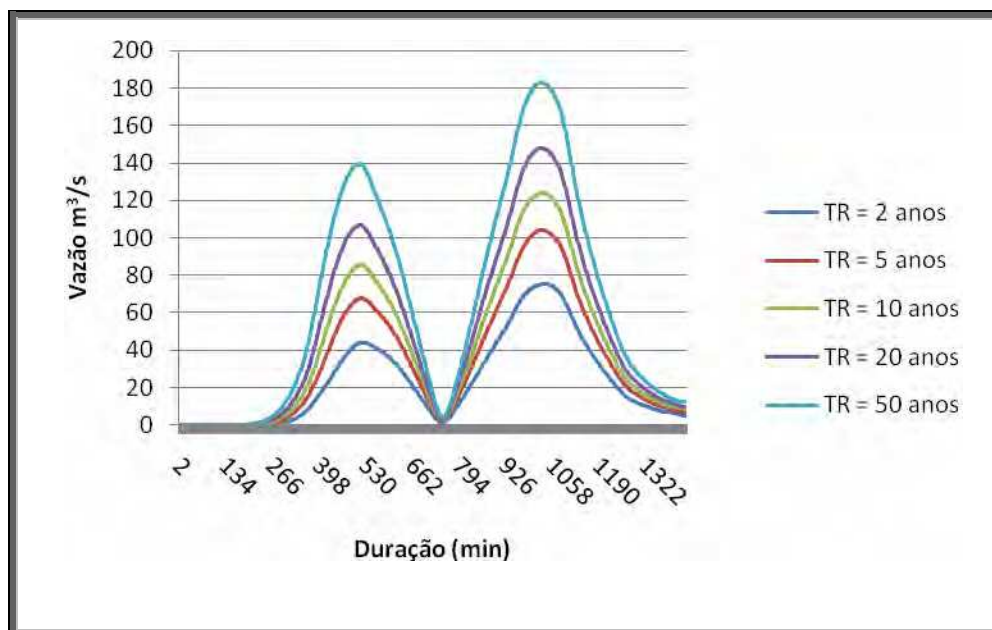
**Tabela 7.43** – Diagnóstico da capacidade de descarga, TR de 20 e 50 anos.

SEÇÃO	DISTÂNCIA (m)	MANNING	DECLIVIDADE (m/m)	CAPACIDADE DE DESCARGA (m <sup>3</sup> /s)			DE CENÁRIO 2005		CONDIÇÃO TR20	CONDIÇÃO TR50
				s/ BL	BL-0,20 (m)	BL-0,80 (m)	TR20	TR50		
SEC11		0,045	0,0110	91.87	82.28	55.17	99,87	124,56	Insuficiente	Insuficiente
SEC10	424,81	0,040	0,0110	148.84	139.37	111.80	108,95	135,86	OK	Insuficiente
SEC9	504,90	0,036	0,0110	117.33	106.07	73.95	110,43	137,71	Insuficiente	Insuficiente
SEC8	404,44	0,025	0,0048	97.28	87.40	59.32	116,89	145,58	Insuficiente	Insuficiente
SEC7	349,28	0,029	0,0039	180.12	167.32	130.22	122,47	152,38	OK	OK
SEC6	273,99	0,029	0,0018	141.60	132.69	106.81	126,84	157,71	Insuficiente	Insuficiente
SEC5	246,94	0,025	0,0006	48.36	48.72	36.52	130,54	162,21	Insuficiente	Insuficiente
SEC4	279,62	0,021	0,0027	316.09	300.87	256.22	138,40	171,81	OK	OK
SEC3	516,94	0,029	0,0022	17.38	15.20	9.13	145,35	180,29	Insuficiente	Insuficiente
SEC2	332,23	0,029	0,0018	93.65	84.39	58.20	146,26	181,34	Insuficiente	Insuficiente
SEC1	327,20	0,025	0,0045	108.90	98.98	70.55	147,15	182,37	Insuficiente	Insuficiente
EXULTÓRIO	12,80	0,025	0,0220	263.80	242.98	182.65	147,68	182,98	OK	OK

Observa-se que a maioria das seções não possui capacidade suficiente para escoar as vazões de projeto correspondentes ao horizonte 2005 (cenário atual) e, portanto, não atendem às condições de escoamento com a borda-livre mínima de 0,80 m imposta pela SERLA para o período de retorno de 20 anos. Entretanto, a seção SEC10 quando verificada para um período de retorno de 20 anos e sem borda livre atende às condições de escoamento, dessa forma, a borda-livre igual a 0,80m passa a ser o limitador da capacidade de descarga quando analisada para o período de retorno de 20 anos.

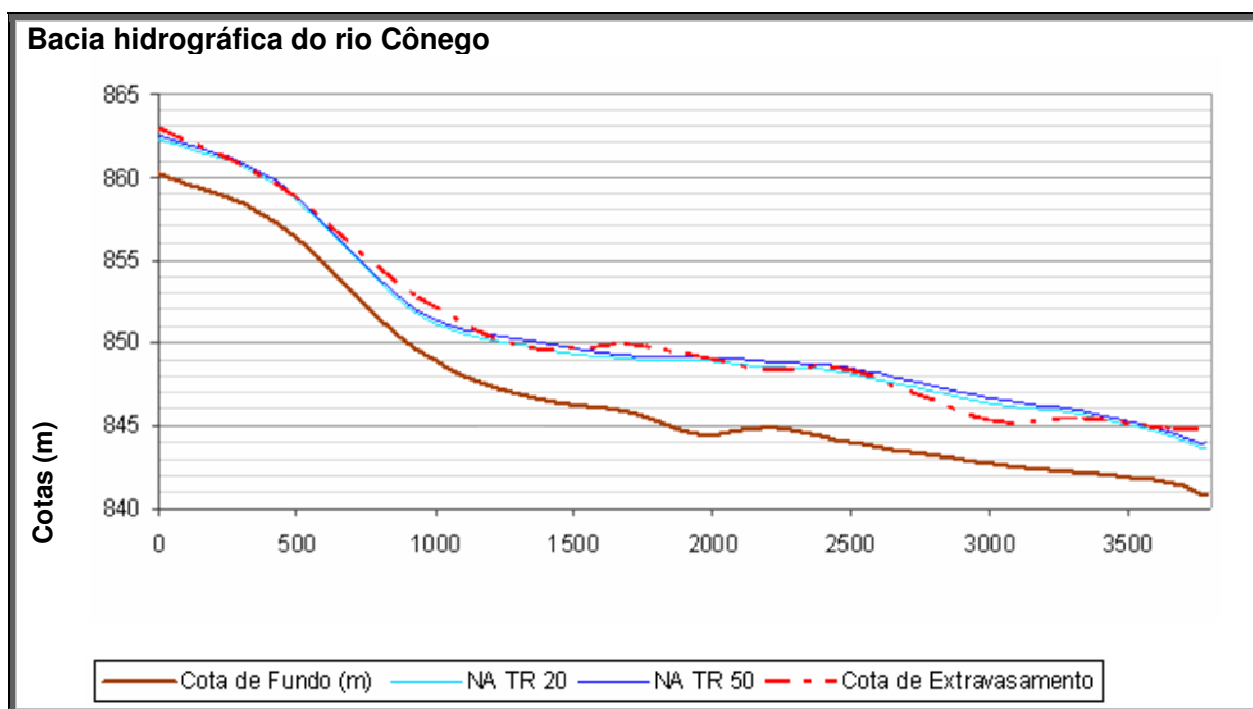
As demais seções tanto para o período de retorno de 20 anos como para 50 anos atendem as condições de escoamento e, portanto, possuem capacidade para transportar a vazão de projeto.

As seções SEC5 e SEC3 não possuem capacidade para transportar até mesmo vazões com período de retorno da ordem de 2 anos, como ilustra o hidrograma contido na Figura 7.36.



**Figura 7.36** – Hidrograma com chuva de 24 horas para diferentes períodos de retorno.

Os níveis d'água máximos atingidos pela passagem da onda de cheia de períodos de retorno de 20 e 50 anos, obtidos a partir da modelagem hidrodinâmica contida no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo são apresentados na Figura 7.37.



**Figura 7.37** – Cotas de extravasamento das seções transversais e níveis d'água máximos para o rio Cônego – cenário atual 2005 (Fonte: PMNF/FCTH, 2007).

Observa-se na figura acima que a cota de extravasamento no trecho localizado mais à montante é atingida pelas vazões de período de retorno de 20 e 50 anos. O trecho de maior declividade é praticamente o único que veicula as vazões para os dois períodos de retorno diagnosticados.

Em todo trecho de jusante verifica-se o transbordamento do canal para todos os períodos de retorno analisados. O fato é decorrente da baixa capacidade de escoamento das vazões a serem transportadas.

As seções transversais apontaram as alterações existentes ao longo do canal natural. À aproximadamente 300 m antes da seção 1 há ocupação à margem direita do canal e entre a seção 2 e a seção 1 há uma diminuição na calha. O trecho intermediário do canal apresenta seção mais alargada e profundidade aproximada de 4 m, assim como ocupação desordenada (Seção 7).

Em alguns trechos não canalizados do rio é visível a divisão deste em leito menor e leito maior (Figura 7.38).



**Figura 7.38** – Seção transversal de trecho não canalizado em Olaria.

As obras de retificação e/ou canalização, sem considerar um planejamento global da bacia, criaram vias expressas para as águas. A velocidade do escoamento, durante as chuvas, aumenta significativamente, permitindo a rápida concentração dos volumes nas seções de jusante. Essas obras potencializaram o extravasamento rio abaixo, ao longo dos trechos cuja capacidade de escoamento é insuficiente e não foram

preparados ou também foram modificados (estreitamento da calha), para receber a vazão máxima.

Ou seja, a construção de redes de drenagem pluvial, solução largamente e erroneamente adotada, de forma geral, como solução para os problemas da drenagem, contribuiu para o agravamento das inundações das áreas mais baixas ao transferir os alagamentos de montante para jusante. As práticas mais atuais adotadas no controle de cheias tendem a retardar ou reduzir os escoamentos gerados na bacia através de medidas de armazenamento e infiltração.

O desenho do percurso, a geometria e a declividade dos cursos d'água, definem o movimento dos escoamentos e estabelecem a capacidade de armazenamento da calha.

O potencial de retenção na calha do rio sofre também a influência da rugosidade do leito e da presença da vegetação ciliar (ribeirinha), que atuam como mecanismos naturais de resistência à energia do escoamento. O aumento da resistência promove a diminuição da velocidade média com a conseqüente elevação do nível das águas, maior armazenamento na calha e retardamento e diminuição do pico do hidrograma de cheia.

O processo histórico de desenvolvimento da cidade, em virtude da procura por residências próximas aos locais de trabalho, pode ser identificado como o primeiro fator agravante das cheias na bacia, ao permitir a ocupação de áreas marginais aos cursos d'água e também daquelas situadas em cotas topográficas mais baixas. Com o passar do tempo, a ocupação irregular do leito maior do rio Cônego e seus tributários foi progressivamente se consolidando, aumentando significativamente a população atingida periodicamente pelas enchentes e dificultando, inclusive, a realização de ações de limpeza, dragagem e manutenção da calha e de obras de canalização.

Dessa forma, ao se usar as margens de um curso de água para alguma finalidade, quer seja uma atividade agrícola, uma construção qualquer, como os apoios de uma ponte ou travessia e mesmo tornando-as áreas residenciais, criam-se obstáculos aos escoamentos possíveis de ocorrência para chuvas freqüentes.

As áreas marginais, a partir do limite da seção capaz de escoar as enchentes ordinárias, até certa distância, que depende da vegetação natural a ser preservada, são protegidas por leis e outros diplomas legais.

Essas áreas são denominadas de faixas marginais de proteção, sobre as quais, não é permitido qualquer tipo de construção.

O Código de Águas (Decreto N° 2.4643, de 10/07/ 34) reserva uma faixa de 10 m para os cursos de água não navegáveis e não fluviáveis, onde fica estabelecida uma servidão de trânsito para os agentes da administração pública em serviço.

Quando existe vegetação natural junto às margens (mata ciliar), outro diploma legal é tomado como referência: o Código Florestal. Segundo ele, a faixa de terra coberta pela vegetação nativa junto ao corpo de água deve ser preservada até a largura de 100 m.

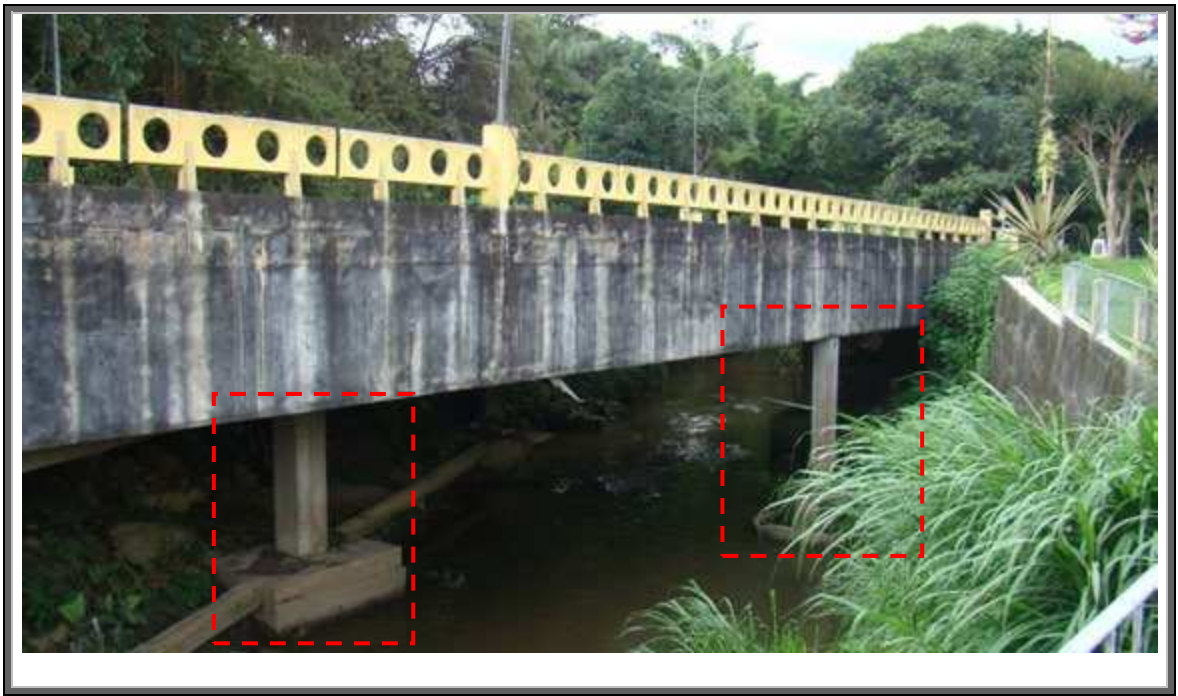
Entretanto, a omissão do poder público em fiscalizar e coibir a ocupação irregular e a construção de moradias, desordenadamente, culminou na degradação do sistema fluvial, observada em vários trechos.

Além da ocupação das áreas marginais aos cursos d'água, o processo de urbanização do município de Nova Friburgo também não foi capaz de prevenir a ocupação de suas encostas. Atualmente, uma considerável área das encostas do município encontra-se ocupada por casas ou por vegetação rasteira, em substituição à mata atlântica que ocupava a maior parte dessa área no passado. Com isso, a chuva que hoje cai sobre a bacia desce, acumulando-se nas áreas mais baixas da cidade, que passam a ser afetadas de forma mais intensa.

