



# VULNERABILIDADE AMBIENTAL

## VULNERABILIDADE AO ESCORREGAMENTO DE TERRAS ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO BENGALAS, 2011

*Luiz Tadeu da Silva*

Tese apresentada à Universidade de Évora  
para obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente  
Especialidade: Desastres Naturais

ORIENTADORES: *Prof.ª Dr.ª Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio*  
*Prof. Dr. João Alexandre Medina Corte-Real*  
*Prof. Dr. Daniel Andrés Rodriguez*

ÉVORA, JANEIRO DE 2014







# VULNERABILIDADE AMBIENTAL

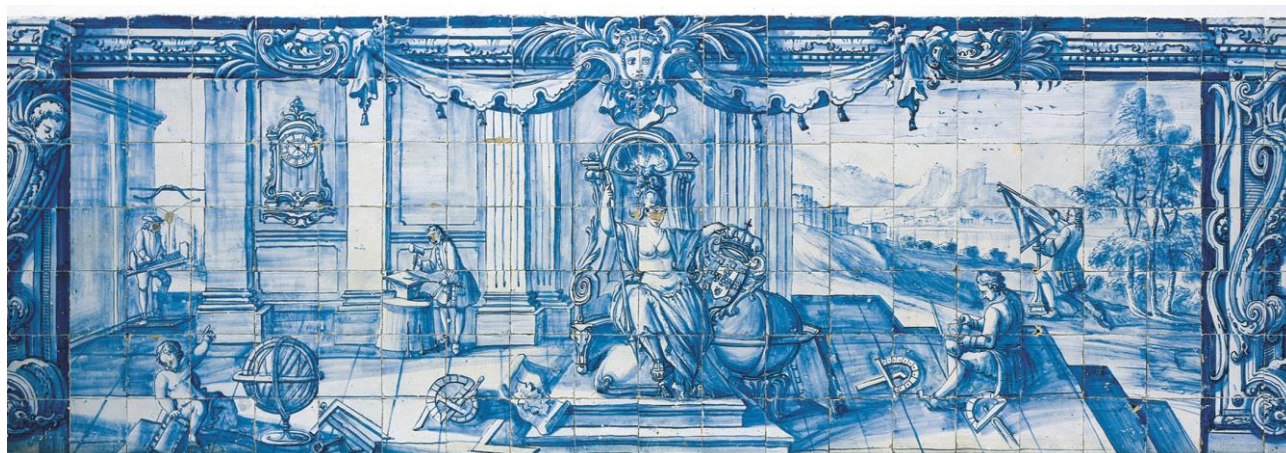
## VULNERABILIDADE AO ESCORREGAMENTO DE TERRAS ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO BENGALAS, 2011

*Luiz Tadeu da Silva*

Tese apresentada à Universidade de Évora  
para obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente  
Especialidade: Desastres Naturais

ORIENTADORES: *Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio*  
*Prof. Dr. João Alexandre Medina Corte-Real*  
*Prof. Dr. Daniel Andrés Rodriguez*

ÉVORA, JANEIRO DE 2014







*“Da minha aldeia vejo quanto da terra se pode ver do Universo...  
Por isso a minha aldeia é tão grande como outra terra qualquer,  
Porque eu sou do tamanho do que vejo  
E não do tamanho da minha altura...  
Nas cidades a vida é mais pequena  
Que aqui na minha casa no cimo deste outeiro.  
Nas cidades as grandes casas fecham a vista à chave,  
Escondem o horizonte, empurram o nosso olhar para longe de todo o céu,  
Tornam-nos pequenos porque nos tiram o que os nossos olhos nos podem dar,  
E tornam-nos pobres porque a nossa única riqueza é ver”.*

*“O Guardador de Rebanhos”  
Fernando Pessoa*



## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, persistência, disposição e vontade de vencer! Nos momentos alegres Ele estava ao meu lado contemplando os risos e nos momentos tristes o Teu Amor me consolava. Quando pensava que tudo estava perdido, a Tua Mão Poderosa moveu céus e terra, para que mais um desejo da minha vida fosse cumprido. Portanto, a Ele dou toda honra e glória por mais uma grande vitória. Sem Ele, nada seria!

À Nossa Senhora de Fátima a quem dedico este trabalho, em prol da sociedade e do meio ambiente mundial. À Beata “Nhá Chica”, aos Santos Anjos, Santos, Milícias Celestes e Espíritos Bem Aventurados de Deus, pela assistência e proteção espiritual.

Aqueles que partiram para junto de Deus, *“In Memoriam”* os meus pais Maria Aparecida da Silva e Vicente Lopes da Silva, e meus primos José Ribeiro dos Santos, Paulo José Verreschi Ribeiro, e Rafael Ramos Rangel, meu eterno agradecimento.

A toda minha Família, obrigado pelo incentivo e apoio de sempre.

Aos Professores Dr.<sup>a</sup> Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio, Dr. João Alexandre Medina Corte-Real e Dr. Daniel Andrés Rodriguez, pela orientação, apoio e incentivo no desenvolvimento e conclusão deste trabalho de doutoramento.

Ao Ministério da Educação e Ciência de Portugal e à Universidade de Évora, especialmente aos Professores Dr. Carlos Alberto dos Santos Braumann - Reitor, Dr. Soumodip Sarkar - Diretor do Instituto de Investigação e Formação Avançada, Dr. Carlos José Pinto Gomes - Diretor do Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento, Dr. António Pedro de Avelar Gonçalves Santos - Diretor do Programa de Doutoramento em Ciências do Ambiente, Dr.<sup>a</sup> Maria Teresa Amado Pinto Correia - Diretora do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, e Dr.<sup>a</sup> Catarina Maria Zagallo Pacheco Cid - Serviços Acadêmicos, pela oportunidade recebida.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Luiz Leal de Moraes - Coordenador Geral do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE, Prof. Dr. Nelson Jesuz Ferreira, Chefe da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC/INPE, Dr.<sup>a</sup> Célia Joseli do Nascimento - Analista em Ciência e Tecnologia e Chefe da Divisão de Informação e Análise do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanda Regina Teixeira Scartezini - consultora do World Bank, PNUD, BID, WIPO e da Fundação Getúlio Vargas, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Assunção Faus da Silva Dias - Professora Titular do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, MSc. Fabiana Carnaúba Medeiros - Doutoranda em Ciências do

Ambiente pela Universidade de Évora, Prof. Dr. David Mendes e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Monica Cristina Damião Mendes - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Ao Dr. Jorge Pimentel, Geólogo do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Dr. João Mendes - Coordenador Adjunto da Agenda 21, Dr.<sup>a</sup> Mariana Aguiar Kahn - Núcleo Especial da Agenda 21, e ao Prof. Fernando Cavalcante - Presidente do Conselho Municipal do Meio Ambiente do Município de Nova Friburgo - COMMAM e Diretor da Escola de Políticas Públicas e Gestão Ambiental - EPGEA de Nova Friburgo, pelo fornecimento de informações, dados vetoriais e cartas em *shapefiles* de diversas variáveis ambientais do Município de Nova Friburgo, bem como sobre os escorregamentos de terra lá ocorridos em 12 de janeiro de 2011.

Pela amizade e apoio técnico recebido de Alan Augusto D'Ávila de Oliveira, Benedita Valdirene Ribeiro, Bruno Evangelista Moraes, Claudinei de Camargo, David Guimarães Monteiro França, Eduardo Batista de Moraes Barbosa, Evaldo Flávio Gomes Correia, Fábio Cunha Conde, Flávio de Carvalho Magina, Marcus Jorge Bottino, José Lázaro de Siqueira Junior, Paulo Augusto Sobral Escada, Paulo Yoshio Kubota, Pedro Ivo Mioni Camarinha, Regina Célia Ferreira de Carvalho Vilela Nogueira, Regina Santos Costa Corte-Real, e Rildo Gonçalves de Moura.

Pela amizade e incentivo recebidos dos amigos e parentes Abel Junior Palomino, Ana Luiza Medeiros Azevedo, Ana Paula Tavares, Andréia Cristina Ribeiro Silva, Aparecida Fátima de Oliveira, Aparecida Ferreira de Carvalho, Bianca Antunes de Souza, Cássia Monalisa dos Santos Silva, Dayse Pereira Hauke, Edvânia Mesalino de Campos, Emily Ane Dionizio da Silva, Evair Sérgio da Silva, Eymar Silva Sampaio Lopes, Fábio Loyolla, Franciane de Souza Oliveira Mafra, Gisele Cristina dos Santos Mira, Gláucia Aparecida Silva Carvalho, Gustavo Mollica Junior, Iára Regina Nocentini André, Isilda Augusta Luis Pereira da Cunha Menezes, Ivete Menezes, Janaína Verreschi Ribeiro, Jesarela da Silva Fonseca Coura Borges, Joaquim Lourenço, José Antônio de Godoi, José Carlos da Silva, José Carlos Moreira, José Felipe da Silva Farias, José Luiz de Souza, Livia Regina Gonçalves Teixeira, Luciana Maria de Castro Mira, Lúcio Antônio de Oliveira, Luís Geraldo Ferreira, Luiz Augusto de Alagão Ataíde, Marcelo Barbio Rosa, Marcos Paulo Salgueiro de Moraes, Maria Aparecida dos Santos, Maria Dulce Lourenço, Maria Inês dos Santos, Maria Isaura da Silva Godoi, Marisa Soares da Silva Collucci, Marli Fátima da Silva Rosa, Mayra D'Kassia Calderaro Rocha, Michelle Cristina de Oliveira Rodrigues, Neil Ferreira Goncalves, Neusa Maria do Carmo, Paulo Roberto Martini, Regiane Aparecida de Carvalho, Rita de Cássia Silva von Randow, Rong Zhang, Rosa Maria de Almeida Castro, Sandro Miguel Ferreira Veiga, Silvia Garcia de Castro, Sofie Maucher, Thalita Morena Oliveira Souza, Thiago Amaral de Azevedo Sene Silva, Valdete Duarte, e Yvette Kalil Vilela Leite.

## Resumo

---

Este trabalho tem como objectivo apresentar um modelo criado para avaliar a suscetibilidade e a vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra, que em janeiro de 2011, com a ocorrência de fortes chuvas no Município de Nova Friburgo, estes desastres impactaram na morte de 429 pessoas. Foram feitas diversas investigações relacionadas à declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical, curvatura horizontal e precipitação de chuvas da Bacia, possibilitando a geração de índices de suscetibilidade/vulnerabilidade a escorregamentos de terra, calculados proporcionalmente ao número de escorregamentos observados. A metodologia desenvolvida neste trabalho se mostrou eficaz no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade, podendo ser utilizada universalmente por centros de pesquisas e demais instituições que trabalham na prevenção, monitoramento e previsão de escorregamentos de terra, bem como por gestores públicos e profissionais envolvidos no parcelamento, uso e ocupação do solo.





## Abstract

---

### **Vulnerability to Landslides - Case Study: Basin of the River Bengalas, 2011**

This work aims to present a model created to evaluate the susceptibility and vulnerability of the River Bengalas' Basin to landslides, which in January 2011, with the occurrence of heavy rains in the city of Nova Friburgo, these disasters have impacted on the death of 429 people. There have been made several investigations related to the slope, pedology, lithology, use and cover of the soil, vertical and horizontal curvature and rain precipitation, allowing the generation of rates of susceptibility/vulnerability to landslides, calculated in proportion to the number of landslides observed. The methodology developed in this study proved to be effective in relation to the concepts, tools, techniques and applicability, that can be used universally for research centers and other institutions that work with prevention, monitoring and forecasting of landslides, as well as public managers and professionals involved in the installment, use and occupation of the soil.



# SUMÁRIO

---

<b>RESUMO</b>	<b>I</b>	
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>IX</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>XIII</b>	
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS</b>	<b>XV</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação	2
1.2	Objectivo	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1	Desastres Naturais	4
2.1.1	Conceitos e Definições	4
2.1.2	Calamidades	9
2.1.3	Riscos e Perigos	11
2.1.4	Impactos	15
2.1.5	Desastres Naturais relacionados à Dinâmica Fluvial	19
2.1.6	Desastres Naturais relacionados à Dinâmica Atmosférica	23
2.1.7	Desastres Naturais relacionados à Dinâmica de Encosta	32
2.2	A Urbanização	39
2.2.1	Áreas de Preservação Permanente - APPs	43
2.2.2	Áreas de Proteção Ambiental - APAs	44
2.3	O Solo	44
2.3.1	Funções dos Solos	46
2.3.2	Solos Urbanos	46
2.3.3	Humidade do Solo	51
2.4	Suscetibilidade	55
2.5	Vulnerabilidade	56
2.6	Suscetibilidade/Vulnerabilidade: índices anteriormente adoptados	60

<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO BENGALAS</b>	<b>62</b>
3.1	Características do Município de Nova Friburgo	62
3.1.1	Clima	65
3.1.2	Relevo e Solo	67
3.1.3	Vegetação	69
3.1.4	Hidrografia	70
3.1.5	Demografia	70
3.1.6	Socioeconómico	71
3.1.7	Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo	71
3.2	Características da Bacia do Rio Bengalas	82
3.2.1	Declividade	83
3.2.2	Pedologia	85
3.2.3	Litologia	89
3.2.4	Uso e Cobertura do Solo	92
3.2.5	Curvaturas Vertical e Horizontal	95
3.2.6	Hidrografia	99
3.2.7	Densidade de Drenagem	101
<b>4</b>	<b>AS CHUVAS DE JANEIRO DE 2011 EM NOVA FRIBURGO</b>	<b>104</b>
4.1	Os Escorregamentos de Terra na Bacia do Rio Bengalas	120
<b>5</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>123</b>
5.1	Classes da Suscetibilidade/Vulnerabilidade	125
5.2	Critérios adoptados para os cálculos	127
5.2.1	Critérios adoptados para os cálculos da suscetibilidade	127
5.2.2	Critérios adoptados para os cálculos da vulnerabilidade	128
5.3	Variáveis e seus pesos adoptados/propostos neste trabalho	133
5.4	Geração dos mapas de suscetibilidade e de vulnerabilidade	135



<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>136</b>
6.1	Suscetibilidade - Cálculo dos índices	136
6.2	Mapa de suscetibilidade	144
6.3	Suscetibilidade - Análise das variáveis & pontos de escorregamentos de terra	146
6.3.1	Declividade	146
6.3.2	Pedologia	151
6.3.3	Uso e Cobertura do Solo	155
6.3.4	Litologia	160
6.3.5	Curvatura Vertical	164
6.3.6	Curvatura Horizontal	168
6.4	Precipitação - Análise da precipitação acumulada de cinco dias (PA5) com a humidade do solo (US)	172
6.5	Precipitação - Análise da classificação dos índices de precipitação a pesos	180
6.6	Vulnerabilidade - Cálculo dos índices	182
6.6.1	Vulnerabilidade - Cálculo dos índices de outros eventos ocorridos no Município de Nova Friburgo	192
6.7	Mapas de vulnerabilidade	197
6.8	Comparando a metodologia desenvolvida neste trabalho	207
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>211</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>213</b>
<b>ANEXO A</b>		<b>237</b>



## Lista de Figuras

---

Figura 1. Perfil esquemático do processo de enchente e inundação	20
Figura 2. Perfil transversal de um rio e de sua margem mostrando as alterações no limite da área de inundação em uma área que passou de rural para urbana	21
Figura 3. Estágios de uma tempestade. (a) Primeiro estágio: Desenvolvimento; (b) Segundo Estágio: Maturidade; e (c) Terceiro Estágio: Dissipação.	26
Figura 4. Três estágios típicos de um tornado. (a) Primeiro estágio: Formação; (b) Segundo Estágio: Contacto com a superfície; (c) Terceiro Estágio: Maturidade.	28
Figura 5. Distribuição anual do número de mortes por escorregamentos no Brasil	39
Figura 6. O Município de Nova Friburgo e seus Distritos	62
Figura 7. A pedologia do Município de Nova Friburgo	68
Figura 8. Localização da Bacia do Rio Bengalas	82
Figura 9. Declividade da Bacia do Rio Bengalas	84
Figura 10. Pedologia da Bacia do Rio Bengalas	88
Figura 11. Três Picos de Salinas	89
Figura 12. Litologia da Bacia do Rio Bengalas	91
Figura 13. Uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Bengalas	94
Figura 14. Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno	96
Figura 15. Curvatura Vertical da Bacia do Rio Bengalas	97
Figura 16. Curvatura Horizontal da Bacia do Rio Bem galas	98
Figura 17. Hidrografia da Bacia do Rio Bengalas	100
Figura 18. Densidade de Drenagem da Bacia do Rio Bengalas	103
Figura 19. Escorregamentos de terra	105
Figura 20. Escorregamentos de terra	106
Figura 21. Escorregamentos de terra	106
Figura 22. Escorregamentos de terra	107

Figura 23. Escorregamentos de terra	107
Figura 24. Escorregamentos de terra	108
Figura 25. Escorregamentos de terra	108
Figura 26. Escorregamentos de terra	109
Figura 27. Escorregamentos de terra	109
Figura 28. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	110
Figura 29. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	110
Figura 30. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	111
Figura 31. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	111
Figura 32. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	112
Figura 33. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	112
Figura 34. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	113
Figura 35. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	113
Figura 36. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	114
Figura 37. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra	114
Figura 38. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	115
Figura 39. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	115
Figura 40. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	116
Figura 41. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	116
Figura 42. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	117
Figura 43. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	117
Figura 44. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	118
Figura 45. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	118
Figura 46. Destruição de benfeitorias públicas e privadas	119

Figura 47. Destruição de benfeitorias públicas e privadas _____	119
Figura 48. A Bacia do Rio Bengalas e os escorregamentos de terra de janeiro de 2011 _____	121
Figura 49. A Bacia do Rio Bengalas, os escorregamentos de terra e o uso e cobertura do solo _____	122
Figura 50. Índice Médio de Suscetibilidade da Variável (IMSV) e o Índice Médio Geral de Suscetibilidade (IMGS) da Bacia do Rio Bengalas _____	144
Figura 51. Mapa de Suscetibilidade da Bacia do Rio Bengalas a Escorregamentos de Terra _____	145
Figura 52. A Declividade e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	150
Figura 53. A Pedologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	154
Figura 54. O Uso e Cobertura do Solo e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	159
Figura 55. A Litologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	163
Figura 56. A Curvatura Vertical e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	167
Figura 57. A Curvatura Horizontal e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	171
Figura 58. Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) (mm), a Humidade do Solo (US) (%) e o Número de Escorregamentos de Terra ocorridos no Município de Nova Friburgo _____	175
Figura 59. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 14/01/2005 a 19/01/2005 _____	176
Figura 60. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 30/12/2006 a 04/01/2007 _____	177
Figura 61. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 07/01/2011 a 12/01/2011 _____	178
Figura 62. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 13/03/2013 a 18/03/2013 _____	179
Figura 63. Índices de Vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a Escorregamentos de Terra calculados para os dias 07, 08, 09, 10, 11 e 12/01/2012, com a ocorrência de 183 escorregamentos na Bacia do Rio Bengalas em 12/01/2011 _____	190
Figura 64. Geração dos mapas de vulnerabilidade a escorregamentos de terra _____	197



Figura 65. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para os dias 07, 08 e 09 de janeiro de 2011, respectivamente o 5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento	198
Figura 66. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para o dia 10 de janeiro de 2011 (2º dia antes do dia do evento)	199
Figura 67. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, respectivamente o 1º dia antes do dia do evento e o dia do evento	200
Figura 68. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, representando os 5% mais críticos da Bacia	203
Figura 69. Histograma apresentando a distribuição dos pixels do mapa de vulnerabilidade	204
Figura 70. Comparação dos índices de suscetibilidade a escorregamentos de terra propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente	207
Figura 71. Comparação dos índices de suscetibilidade a escorregamentos de terra, em ordem crescente, propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente	208
Figura 72. Comparação dos índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente	209
Figura 73. Comparação dos índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra, em ordem crescente, propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente	210

## Lista de Tabelas

---

Tabela 1. Classificação dos desastres em relação à intensidade	7
Tabela 2. Classificação de Perigo segundo a UN-ISDR	14
Tabela 3. Escala de Ventos de Beaufort	24
Tabela 4. Principais tipos de movimentos de massa em encostas	35
Tabela 5. Escala das Variáveis e seus Pesos utilizados na literatura	61
Tabela 6. Normais Climatológicas do Município de Nova Friburgo para o período 1961-1990	66
Tabela 7. Classificação dos Índices de Densidade de Drenagem	102
Tabela 8. Classes da Suscetibilidade/Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra e seus Índices	125
Tabela 9. Critérios de Observação e Análise Adoptados	126
Tabela 10. Dados da Precipitação de Chuvas - PD, PA5, CPC e MAXPA5	131
Tabela 11. Tabela de classificação dos índices do 2º termo da Equação 7 referente à precipitação	131
Tabela 12. Escala das variáveis e seus pesos adoptados/propostos neste trabalho	134
Tabela 13. Índices de Suscetibilidade dos 183 Pontos de Escorregamentos de Terra da Bacia do Rio Bengalas, o IMSV e o IMGS	143
Tabela 14. A Declividade e os Pontos de Escorregamentos de Terra	148
Tabela 15. Classes da Declividade, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra	149
Tabela 16. A Pedologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra	152
Tabela 17. Classes da Pedologia, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra	153
Tabela 18. O Uso e Cobertura do Solo e os Pontos de Escorregamentos de Terra	157
Tabela 19. Classes do Uso e Cobertura do Solo, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra	158
Tabela 20. A Litologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra	161

Tabela 21. Classes da Litologia, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra _____	162
Tabela 22. A Curvatura Vertical e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	165
Tabela 23. Classes da Curvatura Vertical, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra _____	166
Tabela 24. A Curvatura Horizontal e os Pontos de Escorregamentos de Terra _____	169
Tabela 25. Classes da Curvatura Horizontal, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra _____	170
Tabela 26. Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) e a Humidade do Solo (US) do Município de Nova Friburgo _____	174
Tabela 27. Análise da classificação dos índices de precipitação a pesos _____	180
Tabela 28. Índices de Vulnerabilidade dos 183 Pontos de Escorregamentos de Terra da Bacia do Rio Bengalas, o IMVD, a PA5, a US e o Desvio Padrão dos Índices de Vulnerabilidade no Dia do Evento _____	189
Tabela 29. Datas de Eventos e o Número de Escorregamentos de Terra que ocorreram no Município de Nova Friburgo _____	192
Tabela 30. O IMVD e a PA5 do Evento de 19/01/2005 do Município de Nova Friburgo _____	193
Tabela 31. O IMVD e a PA5 do Evento de 04/01/2007 do Município de Nova Friburgo _____	194
Tabela 32. O IMVD e a PA5 do Evento de 12/01/2011 do Município de Nova Friburgo _____	195
Tabela 33. O IMVD e a PA5 do Evento de 18/03/2013 do Município de Nova Friburgo _____	196
Tabela 34. Frequência do número de escorregamentos de terra por Km <sup>2</sup> das áreas da Bacia de acordo com as classes de vulnerabilidade adoptando os percentis _____	205
Tabela 35. Frequência do número de escorregamentos de terra pelas áreas da Bacia de acordo com as classes de vulnerabilidade adoptadas segundo o número de pixels _____	206

## Lista de Abreviaturas e Símbolos

---

%	Percentual
<	Menor
>	Maior
°C	Graus Celsius
ca	Cambriano
A_Solo (t+1)	Conteúdo de água no solo (mm) até uma profundidade máxima de 120 cm, no tempo t+1
A_Solo (t)	Conteúdo de água no solo (mm) até uma profundidade máxima de 120 cm, no tempo t
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS
APA	Área de Proteção Ambiental
APAs	Áreas de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
APPs	Áreas de Preservação Permanente
CEPAL	Comissão Económica para a América Latina e Caribe
cm	Centímetro
CNDC	Carta Nacional de Defesa Civil do Brasil
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil
CPC	Coeficiente de Precipitação Crítica
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CREA-RJ	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro

CSC	<i>Coastal Services Center</i>
DRM	Departamento de Recursos Minerais
CSC	<i>Coastal Services Center</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EM-DAT	<i>Emergency Events Database</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ETR	Evapotranspiração real entre os tempos t e t+1
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde do Brasil
hab	Habitante
HIS	Habitação de Interesse Social
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGBP	Programa Internacional da Geosfera- Biosfera
IHDP	<i>International Human Dimensions Programme</i>
IMGS	Índice Médio Geral de Suscetibilidade
IMSV	Índice Médio de Suscetibilidade da Variável
IMVD	Índice Médio de Vulnerabilidade Diária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAD	Índice Pluviométrico Acumulado Diário
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IUSS	<i>International Union of Soil Sciences</i>



Km	Quilômetro
Km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
Km/h	Quilômetro por hora
LPRM	<i>Land Parameter Retrieval Model</i>
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Ma	Milhões de anos
MAPA	Máximo Absoluto da Precipitação Acumulada em 24 h (Normais Climatológicas - Mês de Janeiro - Período: 1961/1990)
MET OFFICE	Centro Nacional de Meteorologia Britânico
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente do Brasil
MAXPA5	Máxima Precipitação Acumulada de 5 dias da série 01/01/1995 a 19/03/2013
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PDP-NF	Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo
PA	Precipitação Acumulada
PA5	Precipitação Acumulada de 5 dias
PD	Precipitação Diária

PLDS-NF	Plano Local de Desenvolvimento Sustentável de Nova Friburgo
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
POT	Planos de Organização Territorial
RJ	Estado do Rio de Janeiro
RNA	Redes Neurais Artificiais
S	Suscetibilidade
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGEP	Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos
Suscet.	Suscetibilidade
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
TRMM/TMI	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission's/ Microwave Imager</i>
UC	Unidade de Conservação
UCN	Unidade de Conservação da Natureza
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
US	Umidade do Solo
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i>
UNDRO	Coordenadoria das Nações Unidas para Auxílio a Desastres
UNFPA	Fundo de População das Nações Unidas
UNISDR	Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América
UTP	Unidades Territoriais de Planeamento
V	Vulnerabilidade
$\sqrt{\quad}$	Raiz quadrada
$\sqrt{V_{ch}}$	Raiz Quadrada da Variável Curvatura Horizontal

$\sqrt{V_{cv}}$	Raiz Quadrada da Variável Curvatura Vertical
$\sqrt{V_{dc}}$	Raiz Quadrada da Variável Declividade
$\sqrt{V_{li}}$	Raiz Quadrada da Variável Litologia
$\sqrt{V_{pd}}$	Raiz Quadrada da Variável Pedologia
$\sqrt{V_{us}}$	Raiz Quadrada da Variável Uso e Cobertura do Solo
ZEI	Zonas de Especial Interesse
ZEIA	Zonas de Especial Interesse Ambiental
ZEIPAC	Zonas de Especial Interesse de Proteção do Ambiente Cultural
ZEIRA	Zonas de Especial Interesse de Recuperação Ambiental
ZEIS	Zonas de Especial Interesse Social
ZEIUE	Zonas de Especial Interesse Urbanístico e Económico
ZEO	Zonas de Expansão Orientada
ZR	Zonas de Restrição
ZRU	Zona de Requalificação Urbana
ZT	Zonas de Transição



## 1 INTRODUÇÃO

Sobre praticamente todo o globo, têm-se observado tendências de aquecimento (ALEXANDER et al., 2006). Estudos recentes de tendência dos índices de chuva indicam uma fraca tendência positiva da precipitação global continental durante o século XX, embora este padrão não seja homogêneo, uma vez que grandes áreas são caracterizadas por tendências negativas (IPCC, 2007; ALEXANDER et al., 2006) nos totais e extremos de chuva para a América do Sul, particularmente ao sul de 12°S, durante o período de 1960-2000. No sudeste e na região sul do Brasil, assim como na Amazônia tem sido observado um aumento intenso na precipitação nos últimos 50 anos (MARENGO et al., 2008a).