O acúmulo de resíduos sólidos nos rios, além do lançamento de esgotos sanitários sem tratamento, também contribui para o agravamento das cheias uma vez que provoca o assoreamento das canalizações e a obstrução dos elementos hidráulicos que fazem parte do sistema de drenagem. Além disso, esses fatores deterioram a qualidade da água dos rios e podem provocar a contaminação da população local com doenças de veiculação hídrica.

As pontes e/ou as travessias sobre os cursos d'água desempenham importante função na economia de uma região, na integração dos bairros e das cidades. Apesar de grandes aliadas para encurtar caminhos e promover o desenvolvimento, podem representar uma ameaça durante as enchentes.

A presença de singularidades, tais como vigas e pilares de pontes, constituem outro fator agravante das cheias que ocorrem no município (Figura 7.39).



**Figura 7.39** – Ponte sobre o rio Cônego, acesso entre o Centro e o Parque São Clemente.

As obras foram realizadas com o único e exclusivo objetivo de transpor o leito menor, implantando os pilares de sustentação de forma a estrangular a área da seção disponível para o fluxo das águas.

Soma-se a esse tipo de resistência, aquela decorrente do acúmulo de lixo, de sedimentos e vegetação junto aos pilares, exigindo manutenção periódica, através de limpeza e desobstrução.

Não é raro, as estruturas das pontes serem utilizadas para sustentar tubulações (água, esgoto, etc.), criando mais um obstáculo ao fluxo das águas (Figura 7.40).



**Figura 7.40** – Travessia de tubulação.

Em alguns trechos à montante, localizados entre os bairros Cônego e Cascatinha, é comum a ocupação das margens e até mesmo do leito do rio Cônego causando o estrangulamento do canal (Figura 7.41).



**Figura 7.41** – Ocupação do leito e margens do rio Cônego.

O trecho compreendido entre o nó 1 e o nó 7 apresenta declividades maiores. A partir do nó 7 até o nó 15, a urbanização se deu à beira do rio Cônego, ocupando sua várzea indevidamente (Figura 7.42).



**Figura 7.42** – Ocupação da várzea do rio Cônego, próximo à seção 2.

A bacia do rio Cônego apresenta maior urbanização a partir do córrego Cascatinha até a confluência com o rio Santo Antônio.

Durante os eventos críticos de chuva, pode-se detectar problemas, principalmente, no Paissandu, próximo ao Nova Friburgo Country Clube.

O rio Cônego encontra-se confinado entre avenidas marginais e ocupação desordenada, quase que na totalidade de seu trecho urbanizado, algumas construções fazem fundo para o canal, inviabilizando ou mesmo, encarecendo qualquer intervenção (Figura 7.43).



**Figura 7.43** – Ocupação das margens do rio Cônego, bairro Olaria.

É freqüente a situação de cursos d'água com intensa ocupação marginal, com faixa muito estreita disponível para o seu leito que, com o passar do tempo torna-se insuficiente para a veiculação das novas vazões de pico de cheias, muito incrementadas pelo efeito da urbanização a montante;

O problema de inundações na bacia do rio Cônego é agravado pela ausência de manutenção ao longo do canal principal e de seus afluentes e, devido a assoreamento causado por erosão e escorregamento das encostas em razão dos condicionantes físicos e antrópicos da região, como abordado no Capítulo 5.

Verificou-se trechos do canal com curvas bruscas, estruturas hidrodinamicamente pouco adequadas e estrangulamento de seção. Esses fatores influenciam a capacidade de descarga do rio (canal) e proporcionam o aumento de freqüência de inundações.

Pôde-se observar que, de forma geral, os principais problemas que fazem os macrodrenos apresentarem condições inadequadas de escoamento se devem à falta de capacidade de descarga das seções hidráulicas atuais, agravados com a ocorrência de:

- ✓ assoreamento dos talwegues;
- ✓ travessias e obras de transposições inadequadas;
- ✓ elevada afluência de esgotos urbanos e de lixo;
- ✓ obstruções e encalhes de sujeiras, devido a detritos;

- ✓ excesso de vegetação no fundo e no talude, contribuindo para a retenção de lixo e para a diminuição da velocidade do fluxo no leito do rio;
- ✓ ocupação desordenada das regiões marginais;
- ✓ solo suscetível à erosão;
- ✓ estado inadequado de conservação e limpeza.

Para o caso de Nova Friburgo os estudos populacionais realizados pelo Plano de Águas Pluviais não apontaram um crescimento significativo para um horizonte de 20 anos, não acarretando, portanto, muita elevação no índice de impermeabilização do solo e aumento substancial nas vazões de cheia. Entretanto, cabe ressaltar que, a precipitação que cai sobre o município, somada às dimensões das principais bacias urbanas, já resultou em vazões de grande porte exigindo, portanto, do poder público medidas atenuantes.

### **7.3. Conseqüências**

Chuvas intensas e duradouras podem gerar um conjunto de incidentes que vão, desde um simples extravasamento, com alagamento temporário de pequenas proporções, passando pelo colapso dos serviços de infra-estrutura urbana, até a perda de vidas humanas pela fatalidade de um acidente ou por doenças infecciosas que se seguem às inundações.

Os estragos das inundações dependem não só da fragilidade da área atingida, em função do tipo de ocupação e uso do solo, da drenagem em geral, das condições sanitárias e da infra-estrutura de saneamento básico, como também, da vulnerabilidade física dos investimentos públicos, privados, àqueles do setor produtivo e da importância da área como acesso a outras regiões economicamente ativas.

Nas áreas urbanas, as conseqüências são as mais diversas. O homem exerce no processo, papel central primário, talvez mais importante que a própria intensidade do evento pluviométrico, à medida que a ação humana é responsável pela edificação e ocupação do ambiente antes natural.

A magnitude das possíveis ocorrências está diretamente ligada à fragilidade dos cenários construídos pela sociedade, à medida que avança sobre sítios inadequados. Além disso, muitas vezes, esse processo dinâmico não é precedido pelo mínimo de investimentos em infra-estrutura urbana.

Nas áreas de encosta desprovidas de vegetação, a infiltração das águas de chuva é reduzida e o escoamento superficial aumentado. A ausência de raízes que fixam o solo intensifica a erosão o que pode conduzir a instabilidade e ao deslizamento. Nessa situação, as construções existentes ficariam instáveis e poderiam escorregar

juntamente com o terreno. O lixo descartado e acumulado sobre as encostas pode descer morro abaixo com o aumento do seu peso pela água de chuva.

Nas regiões de menor declividade a incidência de inundações e o tipo de consequência, variam no tempo e no espaço e estão associadas ao crescimento urbano. O aumento das áreas impermeabilizadas, novas vias de tráfego e aterro de baixios, são exemplos de alterações físicas do terreno, que contribuem para a mudança dos padrões de drenagem e a diminuição da retenção natural. Portanto, devem ser acompanhadas de soluções de engenharia para retenção, estrategicamente planejadas, para a compensação da perda de retenção natural.

De acordo com o Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo a bacia do rio cônego, juntamente com a bacia do rio Santo Antônio recebem as precipitações de maior magnitude. As contribuições que chegam dos rios Santo Antônio e Cônego, concomitantes à do rio Bengalas, resultam em inundação das áreas adjacentes ao rio, devido a baixa capacidade de descarga do Bengalas no trecho retificado. Quando da ocorrência de eventos concomitantes, ou seja, quando as precipitações assolam as bacias do rio Cônego, do rio Santo Antônio (formadores do rio Bengalas) e do rio Bengalas, mesmo com períodos de retorno de pequena magnitude, a cidade provavelmente terá problemas de inundação. Aliam-se a esses fatores as grandes declividades que resultam em velocidades altas nos macrodrenos e o solo suscetível a deslizamentos que causam, por vezes, e o carreamento de material diminuindo, inclusive as seções úteis dos condutores da micro e macrodrenagem, levando ao assoreamento dos rios naturais.

O rio Bengalas drena a região mais urbanizada e problemática do município. Ponto de descarga da quase totalidade dos córregos que cruzam a área urbana do município, foi objeto de obra de contenção de margens em seu trecho de montante. A obra tinha por objetivo conter as margens e ampliar a capacidade de vazão do canal existente, foi executada em paredes de concreto atirantadas e foi finalizada em meados de 2005, abrange o trecho compreendido a partir da embocadura dos rios Santo Antonio e Cônego até a rua H. Zamith.

O fato mais comum durante e após a inundação, nas áreas atingidas pela inundação nas bacias urbanas do município, é a interrupção temporária do tráfego (Figura 7.44 e conseqüentemente, a redução das atividades comerciais.



**Figura 7.44** – Vários pontos de alagamento pelo transbordamento do rio Bengalas no distrito de Conselheiro Paulino em janeiro de 2007.

O esgotamento das áreas atingidas vai obedecer às taxas da drenagem natural e/ou artificial, certamente agravadas pelo assoreamento e o acúmulo de material sólido já depositado com àquele carregado pela enxurrada. O retorno à normalidade, geralmente, demora de alguns minutos a horas.

Após a passagem da enchente, com o retorno ao nível normal das águas, computam-se os prejuízos materiais. É comum o total isolamento de áreas contíguas menos atingidas, em cotas mais altas (Figura 7.45).



**Figura 7.45** – Interdição do acesso ao Instituto Politécnico da UERJ na Vila Amélia, localidade afetada pelas chuvas de janeiro de 2007.

As águas de chuva promovem a lavagem dos logradouros e vias públicas, terrenos baldios contaminados pelo descarte de toda sorte de lixo, pátios de áreas industriais e outras áreas onde as condições do saneamento básico são precárias.

A qualidade das águas pluviais é alterada, substancialmente, carregando em suspensão e, em forma diluída, matéria orgânica em decomposição, fruto das fezes de animais e do lixo, produtos tóxicos de origem industrial, outras substâncias orgânicas e inorgânicas, típicas das áreas urbanas, e um elenco de bactérias, vírus e protozoários, disponíveis nesses conjuntos de focos poluidores.

O homem ao ingerir a água contaminada, está sujeito a distúrbios gastrointestinais, como diarreias infecciosas causadas por micro organismos do grupo coliforme fecal, presentes nas fezes humanas e de animais. Além disso, fica-se vulnerável a outros organismos patogênicos como o vírus da hepatite e mononucleose e as bactérias responsáveis pela disenteria, tuberculose, febre tifóide, cólera e outras.

Uma das principais enfermidades é a leptospirose, infecção bacteriana, que embora não conduza à morte, com grande frequência, produz graves seqüelas ao organismo humano, principalmente aos rins. A bactéria está presente na urina dos ratos e penetram no homem pela pele.

Prejuízos e fatalidades decorrentes de chuvas intensas são diretamente proporcionais aos períodos de retorno das vazões de pico e dos volumes gerados, do nível de proteção, do uso do solo, da conscientização e preparação da população para enfrentar o risco.

Obras de controle de enchentes podem amenizar os efeitos negativos de um evento, até uma determinada probabilidade de ocorrência.

A compreensão da maneira como a urbanização interfere nas cheias é muito importante para que o planejamento e o controle de enchentes urbanas sejam feitos de forma adequada. De modo geral, pode-se dizer que o controle de cheias urbanas passa pela adoção de medidas estruturais, que modificam a paisagem da bacia, introduzindo intervenções dentro e fora da rede de drenagem, para minoração do problema, e de medidas não estruturais, associadas às ações de educação ambiental, planejamento e medidas diversas que permitem uma convivência mais harmônica com o fenômeno das enchentes.

A combinação de medidas estruturais e não estruturais, em um contexto de planejamento integrado com o crescimento urbano, bem como a própria utilização de estruturas da paisagem urbana com funções hidráulicas, permite uma composição capaz de equacionar o problema de enchentes de forma harmônica e sustentável. Essa concepção, que é relativamente recente, vem sendo considerada como mais

adequada para tratamento do problema de cheias urbanas, por considerar o problema de uma forma sistêmica e propor atuações que, dentro do possível, procuram minimizar os impactos da urbanização.

#### **7.4. Medidas Recomendáveis**

O avanço da ocupação territorial sobre áreas historicamente sujeitas a inundação, a descaracterização da mata ciliar, o desmatamento desenfreado, o descarte irresponsável dos resíduos domiciliares sobre as encostas e nos cursos de água, a impermeabilização dos terrenos, as obras locais de caráter imediatista e outras ações que por dezenas de anos foram praticadas pelo homem em nome do desenvolvimento, hoje se tornam fatores agravantes na formação das enchentes.

O principal objetivo das intervenções até então realizadas no município, a exemplo das obras de retificação e canalização, foi direcionar e conduzir as águas das enchentes o mais rápido possível rio abaixo, esperando assim, dominar os efeitos das chuvas intensas.

Sabe-se hoje que essas obras, embora proporcionem grandes melhorias locais em épocas de enchentes mais frequentes, muitas vezes transferem o problema para jusante e agravam significativamente a situação das enchentes excepcionais. Outros fatores antrópicos, como o desmatamento em grande escala, a urbanização e as atividades que reduzem as áreas naturais de retenção, inclusive áreas de inundação, aumentaram consideravelmente os volumes e os picos das cheias.

Nas enchentes recentes podemos observar um crescimento dos prejuízos, resultado da ocupação sempre mais progressiva de áreas naturais de inundação, e pela falta de conscientização da população relativa aos riscos envolvidos.

Para tentar reverter esse quadro, é importante avaliar e adaptar novas estratégias no controle das inundações, como já em andamento em outros países. Nessas novas concepções os interesses locais de proteger a própria área devem ser harmonizados aos interesses de toda a bacia, incluindo a proteção da população, considerando os aspectos sociais e econômicos, o ecossistema e as necessidades do próprio rio.

Dessa forma, em lugar de direcionar e acelerar as águas das enchentes rio abaixo se deve restabelecer o quanto possível a retenção natural já nas cabeceiras, nas matas, nas áreas ribeirinhas e conservar as áreas de inundação ainda existentes. É impossível evitar as enchentes excepcionais, porém, é possível conter o agravamento contínuo das mesmas e reduzir os prejuízos.

No município de Nova Friburgo, a expansão urbana e as intervenções necessárias para garantir acessibilidade às novas áreas alteram os padrões de drenagem natural. Essa dinâmica gerou modificações na configuração das enchentes e nas dimensões das áreas sujeitas às inundações.

Quanto maior a transformação e a modificação da superfície dos terrenos, tornando-os menos permeáveis à infiltração das águas e diminuindo a capacidade de retenção natural, maior a parcela contribuinte para os escoamentos superficiais e maior a probabilidade de inundações.

A bacia do rio Cônego não possui sítios adequados para a implantação de grandes obras de retenção para a redução das enchentes. Também obras locais para redução de inundações somente garantem proteção limitada. O problema persiste para enchentes excepcionais, isto é, acima daquelas consideradas no projeto.

Medidas para a redução dos volumes de escoamento podem ser adotadas de forma a acrescentar maior segurança oferecida por obras convencionais.

Portanto, buscando-se como solução a retenção das águas nas áreas superiores da bacia do rio Cônego, contemplando a bacia como um todo, observando suas características físicas, de forma a minimizar a quantidade das águas para as áreas mais baixas, propõe-se soluções estruturais e/ou não estruturais na região, com o propósito de evitar o agravamento das inundações nas áreas à jusante.

#### *7.4.1. Medidas Estruturais Extensivas*

De acordo com a Constituição Federal, as ações de combate a enchentes são de responsabilidade da União (TUCCI et al., 2000). Porém, algumas das medidas não estruturais são realizadas pelo poder municipal. As leis de uso e ocupação do solo, restringindo a área a ser construída e seu máximo grau de impermeabilização, e os planos diretores exemplificam a ação municipal em Nova Friburgo.

O Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo é composto de ações imediatas, ações continuadas e ações não estruturais, onde foram definidas duas etapas cronológicas de ações, uma de caráter emergencial e imediato a ser implantada entre 2007 e 2010, denominada de PAI – Plano de Ação Imediata e, outra com medidas de médio e longo prazo e que deverão integrar o cronograma da PMNF entre 2011 e 2025, denominada de PAC – Plano de Ação Continuada.

Dentre as medidas estruturais (intensivas) previstas pelo Plano para a bacia do rio Cônego está a construção de um dissipador de energia próximo à seção 10, além de intervenções nas seções do rio Cônego para o aumento da condutividade hidráulica.



A vegetação exerce várias funções nas áreas das bacias, entre as quais se destaca a de interceptação de parte da precipitação. Ela retém água principalmente nas copas arbóreas e arbustivas, atuando para a efetivação do processo de evapotranspiração.

A capacidade de interceptação está relacionada às características da cobertura vegetal, como tipo, forma e densidade, e é inversa ao volume e duração das chuvas - quanto mais intensas e/ou mais longas as chuvas, menor a capacidade relativa de interceptação. Quanto menor a cobertura vegetal, menor a infiltração e maior volume de água escoado superficialmente, ocasionando erosão, destruindo e desagregando o solo, enchendo os cursos d'água de detritos que irão impedir ou dificultar seu escoamento.

Lembrando-se que a bacia, originalmente, era ocupada pela Mata Atlântica, a vegetação nativa remanescente na região está protegida pela legislação brasileira (Código Florestal – Lei 4.771/65), sendo a exploração legal restrita aos reflorestamentos. Cabe ressaltar, que na bacia do rio Cônego se insere a Área de Proteção Ambiental Municipal do Morro da Caledônia (Figura 7.47) que se sobrepõem parcialmente ao Parque Estadual dos Três Picos, criado no final de 2002. O Parque está incluído na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (IEF, 1994), é considerado um *hot spot*, área de alta prioridade para a conservação (DAVIS et al., 1997), pois abriga remanescentes de floresta montana e campos rupestres, com uma alta diversidade biológica, habitat de diversas espécies ameaçadas de extinção (BOHRER, 1998; LIMA & GUEDES-BRUNI, 1997). A bacia é, ainda, uma das cabeceiras do rio Grande, tributário do rio Paraíba do Sul.



**Figura 7.47** – Vegetação rupestre (campo de altitude) no Pico do Caledônia, com os Três Picos ao Fundo (abr/2008)

Nesse sentido, o reflorestamento de encostas, áreas públicas e privadas, trará, a médio e longo prazos, um conjunto de benefícios. Além de potencializar a infiltração, reter temporariamente parcela das águas de chuva, e diminuir a erosão, fatores esses fundamentais no processo, a recuperação da biota, criação de áreas de lazer e a valorização da paisagem, são benefícios indiretos.

A conservação e a recuperação da vegetação ciliar aumentam a resistência ao escoamento, diminuindo a velocidade média e o processo erosivo das margens, produzindo maior armazenamento dos volumes das águas e reduzindo os picos das enchentes nas calhas dos afluentes e do rio principal.

#### 7.4.1.2. Controle da Erosão

O controle da erosão do solo é uma das principais medidas extensivas, principalmente, em decorrência do assoreamento dos rios.

As obras para conter os efeitos da erosão variam de acordo com as necessidades de cada local. Os principais métodos envolvem desde soluções individuais até soluções de grande envergadura, tais como manutenção de áreas permeáveis dentro dos lotes, cobertura com lona, e sacos de areia a até barragens, passando por sistemas de microdrenagem e pavimentação.

As principais obras de microdrenagem são a construção de sarjetas, que geralmente tem suas dimensões e suas inclinações padronizadas, que tem como objetivo evitar que sejam formadas erosões devido ao escoamento lateral á rua. Para interceptar as águas que escoam pelas sarjetas e conduzi-las à tubulação pluvial, empregam-se as bocas-de-lobo. A sua utilização objetiva evitar o escoamento em cruzamentos de ruas e evitar o aumento do escoamento acima da capacidade da sarjeta. As águas captadas pela drenagem pluvial e pelas bocas-de-lobo são conduzidas à tubulação, na qual quando as velocidades dentro das tubulações forem expressivas necessita-se da construção de tubos de queda. Para uma melhor manutenção das sarjetas e bocas-de-lobo são adotados poços de visita, que permitem acesso à tubulação em pontos estratégicos. As tubulações conduzem às saídas que podem ser em galerias ou a céu aberto.

Obras de contenção de encostas podem ser classificadas como obras extensivas, e permitem que o solo resista à erosão causada pelo escoamento superficial ou subterrâneo, evitando-se, assim, a erosão. Cabe salientar que tais obras para estabilização dependem de manutenção periódica e algumas vezes, de obras complementares.

As principais obras de contenção de encostas são: plantio de vegetação, podendo-se utilizar gramíneas intercaladas ou não com espécies de crescimento rápido e lento, inúmeras experiências com alguns tipos de plantas apresentaram sucesso comprovando a eficiência dessas obras; a estabilização de cortes com geometria adequada, fazendo com que o solo tenha coesão o suficiente para se auto-sustentar, o aterramento é uma solução que pode ser utilizada quando o processo ainda está se iniciando, consiste em aterrar, novamente o local erodido; o uso de gabião, muros de arrimo, cortinas atirantadas, terra armada, parede diafragma, jateamento e etc. são alguns exemplos de obras que são implementadas com o intuito de diminuir os efeitos da erosão nas encostas, principalmente os movimentos de massa gravitacionais.

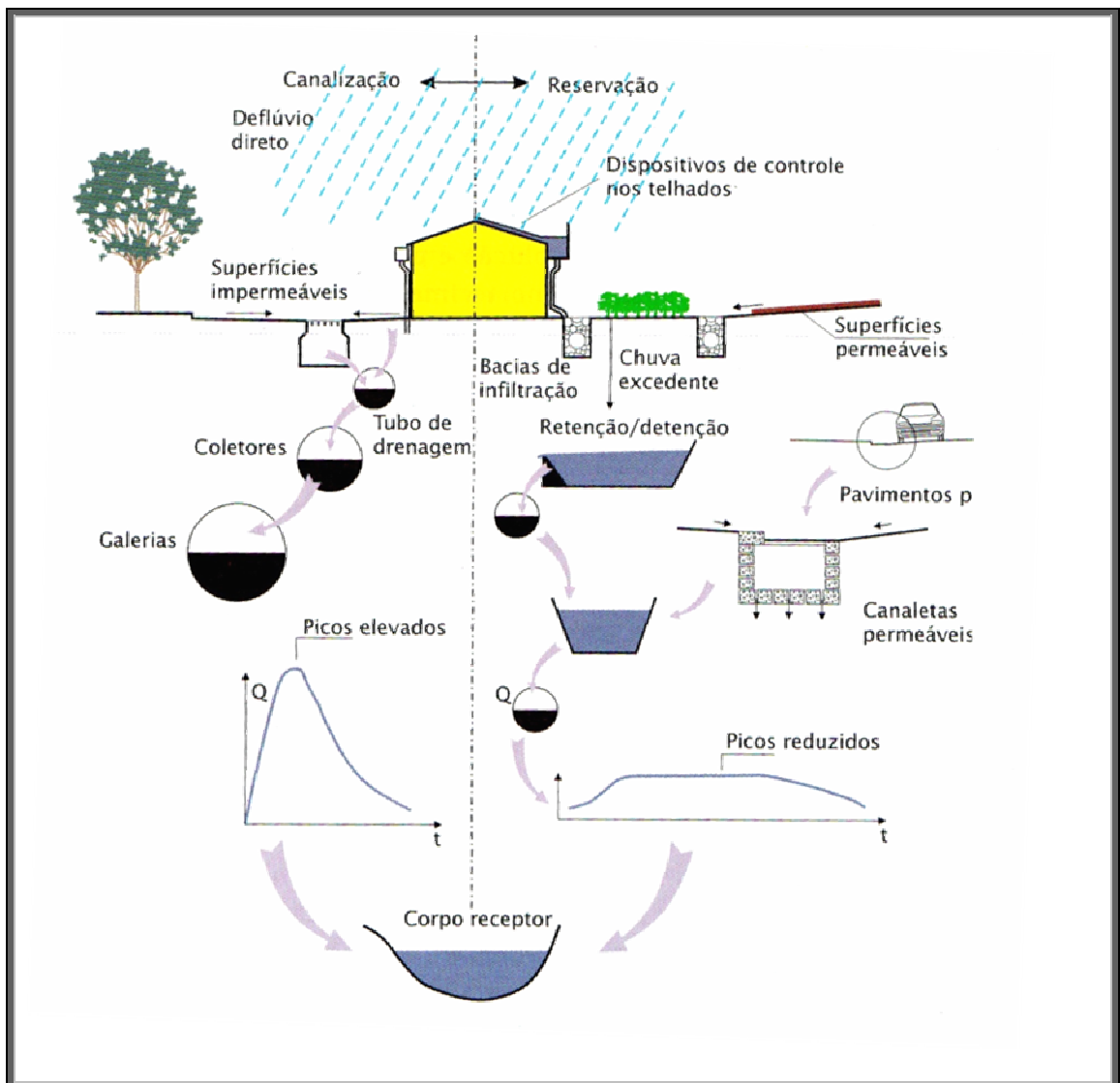
Segundo TUCCI (1995) O custo financeiro para implantação do sistema de drenagem urbana é diretamente proporcional ao volume de águas pluviais a escoar. Dessa forma, é aconselhável que tantos projetos de residências, quanto de equipamentos urbanos, maximizem as áreas vegetadas, tais com jardins, pomares, passeios, praças, parques entre outros, diminuindo o coeficiente de impermeabilização.

#### 7.4.1.3. Detenção dos Escoamentos

As obras e os dispositivos aplicados para favorecer a reservação dos escoamentos constituem o conceito mais significativo e de amplo espectro no campo das medidas inovadoras em drenagem urbana (CANHOLI, 2005).

Ainda segundo o mesmo autor, a finalidade principal dessa solução é promover a redução do pico das enchentes, por meio do amortecimento conveniente das ondas de cheia, obtida pelo armazenamento de parte do volume escoado. Entretanto, a utilização dessas estruturas vem sendo associada também a outros usos, como recreação e lazer e, mais recentemente à melhoria da qualidade d'água.

A Figura 7.48 apresentada por BRAGA (1994), contém uma ilustração dos principais dispositivos empregados seguindo o conceito conservacionista ou de reservação, na fonte e a jusante, e os seus efeitos na redução dos picos dos deflúvios, comparados à visão higienista, que envolve apenas obras de canalização.



**Figura 7.48** – Ilustração esquemática dos conceitos de reservação vs canalização (Fonte: CANHOLI, 2005).

De forma generalizada, os dispositivos de contenção na fonte são de pequenas dimensões e localizados próximos aos locais onde os escoamentos são gerados (fonte), permitindo assim melhor aproveitamento do sistema de condução do fluxo a jusante. Esse tipo de solução apresenta algumas vantagens e desvantagens. Entre as quais há fato de tais dispositivos serem normalmente compostos por pequenas unidades de reservação, que podem ser padronizadas; acrescenta-se que a alocação dos custos pode ser simplificada, por causa da menor sobrecarga para cada área controlada e da relação direta que é possível estabelecer entre área urbanizada e deflúvio; além disso, os custos de manutenção e operação podem elevar-se em razão da multiplicação das unidades; e a avaliação do desempenho global, para fins de dimensionamento e projeto, pode tornar-se complexa e trazer incertezas ao projetista (CANHOLI, 2005).

Quanto à contenção na fonte, é possível classificá-la de acordo com a disposição no local: constituída por estruturas, obras e dispositivos que facilitam a infiltração (Figura 7.49) e a percolação; o controle de entrada; dispositivos que restringem a entrada na rede de drenagem, como válvulas nos telhados ou o controle nas captações das áreas de estacionamentos e pátios; a detenção no local (ou *in situ*): pequenos reservatórios ou bacias para armazenamento temporário de escoamentos produzidos em áreas restritas e próximas.



**Figura 7.49** – Jardins utilizados como maneira de retardar a entrada na rede de drenagem, Portland (EUA), 2002 (Fonte: CANHOLI, 2005).

✓ Disposição no local

Esse tipo de reservação das águas precipitadas é tipicamente voltado ao controle em lotes residenciais e vias de circulação e é constituído por obras ou dispositivos que promovam ou incrementem a infiltração e percolação das águas coletadas.

O objetivo fundamental é reduzir os picos das vazões veiculadas para a rede de drenagem. A possibilidade de promover a recarga de aquíferos e o possível aproveitamento das águas reservadas para usos diversos constituem vantagens adicionais desse tipo de contenção na fonte.

A capacidade de absorção de um solo depende de inúmeros fatores, entre os quais: cobertura vegetal, tipo de solo, condições do nível freático e qualidade das águas de drenagem.

Dessa forma, além das informações a respeito da capacidade de absorção do solo, deve-se também conhecer as condições do nível freático a fim de verificar a capacidade do terreno para a disposição das águas drenadas. Para tanto, é necessário conhecer a distância entre a superfície do terreno e o nível freático; a declividade da superfície freática; a profundidade e direção do fluxo subterrâneo, incluindo as zonas de entrada e saída; e, por fim, a variação do nível d'água ao longo do ano.

De acordo com NAKAMURA (1988), os dispositivos de infiltração podem ser classificados em dois grupos principais, denominados métodos dispersivos e métodos em poços. Os métodos dispersivos incluem os dispositivos pelos quais a água superficial infiltra no solo. Os métodos em poços são aqueles em que há recarga do nível subterrâneo pelas águas da superfície. A Tabela 7.44 apresenta essa classificação, discriminando os diversos dispositivos em cada caso.

**Tabela 7.44 (Continua)** – Classificação geral dos dispositivos de infiltração, NAKAMURA (1988).

<b>MÉTODOS DISPERSIVOS</b>	
<b>Superfícies de infiltração</b>	A forma mais simples de disposição no local é permitir que as águas superficiais percorram um terreno coberto por vegetação. Em áreas com subsolo argiloso ou pouco permeável podem-se instalar subdrenos, para eliminar locais com água parada (Figuras 7.50a e 7.50b).
<b>Valetas de infiltração abertas</b>	São valetas revestidas com vegetação, em geral grama, adjacentes a ruas e estradas, ou junto a áreas de estacionamento, para favorecer a infiltração. (Figura 7.51a e 7.51b). Podem ser complementadas com trincheiras de percolação. (Figura 7.52).
<b>Lagoas de infiltração</b>	são constituídas por pequenas bacias de retenção especialmente projetadas, com nível d'água permanente e volume de reserva, que facilitam a infiltração pela dilatação do tempo de residência.
<b>Bacias de percolação</b>	O uso de bacias de percolação para a disposição de drenagem se iniciou nos anos de 1970, segundo URBONAS (1992). Uma bacia de percolação é construída por meio da escavação de uma valeta que posteriormente é preenchida com brita ou cascalho, sendo sua superfície reaterada. O material granular promove a reserva temporária do escoamento, enquanto a percolação se processa lentamente para o subsolo (Figuras 7.53a e 7.53b).
<b>Pavimentos porosos</b>	Os pavimentos porosos são constituídos normalmente de concreto ou asfalto convencionais, dos quais foram retiradas as partículas mais finas. Adicionalmente podem ser construídos sobre camadas permeáveis, geralmente bases de material granular. Uma variação de pavimento poroso pode ser obtida com a implantação de elementos celulares de concreto, também colocados sobre base granular. Mantas geotêxteis são colocadas geralmente entre a base e o pavimento de forma a evitar a passagem de finos (Figuras 7.54a, 7.54b e 7.55a e 7.55b)

**Tabela 7.44 (Continuação) – Classificação geral dos dispositivos de infiltração, NAKAMURA (1988).**  
**MÉTODOS EM POÇOS**

**Poços de infiltração**

Os poços de infiltração (Figura 7.55) são as medidas de contenção na fontemais recomendadas, quando não se dispõe de espaço ou ainda quando a urbanização existente, já consolidada, inviabiliza a implantação das medidas dispersivas de aumento da infiltração. Por outro lado, para uma operação eficiente dos poços é necessário que o nível freático se encontre suficientemente baixo em relação à superfície do terreno e que o subsolo possua camadas arenosas. A qualidade da água drenada é outro fator que pode restringir a implantação dos poços.