A humanidade tem sido desafiada pela ocorrência de eventos naturais extremos, responsáveis por grande volume de danos materiais e por inúmeras vítimas fatais. A partir de 1970, com o aumento da frequência e da intensidade de desastres, a comunidade científica e instituições internacionais, como as Nações Unidas (ONU), foram mobilizadas para preocupar-se com o tema. Tal preocupação deve-se ao aumento do número de vítimas fatais nas décadas de 1960, 1970 e 1980, que associado ao acelerado crescimento urbano e a consequente ocupação desordenada de áreas impróprias à urbanização no Brasil, causando alterações no meio natural e na conformação original (RECKZIEGEL, 2007).

Os processos de dinâmica superficial e atmosférica, como as enchentes, os movimentos de massa, os vendavais e outros, fazem parte da dinâmica do planeta e como são manifestações próprias da natureza, ocorrem independentemente da presença do homem (RECKZIEGEL, 2007).

Segundo RECKZIEGEL (2007), quando esses processos ocorrem em áreas ocupadas pelo homem, podem acarretar consequências ambientais, económicas e sociais de significativa dimensão.

CERRI (1999) apud RECKZIEGEL (2007) destaca que a atividade humana pode alterar os processos de dinâmica superficial, como é o caso dos processos erosivos acelerados e das alterações no escoamento superficial, especialmente nas áreas urbanas, potencializando a ocorrência de eventos causadores de desastres.

Com a mesma visão HERRMANN (2001) apud RECKZIEGEL (2007) afirma que as justificativas para as enchentes catastróficas e as secas severas passam pelas mudanças climáticas globais e vão até a acção antrópica sobre os recursos naturais.

Diante do grande potencial para impactos ambientais decorrentes das condições climáticas observadas, associado às complexidades das novas realidades do Brasil urbano (alta densidade de ocupação em encostas e áreas de várzeas, por exemplo), tem sido possível observar como indivíduos em diferentes situações socioeconómicas e localizados em territórios urbanos com

diferentes características estão expostos a certos desfechos (perda da vida ou propriedade) em variados graus de intensidade. Eventos recentes como os observados no ano de 2008 no Estado de Santa Catarina, em 2010 nos Municípios de Angra dos Reis, Niterói e de São Luiz do Paraitinga e em 2011 na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, contabilizaram além de danos materiais, ambientais, físicos ou psicológicos, prejuízos económicos bilionários. De maneira geral as populações desses locais estão mais expostas aos perigos desencadeados por extremos climáticos, não apenas pela fragilidade dos lugares que ocupam no território das cidades, mas também por sua incapacidade de reação e dificuldade de adaptação (HOGAN, 2009).

Neste contexto, de mudanças climáticas e intensificação da trajetória de urbanização brasileira, é extremamente importante aprimorar e criar novas ferramentas que permitam avaliações detalhadas destes impactos no Brasil. Estas ferramentas são importantes para prover bases científicas para tomadas de decisões sobre regiões vulneráveis e processos críticos de conservação ambiental.

Há uma crescente importância em desenvolver análises e métodos que busquem operacionalizar diferentes dimensões de vulnerabilidade no contexto de mudanças climáticas, considerando as diferentes escalas de ocorrência dos fenômenos, que incluem agregações de dados que interagem de múltiplas maneiras e em distintas situações. Para isso, tem sido cada vez mais evidente uma abordagem interdisciplinar (MELLO et al., 2010), que pode ser construída através de um indicador que deve ser plástico o suficiente para se adaptar às necessidades locais e limitações das várias partes que os empregam, mas robusto o suficiente para manter uma entidade comum entre as partes (STAR, 1989).

## **1.1 Motivação**

Ano após ano os desastres naturais resultam em um grande número de mortos e feridos, além das onerosas perdas económicas. A literatura indica um incremento na frequência e na intensidade dos desastres naturais (DILLEY et al., 2005; BRAUCH, 2005; CARDONA, 2005), como também para a conscientização e engajamento da comunidade internacional em torno do problema.

Segundo relatório do UNDP (2004), 75% da população mundial habita em áreas que foram afetadas pelo menos uma vez por ciclones, enchentes, secas ou terremotos entre os anos de 1980 e 2000, ocasionando inúmeras mortes, impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde, na economia etc. (BRAGA, OLIVEIRA & GIVISIEZ, 2006).

Alguns Autores como NICHOLLS (2001) defendem a hipótese de que tais eventos estão diretamente associados com uma maior exposição e vulnerabilidade da sociedade contemporânea. Outros como HOUGHTON (2003) ainda que representem um número menor, acreditam que o

principal propulsor são as mudanças globais, principalmente através de instabilidades atmosféricas como: tornados, furacões, vendavais etc.

O documento final da Conferência Mundial para a Redução de Desastres em Kobe, Japão, no ano de 2005, chama a atenção para a necessidade de se desenvolver sistemas de indicadores de risco e vulnerabilidade a níveis nacional e subnacional como forma de permitir aos tomadores de decisão um melhor diagnóstico das situações de risco e vulnerabilidade (UN, 2005).

De acordo com o documento do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil (NAE, 2005), a base das projecções de desastres naturais para as próximas décadas encontra-se na mudança do clima que se tem se manifestado ultimamente.

Este mesmo documento revela que os países em desenvolvimento como o Brasil encontram-se mais vulneráveis à mudança do clima, em função de terem historicamente uma menor capacidade de responder a sua variabilidade natural (NAE, 2005).

O Brasil é, indubitavelmente, um dos países que podem ser duramente atingidos pelos efeitos adversos das mudanças climáticas futuras, já que tem uma economia fortemente dependente de recursos naturais diretamente ligados ao clima na agricultura e na geração de energia hidroelétrica. Também, a variabilidade climática afeta vastos setores das populações de menor renda como os habitantes do semiárido nordestino ou as populações vivendo em área de risco de deslizamentos em encostas, enxurradas e inundações nos grandes centros urbanos (NAE, 2005).

Mesmo diante de um cenário de incertezas, Autores como YAMIN, RAHMAN e HUQ (2005) referem que algumas conclusões preliminares recomendam um alto nível de atenção política para as mudanças climáticas.

Além disso, YAMIN, RAHMAN e HUQ (2005) entendem que as mudanças climáticas configuram uma séria ameaça em curso para o bem-estar do planeta e para o seu desenvolvimento, com possibilidades de sobrecarga do fardo daqueles que são pobres e vulneráveis.

## **1.2 Objectivo**

Criar índices de suscetibilidade e de vulnerabilidade a escorregamentos de terra, a partir do levantamento de dados ambientais e de precipitação de chuvas ocorridas em 12 de janeiro de 2011 na Bacia do Rio Bengalas, Município de Nova Friburgo. Tais índices serão criados a partir de nova metodologia a ser desenvolvida neste trabalho, levando em consideração as condições das variáveis ambientais e de precipitação da área de estudo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nesta secção são abordados de forma simplificada, as principais variáveis relacionadas aos desastres naturais, áreas de risco e outros, bem como a revisão de conceitos e de classificações utilizadas em diversos estudos sobre tais temas.

### **2.1 Desastres Naturais**

Todo este debate do conhecimento teórico, produzido a respeito das áreas de risco e dos processos desencadeadores de desastres naturais, colabora para que haja um melhor entendimento sobre o assunto, além de permitir a evolução de pesquisas multidisciplinares sobre o assunto (RECKZIEGEL, 2007).

#### **2.1.1 Conceitos e Definições**

Diversos conceitos são utilizados para definir o termo “desastre” e o seu significado difere entre um Autor e outro.

Segundo ALEXANDER (1993) apud RECKZIEGEL (2007) os desastres naturais (*Natural Disasters*) são impactos rápidos, instantâneos ou prolongados do meio ambiente natural sobre um sistema socioeconómico. Já as catástrofes constituem ocorrências em que os prejuízos materiais e/ou humanos ocorrem em grande escala e cuja gestão exige recursos para além das possibilidades de uma região de um país, ou mesmo deste próprio país.

Para HERZER e VIRGILIO (1996) apud RECKZIEGEL (2007) um desastre é a relação extrema entre fenômenos físicos, a estrutura e a organização da sociedade, constituindo-se em processos e momentos trágicos que superam a capacidade material da população de absorver, minimizar ou evitar os efeitos negativos de um evento natural.

WILCHES-CHAUX (1993) apud RECKZIEGEL (2007) relata que a *United Nations Disaster Relief Organization* (UNDRO) define desastre um evento identificável no tempo e no espaço e que afeta o funcionamento normal de uma comunidade, com perdas de vidas e danos de grandes magnitudes, que impedem o desenvolvimento das atividades essenciais e normais da comunidade afetada. É importante lembrar que o Autor também destaca que há diversos pesquisadores que incluem o número de vítimas fatais e o valor das perdas materiais na definição dos desastres.

De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde, da Organização Mundial da Saúde (OPAS/OMS), Desastre/Emergência pode ser definido como sendo um fenômeno natural ou causado pela acção humana, que produz um distúrbio massivo no sistema dos serviços de saúde, produzindo tão grande e imediata ameaça à saúde pública que o país afetado necessite de assistência externa para enfrentar a situação (RECKZIEGEL, 2007).



A conceituação adotada pelo Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction - UNISDR*, na sigla em inglês), considera desastre como uma grave perturbação física natural no funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade, envolvendo perdas humanas, materiais, económicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos (UN-ISDR, 2009).

De acordo com QUARANTELLI (1998), um desastre natural é um evento concentrado no tempo e no espaço, no qual uma comunidade experimenta severo perigo e destruição de seus serviços essenciais, acompanhado por dispersão humana, perdas materiais e ambientais, que frequentemente excedem a capacidade dessa comunidade em lidar com as consequências do desastre sem a ajuda externa.

Sociologicamente a palavra desastre reporta-se a um acontecimento, ou uma série de acontecimentos, que alteram o modo de funcionamento rotineiro de uma sociedade. Estes acontecimentos são provocados por uma grande variedade de agentes naturais ou criados pelo homem, entre os quais se destacam os terremotos, as tempestades, as epidemias, as inundações, os furacões, etc. (MATTEDI e BUTZE, 2001 apud RECKZIEGEL, 2007).

Os desastres naturais são conceituados como o resultado de eventos adversos que causam grandes impactos na sociedade, sendo distinguidos principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia (TOBIN e MONTZ, 1997 apud MARCELINO, 2007). A Defesa Civil no Brasil, obedecendo às normativas da Política Nacional de Defesa Civil, classifica os desastres como naturais, humanos e mistos (CASTRO, 2003 apud MARCELINO, 2007). Basicamente, a diferença nessa conceituação está na participação direta ou não do homem. Segundo o Autor os desastres naturais são causados pelo impacto de um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área ou região povoada, podendo ou não ser agravado pelas atividades antrópicas.

Para exemplificar, uma tempestade severa (evento natural) produz fortes chuvas e ventos. Quando se desloca sobre áreas urbanas (perigo), densamente ocupadas, pode gerar destelhamentos, inundações nas áreas próximas aos rios e escorregamentos nas encostas mais íngremes, consideradas áreas de risco. Atingindo estas áreas, casas são alagadas e destruídas, pessoas acabam morrendo e outras tantas são obrigadas a procurar locais seguros, como os abrigos temporários (MARCELINO, 2007).

Dependendo da sua magnitude, os danos acarretam num desequilíbrio dos serviços essenciais vinculados ao fornecimento de água, luz, comunicação e transporte, como também nas atividades comerciais e industriais. (MARCELINO, 2007).

As classificações mais utilizadas distinguem os desastres quanto à origem e à intensidade (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; MARCELINO, 2008).

#### **a) Classificação quanto à origem**

Quanto à origem ou causa primária do agente causador, os desastres podem ser classificados em: naturais ou humanos (antropogênicos). Desastres Naturais são aqueles causados por fenômenos e desequilíbrios/instabilidades da natureza que atuam independentemente da acção humana.

Em geral, considera-se como desastre natural todo aquele que tem como gênese um fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana. Exemplo: chuvas intensas provocando inundação, erosão e escorregamentos; ventos fortes formando vendaval, tornado e furacão; etc (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; CASTRO, 1999; KOBIYAMA et al., 2006; MARCELINO, 2008).

Desastres Humanos ou Antropogênicos são aqueles resultantes de acções ou omissões humanas e estão relacionados com as atividades do homem, como agente ou autor. Exemplos: acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminação de rios, rompimento de barragens, etc (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; CASTRO, 1999; KOBIYAMA et al., 2006; MARCELINO, 2008).

Os desastres naturais podem ser ainda originados pela dinâmica interna e externa da Terra. Os decorrentes da dinâmica interna são terremotos, maremotos, vulcanismo e tsunamis. Já os fenômenos da dinâmica externa envolvem tempestades, tornados, inundações, escorregamentos, entre outros (TOMINAGA et al., 2009).

#### **b) Classificação quanto à intensidade**

Segundo TOMINAGA et al. (2009) a avaliação da intensidade dos desastres é muito importante para facilitar o planeamento da resposta e da recuperação da área atingida. As acções e os recursos necessários para socorro às vítimas dependem da intensidade dos danos e prejuízos provocados (Tabela 1).

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastres de pequeno porte, também chamados de acidentes, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. <b>(Prejuízo menor que 5% PIB municipal)</b>	Facilmente superável com os recursos do Município.
II	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. <b>(Prejuízos entre 5% e 10% do PIB municipal)</b>	Superável pelo Município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. <b>(Prejuízos entre 10% e 30% do PIB municipal)</b>	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. <b>(Situação de Emergência - SE)</b>
IV	De muito grande intensidade, com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. <b>(Prejuízos maiores que 30% do PIB municipal)</b>	Não é superável pelo Município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. <b>(Estado de Calamidade Pública - ECP)</b>

Tabela 1. Classificação dos desastres em relação à intensidade

Fonte: modificada de KOBAYAMA et al. (2006), adaptada pelo Autor.

Nas últimas décadas, o número de registro de desastres naturais em várias partes do mundo vem aumentando consideravelmente. Isto se deve, principalmente, ao aumento da população, à ocupação desordenada do solo e ao intenso processo de urbanização e industrialização. Dentre os principais fatores que contribuem para desencadear estes desastres nas áreas urbanas destacam-se a impermeabilização do solo, o adensamento das construções, a conservação de calor e a poluição do ar, enquanto que nas áreas rurais, destaca-se a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas (KOBAYAMA et al., 2006).

Os desastres naturais podem ocorrer em qualquer continente ou país, visto que os fenômenos naturais que o desencadeiam, como as tempestades, os terremotos e os vulcões existem

em diversas partes do globo. Entretanto, algumas regiões são mais afetadas em função da magnitude e frequência dos fenômenos e da vulnerabilidade do sistema social (MARCELINO, 2008).

O furacão Katrina, que em 2005 atingiu a cidade norte-americana de Nova Orleans, no estado da Louisiana, provocou o deslocamento de aproximadamente 18.000 e a morte de cerca de 1.500 pessoas, se tornando o mais grave da história dos Estados Unidos (JHUNG et al., 2007). A cidade se situa abaixo do nível do mar e a força da tempestade provocou o rompimento dos antigos diques que a protegiam, causando uma inundação de grandes proporções. Este evento levou o sistema de resposta a emergências ao colapso, nos diferentes níveis de jurisdição - do local ao nacional - daquele país, revelando severas falhas na capacidade governamental de atuar em resposta a desastres dessa magnitude (COMFORT, 2005).

Utilizando os dados de desastres do banco global *Emergency Events Database* (EM-DAT), para o período 1900-2006, o continente que apresentou o maior número de registos foi o asiático, com 3.699 registos, seguido pelo americano, com 2.416 registos (EM-DAT, 2007).

Destaca-se também que, em todo o mundo, os tipos de desastres que mais ocorreram foram as inundações (35%) e as tempestades (31%), que é a soma dos eventos associados a furacões, tornados e vendavais. Portanto, aproximadamente 66% dos desastres naturais ocorridos no mundo estão vinculados às instabilidades atmosféricas severas (MARCELINO, 2008).

Além disso, convém citar que a grande maioria dos desastres (mais de 70%) ocorreu em países em desenvolvimento. Estes dados refletem as próprias condições socioeconômicas desses países, como o adensamento populacional em áreas de risco, a falta de planejamento urbano, os baixos investimentos na saúde e educação, entre outros fatores, que aumentam consideravelmente a vulnerabilidade das comunidades expostas aos perigos naturais (ALEXANDER, 1997; ALCÁNTARA-AYALA, 2002). E, são estes os fatores que têm contribuído para elevar o número de vítimas fatais nos países em desenvolvimento. Tanto que, do total de mortes por decorrência dos desastres naturais, mais de 95% ocorreram nos países considerados mais pobres (ALEXANDER, 1995; DEGG, 1992; TOBIN e MONTZ, 1997).

A Organização das Nações Unidas (ONU) preocupada com o crescimento das ocorrências dos mais variados tipos de desastres naturais ocorridos no mundo, lançou em 2000 a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (ISDR) para dirigir-se às causas subjacentes da vulnerabilidade e para construir comunidades resistentes a desastres promovendo o aumento na consciência das pessoas para a importância da redução de desastres como um componente integral de um desenvolvimento sustentável, com o objectivo de reduzir as perdas humanas, sociais, económicas e ambientais devido aos perigos de todos os tipos (UN-ISDR, 2000 apud CANAL DO MUNDO, 2011).

Os desastres naturais no Brasil são, em sua maioria, de origem atmosférica (BARBIERI et al., 2009). A precipitação, tanto em excesso como na escassez, é o principal responsável pelos impactos à sociedade, atingindo diversos setores socioeconômicos. Entre as consequências mais drásticas das chuvas intensas estão os deslizamentos de terra e as inundações, agravadas em determinadas situações por outros fenômenos como ventos fortes e granizo (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2004).

O crescimento desordenado das cidades gerado principalmente, por interesses privados e especulativos é considerado como um condicionante de desastres. A população pobre das cidades, impedidos de ter acesso aos escassos recursos naturais do meio urbano ou de se proteger das condições ambientais adversas, são mais afetados pelos impactos negativos da urbanização. O crescimento das grandes cidades, particularmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, é acompanhado pelo aumento da pobreza urbana, que tende a se concentrar em grupos sociais específicos, bem como em locais determinados. Entre as causas estão a crescente distância entre o nível de renda dessas populações e o preço das terras e o insucesso dos mercados imobiliários em suprir as necessidades dessas populações de baixa renda (ROBAINA, 2008).

### **2.1.2 Calamidades**

Os estudos relacionados a desastres naturais na Ciência Geográfica surgiram por intermédio de Antonio Buj Buj, que em seu artigo “Desastres Naturais na Geografia Contemporânea”, publicado em 1997, discutiu o tema que se denominou “Geografia das Calamidades”, apresentado aqui de forma sucinta (BUJ BUJ, 1997 apud RECKZIEGEL, 2007).

Segundo RECKZIEGEL (2007), Raoul Montandon publicou em 1923 o trabalho “*A propos du projet Ciralo: Une carte mondiale de distribution géographique des calamites*”, em que relata a experiência do presidente da Cruz Vermelha Internacional o Sr. Giovanni Ciralo, italiano de uma família que havia sofrido os impactos do terremoto de Messina - Itália em 1908, levando-o a organizar trabalho de socorro apresentado na X Conferência Internacional da Cruz Vermelha, ocorrida em Genebra - Suíça, em 1921. Diversos tipos de calamidades eram estudados por Montandon, como os terremotos, as erupções vulcânicas, tsunamis, furacões, ciclones, tempestades, secas, inundações, incêndios e enfermidades. Muitos destes estudos eram acompanhados de mapas extraídos de obras do geógrafo Emmanuel de Martonne e do vulcanólogo Fernand de Montessus de Ballore. Este trabalho por ser extremamente importante resultou na mais notável obra de Montandon, a revista *Matériaux pour l'étude des calamites*, apoiada e patrocinada pela Sociedade de Geografia de Genebra.

Ricardo Beltrán fixou em 1924 os principais objectivos da geografia das calamidades em uma publicação do Boletim da Real Sociedad Geográfica, afirmando que era necessário mapear os locais onde os desastres naturais ocorriam, pois segundo ele trata-se de consequências de

fenômenos naturais seguidas de fatores humanos, na ordem económica e social. Durante o Congresso Internacional de Geografia de 1925, realizado no Cairo - Egito, Montandon alertou geógrafos e geofísicos para estudos coordenados e sistemáticos para uma determinada área que ele denominou “Geografia das Calamidades” (Géographie des Calamités) e também divulgou o projecto da União Internacional de Socorro que emergiu em 1927 para apoiar a sociedade no tocante a salvamento e bem-estar (MURPHY, 1994 apud RECKZIEGEL, 2007).

Montandon, para apoiar a União Internacional de Socorro, publicou diversos artigos destacando apoio mútuo e a fraternidade universal, o que deveria inspirar a Geografia das Calamidades. Assim, a Revista Matériaux editou 40 números e apresentou diversos temas da Geografia das Calamidades, com divulgação em todos os continentes e publicação de estudos regionais e internacionais, com a valorosa colaboração de profissionais da medicina, engenharia, geologia, geografia, etc. Ricardo Beltrán, como membro da Real Sociedad Geográfica de Madrid, realizou em 1927 os primeiros esforços para divulgar o primeiro projecto mundial de prevenção das calamidades naturais. Este projecto foi de autoria do italiano Giovanni Ciraolo, presidente da Cruz Vermelha naquela época, com a missão de elaborar um atlas universal com suas calamidades naturais, o qual recebeu apoio da União Internacional de Socorro, criada por mais de 40 países na maioria europeus. O objectivo do atlas era o de organizar informações relacionadas às calamidades ocorridas em cada país, com as datas de ocorrências das catástrofes, áreas e regiões afetadas, suas causas, seus impactos, vítimas fatais, etc. (RECKZIEGEL, 2007).

Assim, com tais informações organizadas, poderia se saber o coeficiente de frequência e a intensidade de cada calamidade ocorrida. Além disso, este projecto foi constituído com uma visão organicista, pois prever e prevenir para evitar uma calamidade, só seria possível se o homem descobrisse “as funções da terra”. As sessões de abertura e encerramento da 1ª Conferência Internacional de Prevenção das Calamidades Naturais ocorrida em Paris no ano de 1937, foram feitas por Raoul Montandon e neste mesmo ano, as comissões nacionais para viabilizar socorro aos atingidos por catástrofes já haviam sido criadas na Áustria, Chile, Bélgica, Bulgária, França, Grécia, Hungria, Itália, Portugal e Suíça. Neste evento foi estabelecido que a União Internacional de Socorro ficaria a cargo da Matériaux e que no futuro uma comissão supranacional permanente de proteção contra as calamidades pudesse ser criada. Desde então a revista Matériaux passou a chamar-se “*Revue pour l'étude des calamités: Bulletin de l'Union Internationale de Secours*”. Com a Segunda Guerra Mundial, as publicações da revista foram parcialmente suspensas, passando a ser anual e em seguida bianual. O projecto quase se extinguiu com o falecimento de Montandon em 1950 e de Ciraolo em 1953. Na década de 60 a revista continuou sendo publicada, mas sem grande força como na primeira etapa. Em 1966 a revista desapareceu e a UNESCO ficou responsável pela publicação de dez números com o título “*Resume Annuel d'Informations sur les Catastrophes Naturelles*”, mas em 1975 a sua publicação definitivamente foi encerrada (RECKZIEGEL, 2007).

### 2.1.3 Riscos e Perigos

Com importantes conexões ao projecto de Raoul Montandon, desenvolveu-se nos Estados Unidos uma linha de pesquisa denominada “*Natural Hazards*”, mais conhecida no Brasil por Riscos Naturais (BUJ BUJ, 1997 apud RECKZIEGEL, 2007).

As catástrofes ocasionadas por enchentes nos Estados Unidos deram início a estes estudos. Iniciativas do governo americano (Corpo de Engenheiros) criadas em 1927 e em 1936, com o objectivo de promover estudos para o controlo das inundações. As investigações geográficas planejadas começaram a se desenvolver a partir de 1956, com a finalidade de estudar as enchentes ocorridas nas planícies de inundação localizadas em áreas urbanas (CASTRO, 2000 apud RECKZIEGEL, 2007).

A partir das investigações iniciadas pelo corpo de engenheiros, o governo americano realizou ao longo de 20 anos, grandes investimentos em obras públicas destinadas ao controlo das inundações. Porém, as inundações e seus impactos (ambientais, sociais e económicos) continuavam e para a resolução destes problemas houve uma cooperação interdisciplinar entre administradores urbanos, psicólogos, geólogos, geógrafos e outros, com o objectivo de avaliar a ocupação humana em áreas de riscos naturais. Gilbert White liderou um grupo de geógrafo para desenvolver parte deste estudo e incorporou às investigações uma visão mais integrada do problema, abrangendo a relação sociedade - natureza, não apenas na dinâmica natural na ocorrência das inundações catastróficas (RECKZIEGEL, 2007).

Os resultados destas pesquisas mostraram que o aumento dos gastos para o controlo de inundações não tinha atingido o objectivo principal que era de eliminar os riscos, pois estes haviam reaparecido (CASTRO, 2000 apud RECKZIEGEL, 2007).

Iniciados e desenvolvidos no âmbito das universidades de Chicago, Colorado, Clark e Toronto, os trabalhos se ampliaram com o desenvolvimento de estudos, passando a abranger outras categorias de fenômenos catastróficos. Além disso, os nomes de Gilbert White, Robert Kates e Ian Burton, passaram a ser considerados como os principais difusores e incentivadores destes estudos (CHRISTOFOLETTI, 1976; GARCÍA-TORNEL, 1984; apud RECKZIEGEL, 2007).

Segundo MARANDOLA JR. e HOGAN (2004a apud RECKZIEGEL, 2007) os estudos orientam-se para a relação sociedade-natureza a partir do momento em que novos profissionais foram incorporados nas investigações.

De outro lado, WHITE (1974) apud GREGORY (1992) completa que a ocorrência de eventos não muito frequentes, mas de tamanhos significativos, deram-se a partir de 1960 em duas linhas de pesquisa. Na primeira desenvolveram estudos de fenômenos terrestres (estiagens, geadas,

inundações, movimentos de massa, temporais, queimadas, etc.) que destacam a interação entre o homem e os sistemas biológicos e físicos, sendo que nenhum acaso natural existe separado do ajustamento humano ao mesmo. Na segunda, houve a evolução e o interesse pelo neocatastrofismo, que significa eventos de maior magnitude e de baixa frequência (RECKZIEGEL, 2007).

Em relação aos estudos de riscos e desastres naturais, JONES (1993) apud MARANDOLA Jr. e HOGAN (2004a) indica que as primeiras décadas de estudo “foram dominadas por uma orientação tecnocêntrica, onde a técnica e a intervenção eram a ‘ponta-de-lança’ na estratégia do conhecimento e na redução dos *hazards*” (RECKZIEGEL, 2007).

Na visão de MATTEDI & BUTZE (2001) *hazards* é uma categoria que se destaca pela dificuldade de precisá-la conceitualmente. O emprego do conceito de *Hazards* pode abranger fenômenos como, por exemplo, avalanches, terremotos, erupções vulcânicas, ciclones, deslizamentos, tornados, enchentes, epidemias, pragas, fome e outros (RECKZIEGEL, 2007).

Autores como HEITZMANN, CANAGARAJAH e SIEGEL (2002), HOLZMANN, SHERBURNE-BENS e TESLIUC (2003) e HOOGEVEEN, TESLIUC e VAKIS (2005) apud FAVERO e DIESEL (2008), por exemplo, em seus trabalhos partem do reconhecimento de que existe uma série de eventos de origem diversa, que podem ameaçar indivíduos, grupos ou até sociedades inteiras. Consideram que tais fatores, denominados riscos, necessitam ser mais bem conhecidos para que medidas apropriadas sejam tomadas, a fim de evitar a sua ocorrência, reduzir ou, ao menos, amenizar seus impactos sociais negativos.