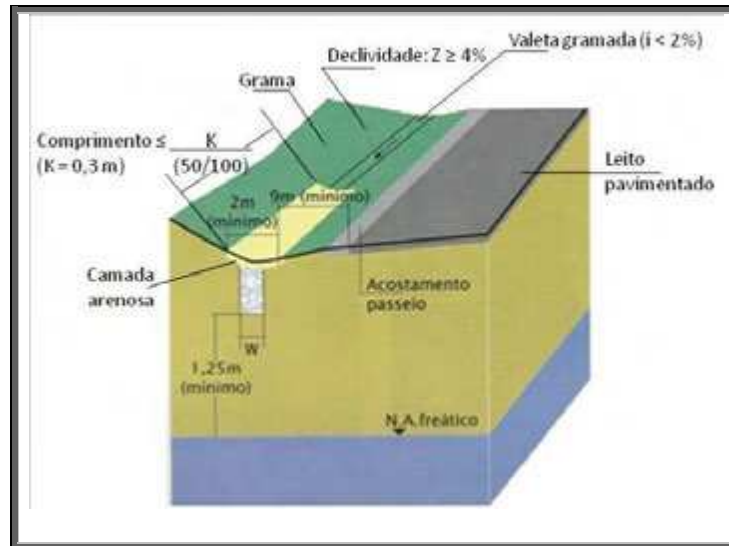
**Figura 7.50 – Esquema de uma superfície de infiltração (a) e superfície de infiltração Portland (EUA), 2002 (b) (Fonte: PORTLAND, 2002).**



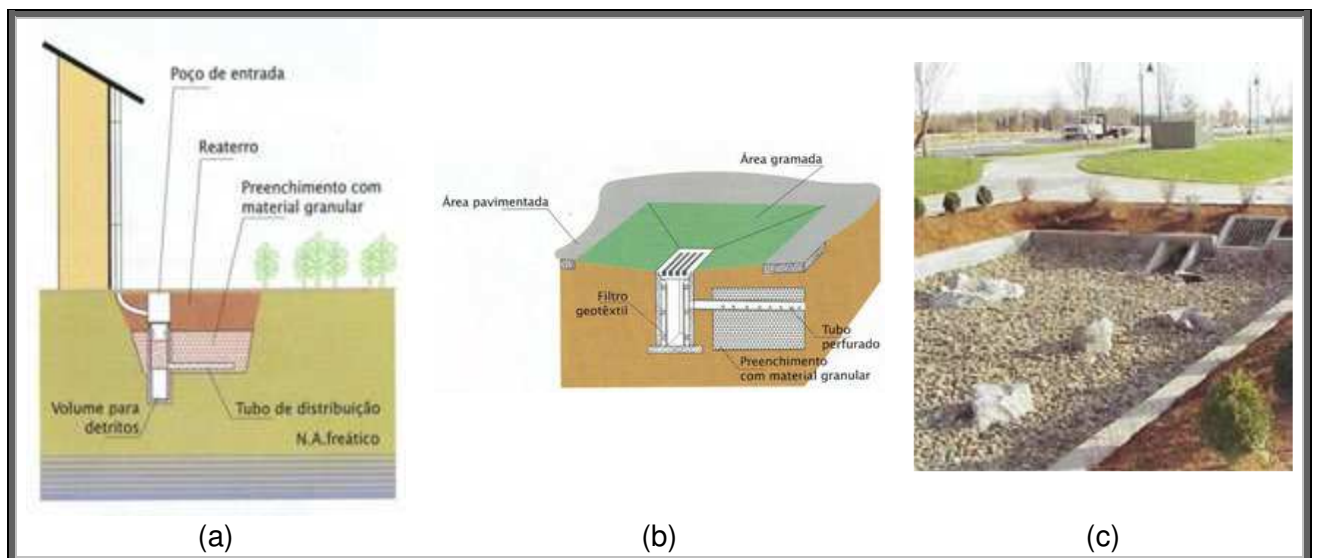
**Figura 7.51– Esquema de uma valeta de infiltração aberta (a) e exemplos de valeta de infiltração aberta, Portland (EUA), 2002 (b) (Fonte: PORTLAND, 2002).**

A proteção das valetas com vegetação pode ser importante para a conservação da superfície mais permeável do solo, que pode colmatar com a decantação de partículas finas. É possível que eventualmente seja necessária a retirada do material acumulado para restaurar a capacidade de infiltração.

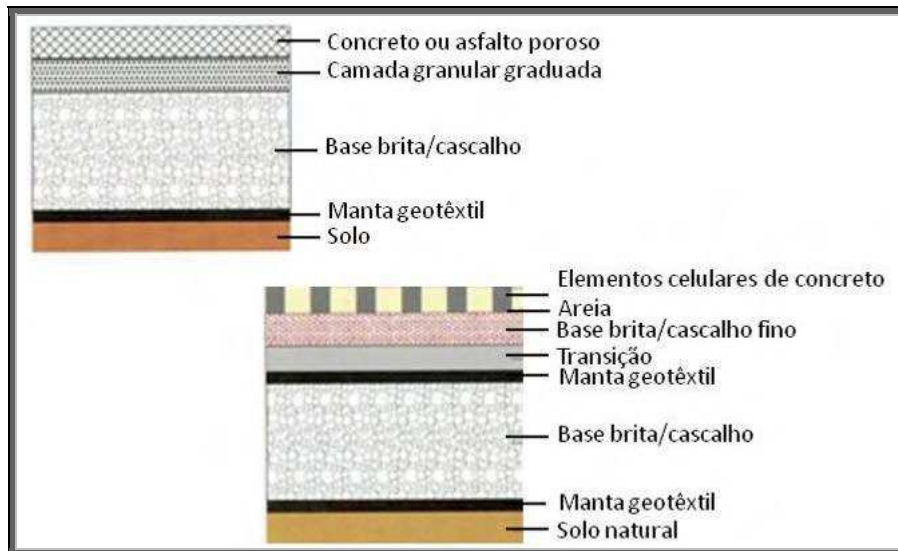
Segundo URBONAS (1992), em casos especiais pode-se complementar esses dispositivos com trincheiras de percolação (Figura 7.51), instaladas espaçadamente em relação à valeta. As valetas são dimensionadas para interceptar os escoamentos (normalmente para TR = 25 anos). As águas penetram nas valetas através de filtros e transições arenosas, que têm a função de evitar colmatação. Com esse mesmo objetivo, é também recomendado revestir as valetas com grama.



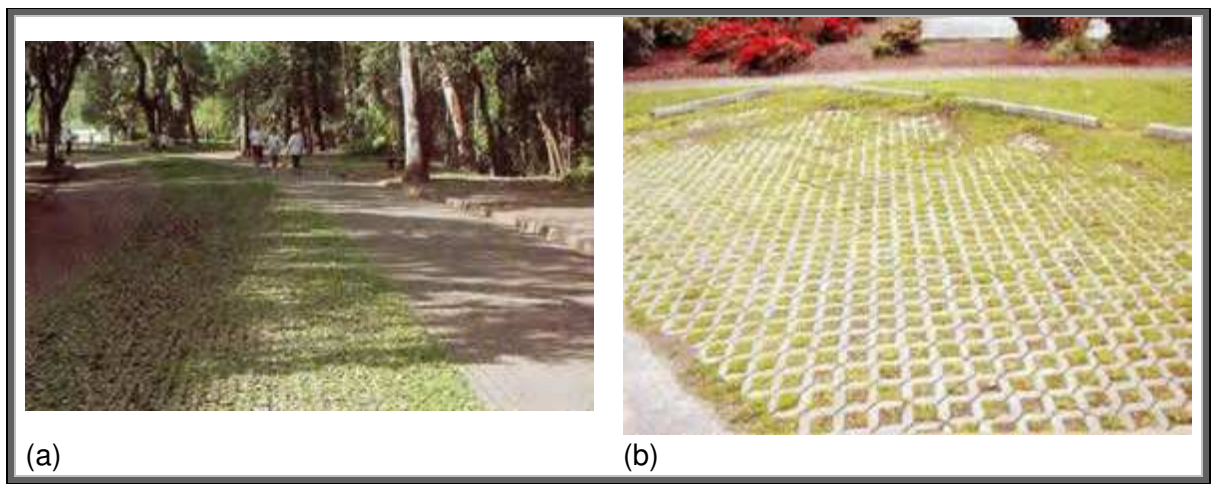
**Figura 7.52** – Valeta de infiltração complementar com trincheira de percolação (URBONAS, 1992).



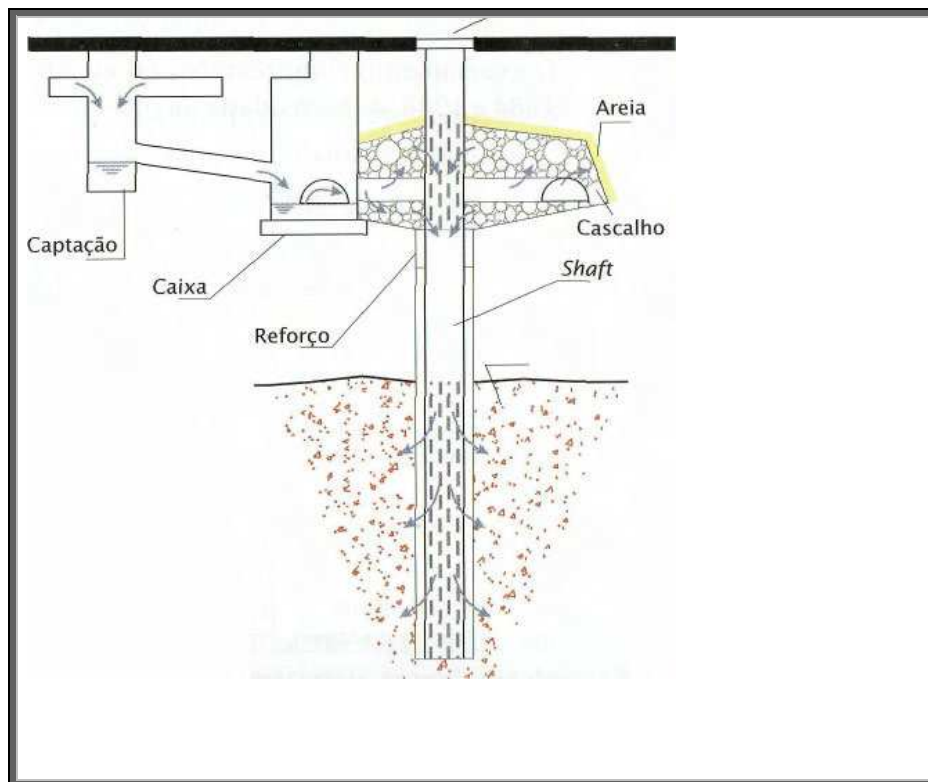
**Figura 7.53** – Esquema de uma bacia de percolação em uma residência (a) esquema de uma valeta acoplada à boca-de-leão e exemplo de bacia de percolação, Portland (EUA), 2002 (c) (Fonte: PORTLAND, 2002).



**Figura 7.54** – Esquema ilustrativo de pavimentos porosos (Fonte: PORTLAND, 2002).



**Figura 7.55** – Pavimentos porosos – Parque Ibirapuera, São Paulo (a) e Portland EUA, 2002 (b) (Fonte: CANHOLI, 2005).



**Figura 7.56** – Esquema de uma estrutura típica de um poço de infiltração (Fonte: NAKAMURA, 1988).

Os poços de infiltração possuem o mesmo princípio das bacias de percolação (aumento da infiltração), mas também são reservatórios de retenção/detenção localizados em solos permeáveis. Ocupam áreas relativamente pequenas, facilidade de associação com outros dispositivos de infiltração e são bem integrados ao espaço urbano.

Os métodos dispersivos são de aplicação mais indicada onde há disponibilidade de espaço. Embora de prevenção possível, a colmatagem desses dispositivos ao longo da vida útil da obra é praticamente inevitável. Estudos estão sendo conduzidos visando ao aperfeiçoamento das técnicas de prevenção (NAKAMURA, 1988).

✓ Controle de entrada

Esses dispositivos de controle visam restringir a entrada dos escoamentos no sistema de drenagem, promovendo, portanto, sua reservação. Em relação ao evento chuvoso, essa reservação pode ser temporária, atuando como um retardamento no fluxo, ou permanente, para que a água reservada seja posteriormente utilizada.

Os exemplos típicos desses dispositivos são enumerados segundo CANHOLI (2005), conforme Tabela 7.45 a seguir.

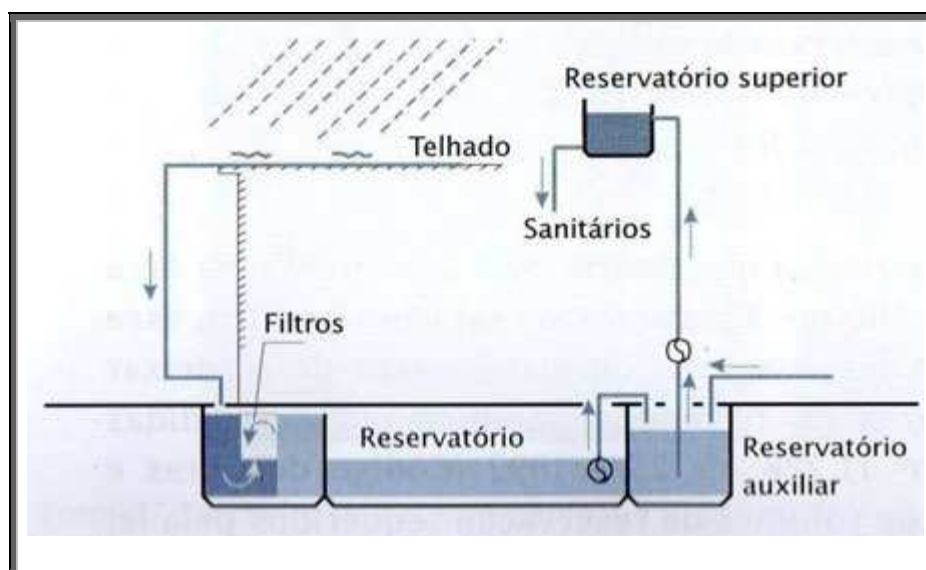
**Tabela 7.45 – Dispositivos de controle de entrada, CANHOLI (2005).**

**Controle nos telhados**

Pode ser obtido com a adoção de um sistema de calhas e condutores com capacidade de armazenamento, que é controlado mediante válvulas especiais. Telhas e estruturas de cobertura de concreto, com capacidade de armazenar água de chuva, também podem ser utilizadas. O projeto estrutural dessas coberturas e telhados deve levar em conta a sobrecarga resultante do volume adicional de água, o que propicia a elevação do custo da obra. Por essa razão, a aplicação desses dispositivos em obras existentes é impraticável, a menos que se promova um reforço estrutural. (Figura 7.56).

**Controle em áreas impermeabilizadas**

Grandes áreas impermeabilizadas, como estacionamentos, centros de compras, pátios de manobra, subestações, cemitérios, praças públicas e centros esportivos, são locais onde se geram elevados picos de deflúvios.



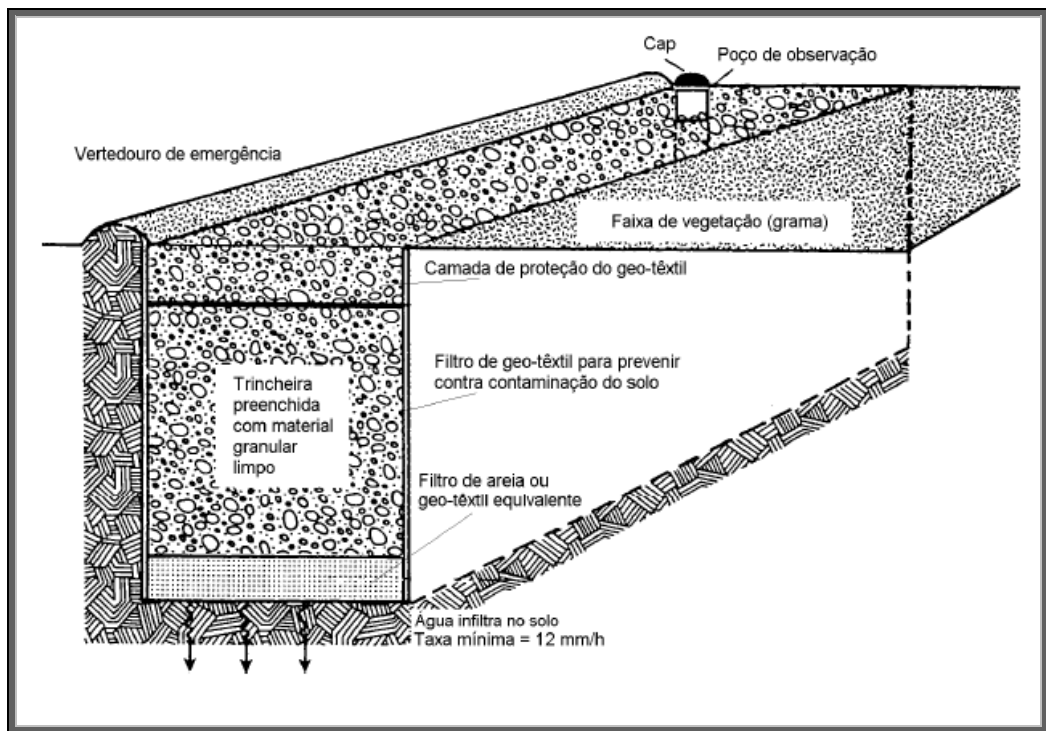
**Figura 7.57 – Esquema de aproveitamento de águas coletadas (Fonte: NAKAMURA, 1988).**

Existem referências na literatura especializada também de utilização das águas coletadas em telhados e armazenadas, para irrigação de canteiros e jardins e para lavagem de pisos (Figura 7.58).



**Figura 7.58** – Armazenamento de águas de chuva para reutilização, São Paulo, 1999 (Fonte: LE NOUVEAU, 2006).

As trincheiras de infiltração também são elementos de drenagem do tipo controle na fonte e têm seu princípio de funcionamento no armazenamento temporário da água até que ela se infiltre no solo. São constituídas por valetas preenchidas por material granular (brita, pedra de mão e outros), com porosidade em torno dos 40%. Esse material granular é revestido por um filtro de geotêxtil, que, além da função estrutural, impede a entrada de finos no dispositivo, reduzindo o risco de colmatação precoce e podendo trabalhar como filtro anti-contaminante. A Figura 7.59 apresenta uma trincheira de infiltração típica.



**Figura 7.59** – Esquema de uma trincheira de infiltração (Fonte: BAPTISTA, et al., 1998).

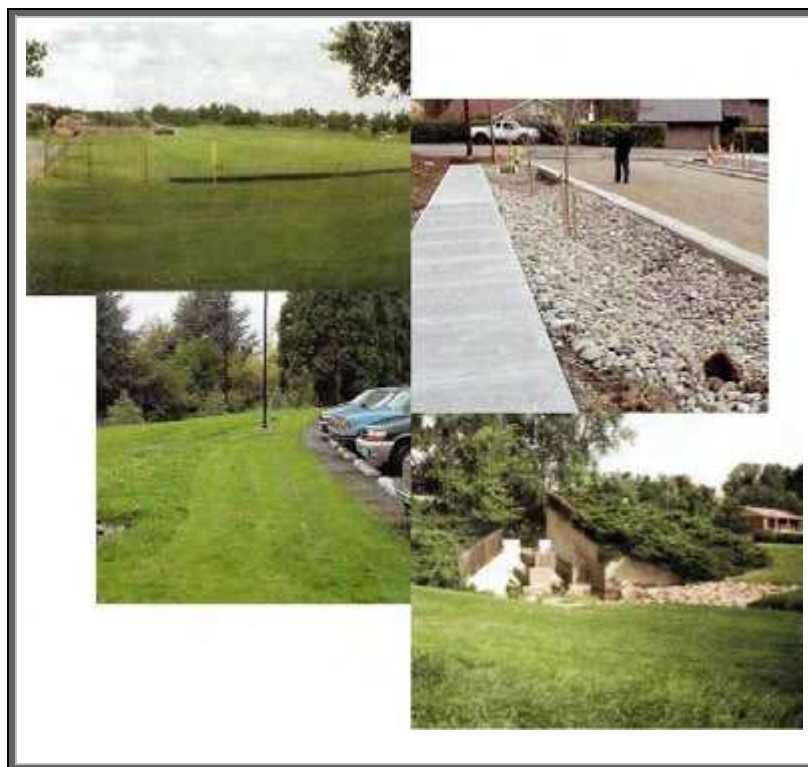
A aplicabilidade deste tipo de estrutura depende de vários fatores e a escolha do local de implantação deve obedecer a alguns critérios (URBONAS & STAHR, 1993): profundidade mínima sazonal do lençol freático e da camada impermeável a pelo menos 1,2m de profundidade; classificação do solo nas categorias A ou B do Soil Conservation Service ou taxa de infiltração do solo saturado superior a 8 mm/h; não devem ser instaladas sobre aterros ou em terrenos de grande declividade adequadas para pequenas áreas de drenagem, como lotes individuais ou quarteirões.

A utilização desse tipo de estrutura pode ser bastante vantajosa na redução dos volumes escoados e das vazões máximas de cheias, principalmente onde o solo se apresentar mais favorável à infiltração.

Entretanto, como pôde ser observado, são na maioria, medidas que requerem a participação da população e, para isso, é necessário haver programas de esclarecimento e conscientização do público em geral. São também, medidas gerais de limpeza da cidade, na medida em que, cidades mais sujas produzem mais cargas poluidoras.

✓ *Detenção in situ*

As obras de detenção *in situ* compreendem os reservatórios implantados para controlar áreas urbanizadas restritas, como condomínios, loteamentos e distritos industriais (Figura 7.60).



**Figura 7.60** – Exemplos de retardamento em áreas públicas, Denver (EUA) (Fonte: PORTLAND, 2002).

Nos Estados Unidos da América, diversos estados possuem leis bastante restritivas quanto ao controle das enchentes em áreas a serem urbanizadas. O critério básico é que a urbanização proposta não deve permitir a ampliação dos picos naturais ou anteriores, resultando em um impacto zero no sistema de drenagem. A aprovação de novas áreas de desenvolvimento é, portanto, condicionada a esse requisito por força de instrumentos legais.

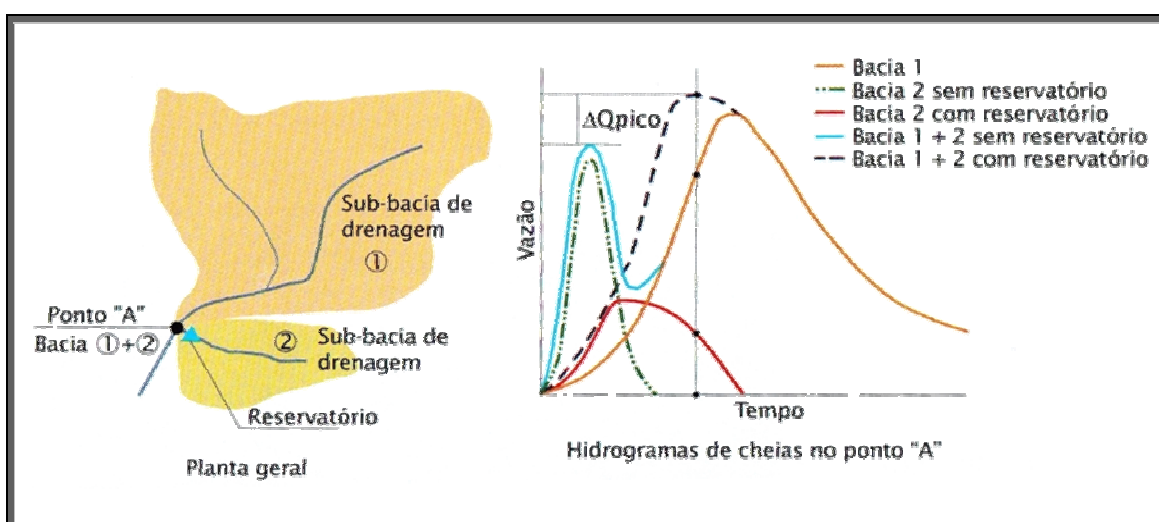
As áreas de reservação são, normalmente, incorporadas aos projetos de paisagismo e recreação, propiciando a formação de lagos ou a instalação de quadras de esportes nas partes secas que são atingidas apenas pelas enchentes maiores. Todos os princípios hidrológicos e hidráulicos aplicados para o projeto de bacias de retenção são normalmente adotados para esses reservatórios de menores dimensões.

Na bacia do rio Cônego, para as novas áreas a serem ocupadas, como os loteamentos e condomínios, o conceito de reservação, visando o impacto zero, enquanto critério para aprovação pelos órgãos competentes, deveria ser aplicado. Para a formulação de regulamentação, é necessária uma ampla discussão envolvendo diversas áreas de especialidade.

Nesse sentido, é importante considerar os aspectos relativos à definição dos critérios para dimensionamento hidrológico/hidráulico das bacias e órgãos de controle, que envolve o critério geral de impacto a jusante, a capacidade do sistema existente e outros; definição dos demais critérios para o projeto civil e análise das questões

ambientais; definição de formas de compensação fiscal ou outras, dos investimentos eventualmente realizados pelos proprietários, visando à detenção; caracterização das responsabilidades quanto à inspeção, operação e manutenção dessas áreas (proprietário ou órgão público); e ao controle e monitoramento dos aspectos de qualidade d'água, vetores de doenças e outros.

Conforme URBONAS & STAHLRE (1993) e CANHOLI (2005), pode ser desaconselhável a multiplicação de bacias de detenção em virtude das dificuldades e custos de inspeção, operação e manutenção, e das próprias incertezas quanto à real eficiência hidráulica desses sistemas, visto que em certos casos pode ocorrer o resultado inverso ao pretendido, ou seja, a ampliação dos picos de vazão. Isso ocorre porque a combinação dos hidrogramas de vazão efluente das diversas bacias, em determinado local a jusante, pode ser tal que resulte numa vazão de pico maior do que aquela que ocorreria naturalmente. É um problema de simultaneidade (*timing*) dos diversos hidrogramas efluentes (Figura 7.61). Assim, recomenda-se uma análise global do problema, em fase anterior ao projeto desses sistemas.



**Figura 7.61** – Ampliação do pico de cheias por efeito da bacia de retenção (Fonte: DEBO, 1989).

O uso de dispositivos de infiltração e detenção *in situ* depende, inicialmente, de fatores técnicos que possibilitem sua instalação: tipo de solo; nível do lençol freático; profundidade da camada impermeável; área livre e topografia, bem como da aceitação por parte dos moradores da bacia e principalmente dos custos envolvidos.

Na tentativa de se proteger contra as cheias urbanas, evitando o redimensionamento do sistema de drenagem, surgiu a idéia de reconstituir a vazão de pré-ocupação, fazendo com que a água das chuvas voltasse a ser interceptada, antes de atingir a

rede de drenagem. Dessa forma, as chamadas estruturas extensivas de drenagem se apresentam como bons instrumentos de controle do escoamento superficial.

#### *7.4.2. Priorização*

As limitações das soluções clássicas são ressaltadas pelos prejuízos e dificuldades que o município enfrenta para resolver o problema das cheias. À medida que o centro urbano se desenvolveu, fez-se necessário um remodelamento do sistema de drenagem para adaptá-lo a uma nova situação com hidrogramas de cheias mais rápidos e mais críticos. Dessa forma, as medidas estruturais não são definitivas ou sustentáveis, resolvendo o problema da cheia em uma área, mas transferindo o problema para jusante, exigindo assim, o redimensionamento da rede de drenagem de jusante e resultando em custos elevados e, cada vez mais, onerosos para a sociedade.

O risco de cheia relaciona-se com o dano esperado, causado por uma enchente, para um dado período de tempo. A estratégia do gerenciamento do risco de cheia deve passar por considerações mais abrangentes, como parte do trabalho integrado de gerenciamento dos recursos hídricos. Assim sendo, deve-se considerar todos os custos e benefícios envolvidos, avaliar o potencial de redução de risco, quanto esse risco pode ser reduzido e a que custo, comparar as relações de custo x benefício obtidas com outras possíveis atuações, em vários campos da sociedade, priorizando e ordenando investimentos, especialmente aqueles do setor público.

As desvantagens na utilização das medidas extensivas apresenta-se a dificuldade de se conseguir informações sobre seu funcionamento a longo prazo, bem como de obtenção de critérios de projeto e dimensionamento. Uma vez que sua utilização é recente, faltam elementos que possibilitem a avaliação de custos de instalação, operação e manutenção, o que dificulta uma avaliação do interesse econômico de sua implantação (BAPTISTA et al., 1998).

O planejamento da bacia deve objetivar o estudo e avaliação prévios do meio, para implementação de projetos que busquem maximizar o potencial do ambiente e minimizar os impactos, entendendo-se como planejamento integrado aquele que se baseia no conhecimento das dinâmicas ambiental e socioeconômica.

Como afirma CHRISTOFOLETTI (1998), o planejamento sempre envolve a questão da espacialidade, pois incide na implementação de atividades em determinado território. Os elementos que compõem os ecossistemas são interdependentes, e as medidas de manejo adotadas refletem no funcionamento das organizações espaciais. Sendo assim, o enfoque não pode ser somente para os recursos hídricos. Não se podem

desconsiderar os aspectos dos sistemas ambientais físicos e socioeconômicos, uma vez que os outros recursos da bacia hidrográfica também interferem no ciclo hidrológico.

Em decorrência da bacia de estudo apresentar relevo escarpado e topografia acidentada, o que propicia a ocorrência dos escorregamentos de encostas, que por sua vez tendem a causar assoreamentos e diminuição da calha dos rios, especial atenção deve ser dada às medidas que favorecem a infiltração, uma vez que a elevada umidade provoca o encharcamento do solo que, por sua vez, favorece os movimentos de massa e a intensidade da chuva relaciona-se a sua energia cinética que, por sua vez, está relacionada à erosividade e conseqüente transporte de material. Com uma precipitação pluvial prolongada, a infiltração é contínua, o que satura o solo, reduzindo a coesão do material da vertente e a resistência desse material à erosão, devido à expansão de cisalhamento em rochas ou contato rocha-solo e de interstícios do solo, o que favorece os deslizamentos.