Segundo BURTON, KATES e WHITE (1978); CUTTER (1996); e KASPERSON, J. et al. (2005) apud MARANDOLA JR e HOGAN (2006), a própria condição social, mesmo em termos de classes, age de diferentes maneiras na forma como pessoas e grupos específicos irão enfrentar o risco. Estes elementos que promovem a absorção do impacto do risco/perigo podem ser entendidos em termos de capacidade de resposta, que é um dos principais elementos componentes da vulnerabilidade.

Para HOOGEVEEN e cols. (2005) apud FAVERO e DIESEL (2008), os riscos diferem quanto a sua origem, podendo ser naturais (como inundações) ou resultantes da atividade humana (como os conflitos). Podem afetar indivíduos de maneira isolada ou não, nos âmbitos regional, nacional ou até internacionalmente, além de apresentarem-se com frequência variável. Os Autores diferem ainda por seus impactos no bem-estar, podendo atingir dimensões catastróficas. Além disso, nem sempre é possível identificar qual é o evento de risco principal presente em determinado contexto, pois eles costumam acontecer concomitantemente.



Tratando das iniciativas globais de redução de desastres a UN-ISDR (2004) define o risco como a probabilidade de consequências prejudiciais ou danos esperados (mortes, ferimentos a pessoas, prejuízos económicos e outros), resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela acção humana (antrópica) e as condições de vulnerabilidade.

Já em 2009 a UN-ISDR (2009) considera risco como sendo a combinação da probabilidade de um evento e suas consequências negativas.

De acordo com a UN-ISDR (2004), o entendimento dos perigos ambientais envolve a consideração de quase todos os fenômenos físicos da terra, contemplando uma ampla gama de perigos, como os geofísicos, meteorológicos, hidrológicos, geológicos, tecnológicos, biológicos e até mesmo sócio-políticos, individualmente ou em complexas interações.

Então, o perigo (*hazard*) é um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danoso, que pode causar a perda de vidas ou ferimentos à pessoa, danos à propriedades, rupturas socioeconómicas ou degradação ambiental; perigos naturais (*natural hazards*) são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir-se em um evento danoso e podem ser classificados quanto à origem em: geológico, hidrometeorológico e biológico; e perigo tecnológico (*technological hazards*) que são perigos associados aos acidentes tecnológicos ou industriais, rompimento de infraestruturas ou atividades humanas que podem causar a perda de vidas ou ferimentos à pessoa, danos às propriedades, rupturas sócio económicos ou degradação ambiental (UN-ISDR, 2004).

Os perigos têm sido usualmente classificados com base na sua origem, naqueles considerados naturais ou tecnológicos (UN-ISDR, 2004). Já os perigos naturais são divididos em três grandes grupos: hidrometeorológicos, geológicos e biológicos (Tabela 2).

Origem	Tipos de Fenômenos
<b>Perigos Geológicos</b> Processos ou fenômenos naturais que podem ser de origem endógena ou exógena.	→ Terremotos, tsunamis; → Atividade e emissões vulcânicas; → Movimentos de massa, escorregamentos, queda de blocos rochosos, liquefação; e → Colapso superficial, atividade de falha geológica.
<b>Perigos Hidrometeorológicos</b> Processos ou fenômenos naturais de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica.	→ Inundações/enchentes, corridas de lama/detritos; → Ciclones tropicais, tempestades marinhas, ventanias, chuvas de tempestades, nevasca, relâmpagos; → Secas, desertificação, fogo, temperaturas extremas, tempestade de areias; e → <i>Permafrost</i> , avalanches de neve.
<b>Perigos Biológicos</b> Processo de origem biológica ou aqueles transmitidos por vetores biológicos, incluindo exposição aos microorganismos patogênicos, tóxicos e substâncias bioativas.	→ Eclosão de doenças epidêmicas, contágios de plantas ou de animais e de infestações extensivas.

Tabela 2. Classificação de Perigo segundo a UN-ISDR

Fonte: UN-ISDR (2004), adaptada pelo Autor.

Dois elementos são essenciais na formulação do risco, como o perigo de se ter um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa e a vulnerabilidade, ou seja, o grau de suscetibilidade do elemento exposto ao perigo. Isso indica que o impacto do desastre dependerá das suas características, probabilidade e intensidade do perigo, bem como da vulnerabilidade das condições físicas, sociais, económicas e ambientais dos elementos expostos.

De acordo com VEYRET (2007) o risco é um perigo calculável, pois um processo potencialmente perigoso torna-se um risco para a população afetada a partir do momento em que sua ocorrência passa a ser previsível, na emissão e previsão de sinais ou pela sua repetição que permite estabelecer uma frequência. Assim, a estatística tem um papel importante na definição do risco.

Segundo a UN-ISDR (2004) grande parte dos perigos naturais é inevitável, enquanto que os desastres não o são. Investigar os perigos que ocorreram no passado e monitorar a situação do presente possibilita entender e prever a ocorrência de perigos futuros, permitindo que uma comunidade ou o poder público possa minimizar um possível risco de desastre.

#### **2.1.4 Impactos**

Na medida em que se expande o processo de urbanização desordenada, aumenta a preocupação com os impactos dos desastres naturais sobre a sociedade, os quais podem causar diferentes danos à qualidade de vida humana, como os impactos ambientais, económicos e sociais. Tais danos são verificados, principalmente em áreas onde se encontra uma população mais vulnerável às ameaças ambientais (margens de rios), tendo em vista que as classes sociais menos favorecidas estão mais sujeitas a sofrer fortemente os impactos dos desastres naturais com elevados números de mortes e feridos, altos índices de doenças e de desabrigados, perdas económicas, etc.

##### **2.1.4.1 Impactos Ambientais**

De acordo com a Resolução nº 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA), de 23/01/1986, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e económicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais. A relação do homem com a natureza ao longo da história evoluiu de uma total submissão e aceitação fatalista dos fenômenos da natureza a uma visão equivocada de dominação pela tecnologia (TOMINAGA et al., 2009).

Mesmo antes do período da revolução industrial e das grandes navegações o homem já degradava a natureza trazendo para si modificações climáticas locais. Com o advento das grandes navegações e posteriormente da revolução industrial esta agressão à natureza se intensificou, sendo vista como necessária para o desenvolvimento da humanidade. No entanto muitas destas degradações trazem consigo riscos que ameaçam a vida humana, ao provocarem profundas alterações no planeta, como: secas de nossos rios, alterações no período chuvoso, maiores amplitudes térmicas, dentre outras. “É esta nova realidade que tem que ser reconhecida e tomada conta” (O NOSSO FUTURO COMUM, 1987).

A tecnologia e a ciência dão-nos a possibilidade de melhor perscrutar e entender mais perfeitamente os sistemas naturais. Olhando o espaço pode-se ver e estudar a terra de uma óptica organicista, em que o planeta é visto como um organismo vivo cuja saúde depende da saúde de cada uma de suas partes (O NOSSO FUTURO COMUM, 1987).

Sob este aspecto, a tecnologia e a ciência unidas buscam alternativas para a minimização das acções antrópicas e impactantes ao meio ambiente, conciliando a preservação ambiental e o desenvolvimento económico. Assim, com foco na sustentabilidade, na prevenção e mitigação de tais acções, inclui-se o que chamamos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

## **Avaliação de Impacto Ambiental**

A avaliação de impacto ambiental tem por fim, identificar, prever, interpretar e transmitir informações, acerca das consequências de qualquer acção antrópica (embora se possa adaptar a processos naturais) sobre a saúde e o bem estar do homem, numa perspectiva espaço-temporal definida (OLIVEIRA, 2005).

Segundo MEDEIROS (1995), a avaliação de impacto ambiental (AIA) deve ser concebida antes de tudo como um instrumento preventivo de política pública e só se torna eficiente quando passa a se constituir num elemento de auxílio à decisão, uma ferramenta de planeamento e concepção de projectos para que se efetive um desenvolvimento sustentável como forma de se sobrepor ao viés economicista do processo de desenvolvimento, que aparecendo como sinónimo de crescimento económico, ignora os aspectos ambientais, culturais, políticos e sociais.

A avaliação de impacto ambiental (AIA) tem por objectivo proteger as áreas sociais, físicas, biológicas e socioeconómicas, permitindo que as decisões sejam tomadas de modo lógico e racional. Após a conclusão da AIA, seus resultados são incorporados no Estudo de Impacto Ambiental (EIA).

### **Impactos Ambientais por Desastres Naturais**

Impacto ambiental não é somente aquele provocado por atividades antrópicas ao meio ambiente, mas também os causados pela própria força da natureza. Quando há um fenómeno natural (chuva, furacão e outros) e este atinge regiões povoadas com áreas de risco, poderá se transformar em desastre natural. No caso do Município de Nova Friburgo, por conta das chuvas que lá ocorreram em janeiro de 2011, tais fenómenos foram considerados desastres naturais, pois impactaram o ambiente da cidade, alterando parte da geografia e da paisagem natural. Por exemplo: os leitos dos rios foram assoreados, modificando o curso original das águas; ocorreram deslizamentos de solos e rochas; matas foram devastadas; rios foram obstruídos por entulhos, lixos e resíduos sólidos; solos produtivos foram erodidos; entre outros eventos.

#### **2.1.4.2 Impactos Económicos por Desastres Naturais**

Segundo a POLÍTICA NACIONAL DE DEFESA CIVIL (2007), a ocorrência de desastres aumenta significativamente a dívida social de uma região, tendo em vista que as pessoas de menor poder aquisitivo são a imensa maioria das vítimas de desastres, por estarem habitando áreas de risco e, muitas vezes não terem a percepção global dos riscos a que estão expostas. CALHEIROS (2002, p. 4) destaca que, considerando-se o valor da vida humana e os gastos em atendimento médico-hospitalar, a quantidade de mortos e feridos em consequência de desastres no Brasil alcança valores alarmantes. Segundo CALHEIROS (2002, p. 4), trata-se de consequência da mentalidade e do conceito existente no Brasil de que Defesa Civil atua durante ou depois de o desastre acontecer.

O impacto económico de um desastre se constrói na relação entre a magnitude do desastre e o tamanho da economia de um país. Os desastres podem atrasar, consideravelmente, os esforços para a melhoria das condições de vida da população de países em desenvolvimento ou daqueles não desenvolvidos. Grandes desastres, como os terremotos no Haiti e no Chile, são exemplos de eventos de grande magnitude que provocaram danos em vastas áreas desses países (GONÇALVES, 2010).

No Haiti, a Comissão Económica para a América Latina e Caribe (CEPAL) estima os danos e perdas ocasionados pelo terremoto de janeiro de 2010 em US\$ 7,754 bilhões o que corresponde a 121% do PIB daquele país (que em 2009 alcançou US\$ 6,390 bilhões). Significa dizer que tudo o que foi produzido pela economia do Haiti, em 2009, é inferior às perdas e danos ocasionados pelo terremoto. No Chile, os dados preliminares apresentados pelo presidente Sebastián Piñera indicam o dano patrimonial provocado pelo terremoto em US\$ 30 bilhões, ou cerca de 20% do PIB chileno. Mesmo que a magnitude do terremoto no Chile tenha sido cerca de 800 vezes superior ao terremoto no Haiti, os impactos económicos em relação ao PIB são inferiores no Chile, posto que a economia chilena é muitas vezes maior que a haitiana (GONÇALVES, 2010).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), os desastres naturais causaram um prejuízo de 109 bilhões de dólares em 2010, um valor três vezes maior que o registado em 2009. A China e Chile foram os países mais prejudicados. O terremoto de magnitude 8.8 na escala Richter em fevereiro de 2010 no Chile custou ao país 30 bilhões de dólares. Na China, as enxurradas e deslizamentos de terra causaram 18 bilhões de dólares em perdas, segundo o Centro de Pesquisas para Epidemiologia de Desastres. As enchentes de julho e agosto no Paquistão causaram um prejuízo de 9,5 bilhões de dólares. Margareta Wahlström, secretária-geral assistente para a redução do risco de desastres da ONU, disse que países em desenvolvimento agora enfrentam prejuízos maiores no caso de tragédias. "A riqueza acumulada que é afetada pelos desastres está crescendo", disse. Cidades estão particularmente expostas a grandes perdas económicas quando a infraestrutura está vulnerável a terremotos ou tempestades. "Com mais terremotos e fenômenos climáticos extremos em áreas urbanas, a situação da reconstrução nessas áreas se torna mais crítica" disse a secretária assistente. No Brasil o ano de 2011 iniciou com a tragédia no Rio de Janeiro devido às fortes chuvas, ocorridas também na cidade de São Paulo e também em outras cidades brasileiras, deixando muitos mortos e desabrigados (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

Os desastres naturais afetam diretamente a economia local de onde estes são ocorridos. Para que isso seja amenizado é importante que haja um planejamento sério e eficaz quanto às autorizações na fixação e construção de empresas e residências em determinados locais que possivelmente sejam considerados áreas de risco, bem como no respeito à legislação vigente de proteção do meio ambiente.

### **2.1.4.3 Impactos Sociais por Desastres Naturais**

No Brasil, fatores como as más condições de moradia, a falta de infraestrutura e o crescimento acelerado das cidades, fazem com que o ambiente em que se vive seja mal preparado para enfrentar as chuvas de verão. Todos os anos são noticiados escorregamentos de terra e enchentes, provocando o desmoronamento e perda de imóveis e bens, além de vidas humanas. A cada ano as proporções são crescentes, destruindo cidades inteiras como foram os casos das cidades de São Luiz do Paraitinga/SP, em 2010, e de Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis e outras da Região Serrana do Rio de Janeiro/RJ, em 2011. Se já sabemos que no Brasil os problemas das enchentes são reais e têm atingido regiões historicamente conhecidas pela seca, como foi o caso do Nordeste Brasileiro em 2010, o que pode ser feito para evitar grandes tragédias?

A Presidente do Brasil, Dilma Rousseff, em janeiro de 2011, após visitar as áreas devastadas pelas chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro, avaliou que o momento vivido pelos moradores é "dramático" e que as cenas que presenciou são "muito fortes" (FOLHA DE SÃO PAULO, 2011). A presidente disse ainda que o Estado vive um momento de resgate das vítimas, mas alertou que a prevenção contra novas tragédias terá de ser levada em conta pelas autoridades. "Estamos aqui para garantir que o momento da reconstrução será também o momento da prevenção", disse (FOLHA DE SÃO PAULO, 2011). Dilma falou ainda que a construção de moradias em áreas de risco é a regra, não a exceção no Brasil. "Quando não se tem políticas de habitação, a pessoa que ganha até dois salários mínimos vai morar onde? Vai morar onde não pode" (FOLHA DE SÃO PAULO, 2011). Infelizmente quem paga pelos danos causados pelos desastres naturais é a população de baixa renda que, não por coincidência, habitam áreas de risco e sem estrutura. Além das fatalidades advindas do momento emergencial, há ainda de se enfrentar os problemas que vêm depois, como a falta de moradia, saneamento básico e alimentos.

Segundo Aline Rosa, gerente de projectos sociais da filial do Estado de São Paulo da Cruz Vermelha, "A principal dificuldade é a psicológica. Tanto os moradores quanto os voluntários ficam muito abalados ao presenciar o sofrimento humano e a fúria da natureza. Em alguns locais, contamos com dificuldades, como saques ou venda das doações e pessoas despreparadas atuando" (IANNARELLI, 2011).

Assim, na busca pela defesa e assistência à população brasileira que sofre os impactos dos desastres naturais, a 1ª Conferência Nacional de Defesa Civil e Assistência Humanitária, foi convocada pelo Decreto s/nº, de 27 de outubro de 2009, do Exmo. Senhor Presidente da República Luiz Inácio Lula da Silva, realizada nos dias 23, 24 e 25 de março de 2010, em Brasília/DF, com o tema "Conferência Nacional de Defesa Civil e Assistência Humanitária - Por uma Acção Integral e Contínua". Na sua plenária, em 25 de março de 2010, foi emitida e aprovada a 1ª Carta Nacional de Defesa Civil com diversas diretrizes (CNDC, 2010). São elas: I - Desafios para a efetivação da

Defesa Civil no século XXI: Estado, Sociedade, Clima, Desigualdades e Desenvolvimento; II - Políticas Públicas de atenção integral aos cidadãos: o paradigma da Assistência Humanitária; e III - Mobilização e participação da sociedade na prevenção e no controle social sobre a efetivação de política pública de Defesa Civil.

Neste contexto, tais diretrizes objetivam balizar a tomada de decisões por parte do poder público no sentido de implantar as diretrizes resultantes desta 1ª Conferência Nacional de Defesa Civil e Assistência Humanitária. De todo o debate ocorrido nesta 1ª Conferência Nacional de Defesa Civil, o fator preponderante foi a redução do sofrimento humano e os custos com a reparação de danos e prejuízos, que impedem o desenvolvimento como um todo. Neste sentido os integrantes da Comissão Organizadora Nacional acreditam que somente com políticas públicas orientadas poderemos minimizar o número de perdas de vidas humanas e realmente tornarmos o Brasil o país de igualdades que todos almejamos (CNDC, 2010).

## **2.1.5 Desastres Naturais relacionados à Dinâmica Fluvial**

### **2.1.5.1 Inundações**

Em função da evolução as inundações são classificadas em enchentes ou inundações graduais; enxurradas ou inundações bruscas; alagamentos; e inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar (CASTRO, 2003). As inundações e enchentes são um dos principais e dos mais avassaladores acidentes geomorfológicos. São fenômenos naturais que ocorrem quando a precipitação é elevada e a vazão ultrapassa a capacidade de escoamento do rio, ou seja, quando a chuva é intensa e constante, a quantidade de água nos rios aumenta e extravasa para as margens dos rios (áreas de várzeas).

Segundo o Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction* - UNISDR, na sigla em inglês), (UN-ISDR, 2002), as inundações e enchentes são problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrometeorológicos ou hidrológicos, ou seja, aqueles de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. Sabe-se hoje que as inundações estão relacionadas com a quantidade e intensidade da precipitação atmosférica (SOUZA, 1998).

A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfoométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

A Figura 1 apresenta a diferença entre uma situação normal do volume de água no canal de um curso d'água e nos eventos de enchente e inundação.

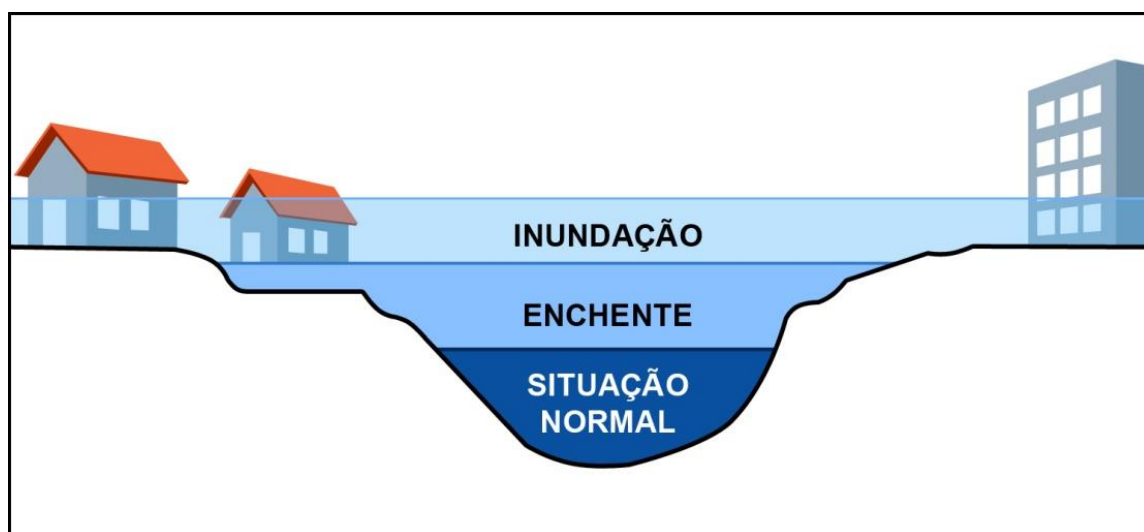


Figura 1. Perfil esquemático do processo de enchente e inundação

Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT (2007), adaptada pelo Autor.

Simplificando, as inundações acontecem quando as águas de um determinado canal ou de um rio ficam acima do seu limite, subindo suas águas e inundando as ruas e as casas próximas aos cursos d'água.

#### **2.1.5.2 Enchentes**

As enchentes são um dos principais e mais destrutivos acidentes geomorfológicos e ocorrem quando a descarga do rio torna-se elevada e excede a capacidade do canal, extravasando suas margens e alagando as planícies adjacentes. Nas enchentes, de acordo com CASTRO (2003) apud RECKZIEGEL (2007), as águas elevam-se de forma paulatina e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. Normalmente, as enchentes são cíclicas e sazonais e intensificadas por variáveis climatológicas de médio e longo prazo e pouco influenciáveis por variações diárias do tempo. Relacionam-se muito mais com períodos demorados de chuvas contínuas do que com chuvas intensas e concentradas, sendo caracterizadas por sua abrangência e grande extensão, ocorrendo principalmente em grandes bacias hidrográficas e em rios de planície. Segundo TUCCI (1995) apud RECKZIEGEL (2007), as enchentes em áreas urbanas são as responsáveis pelos grandes desastres e também são a consequência de dois processos que ocorrem isoladamente ou de forma integrada: as enchentes em áreas ribeirinhas, que são naturais, e as enchentes incrementadas ou provocadas pela urbanização.



As enchentes naturais nas áreas ribeirinhas provocam grandes desastres, principalmente em cidades que se situam nas margens de grandes rios, onde a população, especialmente a de baixa renda, ocupa o leito maior do rio e as planícies de inundação (RECKZIEGEL, 2007).

TUCCI (1995) apud RECKZIEGEL (2007) retrata também que as enchentes naturais possuem um tempo de recorrência de dois anos e normalmente ocorrem em bacias grandes, com mais de 1.000 km<sup>2</sup>. Segundo o Autor as enchentes provocadas pela urbanização ocorrem devido à impermeabilização do solo, por meio da pavimentação das vias e das edificações e da redução das áreas verdes, o que faz com que aumente a quantidade de água que escoar durante um evento de precipitação e aumente o limite da área de inundação, conforme Figura 2.

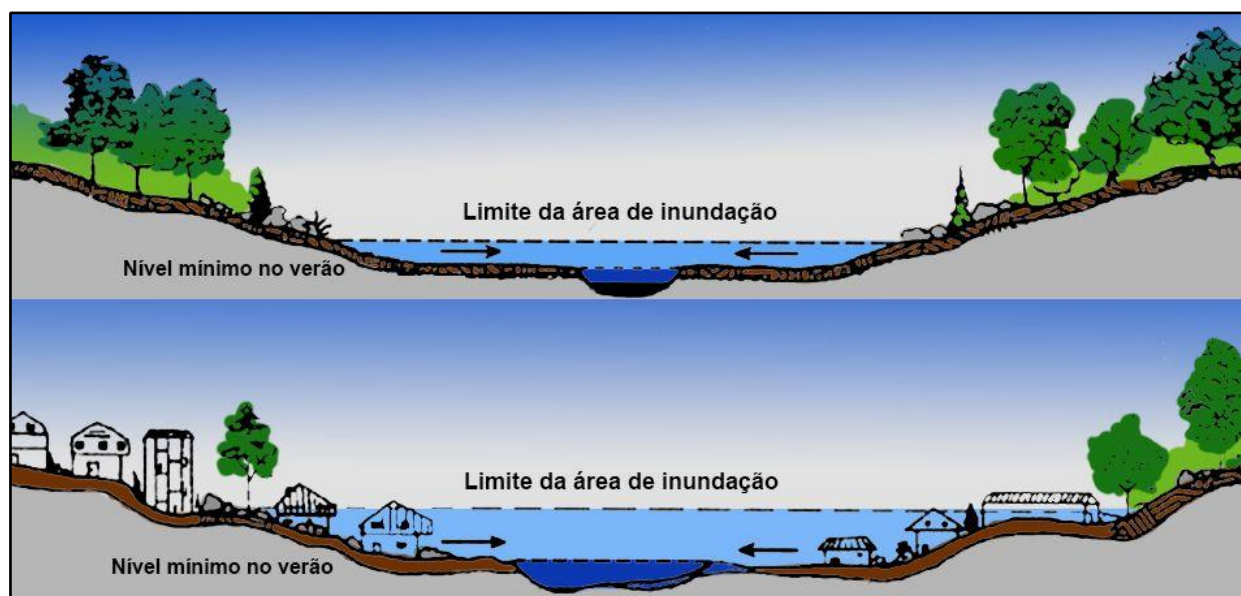


Figura 2. Perfil transversal de um rio e de sua margem mostrando as alterações no limite da área de inundação em uma área que passou de rural para urbana

Fonte: SCHUELER (1987) apud TUCCI (2002), adaptada pelo Autor.

TUCCI (1995) apud RECKZIEGEL (2007) destaca que as enchentes potencializadas pela urbanização ocorrem, em geral, em bacias de pequeno porte, embora haja exceções, como é o caso das regiões metropolitanas, em que a urbanização também incrementa as enchentes em grandes bacias. Outra questão destacada pelo Autor é a ocorrência de enchentes localizadas nas áreas urbanas, que normalmente estão associadas com barramentos que “estrangulam” a secção do rio. Estes barramentos são constituídos, na maioria das vezes, por dutos ou pontes mal dimensionadas, aterros ou por assoreamento de trechos do leito fluvial.

CASTRO (2003) apud RECKZIEGEL (2007) destaca também que as enchentes em grandes bacias evoluem de forma facilmente previsível e que a onda de cheia desenvolve-se de

montante para jusante, guardando intervalos regulares. O Autor enfatiza que, de um modo geral, a previsibilidade das cheias periódicas e graduais facilita a convivência com o fenômeno, de tal forma que grandes danos ocorrem apenas nas inundações excepcionais ou em função de vulnerabilidades culturais, características de mentalidades imediatistas e sem o mínimo de previsibilidade.

#### **2.1.5.3 Alagamentos**

Segundo o MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT (2007) os alagamentos são águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes. Nos alagamentos o extravasamento das águas depende muito mais de uma drenagem deficiente, que dificulta a vazão das águas acumuladas, do que das precipitações locais. O fenômeno relaciona-se com a redução da infiltração natural nos solos urbanos, a qual é provocada pela compactação e impermeabilização do solo; pavimentação de ruas e construção de calçadas, reduzindo a superfície de infiltração; construção adensada de edificações, que contribuem para reduzir o solo exposto e concentrar o escoamento das águas; desmatamento de encostas e assoreamento dos rios que se desenvolvem no espaço urbano; acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d'água; e insuficiência da rede de galerias pluviais. Os alagamentos ocorrem frequentemente nas cidades mal planejadas ou quando crescem explosivamente, dificultando a realização de obras de drenagem e de esgotamento de águas pluviais. É comum a combinação dos dois fenômenos - enxurrada e alagamento - em áreas urbanas acidentadas, como ocorre nas cidades do Rio de Janeiro, Belo Horizonte e em cidades serranas do Brasil. Em cidades litorâneas, que se desenvolvem em cotas baixas, como Recife e cidades da Baixada Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, a coincidência de marés altas contribui para agravar o problema. Os alagamentos das cidades normalmente provocam impactos ambientais, económicos e sociais mais intensos que as enxurradas. Os alagamentos ocorrem quando um terreno relativamente distante é mais baixo que o próprio terreno do canal. A água que desce pelo sistema de drenagem subterrâneo sobe por este mesmo sistema até o nível da rua, ocasionando o alagamento. Segundo CERRI (1999) apud RECKZIEGEL (2007), os alagamentos caracterizam-se por não estarem ligados às drenagens, sendo decorrentes de uma incapacidade de drenagem das águas da chuva, em razão da topografia muito suavizada, da insuficiência ou inexistência de sistemas de captação de águas pluviais, ou de ambas.