Nesse contexto, destaca-se a importância da cobertura vegetal como agente regulador dos volumes das águas de chuva e inibidor dos movimentos de massa e processos erosivos: impedindo a ação direta das gotas de chuva no solo e a ação erosiva através das copas e da serapilheira; retendo por molhamento de todo o edifício arbóreo parte da água da chuva que chegaria ao solo; diluindo no tempo o acesso das chuvas ao solo; retirando por absorção, e devolvendo à atmosfera por evapotranspiração, parte da água infiltrada no solo; agregando, e retendo os solos superficiais através de uma malha superficial e sub-superficial de raízes.

O aumento da cobertura vegetal através do reflorestamento e preservação da vegetação existente contribui sensivelmente na diminuição das vazões máximas amortecendo o escoamento; aumentando a permeabilidade do solo, pois mantém a cobertura natural do solo; aumentando sua capacidade de infiltração, na qual parte da água infiltrada é transferida para atmosfera pela transpiração dos vegetais; inibe a ocupação irregular indevida do solo e reduz a erosão do solo, propiciando a diminuição da frequência de cheias pequenas e médias.

# Capítulo 8

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No fenômeno da urbanização por expansão das periferias que marcou a cidade de Nova Friburgo, nas últimas décadas, a intervenção antrópica foi quase sempre geradora de problemas imediatos ou de médio prazo, devido, como foi mostrado ao longo deste trabalho, principalmente:

- ✓ à inadequação (ou não-aptidão) geotécnica das áreas ocupadas para o uso urbano, em função da declividade acentuada dos terrenos, da instabilidade dos taludes, das características do substrato rochoso ou dos materiais inconsolidados ou da sua posição em relação às linhas de drenagem ou às planícies de inundação;
- ✓ à instalação de assentamentos em áreas de proteção ambiental, como reservas de mata ou áreas de mananciais;
- ✓ à precariedade ou inadequação técnico-construtiva e de implantação das edificações, relacionadas ao acesso a tecnologias construtivas, ao grau de organização social dos assentamentos, às condições de emprego e renda dos moradores, à acessibilidade e capacidade de transporte dos materiais de construção, etc;
- ✓ à insuficiência de infra-estrutura e serviços públicos, como calçamento de acessos, drenagens, coleta de águas servidas e esgotos.

A segregação espacial no município reflete-se nos desastres e acidentes ambientais, seletivos ao atingir mais profundamente as populações mais pobres. A acumulação cotidiana desses eventos de escorregamentos e inundações resultou em perdas materiais e humanas que receberam pouca atenção. Em muitos casos, a dimensão dos acidentes revelou-se apenas pelo montante de recursos solicitados para recuperação do município.

A carência de informações sobre os locais atingidos e as conseqüências dos acidentes associados a escorregamentos é uma componente característica do mau gerenciamento do problema no município.

A compilação desses dados reveste-se de grande importância para o gerenciamento dos riscos em Nova Friburgo, porque eles permitem a identificação das áreas mais suscetíveis a tais acidentes, os períodos de ocorrências e suas tendências.

Nesse contexto, destaca-se a relevância deste trabalho pela tentativa de organização dessas informações vinculadas aos riscos ambientais, mesmo não estando representa

na melhor escala pra o planejamento urbano. Cabe salientar que, para qualquer pesquisa que se faça envolvendo áreas urbanas são necessários materiais cartográficos que ilustrem o maior número de dados sobre a área e em escala mais adequada que a utilizada neste trabalho, 1: 10.000 seria o ideal, permitindo um nível de detalhamento maior dos critérios ambientais, operacionais e sócio-econômicos considerados. A escassez de dados sobre a área, em escala maior que a utilizada, limitou o detalhamento desta pesquisa.

Em Nova Friburgo, a ocorrência dos movimentos de massa também é uma consequência do modelo de ocupação, aliado ao desmatamento e à instabilidade natural do meio, onde não foram utilizadas práticas de construção e conservação do solo. Em geral, as áreas de risco envolvem populações de baixa renda que ocupam porções de declive acentuado das encostas, sem os devidos critérios.

No caso das áreas urbanas, a noção de meio ambiente é bastante complexa, uma vez que o homem, muitas vezes, não é capaz de perceber o quanto suas atividades, seu comportamento e anseios, influenciados por padrões culturais ou por aspectos políticos e sócio-econômicos, podem interferir na sua qualidade de vida.

A partir das observações feitas ao longo da pesquisa podem ser formuladas algumas proposições:

- ✓ a utilização de instrumentos de fácil manejo, como os modelos de fichas de ocorrência de escorregamento, reveste-se de enorme importância documental e deve ser procedimento rotineiro no município, os resultados dessa documentação podem ser compilados e agregados a mapas de inventários de escorregamentos;
- ✓ a caracterização geotécnica de campo e de laboratório para os solos da área de estudo, de modo a disponibilizar um banco de dados extensivo objetivando seu uso em projetos locais de engenharia, direcionados à estabilidade de taludes e engenharia de fundações;
- ✓ a implantação de um Sistema de Alerta, Supervisão e Controle de Cheias e Encostas em Nova Friburgo é indispensável e deverá compor medidas de caráter preventivo. Ele poderá relacionar e compilar informações hidrológicas e geológicas, visto que o município apresenta sérios problemas de deslizamentos e de drenagem, por consequência do carreamento dos sedimentos em épocas de chuvas intensas;
- ✓ ações que envolvam desde execução de canaletas de drenagem nas encostas e muros de arrimo até a remoção de famílias, quando for inevitável;

- ✓ instalação de infra-estrutura nas áreas periféricas, com uma eficiente rede de drenagem, permitindo a dissipação da energia das águas pluviais e servidas, a construção de guias, sarjetas, evitando, dessa forma, o aumento da suscetibilidade e ocorrência de erosões e escorregamentos;
- ✓ ainda, como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se o estudo da viabilidade definitiva das áreas selecionadas para a expansão urbana, com levantamentos adicionais de caráter local. Esses estudos visam a verificação *in situ* das potencialidades de cada área para a priorização de cada uma delas, bem como o levantamento do valor venal das terras, uma vez que a valorização excessiva das terras torna-se um fator complicador a mais;
- ✓ para a carta de suscetibilidade, sugere-se ainda que sejam verificadas outras hierarquias (AHP);
- ✓ sugere-se a inclusão na análise para a expansão urbana desenvolvida neste trabalho de outros fatores, tais como os sugeridos anteriormente, a fim de gerar novas imagens de adequabilidade.

É improvável que, somente com base nos resultados do zoneamento da predisposição aos movimentos de massa gravitacionais seja possível definir as ações necessárias para a gestão do risco geológico em Nova Friburgo. Dessa forma, se faz necessário um nível de detalhamento maior através do cadastramento de risco.

Ainda assim, é aconselhável que se execute o cadastramento de risco após a realização do zoneamento, podendo o cadastramento se limitar aos setores de risco mais altos, uma vez que os resultados obtidos com a análise da suscetibilidade acabam indicando as áreas prioritárias para a realização do cadastramento, otimizando, desse modo, a execução de eventuais trabalhos de campo mais detalhados.

Para o enfrentamento da problemática dos riscos de escorregamentos, é preciso entendê-la em seu contexto mais amplo de gestão das cidades, integrando enfoques de planejamento e desenvolvimento urbanísticos, ambientais e sociais. Não apenas abordá-la em todas essas dimensões, mas traduzi-las para o campo técnico, no exercício prático de solucionar problemas prementes, ameaçadores e complexos, quase sempre condicionados por vontades e culturas localizadas na esfera da política, sem ignorar as perspectivas de médio e longo prazos, planos diretores e políticas públicas mais duradouras da sustentabilidade urbana.

Os efeitos das ocupações problemáticas das encostas não se restringem a elas, afetando também as áreas de baixadas e cursos d'água, através do carreamento de solo, gerando assoreamentos e propiciando inundações. A ocupação inadequada de

encostas é resultado de um descaso institucional com o desenvolvimento urbano, expressado pela desconsideração dos condicionantes físicos.

Para resolver o problema, medidas estruturais são necessárias, entretanto, além de onerosas, não são uma solução eficaz e sustentável quando não estão atreladas a medidas não-estruturais. Nesse contexto, destacam-se o Plano Diretor e o Plano de Águas Pluviais do município, entretanto, faz-se necessário que outros planos venham a integrá-los: de esgotamento sanitário e resíduo sólido.

As medidas, neste trabalho propostas, como soluções estruturais para a bacia de estudo, deverão ser concebidas dentro da visão de conjunto de toda a bacia urbana do município, onde essas serão, racionalmente, integradas a outras medidas estruturais e preventivas (não-estruturais) previstas no Plano de Águas Pluviais e compatibilizadas com o esperado desenvolvimento urbano. O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não trechos isolados.

O Plano de Drenagem Urbana faz parte do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade. A drenagem faz parte da infra-estrutura urbana, portanto deve ser planejada em conjunto com os outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego.

As características físicas associadas à forma de ocupação no ambiente urbano da bacia do rio Cônego propagam reflexões de interesse hidrológico, principalmente quando os instrumentos de análise propostos nas simulações concluem advertências de impactos ambientais.

Portanto, em vista dessa real necessidade de se atingir previsões de sistemas hidrológicos mais confiáveis e de suporte à recuperação ambiental da bacia, recomenda-se:

- ✓ a aplicação de instrumentação e monitoramento adequado na bacia de estudo e nas demais bacias hidrográficas urbanas (bacia do rio Santo Antônio e bacia do rio Bengalas) para se avaliar os riscos naturais, visto que a falta de dados hidrológicos, aliado as variações climáticas e de uso do solo contribuem para a ocorrência das incertezas das previsões hidrológicas;
- ✓ de posse de novos dados, utilizar um sistema de calibração para a geração de séries temporais baseada no histórico dos novos dados, usar os parâmetros calibrados para gerar previsões de curto prazo (sistemas de alerta, p. ex.) e previsões de cheia e ainda previsões probabilísticas;
- ✓ abordar métodos que adotam comportamentos distribuídos e não empíricos, que buscam representar com maior precisão, e de forma distribuída, os processos hidrológicos, mais adequados, portanto às pequenas bacias;

- ✓ realizar o estudo de novos cenários, verificar a análise de incertezas conforme o adensamento populacional e seus efeitos sobre o uso e ocupação do solo urbano. Como o modelo SCS de separação do escoamento utiliza a área impermeável e o tempo de concentração da bacia como indicadores de alteração urbana, recomenda-se avaliar de acordo com classificação realizada, as taxas de áreas impermeáveis (valores típicos) de acordo com o tipo de ocupação para densidades habitacionais;
- ✓ elaborar o pré-dimensionamento hidrológico, entendido aqui como a etapa que associa uma chuva de projeto a um balanço hídrico simplificado, com vistas ao cálculo de volumes de armazenamento necessários e, em consequência, das dimensões mínimas dos dispositivos de controle na fonte;
- ✓ realizar o estudo de novos cenários empregando-se as diferentes alternativas estruturais extensivas, propostas neste trabalho, e o seu impacto sobre o volume de escoamento superficial,
- ✓ incluir relações de indicadores de projeto com índices de áreas permeáveis como, por exemplo, estimar valores para vazões máximas específicas e relacionar com áreas verdes;
- ✓ preservar a mata ciliar, limpeza e manutenção da calha dos rios: o lixo e os sedimentos que chegam até a calha principal ao longo do tempo alteram o regime fluvial;
- ✓ elaborar um programa de manejo conservacionista do solo conjuntamente com o programa de conservação de estradas, com a finalidade de reduzir a erosão e assoreamento do manancial e dos ribeirões e córregos formadores do mesmo;
- ✓ implementar ações como a coleta e tratamento do esgoto doméstico e industrial, devolvendo ao canal um efluente dentro das condições biológicas e químicas adequadas conforme os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 20/86. Trata-se de uma ação que, em conjunto com a coleta e disposição final adequada dos resíduos sólidos e de serviços de saúde, reveste-se de grande importância na contribuição para a preservação da qualidade da água e conservação do manancial, além de refletirem diretamente nas questões da saúde da população e no desenvolvimento econômico do município.

As recomendações apresentadas indicam que a recuperação ambiental das bacias hidrográficas visa uma abordagem integrada dos sistemas envolvidos. Deve-se analisar criteriosamente a escolha e a aplicação de modelos hidrológicos que atendam

os objetivos do estudo, as características da bacia e do rio, a estimativa dos parâmetros de entrada, a utilização de ferramentas e instrumentos suporte para a redução das incertezas e a aplicação de alternativas que possam reduzir e mitigar os efeitos da ocupação predatória no ambiente natural gerado pela ação antrópica.

Em suma, os impactos decorrentes do processo de urbanização em uma bacia não são apenas de origem hidrológica.

Dentre os problemas relativos à ocupação do solo, sobressaem-se as conseqüências da proliferação de loteamentos executados sem condições técnicas adequadas, decorrente da venalidade e da ausência quase total de fiscalização apropriada, idônea e confiável, o que dificulta (e muito) a aplicação de critérios técnicos na liberação de áreas para loteamento. Como conseqüência direta da ausência absoluta da observação de normas que impeçam a ocupação de cabeceiras íngremes e de várzeas de inundação, em Nova Friburgo, foram ocupados terrenos totalmente inadequados ao assentamento.

Os problemas sociais decorrentes, principalmente, da especulação imobiliária, fez com que contingentes populacionais se instalassem em condições extremamente desfavoráveis, desprovidos das mínimas condições de urbanidade, inviabilizando a imposição das mais básicas normas de atenuação de inundações. Compostas em grande parte por indivíduos analfabetos ou semi-alfabetizados, essas comunidades são praticamente impermeáveis a qualquer tentativa de elucidação de problemas tipicamente urbanos.

A integração do ambiente natural e construído e a segurança nas áreas mais declivosas são de responsabilidade conjunta do poder público e dos cidadãos que vivem e ocupam esses espaços urbanos. A responsabilidade social dos moradores concretiza-se pelo conhecimento do risco e mudança de hábitos, adotando práticas adequadas de preservação do ambiente natural.

O processo de materialização do espaço urbano, quando conduzido de forma não planejada, provoca fortes impactos ambientais, no qual a sociedade é o principal agente. Em Nova Friburgo, os principais processos associados a desastres naturais são as inundações e os movimentos de massas, sendo que a esse último relaciona-se o maior número de vítimas fatais.

# Capítulo 9

## CONCLUSÕES

Mostrou-se, ao longo do presente trabalho, um diagnóstico das situações de predisposição aos movimentos de massa no município de Nova Friburgo, Rio de Janeiro e da drenagem urbana da bacia do rio Cônego, um dos principais afluentes do rio Bengalas, principal bacia urbana do município. Para isso; avaliou-se os processos da dinâmica superficial, analisando fatores físicos e antrópicos relevantes e, utilizando a avaliação multicritério, elaborou-se o mapeamento de áreas adequadas à expansão urbana.

A região em que se insere o município de Nova Friburgo é formada por um conjunto de atributos predisponentes aos desequilíbrios do meio ambiente, quer seja por processos naturais ou pela ação do homem. Assim, as práticas que provocam acidentes nas encostas, como cortes e aterros inadequados, retirada de vegetação, lançamento de água ou bloqueio das linhas d'água naturais por lixo ou entulho, devem estar sujeitas ao controle e fiscalização dos órgãos públicos e da comunidade.