#### **2.1.5.4 Enxurradas**

As enxurradas são definidas como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. É comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico e em terrenos com alta declividade natural (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007). São provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo

acidentado, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais se escoam de forma rápida e intensa. Nessas condições, ocorre um desequilíbrio entre o contentor (leito do rio) e o conteúdo (volume caudal), provocando transbordamento (CASTRO, 2003 apud RECKZIEGEL, 2007). A inclinação do terreno, ao favorecer o escoamento, contribui para intensificar a torrente e causar danos. Esse fenômeno costuma surpreender por sua violência e menor previsibilidade, exigindo uma monitorização complexa. As enxurradas são típicas de regiões acidentadas e normalmente ocorrem em bacias ou sub-bacias de médio e de pequeno portes (CASTRO, 2003). Relacionam-se com chuvas intensas e concentradas, sendo o fenômeno circunscrito a uma pequena área e provocam danos materiais e humanos mais intensos do que as inundações graduais. (CASTRO, 2003).

## **2.1.6 Desastres Naturais relacionados à Dinâmica Atmosférica**

Os desastres naturais relacionados à dinâmica atmosférica estão associados com as altas amplitudes de pressão entre duas massas de ar, o que pode provocar a intensificação do regime dos ventos. Os desastres naturais mais comuns de origem atmosférica são os resultantes de tempestades/vendavais, precipitações de granizo, tornados e ciclones/furacões (RECKZIEGEL, 2007).

### **2.1.6.1 Tempestades e Vendavais**

Segundo COLE (1980) apud RECKZIEGEL (2007), as tempestades, na sua maioria, estão associadas às nuvens do tipo *Cumulonimbus*, que são densas, atingem grandes altitudes e estão diretamente associadas a eventos meteorológicos extremos como os raios e pancadas de chuvas. As tempestades representam o estágio final de crescimento de uma instabilidade convectiva. Diversos mecanismos são responsáveis por sua origem, porém o resultado das tempestades normalmente é similar. De acordo com CASTRO (1998) apud RECKZIEGEL (2007), as tempestades ou vendavais consistem no deslocamento violento de uma massa de ar de uma área de alta pressão para uma área de baixa pressão e muitas vezes, ocorrem associadas à passagem de frentes frias, sendo que sua força será tanto maior quanto maior for a diferença de pressão das massas de ar em frontogênese. O Autor afirma que as tempestades e vendavais também são chamados de vento muito duro, correspondendo ao número 10 da Escala de Ventos de Beaufort, que compreende ventos com variação de velocidade de 88,0 a 102,0 Km/h (Tabela 3).

Nesta escala são definidas as nomenclaturas dos fenômenos atmosféricos, com base na velocidade dos ventos. A tabela foi idealizada em 1805 pelo almirante e hidrógrafo inglês Francis Beaufort e foi batizada de “Escala de Beaufort”. No início foi definida em função dos efeitos do vento no velejamento dos navios e em seguida em função dos efeitos nos oceanos. Com o decorrer do tempo a tabela foi modificada, incluindo velocidades de vento e efeitos ambientais nos continentes (COLE, 1980 apud RECKZIEGEL, 2007) (Tabela 3).

<b>Nº da Escala</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Velocidade do Vento (km/h)</b>	<b>Caracterização</b>
0	Vento calmo ou calmaria	Menor de 2,0	Nada se move. O fumo sobe verticalmente.
1	Bafagem, aragem leve, vento quase calmo	2,0 - 5,0	O sentido do vento é indicado pelo fumo, mas não pelo cata-vento.
2	Brisa leve ou aragem	6,0 - 11,0	Sente-se o vento na face. As folhas das árvores são agitadas levemente. Os cata-ventos são accionados.
3	Vento fresco ou leve	12,0 - 19,0	As bandeiras leves desfraldam. As folhas das árvores e arbustos movimentam-se continuamente.
4	Vento moderado	20,0 - 29,0	Levanta poeira e papéis. Movimenta pequenos galhos de árvores.
5	Vento regular	30,0 - 39,0	Forma ondas com cristas nos rios e lagos. Faz oscilar os arbustos.
6	Vento muito fresco ou meio forte	40,0 - 50,0	Faz zunir os fios telegráficos. Movimenta os galhos maiores das árvores. Dificulta o uso de guarda-chuvas.
7	Vento forte	51,0 - 62,0	Movimenta o tronco das árvores. Dificulta caminhar contra o vento.
8	Ventos muito fortes ou ventania	63,0 - 75,0	Quebra galhos de árvores. Impossibilita andar contra o vento.
9	Vento duro ou ventania fortíssima	76,0 - 87,0	Produz pequenos danos nas habitações. Arranca telhas. Derruba chaminés de barro.
10	Vento muito duro, vendaval ou tempestade	88,0 - 102,0	Derruba árvores. Produz danos consideráveis em habitações mal construídas. Destelha muitas edificações.
11	Vento tempestuoso, vendaval muito forte, ciclone extratropical	103,0 - 117,0	Arranca árvores. Provoca grande destruição. Derruba a fiação.
12	Furacão, tufão ou ciclone tropical	Acima de 118,0	Efeitos devastadores. Provoca grande volume de danos e prejuízos.

Tabela 3. Escala de Ventos de Beaufort

Fonte: MET OFFICE (2012), adaptada pelo Autor.

De acordo com AYOADE (1986) apud RECKZIEGEL (2007), as tempestades são fenômenos meteorológicos localizados, com diâmetro menor que 25 quilômetros e duração que varia de uma a duas horas. O Autor coloca ainda que, “as tempestades desenvolvem-se onde há massas de ar húmidas, quentes e instáveis em camadas verticais consideráveis, de aproximadamente 8.000 metros”. A maior parte das tempestades é de origem convectiva e resultante de intenso aquecimento solar, porém também podem ser causadas por brisas marítimas e terrestres.

Uma classificação com base na origem das tempestades em latitudes médias permite dividi-las em tempestades térmicas, tempestades frontais, tempestades de linhas de instabilidade e tempestades de depressões frias (VIDE e CANTOS, 1996 apud RECKZIEGEL, 2007). Segundo os Autores as tempestades térmicas têm uma marcada sazonalidade, aparecendo somente durante as estações quentes do ano, desde a primavera até a entrada do outono e possuem sua origem associada ao aquecimento intenso do solo e das massas de ar em contacto com ele, em jornadas de muito sol, provocando convecção. Por isso ocorrem em setores continentais ou no interior de ilhas e durante o dia. Mostram também uma preferência por setores montanhosos, cuja orografia (nuances do relevo) é o condicionador para o desencadeamento da instabilidade condicional ou convectiva.

Já as tempestades frontais são produzidas durante a passagem de uma frente fria, quando o ar frio eleva-se bruscamente a massa de ar quente preexistente. Estas tempestades podem ocorrer em qualquer momento do ano e do dia, embora o aquecimento diurno da superfície pode adicionar uma energia adicional para a ascensão do ar. A distribuição espacial das tempestades frontais mostra uma disposição alongada, de acordo com o traçado da frente. As tempestades de linha de instabilidade turbulenta, segundo VIDE e CANTOS (1996) apud RECKZIEGEL (2007), aparecem agrupadas em conjuntos alongados, porém não estão associadas às frentes frias, embora possam precedê-las. O aquecimento da superfície potencializa seus efeitos.

As tempestades de depressões frias estão relacionadas às depressões frias. São frequentes no Mediterrâneo e muito intensas no outono. Aparecem com certa frequência, como tempestades supercelulares ou complexos convectivos de mesoescala, sem clara preferência de horário e com consequências pluviométricas maiores nos setores litorâneos (VIDE e CANTOS, 1996 apud RECKZIEGEL, 2007). Segundo MARCELINO et al (2004b) apud RECKZIEGEL (2007), a ocorrência de tempestades está diretamente relacionada com eventos pluviais intensos, ventos fortes, precipitação de granizo, tornados e descargas elétricas. Estas tempestades são formadas por nuvens com elevado desenvolvimento vertical (*Cumulonimbus*), dando origem a grandes áreas de instabilidades.

Segundo CHAPMAN (1997) apud RECKZIEGEL (2007), as tempestades são as mais perversas de todos os riscos naturais, sendo que não há nenhum lugar do planeta em que elas não possam deixar de ocorrer e BATTAN (1961) apud RECKZIEGEL (2007) expõe que nuvens cumuliformes ocorrem em várias partes do mundo em todas as estações do ano. Estas nuvens mostram instabilidades próximas da superfície, geralmente por movimentação de ar sobre uma superfície quente. Cada nuvem dura pouco tempo, de cinco a dez minutos e raramente atingem mais de 300 metros de altura. Normalmente o ciclo de uma tempestade é dividido em três estágios (desenvolvimento, maturidade e dissipação) que duram de 20 a 40 minutos cada um (Figura 3).

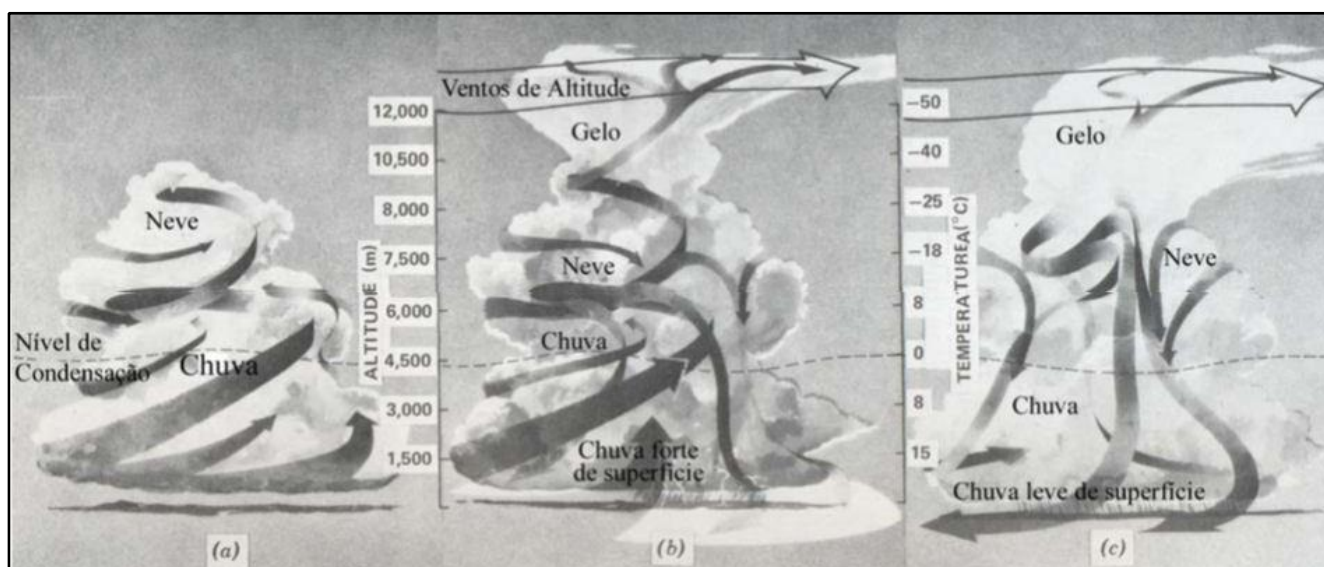


Figura 3. Estágios de uma tempestade. (a) Primeiro estágio: Desenvolvimento; (b) Segundo Estágio: Maturidade; e (c) Terceiro Estágio: Dissipação.

Fonte: COLE (1980) apud RECKZIEGEL (2007).

Segundo AYOADE (1986), COLE (1980), VIDE e CANTOS (1996) apud RECKZIEGEL (2007), no estágio de desenvolvimento é estabelecida uma corrente convectiva vertical, que ultrapassa o nível de condensação. Fortes correntes de ar ascendentes predominam na célula da tempestade e as nuvens Cumulonimbus crescem verticalmente muito rápido até cerca de 8.000 metros. No estágio de maturidade, a tempestade está em sua intensidade máxima. Há algumas correntes de ar descendentes, mesmo que as ascendentes ainda sejam fortes. Há intensa precipitação de chuva, acompanhada de trovoadas. No estágio de dissipação, as correntes de ar descendentes predominam. A nuvem esgota sua umidade à medida que a intensidade da precipitação diminui. Os principais impactos das tempestades/vendavais são o destelhamento de edificações, danos nas lavouras, queda de árvores, danos nas redes elétricas e de telefonia, inundações, enchentes, alagamentos, enxurradas e outros.

### 2.1.6.2 Tornados

De acordo com CHAPMAN (1997) apud RECKZIEGEL (2007), um tornado é uma coluna estreita de ar giratório que se estende da base de uma nuvem *Cumulonimbus* até a superfície terrestre. CASTRO (2003) apud RECKZIEGEL (2007) observa que os tornados são vórtices formados na baixa atmosfera, apresentando-se como nuvens escuras, de formato afunilado, com diâmetro menor junto à superfície, semelhante a uma tuba, que descem até tocar a superfície da Terra, com grande velocidade de rotação e forte sucção. O funil visível de um tornado, na maioria das vezes, é formado de gotas d'água.

Os tornados são considerados os fenômenos meteorológicos mais destrutivos, em consequência da alta concentração de energia que envolvem, em dimensões espaciais relativamente pequenas, sendo que os ventos podem superar 400 km/h. Os Autores explicam também que os tornados surgem rapidamente, não permitindo a emissão de alarmes. Quando ocorrem sobre superfícies líquidas, são identificados como “trombas d'água”. Assim, os tornados superam a violência dos furacões, porém, em contrapartida, sua duração, bem como a extensão da área afetada, são menores, sendo desta forma, fenômenos de pequena escala (VIANELLO e ALVES, 2000 apud RECKZIEGEL, 2007).

Segundo PICKERING e OWEN (1994) apud RECKZIEGEL (2007), o diâmetro típico de um tornado varia de 150 a 600 metros, podendo chegar até 1.500 metros. Devido à pequena escala espacial dos tornados, VIANELLO e ALVES (2000) apud RECKZIEGEL (2007) ressaltam que o efeito de Coriolis (tendência que qualquer corpo em movimento sobre a superfície terrestre tem de mudar seu curso devido à direção rotacional e da velocidade da Terra) torna-se desprezível, sendo o escoamento curvilíneo dos tornados resultante da força do gradiente de pressão. No Hemisfério Sul, a rotação ocorre no sentido horário, enquanto que no Hemisfério Norte ocorre no sentido anti-horário. Segundo os autores, a ocorrência de tornados e trombas d'água está relacionada com a forte instabilidade termodinâmica, presença de alta humidade e de ventos fortes na alta troposfera. A pressão atmosférica sofre quedas acentuadas que contribui para aumentar o poder destrutivo dos tornados e há casos em que residências chegam a explodir em razão do forte gradiente de pressão, associado com ventos muito fortes.

CASTRO (2003) apud RECKZIEGEL, 2007) explica que os tornados podem originar-se em processos convectivos, caracterizados pela formação de nuvens *Cumulonimbus*, ou em situações geradas pelo encontro de massas de ar altamente diferenciadas e de grande intensidade, sendo que “nessas condições, a instalação de uma célula de baixa pressão nas camadas superiores da atmosfera provoca o efeito chaminé e a ascensão do ar para a alta troposfera, caracterizando o efeito de vórtice, responsável pela sucção”.



O ciclo de um tornado, segundo COLE (1980) apud RECKZIEGEL (2007), se divide em três estágios típicos. Primeiro: a evidência visual de um tornado é um pendente, uma nuvem afunilada que se contorce sinuosamente. Neste estágio o “funil” começa a se estender para baixo do *Cumulonimbus*. O funil não permanece sempre em contacto com a superfície, podendo se elevar e voltar a tocar a superfície em um outro local. Segundo: o “funil” alcança a superfície. Terceiro: o tornado alcança sua fase mais destrutiva, com ventos que podem chegar a 650 km/h e objetos da superfície são levados pelo vento com circulação ciclônica, destruindo tudo o que encontrar pela frente e casas podem explodir pela diferença de pressão entre o interior da moradia e a nuvem afunilada (Figura 4).

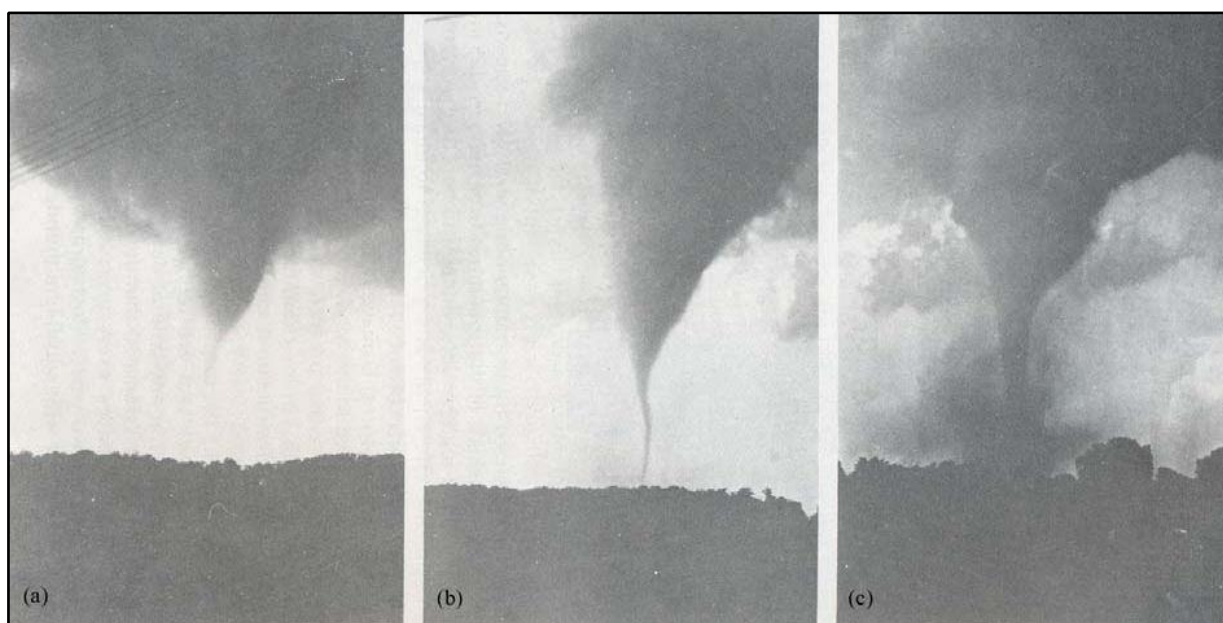


Figura 4. Três estágios típicos de um tornado. (a) Primeiro estágio: Formação; (b) Segundo Estágio: Contacto com a superfície; (c) Terceiro Estágio: Maturidade.

Fonte: COLE (1980) apud RECKZIEGEL (2007).

Os tornados ocorrem com uma frequência espantosa em regiões da América do Norte e baixa frequência na Europa. Os tornados também são produzidos sobre as águas de mares ou lagos. Especificamente no Brasil os tornados são chamados de “trombas d'água”. Os principais efeitos adversos dos tornados são destelhamento, danos e destruição de edificações, danos e destruição de lavouras, queda de árvores, danos na rede elétrica e de telefonia, ferimento e morte de pessoas (COLE, 1980 apud RECKZIEGEL, 2007).



### 2.1.6.3 Precipitação de Granizo

Ventos muito fortes e chuvas intensas normalmente são registrados em uma tempestade. Porém, uma característica destas tempestades é que a precipitação de granizo poderá ou não ocorrer (RECKZIEGEL, 2007).

MARCELINO et al. (2004b) apud RECKZIEGEL (2007) afirmam que “o granizo é formado na parte superior de nuvens convectivas onde se encontram as temperaturas mais baixas, que são condições propícias, junto com outros fatores, para a formação de partículas (pedras) de gelo”. Os granizos apresentam, normalmente, formas arredondadas com diâmetro que pode variar de 5 mm a 20 cm. Sua estrutura é heterogênea, com camadas alternadas de gelo transparente e turvo, podendo conter no seu interior pó e insetos.

Segundo BATTAN (1961) apud RECKZIEGEL (2007) as partículas de gelo, como o granizo, acontecem em outros tipos de nuvens, que não sejam *Cumulonimbus*, ainda que estas partículas de gelo possuam tamanho relativamente menor. O Autor acrescenta que quando se pensa em granizo, pensa-se em pedaços de gelo que, frequentemente, são tão grandes quanto nozes e, às vezes, excedem o tamanho de uma bola de beisebol. Quando ocorre a formação do granizo em nuvens *Cumulonimbus*, sua queda ocorre a partir de chuvas intensas que são características das mesmas.

De acordo com CASTRO (1998) apud RECKZIEGEL (2007), o ciclone é uma área de concentração de energia cinética na atmosfera, ou seja, de ventos fortes. Essa energia vem da distribuição de massas de ar com diferenças de temperatura, pressão e densidade. MARENGO e NOBRE (2008a) apud RECKZIEGEL (2007) acrescentam que os ciclones são centros de baixa pressão atmosférica em torno dos quais ocorrem ventos giratórios, que no hemisfério Norte possuem sentido anti-horário e no hemisfério Sul sentido horário.

Já MARCELINO et al. (2004b) apud RECKZIEGEL (2007) explicam o processo de formação de granizo da seguinte forma: “O processo de congelamento das gotas de água geralmente ocorre a uma temperatura de -25°C, onde as gotas maiores congelam e formam núcleos de granizo. As pedras de gelo que descem do topo da nuvem são cobertas por uma camada de umidade que congela quando são levados novamente ao topo da nuvem pelas correntes ascendentes, aumentando de tamanho. Quando as pedras de gelo tornam-se demasiadamente pesadas para serem suportadas pelas correntes ascendentes, precipitam na superfície do solo na forma de granizo. Danos em edificações e em lavouras são os principais impactos causados pelas precipitações de granizo”.

#### 2.1.6.4 Ciclones e Furacões

De acordo com CASTRO (1998) apud RECKZIEGEL (2007), o ciclone é uma área de concentração de energia cinética na atmosfera, ou seja, de ventos fortes. Essa energia vem da distribuição de massas de ar com diferença de temperatura, pressão e densidade. Os ciclones são classificados em três tipos: Frontais, quando se formam ao longo das frentes; Tropicais, quando ocorrem no verão, sobre as latitudes tropicais marítimas, onde as temperaturas mais baixas ficam entre 27°C e 28°C; e Extratropicais, quando ocorrem em latitudes médias.

MARENGO e NOBRE (2008a) apud RECKZIEGEL (2007) acrescentam que os ciclones são centros de baixa pressão atmosférica em torno dos quais ocorrem ventos giratórios, que no hemisfério Norte possuem sentido anti-horário e no hemisfério Sul sentido horário. Conforme AYOADE (1986) apud RECKZIEGEL (2007) um ciclone tropical é um centro ciclônico quase circular, com pressão extremamente baixa, no qual os ventos giram em espiral. O diâmetro do ciclone varia de 160 a 650 km e a velocidade dos ventos varia de 120 a 200 km/h. Mas, segundo MARENGO e NOBRE (2008a) apud RECKZIEGEL (2007) os ciclones tropicais com ventos de mais de 120 km/h são chamados de furacões, cuja intensidade é medida de acordo com a pressão no seu centro (olho) e a velocidade do vento. Segundo os Autores a escala mais conhecida, baseada na velocidade do vento, inclui os níveis 1 (de 119 a 153 km/h), 2 (de 154 a 177 km/h), 3 (de 178 a 209 km/h), 4 (de 210 a 249 km/h) e 5 (acima de 250 km/h), sendo que quanto maior o nível do furacão, maior o seu poder de destruição.

Os ciclones tropicais ocorrem em todos os oceanos, menos no Atlântico Sul e no Pacífico Sul. Recebem diferentes denominações regionais, como é o caso de “furacão” (*hurricane*) para aqueles que se formam sobre o Atlântico Norte; “tufão” (*typhoon*) no Pacífico Norte; “*baguio*” nas Filipinas; “*willy-willy*” na Austrália e de “ciclone”, no Oceano Índico. A diferença entre os ciclones extratropicais e os furacões é que os furacões possuem núcleo quente e se formam em águas com temperatura quente, superior a 26°C, enquanto que os ciclones extratropicais são fenômenos atmosféricos de latitudes médias e altas e possuem núcleo (interior) com ar mais frio do que o ar que o envolve (exterior) (CASTRO, 1998 apud RECKZIEGEL, 2007).

#### 2.1.6.5 Secas

As secas são catástrofes naturais com características diferenciadas dos outros tipos de catástrofes naturais. São condições físicas transitórias caracterizadas pela falta de água, associadas a períodos de redução de precipitação mais ou menos longos, podendo repercutir negativamente nos ecossistemas, bem como na vida social e econômica de uma população. As secas diferenciam-se das demais catástrofes naturais pelo seu desencadeamento imperceptível e lento, podendo arrastar-se por um longo período de tempo e com possibilidades de atingir grandes extensões de terras.

Elas resultam da redução das precipitações, do atraso dos períodos chuvosos ou da ausência de chuvas previstas para uma determinada temporada, ocorrendo uma queda dos índices pluviométricos para níveis sensivelmente inferiores aos normais. Quando comparadas com as secas, as estiagens caracterizam-se por serem menos intensas e por ocorrerem durante períodos de tempo menores (CASTRO, 2003 apud RECKZIEGEL, 2007). O Autor afirma que as secas ocorrem quando o início da temporada chuvosa atrasa por um prazo superior a quinze dias ou quando as médias de precipitação pluviométricas mensais dos meses chuvosos alcançam limites inferiores a 60% das médias mensais de longo período, na região considerada.

HEITZMANN, CANAGARAJAH e SIEGEL (2002), HOLZMANN, SHERBURNE-BENS e TESLIUC (2003) e HOOGEVEEN, TESLIUC e VAKIS (2005) classificam a seca como um risco natural. O fenômeno seca enquanto risco natural é tradicionalmente estudado pela geografia. No entanto, atualmente vem ganhando a atenção crescente das ciências sociais bem como de outras áreas do conhecimento devido à relevância da temática. A seca, por sua vez, é um desequilíbrio temporário na disponibilidade de água. Porém, o desequilíbrio causado pela seca é sempre natural, embora a acção do homem possa intensificá-lo. Conceptualmente, segundo PEREIRA & cols. (2002) a seca consiste numa persistente precipitação abaixo da média, com frequência, duração e severidade incertas, devido à imprevisibilidade ou dificuldade de se prever sua ocorrência, resultando na diminuição da disponibilidade de água e na redução da capacidade de armazenamento do ecossistema. Os Autores reconhecem que é difícil adoptar um conceito que descreva correctamente o fenômeno seca.

Outros Autores preferem adoptar uma definição operacional para distinguir entre secas hidrológicas, agrícolas e meteorológicas, a qual focaliza, usualmente, num indicador variável de interesse primário, que pode ser a precipitação (seca meteorológica), humidade do solo (seca agrícola), desempenho do fluxo dos rios ou níveis de água do solo (seca hidrológica e seca da água do solo). Para tanto, é normal que agrônomos e outros profissionais do setor agrícola usem a palavra “seca” para definir uma condição de “stress hídrico” que afeta o desenvolvimento e o rendimento dos diversos tipos de culturas agrícolas. As secas caracterizam-se por seu desenvolvimento lento e são usualmente reconhecidas somente quando estão totalmente estabelecidas. Costumam ser de longa duração e de afetar grandes áreas. Tais características geralmente têm implicações importantes, pois dificultam a implantação de estratégias de minimização de seus impactos. As secas são eventos naturais socialmente danosos, de ocorrência imprevisível quanto ao seu início e seu término, bem como quanto a sua severidade e a sua ocorrência reconhecida. Segundo PEREIRA & cols. (2002) a seca é considerada um desastre porque corresponde à falência no regime de precipitação, causando perturbação no abastecimento do ecossistema agrícola e natural, bem como em diversas atividades humanas.

## **2.1.7 Desastres Naturais relacionados à Dinâmica de Encosta**

Os desastres naturais relacionados à dinâmica de encosta estão associados aos processos de erosão e aos movimentos de massa que ocorrem em áreas íngremes.

### **2.1.7.1 Erosão**

Erosão é um processo de desprendimento e arraste das partículas do solo, causado pelas águas e pelos ventos. Os fatores que influenciam na magnitude do processo erosivo são a chuva, a topografia do terreno, a infiltração, a cobertura vegetal e a natureza do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). A erosão do solo é um processo complexo que envolve diversos fatores, de formas e magnitudes variáveis, de acordo com o local da sua ocorrência (CARVALHO et al., 2009).

De acordo com COSTA (2003) a erosão é a ação de desgaste do solo pelo transporte dos seus constituintes, efetuado por agentes geológicos como a água (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica). Esse processo também causa a perda de água, que deixaria de infiltrar no solo, onde as velocidades inicial e final, assim como o tempo para atingir a última, variam gradualmente, dependendo de vários fatores que afetam tais velocidades (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

Segundo LAL (1988) a força dirigente dos agentes de erosão que causam a desagregação do solo e o seu transporte, é chamada de erosividade. Parte da erosividade da chuva é devida ao impacto direto das gotas de chuva, e outra ao escoamento que a chuva gera. A capacidade da chuva de causar erosão do solo está atribuída à proporção e distribuição dos pingos d'água, segundo a carga de sua energia. Assim, a erosividade de uma chuva está atribuída à sua energia cinética ou "*momentum*", parâmetros facilmente relacionados às suas intensidade e quantidade total. O "*momentum*" pode ser definido como um produto da massa pela velocidade. Trata-se de uma medida da pressão exercida pela chuva sobre o solo (pressão ou força por unidade de área), a qual tem a natureza de um estresse mecânico que causa a desestruturação dos agregados do solo (LAL, 1988).

Conforme BERTONI e LOMBARDI NETO (1999) a erodibilidade de um solo pode ser determinada por meio das suas propriedades intrínsecas de afetar a velocidade de infiltração de água no solo, bem como da sua capacidade de absorção e permeabilidade. Já para LAL (1988) erodibilidade do solo é o efeito integrado dos processos que regulam a recepção da chuva e a sua resistência para a desagregação de partículas e o seu transporte subsequente. Tais processos são influenciados pelas propriedades do solo, bem como pela distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos. Consideram-se ainda que os parâmetros do solo que afetam a sua estrutura, hidratação e as características da circulação da água afetam a sua erodibilidade.

Para tanto, LAL (1988) ressalta que a textura do solo é um fator importante que influencia a erodibilidade, pois afeta os processos de desagregação e transporte, uma vez que, enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo a areia fina e o silte as texturas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte. Assim, solos derivados de materiais originados de transporte eólico, por exemplo, são os mais suscetíveis à erosão. A erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e o comprimento do declive do terreno e a capacidade que o solo tem de absorver água. Além disso, por forças passivas, como a resistência que o solo exerce à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Segundo CAPECHE (2005), o sol não chega a causar erosão, porém quando o solo está sem cobertura vegetal, a sua atividade biológica é afetada pelos raios solares, causando elevação da temperatura superficial e eliminando boa parte da microfauna e flora, deixando-o mais propício à erosão.

A erosão hídrica, proveniente de gotas de chuva, pode ocorrer no solo como erosão laminar, erosão em sulcos e erosão em voçorocas que são a formação de grandes buracos de erosão causados pela chuva e intempéries, em solos onde a vegetação é escassa e não mais protege o solo. As propriedades do solo que mais influenciam a erosão hídrica são aquelas que afetam a taxa de infiltração de água, associada à sua resistência ao cisalhamento (CARVALHO et al., 2001). Classificam o fenômeno da erosão hídrica a vulnerabilidade do solo ou a sua suscetibilidade à erosão, que é recíproca à sua resistência à erosão. Diferentes tipos de solos podem apresentar suscetibilidade diferenciada à erosão, mesmo para condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo. Essas diferenças são devidas às suas propriedades e são denominadas erodibilidade do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Segundo os Autores a erosão não é a mesma em todos os solos. Suas propriedades físicas, estruturais, permeabilidades, densidades e suas características químicas e biológicas exercem diferentes influências na erosão. A textura do solo e o tamanho das partículas que o compõem são um dos fatores que influenciam na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Tal textura pode ser avaliada na sua formação, podendo ser um solo arenoso que toleraria uma chuva fraca sem nada sofrer devido a sua macro porosidade e alta taxa de infiltração da água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Mas, esse mesmo solo não toleraria uma chuva intensa causando o arraste de partículas. Os maiores causadores da erosão são o desmatamento, com a derrubada e a queima das florestas, visando a atividade agropecuária e a exploração na retirada de madeira. Tais práticas deixam o solo exposto à ação das chuvas e dos ventos, que além de destruir a matéria orgânica, responsável pela agregação de suas partículas, fertilidade e vida, surge o processo erosivo (CAPECHE, 2005). A degradação dos solos tem afetado grandes áreas com vegetação natural, bem como áreas agrícolas que são intensamente exploradas pelo homem. Esta degradação pode ser um dos maiores problemas ambientais que se enfrentam atualmente (INBAR et al., 1998 apud FERNANDES et. al., 2009).

Além disso, as principais atividades responsáveis pela acelerada degradação de aspectos geomorfológicos da paisagem são as atividades humanas, como agricultura, mineração, escavações e abertura de estradas (INBAR et al., 1998 apud FERNANDES et al., 2009). A superfície do solo fragmentada e exposta à ação das chuvas, ocasionada pelo não-conservacionista que utiliza o arado e a grade para preparar a terra para o cultivo, facilita a desagregação do solo pelo impacto das gotas das águas de chuvas e o seu transporte pelas enxurradas (HUDSON, 1995; LINDSTROM et al., 1998). E como consequência, a rugosidade superficial que normalmente é alta, logo após a operação de preparo do solo é rapidamente diminuída nesse sistema, favorecendo a ocorrência de grandes perdas por erosão (BURWELL e LARSON, 1969; LINDSTROM et al., 1998). De acordo com BERTONI E LOMBARDI NETO (1999) entre as propriedades físicas do solo que exercem influência nos processos erosivos e que podem ser alteradas em virtude do tipo de manejo podemos destacar a textura, a porosidade e a densidade do solo.

A textura segundo KLAR (1984) adquire grande importância na interação entre solo-água-planta-atmosfera, interferindo na capacidade de infiltração, na evaporação, no suprimento de nutrientes, na quantidade de solo transportado pelo escoamento superficial e na perda de nutrientes. A porosidade que refere à porção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço ocupado pela massa do solo e que tem influência direta sobre o grau de compactação do solo. De acordo com GUERRA (2001) a porosidade está relacionada de maneira inversa com a densidade aparente, ou seja, à medida que a densidade aparente aumenta, a porosidade diminui, consequentemente ocorre à redução da infiltração da água no solo. O aumento da densidade aparente com a profundidade do perfil tende a aumentar, devido às pressões exercidas pelas camadas superiores que provocam a compactação do solo, reduzindo a porosidade (KIEHL, 1979). A geoquímica e a mineralogia dos solos são cruciais para estimar a capacidade de um solo para uma produtividade orgânica sustentável. De acordo com o *Worldwatch Institute*, a perda da camada superior do solo está, em termos globais, próxima de 1% por ano, ao passo que a reparação natural pode levar centenas de anos. Atualmente, existem tecnologias para o controle da erosão e da salinização, mas tais tecnologias não estão sendo usadas adequadamente; existe grande necessidade de novos mapeamentos de solos, que mostrem claramente os bons, os solos somente para florestas e aqueles que “deveríamos deixar em paz” (FYFE, 1989).

#### **2.1.7.2 Movimentos de Massa**

São movimentos coletivos de solo e/ou rocha e atuam na evolução e modelado do relevo, mudando a forma das encostas. Os movimentos de massa podem ser de diversos tipos, pois envolvem uma variedade de materiais e processos. Uma das classificações mais utilizadas internacionalmente, devido a sua simplicidade, é a proposta por VARNES (1978) apud TOMINAGA (2009) que se baseia no tipo de movimento e no tipo de material transportado.

Segundo TOMINAGA (2009), em relação às classificações brasileiras de tipos de movimentos há as de FREIRE (1965), de GUIDICINI & NIEBLE (1984) e de AUGUSTO FILHO (1992), conforme apresentada na Tabela 4.

<b>Tipos de Movimentos</b>	<b>Dinâmica / Geometria / Material</b>
<b>Rastejos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>→ Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</li> <li>→ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>→ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> <li>→ Geometria indefinida</li> </ul>
<b>Escorregamentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>→ Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>→ Pequenos a grandes volumes de material</li> <li>→ Geometria e materiais variáveis:</li> </ul> <p>Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;            Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; e            Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.</p>
<b>Quedas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Sem planos de deslocamento</li> <li>→ Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>→ Velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>→ Material rochoso</li> <li>→ Pequenos a médios volumes</li> <li>→ Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> </ul> <p>Rolamento de matacão            Tombamento</p>
<b>Corridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Muitas superfícies de deslocamento</li> <li>→ Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>→ Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>→ Velocidades médias a altas</li> <li>→ Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>→ Grandes volumes de material</li> <li>→ Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

Tabela 4. Principais tipos de movimentos de massa em encostas

Fonte: AUGUSTO FILHO (1992) apud TOMINAGA (2009), adaptada pelo Autor.

Segundo a POLÍTICA NACIONAL DE DEFESA CIVIL (2007) do Brasil, os desastres relacionados com o relevo, ora frequentes no Brasil, produzem anualmente danos ambientais, económicos e sociais e na maioria das vezes, tais desastres relacionam-se com a dinâmica das encostas e são regidos por: movimentos gravitacionais de massas e processos de transportes de massa. Os movimentos gravitacionais de massa são subdivididos nas seguintes categorias: 1) Escorregamentos ou deslizamentos; 2) Corridas de massa; 3) Rastejos; e 4) Quedas, tombamentos e/ou rolamentos de rochas e/ou matacões. Já os processos de transporte de massa são genericamente subdivididos nas seguintes categorias: 1) Erosão laminar; 2) Erosão linear, sulcos, ravinas e voçorocas; 3) Subsidência do solo; 4) Erosão marinha; 5) Erosão fluvial, desbarrancamento de rios e fenômenos de terras caídas; e 6) Soterramento por dunas.

Segundo INFANTI JR. e FORNASARI FILHO (1998), os principais tipos de movimentos de massa que ocorrem no Brasil são os escorregamentos ou deslizamentos; movimentos de blocos rochosos; e rastejos e corridas.

Os escorregamentos, também conhecidos como deslizamentos, são processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação. Estes processos estão presentes nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas húmidos. No Brasil, são mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Os movimentos de massa consistem em importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica em regiões serranas. Entretanto, o crescimento da ocupação urbana indiscriminada em áreas desfavoráveis, sem o adequado planeamento do uso do solo e sem a adoção de técnicas adequadas de estabilização, está disseminando a ocorrência de acidentes associados a estes processos, que muitas vezes atingem dimensões de desastres (TOMINAGA, 2009).

Estão sempre associados à chuva de forte intensidade que cai sobre as cidades e encontra as encostas desprovidas da cobertura vegetal e seus canais de escoamento modificados, o que agrava mais ainda os problemas dos deslizamentos. O desencadeamento de escorregamentos em uma encosta ou vertente depende de vários condicionantes naturais, porém a chuva é um dos fatores mais significativos, pois quase todos os registos estão associados a episódios de chuvas de forte intensidade ou de períodos prolongados (GONÇALVES & GUERRA, 2001).

Conforme GUIDICINI & NIEBLE (1984) apud TOMINAGA (2009), os escorregamentos ocorrem quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação decresce até atingir uma unidade, no momento do escorregamento. Ou seja, no momento em que a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade, a massa de solo movimenta-se encosta abaixo.



Normalmente, a infiltração de água no maciço de solo provoca a diminuição ou perda total do atrito entre as partículas. Quando o solo atinge o estado de saturação com perda total do atrito entre as partículas, em processo conhecido como solifluxão, passa a se mobilizar encosta abaixo, formando os movimentos de escoamento do tipo corridas. A velocidade do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e da natureza do terreno. Variam de quase zero a alguns metros por segundo. Os movimentos mais bruscos ocorrem em terrenos relativamente homogêneos, que combinam coesão com atrito interno elevado. Nestes terrenos a superfície de escorregamento é mais inclinada. Em relação à geometria e à natureza dos materiais instabilizados os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: escorregamentos rotacionais ou circulares, escorregamentos translacionais ou planares e escorregamentos em cunha.

Segundo FERNANDES & AMARAL (1996) apud TOMINAGA (2009), os escorregamentos rotacionais ou circulares caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional do maciço de solo. Tais movimentos estão associados à existência de solos espessos e homogêneos, como os decorrentes da alteração de rochas argilosas. O início do movimento muitas vezes é provocado pela execução de cortes na base destes materiais, como na implantação de uma estrada, ou para construção de edificações, bem como pela erosão fluvial no sopé da vertente. É um fenômeno frequente nas encostas do sudeste brasileiro, que mobiliza geralmente o manto de alteração. Podem ser catastróficos com o deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao longo da própria superfície da rocha.

Os escorregamentos translacionais ou planares são os mais frequentes e formam superfícies de ruptura planar associadas às heterogeneidades dos solos e rochas que representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos (TOMINAGA, 2009).

Em maciços rochosos são condicionados por estruturas geológicas planares, como a xistosidade, foliação, fraturamento e outros. Nas encostas serranas brasileiras são comuns escorregamentos planares de solo, com ruptura podendo ocorrer no contacto com a rocha subjacente (INFANTI JR. e FORNASARI FILHO, 1998 apud UNESP, 2012).

A morfologia dos escorregamentos translacionais caracteriza-se por serem rasos, com o plano de ruptura, na maioria das vezes, a 0,5 a 5,0 m de profundidade e com maiores extensões no comprimento. Ocorrem em encostas tanto de alta como de baixa declividade e podem atingir centenas ou até milhares de metros (FERNANDES & AMARAL, 1996; GUIDICINI & NIEBLE, 1984; apud TOMINAGA (2009).

Os escorregamentos em cunha têm ocorrência mais restrita às regiões que apresentam um relevo fortemente controlado por estruturas geológicas. São associados aos maciços rochosos

pouco ou muito alterados, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. Tais escorregamentos ocorrem principalmente em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (INFANTI JR. e FORNASARI FILHO, 1998 apud TOMINAGA, 2009).

A pluviometria é sem dúvida um importante fator condicionante dos escorregamentos. Na região tropical úmida brasileira, a associação dos escorregamentos à estação das chuvas, notadamente às chuvas intensas, já é de conhecimento generalizado. Durante a estação chuvosa, que em geral corresponde ao verão, as frentes frias originadas no Círculo Polar Antártico encontram as massas de ar quente tropical ao longo da costa sudeste brasileira, provocando fortes chuvas e tempestades. Estas chuvas, muitas vezes, deflagram escorregamentos que, não raro, podem se tornar catastróficos (GUIDICINI & NIEBLE, 1984 apud TOMINAGA, 2009).

TAVARES et al. (2004) apud TOMINAGA (2009) analisaram o comportamento pluvial no Sudeste Brasileiro durante as ocorrências de movimentos de massa entre 1991 e 2000 e consideraram que os totais acumulados de chuva associavam diretamente às instabilizações do solo. Concluíram que a maior parte das ocorrências de movimentos de massa, em torno de 70%, foi registrada com chuva acumulada igual ou superior a 120 mm por um período de 72 horas. Verificaram também que os meses que normalmente correspondem ao período mais chuvoso do ano na Região Sudeste, registraram também o maior número de ocorrências de movimentos de massa.

Ações antrópicas são vistas por diversos Autores como importantes agentes modificadores da dinâmica natural do relevo e, conseqüentemente, da estabilidade das vertentes. A ocupação desordenada das vertentes nas regiões serranas brasileiras tem provocado diversos desastres naturais. Conforme FERNANDES & AMARAL (1996) apud TOMINAGA (2009), as metrópoles brasileiras convivem com acentuada incidência de escorregamentos induzidos por cortes para implantação de moradias e vias de acesso, desmatamentos, atividades de mineração, lançamento de águas servidas e de lixo, causando expressivos danos. NUNES et al. (1990) e NAKAZAWA & CERRI (1990) apud TOMINAGA (2009) verificaram que mais de 90% dos escorregamentos foram induzidos pela ocupação desordenada das encostas do Município de Petrópolis (Região Serrana do Rio de Janeiro) em 1988, o que resultou em 171 mortes.

Dentre os desastres naturais ocorridos no Brasil, os escorregamentos têm sido responsáveis por maior número de vítimas fatais e por importantes prejuízos materiais, com destaque para aqueles ocorridos no ano de 1967 na Serra das Araras (Estado do Rio de Janeiro) e em Caraguatatuba (Estado de São Paulo), resultando na morte de 1.320 pessoas e na destruição de centenas de edificações (AUGUSTO FILHO, 1994 apud TOMINAGA (2009).

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2009), 3.287 pessoas morreram no Brasil por escorregamentos, entre os anos de 1988 e 2012 (Figura 5).

Nota-se nesta figura que o número de mortes saltou de 239 no ano de 2010 para 975 no ano de 2011. É importante lembrar que das 975 mortes ocorridas em 2011 por escorregamentos de terra no Brasil, 918 (94%) delas aconteceram na Região Serrana do Rio de Janeiro. Somente em Nova Friburgo, um dos Municípios que também faz parte da Região Serrana do Rio Janeiro, foram registradas 429 mortes, o que representa 47% do total de óbitos da Região.

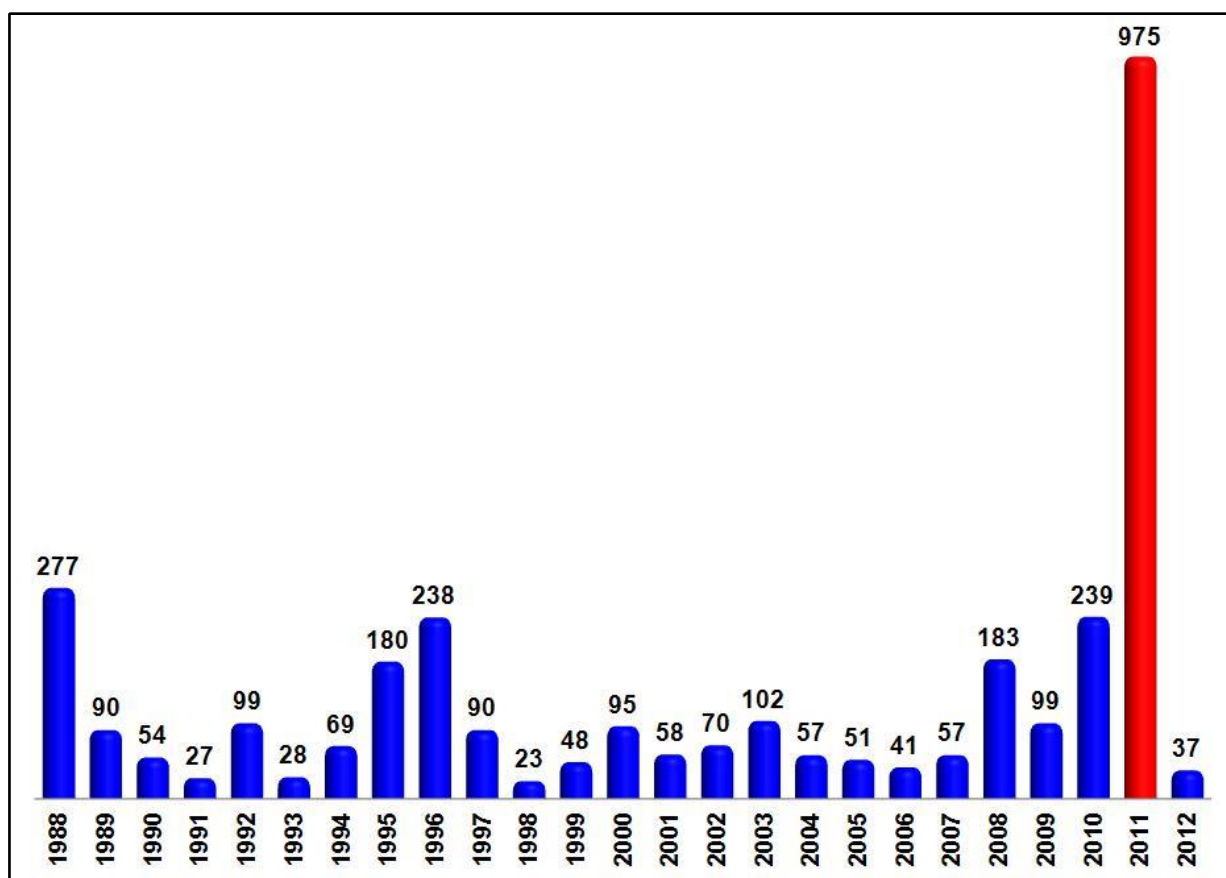


Figura 5. Distribuição anual do número de mortes por escorregamentos no Brasil

Fonte: IPT (2009), adaptada pelo Autor.

## 2.2 A Urbanização

Dados do Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) comprovam que a população urbana atingiu 84,4% da população total brasileira e as estimativas para as próximas décadas são crescentes (IBGE, 2011a).

O processo de urbanização em escala planetária atingiu, no final do século XX e nesse início de século XXI, índices consideravelmente elevados, constatando-se que atualmente a população do planeta é majoritariamente urbana. Entre 1940 e 1980, observa-se uma verdadeira inversão quanto ao lugar de residência da população brasileira, com um aumento considerável do índice de urbanização, que apresentava um percentual de 26% na década de 1940 e chegou aos 68% por volta de 1980 (SANTOS, 1993).

A ação antrópica, como um agente potencializador de desastres, em escala local, geralmente é maior nas áreas urbanas. O acelerado crescimento das cidades, verificado no Brasil a partir da década de 1950, deflagrou um processo de ocupação desordenada do solo e acentuou a segregação sócio espacial nas áreas urbanas. Este processo teve como consequências vários problemas, entre os quais, os de habitações em áreas sujeitas a ocorrência de processos de dinâmica superficial (RECKZIEGEL, 2007).

A configuração espacial do meio urbano é uma manifestação de processos sociais que estão associados ao modo de produção dominante e às transformações que o modelaram ao longo do tempo. O uso diferenciado da cidade demonstra que o espaço urbano se constrói e se reproduz de forma desigual e contraditória, sendo que a desigualdade espacial é produto da desigualdade social, que, no modo de produção atualmente dominante, tende a acentuar-se. De forma geral, as áreas desvalorizadas do espaço urbano são ambientalmente frágeis à ocupação e suscetíveis ao desenvolvimento de processos de dinâmica superficial causadores de risco. Estas áreas são comumente ocupadas pela parcela da população de menor poder aquisitivo que, desfavorecidas pelo processo de reprodução do capital, são obrigadas a se estabelecer em áreas desprovidas de condições básicas de infraestrutura e saneamento (RECKZIEGEL, 2007).

Com essa mesma visão, PELOGGIA (1998) apud RECKZIEGEL(2007) salienta que “ocupações inadequadas não ocorrem por falta de informação, mas por obrigatoriedade diante de um quadro de miséria e impossibilidade de acesso a terra”. Desta forma, as áreas de risco surgem como uma interação do meio natural com o meio social. O meio natural impõe obstáculos para a ocupação de certas áreas, mas é o meio social, ao ocupar as áreas naturalmente suscetíveis, que acaba desencadeando o surgimento do risco e potencializando a ocorrência de algum desastre.

Atualmente, as discussões acerca da deterioração do meio ambiente enfocam as grandes cidades do país, onde o efeito da urbanização sobre os ecossistemas tem provocado uma intensa degradação dos recursos naturais. Porém, pode-se verificar que mesmo os Município de pequeno e médio porte apresentam uma situação crítica no que diz respeito a falta de planejamento municipal (SOARES et al., 2006).

Se o processo de urbanização no mundo é crescente, conseqüentemente aumenta a preocupação com os impactos dos desastres naturais sobre a sociedade, principalmente em relação

às populações instaladas em áreas consideradas vulneráveis, como às margens de rios e sob as encostas de morros inclinados. Segundo TUCCI (1995) as enchentes em áreas urbanas são as responsáveis pelos grandes desastres, bem como a consequência de dois processos que ocorrem isoladamente ou de forma integrada: as enchentes em áreas ribeirinhas, que são naturais, e as enchentes incrementadas ou provocadas pela urbanização.

No Brasil, mesmo com a Lei nº 6.766 de 19/12/1979 (BRASIL, 1979), que proíbe em seu artigo 3º o loteamento de áreas de risco para fins urbanos, o próprio poder público que disponibiliza serviços públicos e infraestruturas nessas áreas, contribui para o aumento da ocupação irregular, protagonizando impactos ambientais, económicos e sociais. Para que o crescimento urbano dos Municípios brasileiros ocorresse de forma ordenada, sem impactos ao meio ambiente, foram criados alguns instrumentos, como o Plano Diretor, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e as Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

O processo de transformação do país tem início com o fortalecimento dos Municípios. É neste contexto que o plano diretor ganha importância, concebido como instrumento que norteará a política de desenvolvimento de um Município.

O Brasil passou por profundas transformações durante o século XX, principalmente no que diz respeito ao processo de formação e desenvolvimento de suas cidades, marcado pela intensa migração da população da zona rural para a zona urbana, principalmente para os grandes e médios centros. Segundo dados do IBGE, em 1940 apenas 23,6% da população vivia nas cidades, enquanto que no ano 2000 este percentual atingiu 81,2%, mas infelizmente este importante processo não foi acompanhado pelas políticas públicas no País, a ponto de acomodar o novo contingente de pessoas que vinham morar nas cidades, o que causou grandes impactos ambientais, económicos e sociais. Assim, favelas começaram a surgir, bem como a miséria e outras formas de exclusão social. Ao longo do tempo, as lutas e reivindicações de diferentes setores da sociedade resultaram na formulação de novos conceitos de desenvolvimento e da necessidade de planejar o crescimento das cidades como forma de garantir o fortalecimento económico, a valorização das potencialidades locais, a cooperação social, a conservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida.

Diante disso, a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, 1988), em seu Capítulo II, da Política Urbana, artigo 182, estabeleceu que “A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objectivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes”. Assim, a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, foi publicada no Diário Oficial da União em 11 de julho de 2001, regulamentando o artigo 182 da Constituição Federal, estabelecendo diretrizes gerais da política urbana e outras providências (BRASIL, 2001).

O Estatuto criou uma série de instrumentos para que o administrador municipal possa buscar o desenvolvimento urbano, sendo que o principal deles é o PLANO DIRETOR. O Estatuto passou aos Municípios o direito da implementação de seus planos diretores participativos, definindo seus instrumentos urbanísticos que têm no combate à especulação imobiliária, bem como na regularização fundiária dos imóveis urbanos. Além de definir uma nova regulamentação para o uso do solo urbano, o Estatuto prevê a cobrança de Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) progressivo até 15% para terrenos ociosos, a simplificação da legislação de parcelamento, uso e ocupação do solo, objetivando o aumento da oferta de lotes e a proteção e recuperação do meio ambiente localizado na zona urbano.

Além disso, o Estatuto da Cidade poderá trazer benefícios ambientais aos grandes centros urbanos, pois estimula a instalação da população de baixa renda em áreas dotadas de infraestrutura, evitando a ocupação de áreas frágeis, como mangues, encostas de morros e zonas passíveis de inundações. Estimula também as prefeituras a adotar a sustentabilidade ambiental como diretriz para o planejamento urbano e prevê normas como a obrigatoriedade de estudos de impacto urbanístico para grandes obras.