O zoneamento mostrou que uma grande área (mais de 50%) possui níveis considerados de alta predisposição a ocorrência de processos de movimentos de massa gravitacionais.

A integração dos aspectos intrínsecos da encosta (geologia, declividade e forma) faz com que o município de Nova Friburgo apresente áreas muito suscetíveis aos movimentos de massa. Somente 10% da área do município possui baixa suscetibilidade, sendo, porém, atingida por inundações ou então constituindo-se em áreas de preservação permanente, desaconselhando-se a ocupação urbana.

Os principais processos geológicos presentes em Nova Friburgo são o escorregamento e as quedas de blocos, ocorrendo, predominantemente, em solos transportados. Os seus principais agentes predisponentes são o fator morfológico (relevo acidentado) e o fator climático. Os agentes efetivos preparatórios são a pluviosidade, a erosão pela água e as ações humanas, ao passo que os agentes efetivos imediatos são as chuvas intensas e, também, as intervenções antrópicas. As chuvas ocorrem, em geral, de outubro a março, período em que ocorre a maioria dos escorregamentos.

O processo erosivo ocorre de maneira superficial, formando sulcos profundos, contribuindo para a ocorrência de escorregamentos, quando se observa o

descaçamento das camadas de solos subjacentes (solos maduros e/ou coluvionares).

As áreas que apresentaram maiores suscetibilidades à perda de solo estão dispostas, principalmente, no trecho urbano, centro-sul do município e nas bacias hidrográficas do rio Grande (ao sul) e do rio Macaé.

O compartimento do relevo mais afetado pela erosão e movimentos de massa foram os fundos de vale. Esses fenômenos foram causados, principalmente, pelo parcelamento do solo, totalmente inadequado quanto ao projeto e infra-estrutura.

Outro aspecto importante considerado foram os indicadores sócio-econômicos, tais como padrão construtivo da moradia, forma de ocupação e acompanhamento técnico empregado. Essa relação implica no uso de material impróprio e na utilização de técnicas não adequadas à região. Os tipos de habitação presentes no município nem sempre utilizam, em maior ou menor grau, as técnicas disponíveis e os elementos construtivos exigidos pelas condições naturais de clima, relevo, tipo de solo, intempéries etc. O fator econômico nem sempre é o responsável. A explicação pode estar na cultura local, tornando tradicional o desuso de material, equipamento e tecnologia, por desconhecimento ou negligência.

O crescimento da população se depara com a redução do número de áreas adequadas à expansão urbana no município.

Nos morros do município de Nova Friburgo, a ocupação inadequada vem acumulando riscos e prejuízos ambientais, que se evidenciam em desastres cada vez mais numerosos e na geração de paisagens urbanas cada vez mais comprometidas e deterioradas.

Essa constatação demonstra a estreita relação existente entre as características da ocupação urbana de encostas e a manutenção ou incremento de suas condições de estabilidade, além das características do tipo de ocupação e os aspectos de custos associados às implantações.

Utilizando-se a macro desenvolvida no Software GIS Idrisi, Version Andes, denominada siteselect, foi possível encontrar os melhores locais para os cenários 4 e 5, respectivamente, com áreas superiores a 10 ha. Foram encontradas 13 áreas entre 10 e 42 ha que, em uma escala de zero a 255, apresentam adequabilidade superior a 200 e 37 áreas entre 11 e 64 ha com adequabilidade superior a 220.

O escoamento pluvial, no município de Nova Friburgo, produz inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados: inundações de áreas ribeirinhas pela ocupação, pela população, do leito maior do rio e inundações devido à construção da rede de condutos pluviais e ainda

pela obstrução ao escoamento, como pontes, drenagens inadequadas e assoreamento.

Na modelagem, a discretização em sub-bacias possibilitou um maior entendimento do processo hidrológico do escoamento superficial, uma vez que possibilitou a obtenção dos resultados em cada ponto de controle dentro da bacia, onde foram inseridos trechos de interesse específico, onde a vazão é sensivelmente modificada.

Em todo o trecho analisado, exceto nos de maior declividade e onde se localizam as seções SEC7 e SEC4, verifica-se o transbordamento do canal para os períodos de retorno estudados, TR 20 e 50 anos.

Os valores de vazão simulados são úteis na comparação entre si, uma vez que não foi possível a observação de dados absolutos, pois a modelagem empregada buscou situações críticas prováveis, enquanto a criteriosa escolha dos números da curva revela a influência da expansão urbana na vazão de pico da bacia estudada.

Devido à inexistência de dados, não se realizaram a calibragem, os testes de sensibilidade e a verificação do modelo matemático. O modelo, portanto, até agora, não está consolidado.

A cobertura vegetal é de vital importância para a manutenção do estado de equilíbrio e qualquer alteração que nela se produza, tende a conduzir à erosão acelerada e o aumento do escoamento superficial que, conseqüentemente, contribuirá para os movimentos de massa e as inundações. Dessa forma, observa-se a manutenção da cobertura vegetal e/ou reflorestamento da bacia do rio Cônego e o controle da erosão como as principais medidas extensivas a serem implantadas.

O presente trabalho empregou uma metodologia simples de análise espacial que agrega critérios ambientais, operacionais e sócio-econômicos de dados digitais (mapas cartográficos e temáticos e imagem de satélite) espacialmente georreferenciados.

# Capítulo 10

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAAMOWITZ, M. ; STEGUN, I. A. ed. **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables. 10 ed.** Washington, Department of Commerce, 1972. 1046p.

AISSE, M. M. et al. Sistemas alternativos para a modelagem pluvial urbana: Ênfase na retenção do escoamento superficial. In: **Revista Acadêmica.** 8(2):35-45. 1997.

ALÉM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. - **Redes coletoras de esgotos sanitários - critérios de projeto.** São Paulo. 1999.

ALEXANDER, D. The study of natural disasters, 1977-1997: some reflections on a changing field of knowledge. **Disasters**, Malden, v.21, n.4, p.284-304, 1977.

ALMEIDA, L.C.R.; LARA,A.A.; MARQUES,E.A.G.; et al. **Mapeamento para cadastro de pontos de alto risco geológico-geotécnico em vias públicas: o exemplo da Avenida Menezes Cortes – RJ.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998,Florianópolis.*Anais...*Florianópolis: ABGE/UFSC/LAMGEO, 1998. s.p. CD.

AL-SABHAN, W; MULLIGAN, M; BLACKBURN, G. A. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the **www.** **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, p. 9-32, 2003.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T . A. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos.** Revista Brasileira de Geociências, v. 33, p. 117-127, 2003.

AMARAL JR., A. F. **Mapeamento geotécnico aplicado à análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde-RJ – escala: 1:10.000.** 2007. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de informações hidrológicas.** (Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>). ANA. Consultado em julho de 2006.

ANDREOLI, C. V. et al. Os Mananciais de abastecimento do sistema integrado da Região Metropolitana de Curitiba - RMC – 9º SILUBESA - Simpósio Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro **Anais...**, p.196-205, 2000.

ANDREOLI, C.V.; et. al. **Os mananciais de abastecimento do sistema integrado da região metropolitana de Curitiba- RMC**. SANARE, Curitiba, v. 12, n. 12, p. 19 – 30, 1999.

ASSIS, A. F. F. **O solo e as práticas de controle à erosão**. Campinas, SP, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI, 1973. p. 13-17.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)**. 2001. 196f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

AUGUSTO FILHO, O. **Deslizamentos**. Clases dictadas en el curso “Formación en Aspectos Geológicos de Protección Ambiental”. Instituto de Geociencias de la Universidad Estatal de Campinas - UNICAMP, São Paulo, 1995, Vol. 1, pp. 29-47.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L.E.S.; AMENOMORI, C.J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1990. p.334-41.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; SOUZA, V. C. B.; COSTA, L. S. G, 1998. Utilização de tecnologias compensatórias no projeto de um sistema de drenagem urbana in **Anais do II Simposio de Recursos Hidricos del Conosur**. Santa Fé, Argentina.

BARATA, F.E. **Landslides in tropical region of Rio de Janeiro**. proc. 7<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, México, 1969, vol.2, pp. 507-516.

BARBOUR, M. T., J. G. 1999. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2<sup>nd</sup> ed.** EPA 841-B-99-002. US EPA, Office of Water, Washington D.C., USA

BARROS, M., PORTO R.L., TUCCI, C, E. M. Organizadores. **Drenagem Urbana**. FGRS. ABRH.1995.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E. Precipitação. In: TUCCI, C.E. (Ed.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993. cap. 5, p. 177-241.

BERTOLINI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **A arte da pesquisa**. Martins Fontes 2000.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R. A. (1998). **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press. 333p.

BRAGA, B. D. F. Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical. In: **Seminário de hidráulica computacional aplicada a problemas de drenagem urbana**, São Paulo, ABRH, 1994

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro, 2005.133p.

BRASIL, Câmara dos Deputados. **Estatuto da cidade** Guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Coordenação de Publicação, 2001.273p.

BRABB, E.E., AND PAMPEYAN, E.H., 1972, **Preliminary map of landslides in San Mateo County, California**: U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-344, scale 1:62,500.

BRAUCH, H.G. 2005. **Environment and human security: towards freedom from hazard impacts**. InterSecTions, No. 2, Publication of the United Nations University Institute for Environment and Human Security.

BUTTEL, F.H., DICKENS, P., DUNLAP R.E., & GIJSWIJT, A. (2002) **Sociological theory and the environment: An overview and introduction**. In: BUTTEL et al (orgs.), *Sociological Theory and the environment: Classical foundations, Contemporary insights*. Lanham: Rowman and Littlefield Publishers.

BUTTEL, F.H. (2001) **Instituições sociais e mudanças ambientais**. In: A questão ambiental e as ciências sociais - Revista do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Campinas, Ano 8, n.2, p.9-37.

CÂMARA, G.; CRUZ, C.B.M.; BARROS, R.S. **Análise do padrão de distribuição espacial do índice de equidade sócio-econômica no município do Rio de Janeiro**. INPE, 2000. Análise Espacial de Dados Geográficos. 40p. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/geopro/exclusao/artigos.html>>. Acesso em fevereiro de 2008.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995. 251p. (Tese de Doutorado).

CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. **Estimativa de áreas impermeável de macrobacias urbanas**. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, vol.12, n. 2, dez/ 1994.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARDONA, O.D. 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, 1993. Disponível em: <<http://www.lared.org.pe/publicaciones/libros/2042/cap3.htm> > . Acesso em agosto de 2007.

CARVALHO FILHO, A. **Os solos do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2000.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres mistos**. Brasília: MIN, 2003. 174p.

CASTRO, V. L. S.; JONSSON, C.M. **Aspectos toxicológicos em ambiente aquático e em mamíferos**. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P., RAIJ, B. van & ABREU, C.A. Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura. CNPq/FAPESP/POTAFOS. Jaboticabal. p.577-596, 2001.

CEA - CENTRO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. Empresa Brasileira de Meio Ambiente (EBMA), 2006.

CHOW, V.T. **Development of uniform flow and its formulas**. In: Open Channel Hydraulics. New York, 1959, p. 89-125.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2002. 256 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Orgs. A. j. t. Guerra e S. b. Cunha, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 415 – 443, 1998.

CIDE - CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. (Disponível em <http://www.cide.rj.gov.br>) - **Fundação CIDE**. Consultado em julho de 2006.

COSTA, H.; TEUBER, W. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro – uma abordagem geral**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 160p.

COSTA NUNES, A.J. **Landslides in Soils of Decomposed Rock due to Intense Rainstorms**. Proc., 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, México, 1969, vol.2, pp. 547-554.

CRUFF, R.W.; RANTZ, S.E. **A comparacion of methods used in flood frequency studies for coastal basins in California**, S.I., USGS Water Supply (Paper 1580-E ), 1965.

DANTAS, M. E. et. al. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**, Brasília: CPRM, 2000.

DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2ª edição revista e ampliada. Brasília, CPRM, 2000.

DAVIS, M. **Planeta favela**. Tradução Beatriz Medina. São Paulo: Bomtempo, 2006.

DIAMOND, J. M. **The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves**. *Biological Conservation* 7:129-146, 1996.

DOBROVOLNY, E. **Landslide susceptibility in and near anchorage as interpreted from topographic and geologic maps, in the great Alaska earthquake of 1964**-Geology volume. Publication 1603. U.S. Geological Survey Open File Report 86-329, National Research Council, Committee on the Alaska Earthquake, National Academy of Sciences, USA, pp 735–745, 1971.

DOUROJEANNI, A. e JOURAVLEV, A. (2001). **Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua**. Serie Recursos Naturales e Infraestructura n. 35, Cepal, División de Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago.

DREW, D. **Man-Environment processes**, George Allen & Unwin, London, 2003.

EASTMAN, J. R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J. **Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS**. In: Beint, E.; Nijkamp, P (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 227-251. 1998.

ENGEL, B. A.; Srinivasan, R.; Rewerts, C. **A spatial decision support system for modeling and managing agricultural non-point-source pollution**. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T. (eds.), *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University Press, New York, 231-237, 1993.

FARAH, F. **Habitação e encostas**. 1998. 246f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FNMA/INSTITUTO ECOTEMA. **Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis**. Petrópolis, 2001. 451p.

FREEDMAN, P.L.; DILKS, D.W. **Receiving water impacts**. In: *The Control and Treatment of Industrial and Municipal Stormwater*. Ed. By Peter E. Moffa, New York, USA, 1996.

FREIRE, E.S.M. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática**. Construção, Rio de Janeiro, 1965, pp.10-18.

GALLI, L.F.. **Reflorestamento de áreas degradadas**. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Caderno 3, CESP, São Paulo, SP, 1993.

GASPARINI, D. Um projeto para nossas cidades. **Diálogos & debates da Escola Paulista de Magistratura**, n.1, . p.40-57, 2001.

GIBSON, R.S. **Nutritional assessment: a laboratory manual**. New York, Oxford University Press, 1993. 196 p.

GLEICK, P. H. (2000). **Water conflict chronology**. Studies in Development, Environment and Security. The Pacific Institute. In: [www.worldwater.org/conflict.htm](http://www.worldwater.org/conflict.htm)

GOODCHILD, M.F. **Geographical data modeling**. *Comp. Geoc.*, 18: 401-408, 1992.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. 1976. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 167p.

HERZER, H.; GUREVICH, R. **Degradación y desastres: parecidos y diferentes. Tres casos para pensar y algunas dudas para plantear**. In: FERNANDES, M.A. (compiladora) *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina*. 1996. Disponível em: <<http://www.lared.org.pe/Publicaciones/libros/4194/8cap3.htm>>. Acesso em dezembro de 2007.

HUFF, F. A. **Time distributions of heavy rainstorms in Illinois**. Illinois State Water Survey, Champaign, Circular 173, 1990.

HUFF, F. A. **Time distribution of rainfall in heavy storms**. *Water Resources Research*, 3, 1007-1019, 1967.

HUTCHINSON, J.N. **General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology**. *Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, 10-15 July, 1988*, pp. 3-35. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Manual de uso e ocupação de encostas**. São Paulo: 1991. 25p.

IPHS1. **Manual de fundamentos – versão preliminar**, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004b, 42p. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br>>. Acesso em: 07 ago. 2008.

IUGS-WGL - WORKING GROUP ON LANDSLIDES, COMMITTEE ON RISK ASSESSMENT. **Quantitative risk assessment for slopes and landslides - the state of the art**. In: CRUDEN, D.; FELL, R. (Ed.) **Landslide risk assessment**. Rotterdam: Balkema, 1997.p.3-12.