Outro aspecto importante do Estatuto da Cidade são os instrumentos disponibilizados aos Municípios para implementar a política urbana, classificados em: urbanísticos, jurídicos de regularização fundiária e de democratização da gestão urbana (BRASIL, 2001). São eles:

- a) Instrumentos urbanísticos: Parcelamento, edificação ou utilização compulsórios, IPTU progressivo no tempo, desapropriação com pagamentos em títulos; Outorga onerosa do direito de construir; Transferência do direito de construir; Operações urbanas consorciadas; Direito de preempção; Direito de superfície; e Consórcio imobiliário.
- b) Instrumentos jurídicos de regularização fundiária: Zonas especiais de interesse social; Usucapião especial de imóvel urbano; Concessão de uso especial para fins de moradia; e Concessão de direito real de uso.
- c) Instrumentos de democratização da gestão Urbana: Estudo de impacto de vizinhança; Conselhos (sistemas de gestão democrática da política urbana); Audiências e consultas públicas; Conferências sobre assuntos de interesse urbano; e Iniciativa popular de leis.

Podemos notar que o “Estatuto da Cidade” é extremamente importante para o desenvolvimento urbano do Brasil e pode ser visto como uma grande caixa de ferramentas que deve ser utilizada amplamente por todos os Municípios brasileiros, através do PLANO DIRETOR.

Ao longo dos anos 90, várias foram as prefeituras que iniciaram o processo da política de desenvolvimento urbano e de elaboração do plano diretor, valendo-se dos preceitos constitucionais

de 1988 e com o resgate do planeamento urbano em novas bases. Dentre as experiências, aponta-se a do Município de Santos, onde o poder público municipal propôs e buscou implementar instrumentos reguladores da produção do espaço urbano na perspectiva da ampliação do direito à cidade, dentro de um processo democrático de discussão e participação sociais (CARVALHO, 1999).

A implementação do plano diretor deverá conter os instrumentos legais de: apropriação do solo, referente às ocupações de terra, usucapião, desapropriação de áreas que garantam a apropriação do solo para moradia de classes de renda mais baixa; parcelamento do solo, referente à integração na malha urbana, previsão de diretrizes viárias, reserva de áreas para uso público e garantia de preservação e do meio ambiente da identidade cultural e histórica da cidade; e zoneamento, referente às normas e padrões de ocupação e utilização do solo urbano, em conformidade com atividades desenvolvidas, e previstas, controlando usos nocivos ou efeitos prejudiciais ao bem-estar da população (LAMPARELLI e ZAN, 1989).

O plano diretor é o processo de criação e desenvolvimento de programas que buscam melhorar ou revitalizar certos aspectos (como qualidade de vida da população) dentro de uma determinada área urbana (cidades ou vilas), bem como do planeamento de uma nova área urbana, com o objectivo de promover à população desta área urbana a melhor qualidade de vida possível.

SABOYA (2007) diz que o plano diretor é um documento que sintetiza e torna explícitos os objectivos consensuados para o Município e estabelece princípios, diretrizes e normas a serem utilizadas como base para que as decisões dos atores envolvidos no processo de desenvolvimento urbano convirjam, tanto quanto possível, na direção desses objectivos.

### **2.2.1 Áreas de Preservação Permanente - APPs**

No Brasil, com a crescente demanda e aumento do uso do solo, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) tornaram-se muito utilizadas, para a proteção contra os assentamentos humanos ou para usos produtivos na agropecuária, em detrimento da vegetação e do cumprimento das funções das APPs e da legislação, gerando conflitos entre a preservação destas áreas e o uso a que estão sendo destinadas. As APPs são áreas protegidas por lei, descritas no Código Florestal Brasileiro - Lei nº 12.651, de 25/05/2012. Foram criadas para proteger o ambiente natural de uma determinada área, onde sua vegetação deve ser mantida intacta, garantindo a preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade, bem como o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Como exemplo de APPs temos as encostas com mais de 45 graus de declividade, as áreas de mananciais, as matas, os manguezais, etc. O regime de proteção das APPs é rigoroso e o desmatamento da sua vegetação só é admitido nos casos de utilidade pública ou de interesse social legalmente previstos em lei (BRASIL, 2012).

### **2.2.2 Áreas de Proteção Ambiental - APAs**

No Brasil, uma Área de Proteção Ambiental (APA) é uma área geralmente extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos e culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objectivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação humana e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

Uma APA pode ser estabelecida em área de domínio público ou privado, pela União, Estados ou Municípios, não sendo necessária a desapropriação das terras, porém as atividades desenvolvidas no local, bem como a usabilidade dos seus recursos naturais, estão sujeitos à disciplina e fiscalização específica.

Conforme o artigo 15 da Lei nº 9.985, de 18/07/2000, as APAs são áreas geralmente extensas, com um certo grau de ocupação humana, dotadas de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objectivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

Uma APA só poderá ter uso sustentável, ou seja, sua ocupação, exploração e acesso devem ser rigorosamente controlados para não impactar negativamente o seu ecossistema local.

### **2.3 O Solo**

Geralmente o ser humano não tem em conta que o meio ambiente é o resultado do funcionamento integrado de diversos componentes. Assim, a intervenção humana sobre qualquer um desses componentes afetará o meio ambiente como um todo. Um desses componentes é o solo, elemento essencial do meio ambiente, cuja importância é normalmente desconsiderada e pouco valorizada (BRIDGES & VAN BAREN, 1997). O solo é um componente complexo, vivo, dinâmico e em transformação que está sujeito a alterações e pode ser degradado ou manejado sabiamente (GLIESSMAN, 2005) nos diversos agroecossistemas. Sabe-se que o solo precisa ser conservado em suas boas condições físicas e químicas, isto é, aumento em seu teor de matéria orgânica, boa porosidade para maior oxigenação e infiltração da água, evitar que haja erosão e ressecamento do solo (GUEDES, 1992).

O solo não é compreendido à luz das interações ecológicas, como deveria (BRIDGES & CATIZZONE, 1996), e menos ainda como um produto dinâmico das interações entre os grandes sistemas terrestres (PIPKIN & TRENT, 1997), refletindo, assim, as modificações que afetam o equilíbrio natural do planeta. Assim, o solo não é reconhecido pelo papel que desempenha na vida humana e na conservação da biodiversidade (APARIN & SUHACHEVA, 2002). De uma forma geral



as pessoas têm uma atitude de pouca consciência e sensibilidade em relação ao solo, o que contribui para a sua degradação, seja pelo seu mau uso, seja pela sua ocupação desordenada. A problemática em torno da conservação do solo tem sido, na maioria dos casos, negligenciada pelas pessoas. A consequência dessa negligência é o crescimento contínuo dos problemas ambientais ligados à degradação do solo, como a erosão, poluição, deslizamentos, assoreamento de cursos de água e outros.

Existem múltiplas formas para promover a educação para o meio ambiente a partir de uma abordagem pedológica. No âmbito formal e informal, a abordagem pedológica é uma maneira de promover a conscientização ambiental das pessoas, de forma que elas tenham um conjunto de valores que as instrumentalize para perceber, analisar e avaliar os impactos das acções públicas e privadas, assim como o impacto de suas próprias acções sobre o solo e, portanto, sobre o meio ambiente (VAN BAREN et al., 1998). Os conteúdos pedológicos são extremamente adequados a isso, pois o solo é um componente do ambiente natural e humano, presente no cotidiano das pessoas, que é familiar a todos. Tais conteúdos possibilitam, inclusive, que as questões ambientais globais sejam trabalhadas de forma mais concreta, ao lidar com aspectos locais e familiares. A abordagem pedológica, como instrumento de trabalho da Educação Ambiental, é recente, e ainda pouco utilizada. Iniciativas neste sentido surgiram na década de 90 do século XX em alguns países europeus, na Rússia, na Austrália, na Índia e no Brasil (ABBOT et al., 2002; BADRINATH et al., 2002). Em 1996, estabeleceu-se na França a "Campanha do Solo"; no âmbito da Aliança para um Mundo Plural, Responsável e Unificado (RABAH et al., 2002).

Segundo a Sociedade Internacional de Ciência do Solo (*International Union of Soil Sciences*) (IUSS, 2003), a "CAMPANHA DO SOLO" considera que o uso sustentável do solo e a sua conservação requerem uma profunda e consistente mudança na atitude das pessoas em relação a esse recurso. Para atingir tal mudança, há pelo menos três condições necessárias e inseparáveis: (a) reabilitação do solo na cultura popular com base na educação convencional e popular; (b) legislação a partir da consideração de que o solo é um recurso natural essencial para a vida, de renovação muito lenta, cuja necessidade de preservação é inquestionável; (c) inclusão do solo ao patrimônio natural e cultural da humanidade, cuja preservação exige a solidariedade humana. Essa campanha identifica e articula iniciativas de educação e sensibilização em relação ao solo, em todo o mundo, dando origem ao movimento internacional que se institucionalizou com o estabelecimento de uma comissão intitulada "*Soil Education and Public Awareness*", no ano de 1998, no seio da IUSS.

A missão dessa Comissão é contribuir na construção do elo, atualmente inexistente ou muito tênue, entre a Ciência do Solo e a Sociedade, por meio do desenvolvimento, em cada cidadão, da consciência da importância do solo para a vida (IUSS, 2003). Dentre os objectivos dessa Comissão, destacam-se a manutenção e ampliação do ensino da Ciência do Solo e a conscientização sobre a responsabilidade inequívoca da humanidade em relação ao recurso "SOLO".

### **2.3.1 Funções dos Solos**

É habitual atribuir 6 funções aos solos, sendo 3 de natureza ecológica (1 a 3), 2 de natureza técnico-industrial (4 e 5) e 1 de natureza sócio-cultural (6), (BLUM, 1998; HILLEL, 1998), (SAMPAIO, 1999). Os de natureza ecológica (de 1 a 3) são essenciais para o meio ambiente e para a sociedade, enquanto que os de natureza socioeconómica (de 4 a 6) são de importância específica para as sociedades humanas. As funções de natureza ecológica são: 1) Meio de suporte para a produção de biomassa; 2) Regulador ambiental; e 3) Reserva de biodiversidade. Já as funções de natureza socioeconómica são: 4) Suporte de infraestruturas; 5) Fonte de matérias-primas (cascalho); e 6) Suporte de património natural e cultural. Segundo SAMPAIO (1999), pode-se concluir que o solo é um recurso multifuncional, exceto para usos que implicam a sua remoção ou impermeabilização. Na defesa do meio ambiente o solo é, muitas vezes, um recurso esquecido, porém é essencial para o suporte de todos os ecossistemas terrestres. Já que 99% da produção de alimentos e de biomassa depende do solo (FAO, 2004), torna-se evidente que este é, também, um recurso vital para a humanidade, praticamente tanto como o ar e a água.

### **2.3.2 Solos Urbanos**

O termo “solos urbanos” refere-se a solos que estão localizados no meio urbano e são referenciados com frequência no meio académico internacionais (CRAUL, 1992; CRAUL, 1999; DE KIMPE & MOREL, 2000; GE et al., 2000; JIM, 1998; LU et al., 2003; MADRID et al., 2002; MANTA et al., 2002; STROGANOVA & AGARKOVA, 1993; USDA, 2000a).

A Sociedade Internacional de Ciência do Solo (IUSS) também tem empregado este termo com frequência com especial atenção nos últimos três últimos congressos mundiais de ciência do solo, ocorridos em Montpellier na França em 1998, em Bancoc na Tailândia em 2002 e na Filadélfia nos Estados Unidos em 2006, quando houveram simpósios específicos para discutir a natureza, manejo e riscos a saúde humana dos solos urbanos. Assim, o termo “solos urbanos” tem a função de ressaltar o uso do solo e apontar para um conjunto de possíveis modificações nas suas propriedades, ora típicas do meio urbano.

Segundo BLUME (1989) mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas (em cidades), fato jamais ocorrido na história da humanidade. Para tanto, é extremamente necessário estudar os solos urbanos, pois estão relacionados e vulneráveis a todos os tipos de uso, seja para uma construção civil, para a instalação de uma indústria, na construção de rodovias, etc. É relevante salientar que “solos urbanos” e “solos antrópicos” não são equivalentes, pois solos antrópicos é um termo que contempla aqueles solos que significativamente são modificados pelo uso intenso e continuado do homem através da exploração agrícola, mineral, urbana, etc. Quase que a totalidade dos sistemas de classificação de solos no mundo são morfogenéticos, ou seja, utilizam critérios morfológicos relacionados aos processos de formação dos solos para definir as classes dos

mesmos e muitos deles são contemplados com o termo solos antrópicos, como no sistema da FAO, francês (SPAARGAREN, 2000), WRB (ISSSWG RB, 1998) e o australiano (ISELL, 1996).

Solos urbanos têm sido mundialmente discutidos como sendo “uma subdivisão dos solos antrópicos”, como já ocorrem em alguns sistemas de classificação, como o sistema russo (POPKOV & DEMENT'EVA, 2002) e o sistema da FAO (FAO, 1994). Há uma grande dificuldade na definição de critérios para classificação dos solos urbanos, já que a atividade humana é bastante complexa, podendo esta ser detectada pela alta concentração de metais pesados (ALEXANDROVSKAYA & ALEXANDROVSKIY, 2000; HILLER, 2000; MADRID et al., 2002; MANTA et al., 2002; NAVAS & JAVIER, 2002), de metano (BLUME, 1989), de deposição de rejeitos da construção e da indústria (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993; ALEXANDROVSKAYA & ALEXANDROVSKIY, 2000), bem como na alteração do regime hídrico e térmico do solo (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993). Assim, diante de tantas variedades de efeitos, dificulta o estabelecimento de uma metodologia para levantamentos de solos em meio urbano.

Diversas são as funções desempenhadas pelos solos no meio urbano, como no suporte e fonte de material para obras civis, no sustento das agriculturas urbanas, suburbanas e de áreas verdes, no meio para descarte de resíduos e armazenamento e filtragem de águas pluviais. Para que o solo desempenhe cada uma destas funções, certas propriedades pedológicas devem ser funcionais e em consonância com outras propriedades externas ao solo. Como por exemplo, a propriedade do solo “porosidade” determina a taxa e o volume total de água que o solo pode reter durante uma chuva, o que retarda e diminui o pico de vazão dos cursos de água. O processo de urbanização pode compactar o solo, o que diminui a porosidade e a infiltração de água e aumenta o escoamento superficial, de modo que um volume maior de precipitação escorre mais rapidamente para os cursos de água, aumentando o pico de vazão e o potencial de enchentes. Para tanto, o processo de urbanização sem o devido planejamento em relação ao solo, acentua as alterações morfológicas, proporciona a erosão, a compactação, a poluição por substâncias tóxicas, a vetorização de doenças e o deslizamento de encostas. É claro, que com isso, haverá proporcionalmente perdas materiais e humanas, a redução na qualidade de vida e o custo de recuperação do solo por conta destes eventos (D'COSTA et al., 2002).

Cada vez mais se torna um consenso que os levantamentos de solos devem também abranger as áreas urbanas (D'COSTA et al., 2002). No processo de urbanização planejado, a aptidão de uso dos solos deve ser considerada, observando suas potencialidades e respeitando suas limitações e fragilidades.

O conhecimento do solo é fundamental, por exemplo, para determinar as condições para o desenvolvimento de plantas, situação do lençol freático, inertização de substâncias tóxicas (SCHLEUß et al., 1998) e capacidade de suporte de obras civis (OLIVEIRA, 2002). Os

levantamentos de solos nas áreas urbanas e em seu entorno devem então ser vistos como uma importante ferramenta na tomada de decisões para a expansão urbana ou recuperação de espaços urbanos degradados (KELLER, 1996). Em relação às áreas verdes, são nas áreas adjacentes às construções civis que se concentram os maiores problemas relacionados ao solo destinado a tais áreas, acarretando limitações ao desenvolvimento da arborização urbana (HARRIS et al., 1999). De uma forma geral, as condições de solo favoráveis às atividades de engenharia se contrapõem àquelas adequadas ao crescimento das plantas e como consequência a maioria das árvores encontradas nos centros urbanos apresenta tempo de vida muito menor que o potencial biológico de sua espécie, reduzindo a qualidade ambiental e aumentando os custos da arborização (JIM, 1998).

Tal fato é uma consequência, principalmente da intensa modificação ocorrida na maioria dos solos do meio urbano, tornando-os inadequados a este fim (BRADSHAW et al., 1995; JIM, 1998). Assim, os solos de áreas destinadas à arborização e ajardinamento devem permanecer o mais natural possível, evitando cortes, aterros ou compactação excessiva, além de receber o mesmo tratamento agronômico prescrito para áreas não urbanas (rurais).

Segundo ROBAINA et al. (2001) é importante ressaltar que o crescimento urbano acelerado tem provocado um excesso de superfícies impermeabilizadas, que reduzem a infiltração de águas das chuvas, aumentando os riscos de erosão, compactação e deslizamentos de solos, bem como alagamentos de córregos e ruas. A falta de planejamento urbano e o cumprimento da legislação vigente favorecem a excessiva impermeabilização da superfície urbana pelo revestimento de terrenos e pela compactação dos solos. Assim, um sistema hídrico de captação pluvial eficiente deve considerar informações sobre os diferentes tipos de solos que ocorrem numa microbacia urbana, para que a drenagem adequada seja efetuada sem danos ambientais.

### **2.3.2.1 Impactos aos Solos Urbanos**

As mudanças ocorridas no solo, ora provocadas pela urbanização, ainda não assumiram, na sua maioria, caráter pedogenético, devido à rapidez com que ocorrem em relação à escala temporal destes processos. O importante é que o conhecimento e a experiência acumulados no uso agrícola e florestal do solo possam ser aproveitados ao máximo para compreender o comportamento do solo urbano quando usado. Assim, pelo menos algumas das modificações pelo uso urbano, como cortes, aterros e drenagens artificiais são, em essência, semelhantes àquelas realizadas em algumas situações no meio rural (BLUME, 1989 apud PEDRON et al., 2004).

A influência antrópica nos solos encontrados no meio urbano pode provocar diversas alterações morfológicas (SCHLEUß et al., 1998 apud PEDRON et al., 2004). Em muitos casos, o horizonte superficial não é encontrado, tendo este já sido removido em áreas de corte, ou no caso de áreas de aterro, pode ocorrer sobreposição de camadas superficiais. É muito frequente a ocorrência de camadas distintas e artificiais resultante da introdução de diferentes materiais, com diferentes

texturas, devido à tentativa de reconstituição do solo removido, ou descarte de restos de construções sobre o terreno (JIM, 1998 apud PEDRON, 2004). As camadas também não apresentam transição plana ou ondulada, mas sim, transição irregular ou descontínua, justamente devido à adição de materiais exógenos, que nem sempre é homogênea em toda a área (DE KIMPE et al., 2000 apud PEDRON et al., 2004). Esta heterogeneidade morfológica do solo é importante, pois interfere no regime hídrico e térmico do solo, na sua capacidade de sustentação de plantas e na sua resistência à erosão e aos deslizamentos (PEDRON et al., 2004). Os solos urbanos são frequentemente impactados pela erosão, poluição e compactação dos solos (CRAUL, 1999).

A erosão dos solos urbanos é um dos principais problemas ambientais que afetam as cidades. Ela assume formas assustadoras, destruindo a infraestrutura (ruas, guias, sarjetas, redes de água e esgoto, etc.), causando assoreamento nos reservatórios e leito dos rios, e agravando mais as enchentes. A ocupação intensa dos terrenos próximos às erosões multiplica os riscos de acidentes. Além disso, geralmente as grandes erosões (denominadas voçorocas) tornam-se áreas de despejo de lixo, transformando em focos de doenças (CRAUL, 1999).

A erosão ocorre quando o solo permanece desnudo e exposto à acção abrasiva dos ventos e da água (CRAUL, 1999). Obras como cortes e aterros podem tornar estes locais mais suscetíveis à erosão. A retirada da mata ciliar, depósitos irregulares de lixo e alta impermeabilização da bacia urbana (ROBAINA et al., 2001) aumentam o transporte e sedimentação das partículas de solos (KELLER, 1996; USDA, 2000b) afetando a frequência e intensidade das inundações em cursos d'água.

O controle da erosão em solos urbanos pode ser realizado com trabalhos em épocas não chuvosas, redução do tempo de início e fim das obras de corte e aterro, cobertura do solo e controle do fluxo de água dentro do terreno (CRAUL, 1999). É inevitável que o solo fique exposto durante os trabalhos de construção, porém é essencial que a área exposta seja minimizada, bem como o seu tempo de exposição (USDA, 2000b). As principais causas da erosão em solos urbanos são os desmatamentos e as retiradas da cobertura verde; a falta de implementação de políticas públicas; as práticas inadequadas e deficientes no parcelamento do solo; a construção de moradias em encostas e em solos inadequados; a impermeabilização do solo; a drenagem inadequada dos loteamentos; e a falta de manutenção das obras de infraestrutura urbana, etc.

Segundo BRASIL (1981), o termo poluição é definido como toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas que possa constituir prejuízo à saúde, à segurança e ao bem estar das populações e, ainda, possa comprometer a biota e a utilização dos recursos para fins comerciais, industriais e recreativos. Assim, a poluição do solo significa a presença de níveis de algum elemento ou substância que pode afetar componentes bióticos do ecossistema, comprometendo a sua funcionalidade e sustentabilidade.

Diferentemente dos solos agrícolas, os solos urbanos, particularmente em parques públicos e jardins residenciais, possuem influência na saúde humana pelo contacto direto e frequente com homem (MADRID et al., 2002 e MANTA et al., 2002 apud PEDRON et al., 2004).

Solos utilizados previamente em parques industriais podem conter grandes quantidades de poluentes minerais e orgânicos (DE KIMPE & MOREL, 2000 e MADRID et al., 2002 apud PEDRON et al., 2004). A poluição dos solos por metais pesados e substâncias tóxicas orgânicas e inorgânicas tem sido relatada em muitos contextos diferentes, sendo essencial a sua detecção para evitar problemas relacionados à saúde e às degradações ambientais (BERNARD, 1997 e ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000 apud PEDRON et al., 2004).

Os poluentes orgânicos são de difícil identificação e seu efeito na saúde humana é pouco conhecido. Entre estas substâncias, destacam-se as derivadas de petróleo, encontradas em níveis geralmente altos no meio urbano (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000 apud PEDRON et al., 2004). Já os poluentes inorgânicos mais frequentes nos solos urbanos são os metais pesados, como o cobre, o chumbo, o zinco (MADRID et al., 2002 apud PEDRON et al., 2004), o cádmio e o níquel (GE et al., 2000 apud PEDRON et al., 2004).

Tais elementos podem entrar na cadeia trófica, afetando plantas, animais, homens e poluindo os mananciais hídricos (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000 apud PEDRON et al., 2004). Nas plantas, o excesso de metais pode provocar mudanças fisiológicas, redução do vigor ou até mesmo inibição do desenvolvimento vegetal (SIMÃO & SIQUEIRA, 2001 apud PEDRON et al., 2004) dependendo da sua concentração e especiação química (GE et al., 2000; LU et al., 2003 apud PEDRON et al., 2004). A presença de altos teores de chumbo e mercúrio pode provocar sérios problemas no sistema nervoso central de fetos e crianças, assim como o cádmio pode provocar problemas renais (BERNARD, 1997 apud PEDRON et al., 2004).

Os metais pesados podem ser introduzidos no solo pela deposição atmosférica, como o chumbo eliminado pela combustão dos veículos (JIM, 1998; SHINN et al., 2000; LU et al., 2003 apud PEDRON et al., 2004), pela utilização de lodos de estação de tratamento de esgoto urbano e industrial e também, pela deposição de rejeitos industriais, extração e processamento de minérios (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000 apud PEDRON et al., 2004). Outra rota de poluição bastante comum é através da utilização de compostos orgânicos resultantes da reciclagem de lixo urbano, os quais podem conter grande quantidade de metais pesados (ANJOS et al., 2002 apud PEDRON et al., 2004).

Além disso, é grande o número de organismos que utilizam o solo como vetor na transmissão de doenças, como a ancilostomíase, ascaridíase, amebíase, cólera, diarreia infecciosa, disenteria bacilar, esquistossomose, estrongiloidíase, febre tifóide, febre paratífóide, salmonelose, teníase e cisticercose. O solo serve como suporte na manutenção do ciclo de vida de vários agentes

causadores e transmissores de doenças como insetos, bactérias, protozoários, platelmintos, fungos e outros organismos. O contágio humano pode ocorrer pelo contacto direto ou indireto com o patógeno encontrado em solos contaminados. A presença de dejetos de animais, esgotos, lixos e resíduos industriais orgânicos e inorgânicos no solo promove a contaminação direta, enquanto o contacto indireto com o patógeno ocorre através do consumo de alimentos mal higienizados produzidos em solos contaminados (FUNASA, 1992 apud PEDRON et al., 2004).

A compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado, promovendo o aumento da sua densidade e a redução do seu volume, resultante da expulsão do ar dos poros do solo (DIAS JUNIOR, 2000). A compactação do solo pode ser acentuada se o mesmo for comprimido com teor de umidade alta (BAVER et al., 1972; REINERT, 1990).

A compactação possui efeitos diretos sobre propriedades físicas do solo. A resistência mecânica do solo aumenta com a compactação (SOANE & VAN OUWERKERK, 1994; DIAS JUNIOR, 2000), enquanto que a porosidade total decresce, principalmente a macroporosidade (HILLEL, 1998; DIAS JUNIOR, 2000).

A compactação dos solos é desejada em obras de engenharia, como estradas e barragens, porém, é muito prejudicial em locais a serem arborizados como parques, praças e quintais domésticos. De acordo com SCHUELER (2000), os solos não compactados, em sua condição natural, possuem valores de densidade volumétrica que variam em média de 1,1 a 1,4g cm<sup>-3</sup>, enquanto que os solos urbanos geralmente apresentam valores entre 1,5 a 1,9g cm<sup>-3</sup>, podendo chegar até 2,0g cm<sup>-3</sup>.

Nas áreas urbanas a compactação dos solos ocorre em duas fases. A primeira, quando toda a área é compactada com a finalidade de facilitar o tráfego de equipamentos, da descarga de materiais, da pavimentação do terreno e as condições para construção das fundações do prédio. A segunda, quando a obra encontra-se finalizada, pelo tráfego sem controlo de veículos e pedestres sobre as áreas verdes (USDA, 2000a).

A compactação dificulta a implantação e manutenção de jardins devido à restrição ao desenvolvimento radicular e redução na absorção de água e nutrientes pelas plantas, e aumenta o escoamento superficial devido à menor taxa de infiltração de água no solo, aumentando o processo erosivo (SCHUELER, 2000).

### **2.3.3 Humidade do Solo**

Conforme ENTIN et al. (2000) a humidade no solo constitui-se numa das variáveis mais importantes nos processos de troca entre o solo e a atmosfera, bem como para estudos de infiltração, de drenagem, de condutividade hidráulica e de irrigação, entre outros. Trata-se de uma

variável indispensável para o entendimento de muitos processos hidrológicos que estão envolvidos em uma grande variedade de processos naturais (geomorfológicos, climáticos, ecológicos, etc.) que atuam em diferentes escalas espacial e temporal. Em relação ao ciclo hidrológico a água chega ao solo por meio da precipitação de chuvas, infiltra, preenche a capacidade de armazenamento no solo, é conduzida pelo solo para camadas mais profundas e alimenta os lençóis freáticos e aquíferos ou percorre um caminho, através da matriz do solo, até atingir os canais. Logo, a parte que não penetra no solo, escoia alimentando diretamente lagos e rios. A parte da água que é armazenada no solo fica disponível para as plantas, absorvida e transpirada simultaneamente, além de evaporar diretamente do solo para a atmosfera.

Segundo LEPSCH (2010) três tipos de estados de humidade do solo podem ser considerados: solo molhado, solo húmido e solo seco. No solo molhado a água preenche todos os poros e o ar está praticamente ausente, no solo húmido a água infiltra-se por entre os poros e o ar começa a ocupar os macro poros (maiores que 0,05 mm de diâmetro), deixando a água somente nos micro poros. Estes por sua vez funcionam como vasos capilares e conseguem reter por mais tempo o líquido presente neles, mesmo contra a acção da gravidade. Quanto menor o poro, mais energia é necessária para retirar a água deste. Quando o solo seca, os poros vão se esvaziando e películas de água recobrem as partículas sólidas, fazendo com que o processo de adsorção domine a retenção de água. Os solos secos possuem uma quantidade mínima de água que não consegue circular por causa da força com que ela é retida ao redor das partículas coloidais dos solos. Tanto a textura como a estrutura do solo é que determinam como será a retenção e o movimento de água no solo, pois influenciam a distribuição dos poros.

De acordo com REICHARD (1990) o solos arenosos têm menor capacidade de armazenar água do que solos argilosos ou ricos em matéria orgânica. No entanto, as propriedades de retenção de água em argilas variam de acordo com a composição das mesmas. A matéria orgânica também possui boa capacidade de retenção da água.

Existem diferentes metodologias para a medição desta variável “in situ”, porém apresentam limitações quando a sua aplicação em grandes escalas. Segundo CALBO e SILVA (2006) o método mais utilizado para a medição da humidade do solo é o gravimétrico, que consiste em amostrar o solo em campo e, por meio de pesagens em laboratório, determinar a sua humidade gravimétrica, relacionando a massa de água com a massa de sólidos da amostra ou a humidade volumétrica. Ainda, é possível obter medições de humidade do solo diretamente em campo com sensores especializados e sondas de nêutrons. Estas formas de medição fornecem uma medida da quantidade de água retida no solo pontualmente, no local de observação. A determinação da humidade do solo, utilizando estes métodos, demanda grande quantidade de recursos, tempo e trabalho. Há também a necessidade de instrumentos envolvidos no estudo da determinação do balanço hídrico, independente da escala geográfica em uso. Consequentemente, tais métodos



tornam-se inviáveis sobre extensas áreas. Logo, a falta de disponibilidade de dados observacionais de humidade do solo para o território brasileiro, com o nível de precisão e extensão geográfica necessários para estudos em escala regional, limita o entendimento da interação entre a humidade do solo e a atmosfera.

Com o avanço da tecnologia aplicada em sensores dispostos em plataformas espaciais, tem sido desenvolvidas metodologias de estimativa de humidade de solo para grandes regiões. No entanto a exatidão destes dados está sujeita a limitações próprias da metodologia, como interferência da vegetação e profundidade do solo que os sensores são capazes de atingir.

Segundo KOSTER et al. (2004) e ENTHEKABI et al. (1999) o entendimento da dinâmica e da variabilidade da humidade do solo é crucial para a compreensão do papel do ciclo hidrológico no clima e numa variedade de processos ecológicos e biogeoquímicos. Porém, torna-se difícil quantificar a variabilidade espacial e temporal da humidade do solo no ciclo hidrológico e associá-la aos processos ecológicos e biogeoquímicos.

Por esse motivo as técnicas de sensoriamento remoto tornam-se uma solução ideal para suprir essas necessidades, uma vez que ela fornece mais observações espaciais em grande escala. Observa-se que cada vez mais essas técnicas vêm sendo utilizadas, como por exemplo pelos cientistas Thomas J. Jackson da USDA e Eni G. Njoku da NASA/JPL (JACKSON, 2001; NJOKU, 1999). Nesse caso, a humidade de solos é estimada através da análise de dados de temperaturas de brilho (Tb), obtidas por sensores passivos que operam na faixa de microondas e que possuem relação direta com humidade e temperatura superficial de solos.

De JEU (2003) mostrou que a incerteza da recuperação da humidade do solo está diretamente relacionada à densidade da vegetação. A emissão do solo é atenuada pela vegetação e, quando a cobertura vegetal torna-se mais densa, a sensibilidade do sensor em microondas para recuperar a humidade do solo diminuirá subsequentemente. As observações em baixa frequência são menos afetadas pela vegetação e fornecem produtos de humidade do solo mais confiáveis. No entanto, a diferença absoluta na qualidade da humidade do solo entre os diferentes sensores e a frequência ainda não é conhecida.

No entanto, existem métodos de estimativa da humidade do solo por meio indireto que se utilizam como modelos de balanço hídrico. Estes modelos são alimentados por dados meteorológicos observados em superfície ou estimados através de produtos de sensores de satélites (GEVAERD e FREITAS, 2005), e utilizam parametrizações baseadas nas características hidrológicas dos solos.

No Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil, foi desenvolvido um Modelo Simples de Água no Solo (ROSSATO et al, 2002, RODRIGUEZ e TOMASELLA, 2004) que vem sendo utilizado em forma

operacional para todo o Brasil. O mesmo utiliza informações de precipitação e de evapotranspiração potencial, calculada a partir de variáveis meteorológicas observadas. O cálculo da humidade do solo é resolvido em pontos de grade, numa resolução de 25 x 25 quilômetros, o que implica que a região de estudo esteja representada por um único ponto. A determinação dos parâmetros do solo é feita utilizando-se de uma base de dados com as características texturais obtidas de perfis de solos espalhados por todo o Brasil.

Estes parâmetros são obtidos com a aplicação de funções de pedotransferência (TOMASELLA e HODNETT, 2005). As funções de pedotransferência, termo acunhado por Bouma e van Lanen (TIETJE e TAPKENHINRICHS, 1993), são relações matemáticas que vinculam informações pedológicas básicas com informação de parâmetros hídricos utilizados em modelagem. O Modelo Simples de Água no Solo do INPE utiliza informações de quase 8.000 perfis descritos. Cada perfil de solos inclui informações básicas tais como tipo de solo, as classes de textura, a profundidade dos horizontes, a quantidade de carbono orgânico, entre outros. A partir destas informações são estimados os parâmetros hidráulicos de interesse para modelagem hidrológica como porosidade, água facilmente disponível, ponto de murcha permanente, condutividade hidráulica saturada e os parâmetros de BROOKS e COREY (1964) que definem as curvas de retenção de água.

O Modelo Simples de Água no Solo considera a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP) como variáveis de entrada no sistema, a partir dos campos interpolados em pontos de grade.

A variação no armazenamento (S) é calculada através de um balanço simples, considerando a drenagem profunda (DD) (Equação 1).

$$S_{t+1} = S_t + P_t - ETR - DD \quad (1)$$

A evapotranspiração potencial é calculada usando a Equação de Penman-Monteith de acordo com a metodologia da FAO (Equação 2) (ALLEN, 1998). Sendo  $\lambda$  o calor latente de vaporização,  $\Delta$  a declividade da curva de pressão de vapor de saturação,  $R_n$  a radiação líquida,  $G$  o fluxo de calor do solo;  $\rho$  a densidade do ar a pressão constante ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $c_p$  o calor específico do ar;  $(e_a - e_s)$  o déficit de pressão de vapor do ar,  $\gamma$  a constante psicrométrica, e  $r_c$  e  $r_a$  as resistências superficial e aerodinâmica.

$$\lambda ETP = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{\rho c_p (e_a - e_s)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad r_c = 69 \text{ s m}^{-1} \quad (2)$$

A evapotranspiração real (ETR) é calculada em forma lineal a partir da evapotranspiração potencial (ETP) e utilizando o conteúdo de humidade atual no solo (S) e o conteúdo de humidade crítico (Sc) (Equação 3).

$$ETR_t = \begin{cases} S_t/S_c & S_t < S_c \\ ETP & S_t \geq S_c \end{cases} \quad (3)$$

Para o cálculo da drenagem profunda é utilizada a equação de fluxo não saturado, assumindo um gradiente unitário. Sob este suposto, a drenagem pode ser aproximada pela Equação de Brooks-Corey (Equação 4), considerando a condutividade hidráulica saturada (Ksat), a capacidade máxima de armazenamento do solo (Smax) e o parâmetro de Brooks-Corey (n).

$$DD_t = K_{sat} \left( \frac{S_t}{S_{max}} \right)^\eta \quad (4)$$

## 2.4 Suscetibilidade

Para um ordenamento do território eficaz e uma gestão equilibrada do risco, é necessário conhecer a instabilidade geomorfológica presente e passada e a predisposição do território para a ocorrência de movimentos (ZÊZERE, 2007). Este conhecimento implica a avaliação da suscetibilidade, entendida por SOETERS e VAN WESTEN (1996) como a propensão do território para a ocorrência de um tipo particular de movimento de terra, com base em um conjunto de fatores de predisposição à instabilidade geomorfológica.

Segundo VARNES (1984) e CARRARA et al. (1999), os futuros movimentos de terra deverão ocorrer sob as mesmas condições que determinaram a instabilidade no passado. Esta relação origina do princípio do uniformitarismo, ou seja, “o passado e o presente são as chaves para

o futuro”, pressupondo as mesmas causas são suscetíveis de gerar os mesmos efeitos (VARNES, 1984; VAN WESTEN et al., 2008; BATES e JACKSON, 1980).

Atualmente, a avaliação da suscetibilidade é dominada pelo recurso a métodos de cartografia indireta, de onde se destacam aqueles de base estatística (GUZZETTI et al., 2000; CHACÓN et al., 2006). Com a utilização destes métodos, a ponderação dos fatores (variáveis neste trabalho) que condicionam a instabilidade é obtida através da sua representação cartográfica e da análise das suas relações espaciais com a distribuição dos movimentos de terra ocorridos.

O mapeamento de suscetibilidade é o primeiro passo no sentido de mitigar efetivamente as áreas suscetíveis a escorregamentos de terra, para minimizar as consequências negativas destes eventos na sociedade.

Neste trabalho a suscetibilidade a escorregamentos de terra é entendida como sendo a disposição, a tendência ou a sensibilidade que uma determinada área geográfica tem em sofrer este tipo de desastre. Para tanto, para que a suscetibilidade a escorregamentos de terra de qualquer área seja medida, são necessárias análises detalhadas de variáveis ambientais, como a declividade, a pedologia, a litologia, o uso e cobertura do solo, a curvatura vertical e a curvatura horizontal.

## **2.5 Vulnerabilidade**

A noção de vulnerável, do latim “Vulnerabilis”, corresponde ao ponto mais fraco ou que passa a ser mais acessível aos ataques (SÉGUIER, 1935). A vulnerabilidade está sempre relacionada à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente. A vulnerabilidade geralmente é definida por três elementos (ou componentes): exposição ao risco; incapacidade de reação; e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco (MOSER, 1998).

Segundo BIRKMANN (2006), a vulnerabilidade é multidimensional e diferencial; dependente da escala; e dinâmica. A vulnerabilidade é multidimensional e diferencial por que varia por meio do espaço físico, dentro e entre os diversos grupos sociais. A vulnerabilidade é dependente da escala por que está relacionada ao tempo, ao espaço e às unidades de análise que podem ser individuais, familiares, por regiões e por sistemas. A vulnerabilidade é dinâmica, pois suas características e forças motrizes alteram-se a todo tempo.

Baseado em VARNES (1984), EINSTEIN (1988) e UN-ISDR (2004), vulnerabilidade é um conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, económicos e ambientais, o qual aumenta a suscetibilidade de uma comunidade (elemento em risco) ao impacto dos perigos. A vulnerabilidade compreende tanto aspectos físicos (resistência de construções e proteções da infraestrutura) como fatores humanos, tais como, económicos, sociais, políticos, técnicos, culturais, educacionais e institucionais.

Nos últimos anos, o termo vulnerabilidade tem sido utilizado com certa frequência por grupos acadêmicos e entidades governamentais da América Latina. A noção de vulnerabilidade, ao considerar a insegurança e a exposição a riscos e perturbações provocadas por eventos ou mudanças económicas, daria uma visão mais ampla sobre as condições de vida dos grupos sociais mais pobres e, ao mesmo tempo, consideraria a disponibilidade de recursos e estratégias das próprias famílias para enfrentarem os impactos que as afetam (KAZTMAN et al., 1999).

Outra linha de análise sobre vulnerabilidade tem origem nos estudos sobre desastres naturais (*natural hazards*) e avaliação de risco (*risk assessment*). Nesta perspectiva, a vulnerabilidade pode ser vista como a interação entre o risco existente em um determinado lugar (*hazard of place*) e as características e o grau de exposição da população lá residente (CUTTER e FINCH, 2008).

A vulnerabilidade também se tem tornado, nos últimos anos, um foco central para as comunidades científicas de mudanças ambientais globais (IPCC, IGBP, IHDP) e uma categoria analítica importante para instituições internacionais, como algumas agências das Nações Unidas (PNUD, PNUMA e FAO) e o Banco Mundial (KASPERSON & KASPERSON, 2001).

Existem muitas definições e aceções de vulnerabilidade utilizadas em áreas tão diversas quanto o direito, segurança alimentar, macroeconomia, psiquiatria, saúde e prevenção de desastres naturais. CUTTER (1996), por exemplo, identifica dezoito diferentes definições para o termo. Nisto reside a importância e a inseparabilidade das dimensões social e ambiental da vulnerabilidade (PANTELIC et al., 2005).

Na análise das vulnerabilidades, observam-se vários elementos presentes na estrutura social que aumentam o risco de ocorrência de desastres. Na verdade, existem diversos tipos de vulnerabilidades ¼ mais ou menos importantes em função da natureza do acidente que pode acontecer ¼ que, segundo LAVELL (1993) podem ser assim classificadas: vulnerabilidade física (ou locacional); vulnerabilidade económica; vulnerabilidade social; vulnerabilidade política; vulnerabilidade técnica; vulnerabilidade ideológica; vulnerabilidade cultural; vulnerabilidade educativa; vulnerabilidade ecológica; e vulnerabilidade institucional. Assim, numa perspectiva das Ciências Sociais, a vulnerabilidade pode ser pensada em termos de três aspectos (ou dimensões): grau de exposição ao risco, suscetibilidade ao risco e capacidade de adaptação (ou resiliência) diante da materialização do risco. Nesta perspectiva, as pessoas ou grupos sociais mais vulneráveis seriam aqueles mais expostos a situações de risco ou stress, mais sensíveis a estas situações e com menor capacidade de se recuperar (MOSER, 1998; SHERBININ et al., 2007).

TORRES (2000) discute teoricamente o conceito de risco ambiental, debatendo sobre os problemas e as dificuldades para sua operacionalização. Para o autor, um dos aspectos mais relevantes diz respeito à questão da cumulatividade de riscos de diferentes origens. Nesse sentido, as áreas de risco ambiental (próximas de lixões, sujeitas a inundações e desmoronamentos), muitas vezes, são as únicas acessíveis às populações de mais baixa renda, que acabam construindo nesses locais domicílios em condições precárias, além de enfrentarem outros problemas sanitários e nutricionais.

Esta cumulatividade ou sobreposição de riscos e problemas socioeconômicos e ambientais representa um desafio para as políticas públicas que, na maioria das vezes, são compartimentadas segundo áreas de intervenção setorial. Assim, o grande número de situações de sobreposição de péssimas condições sociais e sanitárias a riscos e conflitos ambientais torna necessárias abordagens que contemplem as relações e interações entre as dimensões sociais e ambientais da urbanização (ALVES & TORRES, 2006).

Nesse sentido, um conceito que pode muito bem ser usado para analisar estas relações é o de vulnerabilidade socioambiental, que pode ser definido como a coexistência, cumulatividade ou sobreposição espacial de situações de pobreza/privação social e de situações de exposição a risco e/ou degradação ambiental (ALVES, 2006).

Para as áreas urbanas, o principal aumento do risco que irá advir das mudanças climáticas será o aumento no número e intensidade de eventos extremos, tais como tempestades, secas, ciclones e furacões. As consequências das mudanças climáticas para as áreas urbanas dependerão de diversos fatores, incluindo a vulnerabilidade e a resiliência das populações. 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. Portanto, as situações de vulnerabilidade às mudanças climáticas, principalmente devido ao aumento da intensidade e frequência dos eventos climáticos extremos, poderão se tornar muito graves, especialmente para os grupos populacionais de baixa renda (UNFPA, 2007).

Tendo em vista as considerações mencionadas anteriormente, cabe destacar a importância de se desenvolverem metodologias e análises, que permitam quantificar o grau de vulnerabilidade às mudanças climáticas nas áreas urbanas. Também cabe destacar que operacionalizar um conceito tão amplo e multidimensional como vulnerabilidade é tarefa complexa e interdisciplinar. Nesse sentido, mensurar as diferentes dimensões da vulnerabilidade requer a integração de um grande número de informações relacionadas a uma pluralidade de disciplinas e áreas de conhecimento (BRAGA et al., 2006). Segundo BRAGA et al. (2006), a literatura

internacional, apesar de ser ainda recente, já oferece um conjunto robusto de indicadores de vulnerabilidade e risco a desastres naturais.

A partir da avaliação crítica desta literatura, BRAGA et al. (2006) derivaram diretrizes e recomendações metodológicas para a mensuração e mapeamento do risco e da vulnerabilidade a desastres naturais relacionados à mudança climática no Brasil. Segundo os autores, “desenvolver e aplicar tais metodologias para o caso brasileiro tem dupla função.

A primeira delas é fornecer subsídios para a melhoria do planejamento de ações de prevenção e mitigação e para o direcionamento de políticas públicas voltadas à criação de resiliência social, tão necessários em um país onde o problema é crônico”. A segunda função é contribuir efetivamente para o avanço metodológico da área de pesquisas sobre indicadores de vulnerabilidade a riscos e desastres naturais relacionados à mudança climática (BRAGA et al., 2006).

CARDONA (2005), que também propõe pensar vulnerabilidade a desastres naturais em uma perspectiva abrangente, identifica três componentes principais em sua composição: fragilidade ou exposição; suscetibilidade; e falta de resiliência. Fragilidade, ou exposição, é a componente física e ambiental da vulnerabilidade, que captura em que medida um grupo populacional é suscetível de ser afetado por um fenômeno perigoso em função de sua localização em área de influência do mesmo, e devido à ausência de resistência física à sua propagação

Suscetibilidade é a componente socioeconômica e demográfica, que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso (CARDONA, 2005).

Concretizar e dar operacionalidade a um conceito tão vasto como a vulnerabilidade a desastres naturais é uma tarefa complexa, pois esta só pode ser medida ao se observar o impacto de um evento perigoso quando e onde ele ocorre, já que é específica para cada tipo de fenômeno perigoso e para cada região e grupo populacional. Porém, o risco já é definido pelo relatório sobre Redução do Risco de Desastres do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP, 2004), como sendo “o número de mortes em um evento perigoso em relação à população total exposta a tal evento”.

Assim, partindo do pressuposto comum de que é a vulnerabilidade que explica o porquê dos diferentes níveis de risco que diferentes grupos populacionais experimentam a serem submetidos a perigos naturais de mesma intensidade, a fórmula  $R = V + P$  (risco = vulnerabilidade + perigo), bem como versões mais sofisticadas da mesma, tem sido usada em trabalhos que buscam mensurar riscos e vulnerabilidades a desastres naturais (UNDP, 2004; PEDUZZI et al., 2001; DILLEY et al., 2005; CARDONA et al., 2005).

A exposição e vulnerabilidade a desastres representam um fator importante no recrudescimento da vulnerabilidade sociodemográfica de indivíduos e populações (AVISO, 2005; DILLEY et al., 2005). De uma maneira geral, vulnerabilidade pode ser entendida como a suscetibilidade a perigo ou dano (BRAUCH, 2005).

De acordo com o *Coastal Services Center (CSC) da National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA* (1999), o termo vulnerabilidade é definido como sendo a “suscetibilidade de um meio ao impacto negativo com relação a um determinado risco”. Para a NOAA os estudos da frequência de desastre, risco e probabilidade têm sido componentes importantes para a análise da vulnerabilidade, e esta, constitui uma informação necessária para priorizar as ações de mitigação aos fenômenos naturais destrutivos.

Para tanto, no contexto de uma agenda brasileira de estudos sobre população e mudança climática, é fundamental que haja um esforço para o desenvolvimento de metodologias e indicadores para a identificação e caracterização das áreas de maior risco mais vulneráveis às mudanças climáticas nas áreas urbanas. Neste sentido, o presente trabalho pretende ser uma contribuição inicial com este esforço.

Neste trabalho a vulnerabilidade a escorregamentos de terra é entendida como sendo a condição de risco que uma determinada área geográfica tem em sofrer tais desastres, a partir de expressiva ocorrência de precipitação de chuvas nesta área.

## **2.6 Suscetibilidade/Vulnerabilidade: índices anteriormente adotados**

No Brasil, autores como CREPANI et al. (1996), MEDEIROS (1999), SOUSA (1999) e CARVALHO et al. (2003) estudaram a vulnerabilidade para avaliar as condições restritivas do meio físico, em diversas áreas, no ordenamento territorial brasileiro.

Os pesos adotados anteriormente para o cálculo dos índices de suscetibilidade/vulnerabilidade a escorregamentos de terra são aqueles propostos por CREPANI (2001), e CANAVESI e ALVALÁ (2012), apresentados na tabela 5, adaptada pelo Autor.



Variáveis	Pesos	Variáveis	Pesos
<b>Declividade</b>		<b>Pedologia</b>	
< 5%	0,2	Argissolos	0,3
5 a 12%	0,3	Latossolos	0,4
12 a 30%	0,5	Cambissolos	0,8
30 a 47%	0,8	Neossolos	0,9
> 47%	1,0	Afloramentos Rochosos	1,0
<b>Litologia</b>		Área Urbana	1,0
<b>Rochas Ígneas</b>		<b>Uso e Cobertura do Solo</b>	
Gabro	0,3	Lagos	0,0
Gnaisse	0,4	Floresta (Mata Atlântica)	0,3
Granito, diorito e granodiorito	0,4	Eucaliptos e Pinheiros	0,4
Metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaisse granulítico	0,4	Floresta Inicial e Média	0,5
Quartzito	0,5	Pastagens e Forragens	0,7
Ortognaisse de composição granítica	0,6	Agricultura	0,8
<b>Rochas Metamórficas</b>		Área Degradada	0,9
Anfibólio gnaisse	0,7	Afloramentos Rochosos	1,0
Biotita gnaisse	0,8	Área Urbana	1,0
<b>Rochas Sedimentares</b>			
Colúvio	1,0		
Sedimentos aluvionar e coluvionar	1,0		
<b>Curvatura Vertical</b>		<b>Curvatura Horizontal</b>	
Muito Convexa	0,2	Muito Divergente	0,2
Convexa	0,3	Divergente	0,3
Retilínea	0,5	Planar	0,5
Côncava	0,8	Convergente	0,8
Muito Côncava	1,0	Muito Convergente	1,0

Tabela 5. Escala das Variáveis e seus Pesos utilizados na literatura

Fonte: CREPANI (2001), e CANAVESI e ALVALÁ (2012), adaptados pelo Autor.

### 3      **ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO BENGALAS**

A Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas, área de estudo deste trabalho, está localizada no Município de Nova Friburgo, Serra dos Órgãos, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

#### **3.1      Características do Município de Nova Friburgo**

Os Municípios limítrofes ao de Nova Friburgo são: Cachoeiras de Macuco, Silva Jardim, Casimiro de Abreu, Macaé, Trajano de Moraes, Bom Jardim, Duas Barras, Sumidouro e Teresópolis. Segundo a Prefeitura Municipal de Nova Friburgo. O aniversário da cidade é o dia 16 de maio. O Município está dividido em 8 (oito) distritos. Em ordem alfabética, são eles: Amparo, Campo do Coelho, Conselheiro Paulino, Lumiar, Muri, Nova Friburgo, Riograndina, e São Pedro da Serra (Figura 6).

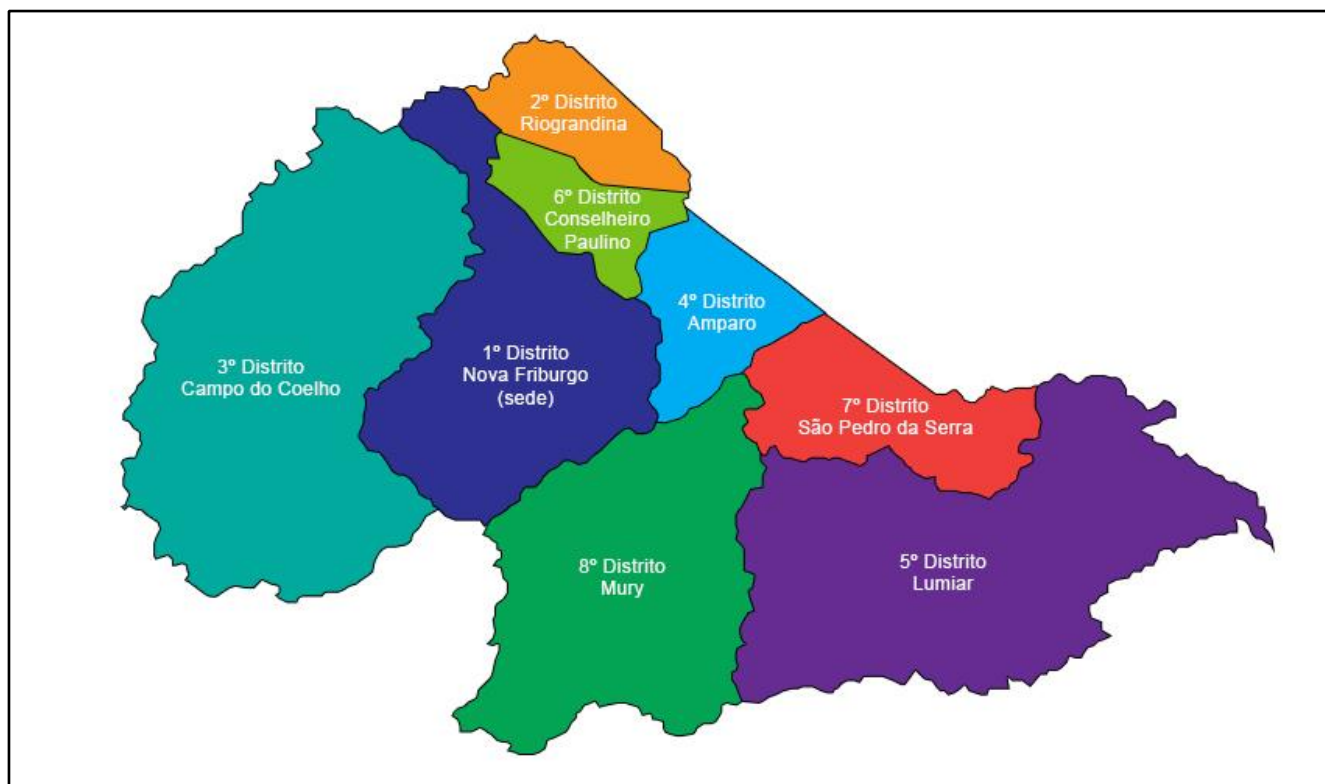


Figura 6. O Município de Nova Friburgo e seus Distritos

Fonte: DISTRITOS DE NOVA FRIBURGO (2012), adaptada pelo Autor.

Com uma área de 933 Km<sup>2</sup>, o Município de Nova Friburgo (sede do Município) está a 22°16'55" de latitude sul (S) e a 42°31'52" de longitude oeste (W), distante a 136 km da capital do Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2011a). Nova Friburgo é polo regional de serviços do Centro-Norte Fluminense (Estado do Rio de Janeiro) e uma das maiores reservas da fauna e da flora do Brasil (COMPERJ, 2011). A sede (cidade) do Município de Nova Friburgo está a uma altitude de 856,6 metros em relação ao nível do mar, sendo cercada por montanhas, como por exemplo o Pico do Caledônia (2.219 metros) ao sul; a Pedra do Imperador (1.415 metros) a sudeste; as Catarinas Pai (1.541 metros), Mãe (1.430 metros) e Filha (1.370 metros); o Morro da Cruz (1.397 metros); Duas Pedras (1.439 metros); e a Pedra da Cascata (1.361 metros) a oeste da cidade (COMPERJ, 2011).

O Município de Nova Friburgo tem 111 (cento e onze) bairros. Em ordem alfabética, são eles: Alto dos 50, Alto de Olaria, Alto do Caledônia, Alto do Catete, Alto do Floresta, Alto do Mozer, Alto do Schuenck, Aprazível, Baixada de Salinas, Barracão dos Mendes, Bela Vista, Benfica, Boa Esperança, Boa Ventura, Braunes, Caledônia, Canto do Riacho, Cardinot, Cascatinha, Catarcione, Centenário, Centro, Cidade Jardim, Cidade Nova, Cônego, Conquista, Cordoeira, Córrego D'Antas, Da Graça, Debossan, Duas Pedras, Fazenda Bella Vista, Fazenda da Lage, Fazenda Rio Grande, Florândia da Serra, Floresta, Furnas, Galdinópolis, Girassol, Granja do Céu, Granja Mimosa, Granja São Bernardo, Granja Spinelli, Jardim Califórnia, Jardim Guaracy, Jardim Marajói, Jardim Ouro Preto, Jardim Sans Souci, Jardimlândia, Lagoinha, Lazareto, Macaé de Cima, Marechal Rondon, Maringá, Nossa Senhora de Fátima, Nova Aurora, Nova Germânia, Nova Suíça, Olaria, Oscar Schultz, Paçandu, Paraíso, Parque das Flores, Parque São Clemente, Perissê, Pilões, Ponte Branca, Ponte da Saudade, Ponte dos Alemães, Ponte Preta, Prado, Rio Bonito, Rio Grande de Cima, Rui Sanglard, Salinas, Salusse, Sans Souci, Santa Bernadete, Santa Cruz, Santa Terezinha, Santiago, Santo André, Santo Antônio, São Cristóvão, São Geraldo, São João, São Jorge, São Lourenço, São Romão, Serra Nevada, Sítio São Luiz, Solares, Stucky, Suíço, Suspiro, Theodoro de Oliveira, Tinguely ou Tingly, Toca da Onça, Três Cachoeiras, Três Picos, Trilha do Céu, Vale das Rosas, Vale dos Pinheiros, Varginha, Venda das Pedras, Vila Amélia, Vila Guarani, Vila Nova, Vila Rica, Village e Ypu.

O Município de Nova Friburgo estabeleceu-se numa área indígena conhecida nos tempos do império como "sertão ocupado por várias nações dos índios brabos". Os primeiros habitantes nativos da região eram povos das tribos Puri, Puri-Coroado e Guayacaz, que viviam em cabanas simples nas margens dos rios (COMPERJ, 2011). Os primeiros europeus que chegaram à região foram os portugueses, atraídos pelo cultivo do café, que se expandiu a partir de Cantagalo. Junto com eles, vieram os escravos africanos, que trabalhavam na lavoura e nos serviços caseiros. No atual distrito de Lumiar, em Benfica e em São Pedro da Serra, há evidências culturais de quilombos formados por negros e suas famílias, foragidos das fazendas de Cantagalo e da Baixada Fluminense (COMPERJ, 2011).

O Rei D. João VI em 1818, interessado em intensificar a colonização do interior do Brasil, baixou um decreto que autorizava o agente do Cantão de Friburgo, na Suíça, a estabelecer uma colônia de cem famílias na Fazenda do Morro Queimado, no Distrito de Cantagalo, no norte do Estado do Rio de Janeiro. Assim, a colônia foi batizada pelos suíços de “Nova Friburgo” em homenagem à cidade de “*Freiburg*”, de onde partiu a maioria das famílias suíças entre os anos de 1819 e 1820 (COMPERJ, 2011). A colônia foi estabelecida em fazendas com clima e características naturais idênticas às de seu país de origem, dando início ao desenvolvimento da agricultura. Em 1824, além das famílias suíças que residiam em Nova Friburgo, chegaram ao Brasil 332 imigrantes alemães para lá também residir. É importante lembrar que Nova Friburgo foi a primeira colônia não lusitana a ser fundada no Brasil. Após a Proclamação da Independência do Brasil, o governo imperial enviou o major George Antônio Scheffer à Alemanha para contratar mais imigrantes (COMPERJ, 2011). Em maio de 1824, chegaram a Nova Friburgo 343 alemães protestantes, liderados pelo pastor Frederico Sauerbronn. Em 1870, com a inauguração da estrada de ferro Leopoldina Railway, que transportava o café de Cantagalo para o porto do Rio, surgiram estabelecimentos comerciais, hotéis, escolas - o Colégio Anchieta e o Colégio das Dorotheás - e indústrias do ramo da construção civil. Esses empreendimentos se transformaram no centro urbano da região, onde os barões do café tinham propriedades (COMPERJ, 2011).

No final do século 19, Nova Friburgo era o principal produtor de alimentos da região oriental do Vale do Paraíba do Sul e em 1890, foi elevada à categoria de cidade, e passou a atrair mais imigrantes - dessa vez, sírios, portugueses e italianos. Nos primeiros anos do século 20 - enquanto na região do entorno desmoronava a economia que se havia sustentado sobre o latifúndio escravista - Nova Friburgo convivia com o crescimento comercial e urbano: já existiam alfaiatarias, sapatarias e outras oficinas do setor de vestuário e de fabricação de ferramentas, pequenas fábricas de cerveja e café, além de um próspero comércio ambulante. A cidade foi-se afirmando também como um pólo de atração para pessoas em busca de melhores oportunidades, devido às condições adversas da vida no campo (COMPERJ, 2011).

Em 1935, foi inaugurada a estação de passageiros da Leopoldina Railway, no prédio onde atualmente funciona a prefeitura municipal. Dois anos depois, foi instalada a fábrica de ferragens Hans Gaiser, de engenheiros alemães. Nova Friburgo transformava-se em polo industrial e comercial do Centro-Norte Fluminense, atraindo moradores das cidades vizinhas, que enfrentavam um processo de esvaziamento. Em 1960, o Município contava com cerca de 70 mil habitantes. Crescia o êxodo rural: quase 80% da população vivia na área urbana. Ali se instalaram novas fábricas, principalmente no setor metalúrgico. No entanto, mesmo com o crescimento do setor de mecânica e metalurgia, ainda eram as fábricas têxteis que empregavam maior contingente de trabalhadores. Naquela década surgiram as primeiras iniciativas voltadas para o planejamento urbanístico da cidade e promovidas políticas de relações diretas com o governo da Suíça para consolidar a imagem de Nova Friburgo como “a Suíça Brasileira”.

Destes contactos, resultaram iniciativas como a construção da Queijaria-Escola em convênio estabelecido por meio da Associação Fribourg - Nova Friburgo; a produção de vasto material de pesquisa e propaganda sobre as raízes helvéticas do Município e o estímulo para que os friburguenses buscassem informações sobre suas árvores genealógicas no Departamento da Pró-Memória da Prefeitura. Atualmente a Prefeitura de Nova Friburgo vem tentando estimular a participação comunitária em processos como o Plano Diretor Participativo e a regulamentação das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) Municipais (COMPERJ, 2011).

### **3.1.1 Clima**

Nova Friburgo possui um clima tropical de altitude, com invernos frios e secos e verões amenos e húmidos. Segundo as normais climatológicas para o período 1961-1990 do município de Nova Friburgo, publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), a temperatura média anual foi de 18°C e a precipitação acumulada anual foi de 1.279,8 mm.

A maior temperatura já registada foi de 37°C, no dia 27 de janeiro de 1986 e a menor temperatura registada oficialmente foi de -2,5°C, no dia 15 de julho de 1892. Há relatos de que, no ano de 1960, houve precipitação de neve na zona rural do Município e já ocorreram invernos rigorosos em que as temperaturas ficaram por volta de 8°C em pleno dia e a noite com 2°C. Nos picos e morros do Município o frio é muito mais intenso, com noites de inverno em que as temperaturas ficam negativas (JORNAL LIVRE, 2009).

O Município de Nova Friburgo, localizado na chamada zona intertropical, sofre a atuação de diferentes massas de ar, que têm suas características determinadas pela região de sua gênese (COMPERJ, 2011), apresentadas a seguir: A) Massa de ar Equatorial Continental: atua no verão, provocando tempo quente e chuvoso; B) Massa de ar Tropical Continental: atua no verão, na primavera e no outono, ocasionando dias muito ensolarados com uma amplitude térmica diária alta e baixa humidade do ar; C) Massa de ar Polar Atlântica: mais frequente no inverno, também atua no outono e na primavera provocando dias frios. O ponto de contacto desta massa com uma outra massa de ar mais quente origina as frentes frias que provocam dias com ventos frios, redução da temperatura e chuvas fracas e demoradas; e D) Massa de ar Tropical Atlântica: atua em qualquer época do ano e provoca precipitações leves.

A seguir apresentam-se as Normais Climatológicas do Município de Nova Friburgo para o período 1961-1990 (Tabela 6), registadas pelas Estações Meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET, 2009). Segundo o INMET (2009), as "Normais Climatológicas" são obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura Média (°C)	21,2	21,2	20,8	18,5	16,0	14,6	14,1	15,3	16,6	18,2	19,3	20,3	18,0
Temperatura Máxima (°C)	27,0	27,6	26,9	24,8	22,9	21,6	21,1	22,5	22,9	23,9	24,8	25,5	24,3
Temperatura Mínima (°C)	17,1	17,1	16,8	14,8	11,9	10,1	9,5	10,3	12,3	14,3	15,5	16,3	13,8
Insolação Total (horas)	153,2	136,6	157,3	133,2	158,7	132,0	149,1	166,1	139,4	97,3	109,2	143,5	1675,6
Evaporação Total (Evaporímetro de Piché) (mm)	63,6	59,1	57,4	46,5	44,5	39,5	43,6	51,6	52,7	52,0	51,5	57,8	619,8
Nebulosidade (décimos)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6
Humidade Relativa do Ar (%)	77,0	78,0	78,0	82,0	82,0	83,0	83,0	81,0	80,0	81,0	80,0	80,0	80,4
Precipitação Acumulada Mensal e Anual (mm)	232,1	165,2	154,6	61,4	39,8	32,3	24,7	23,7	52,4	86,3	186,1	221,2	1279,8
Máximo Absoluto da Precipitação Acumulada em 24 horas (mm)	113,0	96,5	87,6	74,8	37,5	43,8	30,5	44,5	49,8	125,8	105,6	165,4	165,4
Nº de Dias com Precipitação Maior ou Igual a 1 mm (dias)	14	11	11	7	5	5	4	3	5	9	12	14	100
Intensidade do Vento (m.s <sup>-1</sup> )	0,28	0,37	0,32	0,34	0,31	0,28	0,33	0,50	0,43	0,35	0,36	0,41	0,36

Tabela 6. Normais Climatológicas do Município de Nova Friburgo para o período 1961-1990

Fonte: INMET (2009), adaptada pelo Autor.

### **3.1.2 Relevo e Solo**

O relevo do Município de Nova Friburgo é montanhoso e faz parte da unidade Serra dos Órgãos, formada há 60 milhões de anos, resultado da mesma atividade sísmica que criou a Cordilheira dos Andes. Insere-se numa classificação maior denominada Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar. Portanto, na região podem-se observar três tipos predominantes de formas de relevo: colinas dissecadas, escarpas serranas e domínio montanhoso.

O relevo do Município é responsável por uma alta densidade de canais de drenagem, a qual, somada a altos índices de precipitação, propicia a existência de um grande número de riachos, córregos e rios (COMPERJ, 2011).

Destaca que o alinhamento das principais serras e montanhas no Município de Nova Friburgo, em seu limite sul, a escarpa da Serra dos Órgãos e parte da Serra do Mar. O conjunto de serras que formam o divisor de águas das bacias do Rio Paraíba do Sul e Macaé corta o Município ao meio. O vale do Rio Grande, no limite de Nova Friburgo com Teresópolis, está totalmente situado acima dos mil metros de altitude (COMPERJ, 2011).

A partir de janeiro de 2011, com a descida de grande volume de terra das encostas, o relevo das montanhas sofreu modificações, transformando a paisagem do Município.

Situada em um “funil” geográfico, Nova Friburgo encontra-se encravada em um vale num dos pontos mais altos da Serra do Mar. Seu solo é formado por rochas que vêm sofrendo desgastes naturais desde seu aparecimento, criando camadas de solo sobre as quais, com o tempo, cresce uma cobertura vegetal. Por ser argiloso e a argila reter a água, com a chuva este solo tem seu volume aumentado e fica suscetível a deslizamentos (COMPERJ, 2011).

A classe de solo dominante no Município de Nova Friburgo, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999) é da ordem dos Cambissolos (65,61%), Latossolos (16,94%), Gleissolos (1,04%), Neossolos (6,80%), Argissolos (1,06%) e Afloramentos Rochosos (6,57%), conforme apresentados na Figura 7.

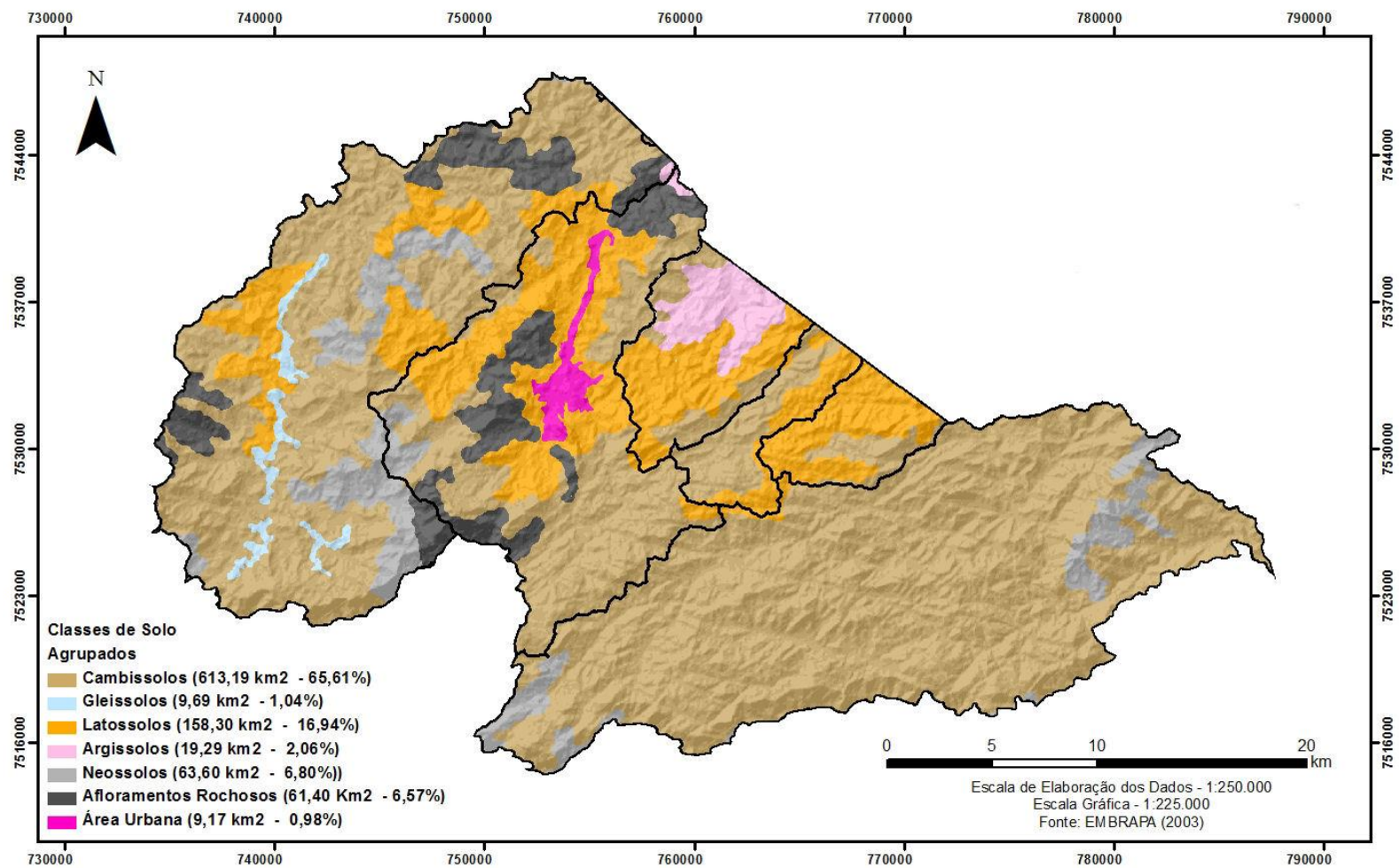


Figura 7. A pedologia do Município de Nova Friburgo  
 Fonte: Própria, dados provenientes da EMBRAPA (2003).



### 3.1.3 Vegetação

A vegetação de Nova Friburgo é composta pelo conjunto de formas de vida vegetal, como as florestas, matas ciliares, os campos de pastagens, plantações e demais componentes da flora. Atualmente, Nova Friburgo abriga um dos principais remanescentes florestais de mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro e tem na floresta tropical perenifólia, sua principal representatividade natural (COUTINHO et al., 2006).

A floresta tropical perenifólia caracteriza-se por ter uma formação bastante densa, em muito pela ocorrência de espécies arbóreas de grande porte, sua folhagem pouco se altera, mesmo durante os meses mais secos, além disso, há o predomínio de solos álicos ou distróficos (COUTINHO et al., 2006).

A vegetação da região é formada por florestas tropicais diretamente relacionadas com a altitude local da Serra dos Órgãos - Região Serrana do Rio de Janeiro. Na base da formação ainda resta um trecho húmido de floresta costeira atlântica, com árvores altas de folhas grandes. Ao subir a serra essa vegetação muda para florestas húmidas de montanha e em seguida por florestas de altitude, acima dos dois mil metros, com pequenos arbustos e gramíneas. As florestas estão distribuídas nas áreas de maior altitude, concentradas nos distritos de Mury, Lumiar e São Pedro da Serra (COMPERJ, 2011).

O distrito-sede e o de Conselheiro Paulino tiveram suas áreas de floresta reduzidas devido à expansão urbana. No século 19, os distritos de Amparo e Riograndina sofreram desmatamentos em grandes áreas por conta do cultivo do café e de outros produtos agrícolas e da pecuária (COMPERJ, 2011).

O distrito de Campo do Coelho também regista extensas áreas desmatadas, principalmente no vale do Rio Grande, por sua vocação histórica para o cultivo de hortaliças e expansão de pastagens (COMPERJ, 2011).

As florestas estão distribuídas nas áreas de maior altitude, concentradas nos distritos de Mury, Lumiar e São Pedro da Serra. O distrito-sede e o de Conselheiro Paulino tiveram suas áreas de floresta reduzidas devido à expansão urbana (COMPERJ, 2011).

No século 19, os distritos de Amparo e Riograndina sofreram desmatamentos em grandes áreas por conta do cultivo do café e de outros produtos agrícolas e da pecuária. O distrito de Campo do Coelho também regista extensas áreas desmatadas, principalmente no vale do Rio Grande, por sua vocação histórica para o cultivo de hortaliças e expansão de pastagens (COMPERJ, 2011).

### **3.1.4 Hidrografia**

A hidrografia do Município de Nova Friburgo é formada predominantemente por rios encaixados em vales, onde as nascentes se encontram situadas em topografias bem elevadas (COMPERJ, 2011). Dessa forma, o volume e a velocidade das águas sofrem influência direta das características do relevo. A quantidade e qualidade das águas também estão condicionadas a periodicidade das chuvas e ao grau de cobertura vegetal próxima às nascentes e aos demais trechos dos cursos de água.

O Município de Nova Friburgo está localizado a montante de duas bacias hidrográficas - Paraíba do Sul e Macaé, o que significa que todos os corpos d'água que passam pelo Município têm suas nascentes no território municipal. Desta forma, a conservação das nascentes de Nova Friburgo é de suma importância para todos os municípios que estão à sua jusante, que também devem conservar seus mananciais (COMPERJ, 2011).

Até a década de 1940, o Rio Bengalas era um importante local de lazer da cidade, usado para passeios de barcos e para a pesca. Atualmente, se encontra em estado lastimável de poluição. O Rio Grande e os Ribeirões São José, do Capitão e São Domingos, estão poluídos por agrotóxicos, principalmente os utilizados na floricultura e na olericultura, que afetam não só os rios, como também o solo e a saúde da população (COMPERJ, 2011).

### **3.1.5 Demografia**

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o Município de Nova Friburgo ocupou a 150ª posição dos municípios mais populosos do Brasil no ano de 2010, com 182.082 habitantes, sendo que 159.372 (87,5%) residiam na zona urbana e 22.710 (12,5%) na zona rural. Assim, a densidade demográfica do Município de Nova Friburgo em 2010 foi de 195,16 (hab./km<sup>2</sup>).

De 1970 a 2010, a população residente na área urbana de Nova Friburgo aumentou em torno de 113%, passando de 75 mil para 160 mil habitantes, enquanto que na área rural, no mesmo período, o acréscimo foi de 45%, passando de 16 mil para 23 mil habitantes (IBGE, 2011a).

Os fatores que explicam este quadro são: (1) o êxodo de parte da população de distritos predominantemente rurais e Municípios vizinhos para o distrito-sede de Nova Friburgo e para o distrito de Conselheiro Paulino; (2) o crescimento populacional dos aglomerados rurais (agrovilas) em áreas urbanas; (3) a falta de políticas públicas de descentralização de serviços; e (4) migração do grande Rio de Janeiro e de outros estados da federação (COMPERJ, 2011).

### **3.1.6 Socioeconómico**

O Município de Nova Friburgo, por estar próximo ao eixo de maior dinamismo económico do Brasil - São Paulo / Rio de Janeiro / Belo Horizonte - é pólo regional de serviços do Centro-Norte Fluminense e uma das maiores reservas da fauna e da flora do planeta. Ideal para atividades de lazer e descanso, para respirar o ar puro da montanha, tomar banho de cachoeiras, pescar trutas, visitar museus, centros de documentação, feiras de artesanato e parques. As montanhas, bosques e circuitos são ideais para caminhadas, práticas de esportes radicais, trilhas, trekking, rapel, mountain bike, cavalgadas, enduros, passeios de jeep, escaladas e canoagem, rafting e bóia cross (COMPERJ, 2011).

Com infraestrutura superior a quatro mil leitos e mais de 100 restaurantes de culinária diversificada, aliada ao frio da serra, tornam-se ingredientes perfeitos para degustar fondues, vinhos, trutas e deliciosos chocolates artesanais, ali produzidos. Eventos durante todo o ano, compõem um calendário convidativo: Festa das Colônias; Friburgo Festival; Fevest; Fri-Flor; Fest-Truta; Jogos Florais; Encontro de Dança; Encontro Nacional de Motociclistas; e Festival de Inverno. Roteiros diversificados são encontrados na Ponte Branca, Tere-Fri, Lumiar e São Pedro da Serra, Mury, Cão Sentado e Caledônia (COMPERJ, 2011).

As principais atividades económicas desenvolvidas no Município de Nova Friburgo são o turismo, a agricultura (olericultura e flores de corte), a pecuária (caprinocultura) e a indústria metalúrgica e têxtil (moda íntima e vestuário) (COMPERJ, 2011).

Nova Friburgo é o maior polo de confecção de moda íntima do Brasil, e um importante centro regional da indústria metal-mecânica, responsável pela fabricação de 45% da produção de fechaduras residenciais do País. O Município também é referência na área de educação, saúde, comércio e serviços jurídicos na região Centro-Norte Fluminense (COMPERJ, 2011).

### **3.1.7 Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo**

Em atendimento à Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 e à Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), o Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo (PDP-NF) foi aprovado pela Câmara Municipal de Nova Friburgo e pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, por meio da Lei Complementar nº 024, de 28 de dezembro de 2007 (PDP-NF, 2007).

No contexto do Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo (PDP-NF) ressalto a seguir seus principais aspectos diretamente relacionados a este trabalho.

## **Disposições Preliminares**

- ✓ 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, denominada Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo (PDP-NF);
- ✓ O PDP-NF integra o processo de planeamento municipal e deverá ter suas diretrizes e prioridades incorporadas ao Plano Plurianual, às Diretrizes Orçamentárias e ao Orçamento Anual, de forma a garantir a execução dos programas, projectos e acções da administração municipal nele contidos;
- ✓ O PDP-NF abrange todo o território municipal, incluindo áreas urbanas e rurais, com especial atenção à identificação e ao tratamento das singularidades das bacias hidrográficas dos rios Bengalas, Grande e Macaé, instituídas, nesta Lei, como Unidades Territoriais de Planeamento (PDP-NF, 2007).

Tais disposições expostas anteriormente denotam que a gestão municipal de Nova Friburgo deverá estar integralmente em conformidade com o PDP-NF.

## **Princípios e Objectivos**

Os princípios e objectivos do PDP-NF e da política de desenvolvimento e gestão urbana e territorial do Município de Nova Friburgo estão focados ao direito à cidade sustentável; às funções sociais da cidade e da propriedade; e à gestão democrática e participativa.

A função social da propriedade será cumprida quando atender às diretrizes da política urbana e às exigências para a organização do território de Nova Friburgo expressas nesta Lei, e a gestão democrática e participativa tem por objectivo garantir a participação da sociedade na implementação da política urbana, desde a concepção de planos, programas e projectos até a sua execução e acompanhamento. Além disso, a gestão democrática e participativa deverá vincular o desenvolvimento do Município de Nova Friburgo às práticas de planeamento urbano e territorial integrando, obrigatoriamente, as diretrizes e exigências desta Lei às políticas públicas setoriais.

Na implementação do PDP-NF, os objectivos superiores a serem alcançados são garantir a participação da sociedade nos processos de planeamento e de gestão urbana e territorial; instituir mecanismos de controlo social para o acompanhamento da execução da política urbana; integrar as políticas públicas setoriais com base na compreensão das dinâmicas sociais, ambientais, económicas e culturais locais, considerando as diferenças internas do Município e sua inserção na região; a utilização sustentável do território municipal, de acordo com as orientações para a

localização e o funcionamento das atividades económicas e demais usos, e de acordo com as orientações para a ocupação do solo urbano; promover o saneamento ambiental, através da universalização do acesso à água potável, aos serviços de esgotamento sanitário, à coleta e disposição de resíduos sólidos e ao manejo sustentável das águas pluviais, de forma integrada às políticas ambientais, de recursos hídricos e de saúde; e promover a gestão social da valorização da terra urbana, através da distribuição justa dos ônus e bônus da urbanização, de acordo com as diretrizes do Estatuto da Cidade.

### **Política Urbana e Gestão do Território Municipal**

Para garantir o planejamento e a gestão democrática e participativa, o desenvolvimento socioeconómico e a geração de emprego e renda, a qualidade de vida e o saneamento ambiental, a moradia digna e a inclusão territorial, o território integrado e acessível, e a preservação do patrimônio ambiental e cultural, o PDP-NF estabelecerá as diretrizes para a integração das políticas setoriais.

As principais diretrizes são: superar conflitos ambientais gerados pelo atual padrão de uso e ocupação do solo para garantir a sobrevivência e a permanência de populações tradicionais no território com qualidade e justiça social; retomar a participação de Nova Friburgo nos circuitos e rotas do turismo rural, ecológico, cultural, de entretenimento, de negócios, de esporte e de aventura; reorientar a expansão urbana com reserva de áreas para a moradia de forma socialmente justa e ambientalmente sustentável; compatibilizar a expansão das áreas urbanas com o desenvolvimento sustentável das áreas rurais; garantir o acesso à moradia digna e inclusão territorial, através da regularização urbanística e fundiária de assentamentos de interesse social e de interesse das populações tradicionais; promover o reassentamento de populações que ocupam áreas de risco, áreas de preservação permanente e demais áreas inadequadas à moradia, resguardando o direito à cidade sustentável; integrar o