JOHNSCHER-FORNASARO, G.; QUARENTEI-SOUZA, RC.; KADEKARU, N.; ROQUETTI-HUMAYTA, M.H. **Estudos das comunidades bentônicas de substrato consolidado do litoral norte do Estado de São Paulo: Praia do Camburi**. In: MINI-SIMPÓSIO DE BIOLOGIA MARINHA, 5. São Sebastião, CEBIMar-USP. Resumos, P. 6. 1986.

JOHNSON, D. L.; MILLER, A. C. **A spatially distributed hidrologic model utilizing raster data structure**. Computers & Geosciences, v. 23, n. 3, p. 267-272, 1997.

KARR, J.R. Assesment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries**, v.6, n.6., p.21-27, 1981.

KITE, G.W. **Frequency and risk analyses in hidrology**. Fort Collins, Water Resources, 1978. 224p.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

KOBIYAMA, M; CHECCHIA, T; SILVA, R. V; SCHRÖDER, P. H; GRANDO, A. REGINATTO, G. M. P. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846 (CD-ROM)

LACERDA, W.A. **Stability of natural slopes along the Tropical coast of Brazil**, in: Symp. On Recent Developments in Soil & Pavement Mechanics, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, M. Almeida, Balkema. p. 17-40. 2007.

LAVELL, A. **Desastres durante una década: lecciones y avances conceptuales y prácticos em América Latina (1990-1999)**. 2000a. 32p. Disponível em <<http://www.desenredando.org/public/articulos/2000/acdrmt/index.html>>. Acesso em janeiro de 2008.

LAVELL, A. **An approach to concept and definition in risk management terminology and practice (final draft)**. Genebra: ERD-UNDP, 2000b. 27p. Disponível em <<http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html>>. Acesso em janeiro de 2008.

LAVELL, A. Degradacion ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definicion de uma agenda de investigacion. In **Fernandez M. A. (coord.), Ciudades en riesgo. Degradacion ambiental, riesgos urbanos y desastres**, 1996, Lima, La Red, ITDG-USAID, 1996, p. 21-59.

LE NOUVEAU, N. **Techniques alternatives en assainissement pluvial**, França, 2006.

LETTEENMAIER, D.P.; BURGESS, S.J. Gumbel's extreme value I distribution; a new look. **Journal of the Hydraulics Division**, 108:502-513, 1982.

MACEDO, E.S. **Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade**. 2001. 275f. + anexo. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MACK, M. J. **HER-Hidrologic evaluation of runoff; the soil conservation service curve curve number technique as an interactive computer model.** Computer & Geosciences, v. 21, n. 8, p. 929-935, 1995.

MAGRO, S.O.; CAZZOLI, S.V.; SANTORO, J.; et al. **Cadastramento de risco a escorregamento e inundações dos núcleos habitacionais do Parque Estadual da Serra do Mar no município de Cubatão.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2; ENCONTRO REGIONAL DE GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE, 1, 1996, São Carlos. *Atas...*São Carlos: ABGE, 1996. p.93-100.

MAIONE, U. **Aponti di idrologia - le piene fluviali.** Pavia, La Goliarca Pavese. 224 p., 1977.

MANSILLA, E.(Coord.).**Guia para la gestión de desastres.** México: UNAM- La Red, 1996. Disponível em < <http://www.lared.org.pe> > Acesso em janeiro de 2008.

MARTINE, G. The sustainable use of space. In: **First Cyber Seminar of the Population Environment Research Network**, 2006. Disponível em: <[www.populationenvironmentresearch.org/](http://www.populationenvironmentresearch.org/)>. Acesso em outubro de 2007.

MELLO, F. A. O. **Análise do processo de formação da paisagem urbana de Viçosa, Minas Gerais.** 2002. 92p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

METZGER, P. Medio ambiente urbano y riesgos: elementos de reflexión. In: FERNANDES, M.A. (Compiladora) **Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina.** Disponível em < <http://www.lared.org.pe/Publicaciones/libros/4194/>> 8cap3.htm >. Acesso em janeiro de 2008.

MEYER, L. D.; MUTCHLER, C. K. Soil erosion: an overview of onsite and offsite consequences. **Advances in Hydro – Science and Engineering.** Vol I, 1993, p: 581 – 587. ISBN 0-937099 – 02-3.

MIGUEZ, L.A L. **Mapeamento e monitoramento dos maciços vegetais do município de Curitiba – PR.** Monografia de Especialização em Administração, Monitoramento e Controle da Qualidade de Vida Urbana. IEP & FESP. Curitiba. 2001

MORGENSTERN, N.R. Toward landslide risk assessment in practice. In: CRUDEN, D.; FELL, R. (Ed.) **Landslide risk assessment.** Rotterdam: Balkema, 1997.p.15-23

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

MUNÕZ, H. R. **Razões para um debate sobre as interfaces da Gestão dos recursos hídricos no contexto da lei de Águas de 1997.** In: MUNÕZ, H. R. (org.). Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos. Desafios da lei de águas em 1997. Brasília 2. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. Disponível no site: <<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 7 abr. 2002.

NAKAMURA, E. Regulating loads to receiving Waters: Control practices for combined sewer overflows in Japan. In: **Urban discharges and receiver water quality impacts**. Seminar. IAWPRC/IAHR, Brighton, U. K. 1988

NATALI, P. P. **Carta Preliminar de risco de escorregamento para a área urbana de Ponte Nova – MG**. 1999. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas para municipais para áreas de ocupação subnormal**. 2002. 268f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002.

NOVA FRIBURGO. Prefeitura Municipal De Nova Friburgo. **LEI 024/2007 – Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo (PDP)**. Nova Friburgo - RJ, 2007.

OCHA - UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS. **Estratégia internacional para a redução dos desastres**. Foro programático da DIRDN (julho de 1999). Disponível em <<http://www.disaster.info.desastres.net/indr/dirdn.htm>>. Acesso em outubro de 2007.  
OCHA - UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS. **Guidelines for natural disaster prevention, preparedness and mitigation**. In: WORLD CONFERENCE ON NATURAL DISASTER REDUCTION, 1994, Yokohama. Geneve: OCHA/DHA, 22p. Disponível em <<http://www.reliefweb.int/dhaol/Programs/idndr/yokohama/index.html>>. Acesso em agosto de 2007.

OJIMA, R. **Análise comparativa da dispersão urbana nas aglomerações urbanas brasileiras: elementos teóricos e metodológicos para o planejamento urbano e ambiental**. Tese (Doutorado em Demografia). Campinas, Unicamp, 2007.

OHMORI, H; SHIMAZU, H. Distribution of hazard types in a drainage basin and its relation to geomorphological setting. **Geomorphology**, v. 10, p. 95-106, 1994.

OHNUMA JR, A. A. **Cenários de reuso de água pluvial e controle da drenagem visando a recuperação ambiental da micro-bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos-SP**. 2005, 161f. Dissertação de Mestrado. Escola de engenharia de são Carlos. Universidade de são Paulo-SP. 2005.

OLIVEIRA, C. P. M.; PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; ROBERTO, A. N. ABC6, um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas. **Anais da Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre - RS, 1999.

OLIVEIRA. L. C. D. **Análise Quantitativa de Risco emprego de Movimentos de Massa com Estatística Bayesiana**. 2004. 496f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.

OLSHANSKY, R.B.; ROGERS, J.D. Unstable ground: landslide policy in the United States. Berkeley: **Ecology Law Quarterly**, v.13, n.4, p.939-1006, 1987.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas Registradas com Pluviógrafos em 98 Postos Meteorológicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982. 426 p.

PHILLIPS, J.D. **Earth Surface Systems. Complexity, Order, and Scale**. Ed. Basil Blackwell, Oxford, UK 1999. 180 p.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

PLAFKIN, J. L., BABOUR, M. T., PORTER, J. G., GROSS, S. K. & HUGHES, R. M., 1989, **Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers. Benthic Macroinvertebrates and Fish**. EPA/444/4-89/001. Office of Water Regulations and Standards, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

PMNF/CPRM. **Plano municipal de redução de riscos** – Relatório final. 2007. Nova Friburgo.

PMNF/FCTH. **Plano de águas pluviais de Nova Friburgo (PAP)** – Relatório final. 2007. Nova Friburgo.

PORTLAND, Environmental services city of Portland Clean River works. **Stormwater management manual**. Adopted in 1999, revised in 2002.

PULLAR, D.; SPRINGER, D. **Towards integrating GIS and catchment models**. Environmental Modelling & Software, 15, p. 451–459, 2000.

RADBRUCH, D.H. **Map showing areas of relative amounts of landslides in California**: U.S. Geological Survey Open-File Report 70-270, 36 p., 1970, scale 1:500,000.

RH 3.0 – **Regionalização hidrológica; manual do programa** / Humberto Paulo Euclides, Elias Fernandes de Souza, Paulo Afonso Pereira; [Colaboração de] Og Arão Vieira Rubert, Wellington Lima dos Santos – Viçosa: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS, 1999. 149P.

RODRIGUES, B.B. (2003). **Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimento de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto(MG)**. Tese de doutorado. Rio Claro, UNESP – Rio Claro.

SAATY, T.L., **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process (ANP and ECNET Software) Guide, Manual and Examples**, Pittsburgh-PA, 1996-1997

SAATY, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management Science**, v.32, p.841-855, 1986.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**. 15, 1977

SANTOS, I; KOBAYAMA, M. Aplicação do TOPMODEL para zoneamento hidrológico da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais - PR. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN, 2004. p.188-202.

SCHUELER, T. e HERSON-JONES, L. **Site planning for urban stream protection**. US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 232p. 1995.

SCS - Soil Conservation Service. **National Engineering Handbook**, USDA, 1972.

SEMADS. **Bacias hidrográficas e rios fluminenses – Síntese informativa por macrorregião ambiental**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro 2001.

SIDLE, R. C.; TAYLOR, D.; LU, X. X.; ADGER, W. N.; LOWE, D. J.; LANGE, W. P.; NEWNHAM, R. M.; DODSON, J. R. Interactions of natural hazards and society in Austral-Asia: evidence in past and recent records. **Quaternary International**, n.118-119, p.181-203, 2004

SILVA, D.D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F.F.; FILHO, R. R. G.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. **Equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins**. Revista Engenharia na Agricultura, v.11, n.1-4, 2003.

SKEMPTON, A.W. & HUTCHINSON, J. **Stability of natural slopes and embankment foundations**. In: International Congress of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7th. Proceedings, México, 1969, pp. 291-340.

SMITH, K. **Environmental hazards: assessing risks and reducing disaster**. 2.ed. London: Routledge, 1996. 380p.

SOUTHERLAND, M.T; ROTH, N.E.,, MERCURIO, G., CHAILLOU, J.C., KAZYAK, P.F., STRANKO, S.S., PROCHASKA, A.P., HEIMBUCH, D.G. & SEIBEL, J.C. 1999. **State of the streams**: 1995-1997 Maryland biological stream survey results. Prepared by Tetra Tech Inc. for the Maryland Department of Natural Resources, Monitoring and Non-Tidal Assessment division, Annapolis, Maryland, CBWP-MANTA - EA-99-6.

SPOSATI, A. (Coord.) **Mapa da Exclusão/Inclusão da Cidade de São Paulo, 2000: Dinâmica Social dos anos 90**. São Paulo: PUC/SP-POLIS-INPE, 2000. (cd).

SCHWAB, G.O., FREVERT, R.K., EDMINSTER, T.W., BARNES, K.K. **Soil and water conservation engineering**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1966. 683p.

TERZAGHI, K. 1950. **Mecanismos de escorregamentos de terra**. Trad. de Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico. 41p.

THOMPSON, S. A.. **Hydrology for water management**. A.A. Balkema, 1 ed. Rotterdam, The Netherlands, 362 pp, 1999.

TUCCI, C.E.M. **Drenagem Urbana**. Cienc. Cult. vol.55 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2003.

TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C., 2003. **Inundações urbanas na América do Sul**. ABRH. Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M., 2001 **Apreciação do PNRH e visão prospectiva dos programas e ações** – ANA, Agência Nacional de Águas.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001. 2 v.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R., 2001. **Storm hydrology and urban drainage**. In: Tucci, C. Humid Tropics Urban Drainage, Capítulo 4. UNESCO.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2ed., Porto Alegre, 943p., 2000.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1998. 652 p.

UNSD - UNITED NATIONS DIVISION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Lista de indicadores del desarrollo sostenible. Disponível em <<http://www.un.org/esa/sustdev/indisd/spanish/espanol.htm> >. Acesso em julho de 2007.

UNESCO–WP/WLI. **A Suggested Method for Describing the Activity of Landslide**. Bulletin of the IAEG, No. 47, 1993a, pp. 53-57.

UNFPA. **State of world population 2007**: unleashing the potential of urban growth. New York: UNFPA, 2007.

UN-HABITAT. **State of the world's cities 2006/7**. London, Earthscan, 2006.

URBONAS, B.; STAHR, P., 1993. **Stormwater Best Management Practices and Detention**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

URBONAS, B. Development of simplified detention sizing relationships. In: **Proceedings of the Conference on Stormwater Detention Facilities**. Asce, 1992.

VARGAS, M., PICHLER, E. & SILVA, F.P. **Análise de dois escorregamentos do solo residual em Santos**. São Paulo, IPT, 1956, 22p., il.

VARNES, D.J., **Slope movement types and processes**. Chapter 2 in *Landslides: Analysis and Control*, Schuster & Krizek (eds.). Special Report 176:11-33. Washington D.C.: Highway Research Board, 1978.

VARNES, D.J., **Landslides types and processes**. Chapter 3 in *Landslides and Engineering Practice* E.B. Eckel (eds). Special Report 29:20-47. Washington D.C.: Highway Research Board, 1958.

VELÁSQUEZ, A.; ROSALES, C. **Escudriñando en los desastres a todas las escalas. Concepción, metodología y análisis de desastres en América Latina utilizando DesInventar**. 1999. Disponível em <<http://www.desinventar.org/sp/publicaciones/escudrinando/index.html>>. Acesso em janeiro de 2008.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**/Yvette Veyret (organizadora), [tradutor Dilson Ferreira da Cruz]. São Paulo: Contexto, 2007.

VILLELA, S., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Emergency health training programme for Africa**. Disponível em <<http://www.who.int/eha/disasters>>. Acesso em outubro de 2001.

WOLD JR.,R.L.; JOCHIM,C.L. **Landslide loss reduction: a guide for state and local government planning**. A Federal Emergency Management Agency publication (FEMA 182), 1989, 50p.

WOLLE, C.M. **Taludes naturais - Mecanismos de instabilização e critérios de segurança**. São Paulo, 1980. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 345p.

WU, S.S. **Rock evaluation by computer simulation**. Transportation Research Record, No. 1031, Transportation Research Board, National Research Council, 1983, pp.1-5.

YUNES, M.A.M.; SZYMANSKI, H. Resiliência: noção, conceitos afins e considerações críticas. In: TAVARES, J. (Org.) **Resiliência e educação**. São Paulo: Cortez, 2001. p.13-42.

ZUQUETTE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. Cartas de Geologia de Engenharia. In: BRITO, S.N.A., OLIVEIRA, A.M.S (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap.15, p.283-300.

ZUQUETTE, L. V. PEJÓN, O. J., GANDOLFI, N., PARAGUASSU, A. B. Considerações básicas sobre a elaboração de cartas de zoneamentos de probabilidade ou possibilidade de ocorrer eventos perigosos e de riscos associados. **Geociências** (UNESP-Universidade Estadual Paulista), v. 14, n.2, p. 9-39, jul./dez. 1995.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamento e guia para elaboração**. 1993. 2v. 368f. Tese (Livre-docência em Geotecnia) – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos.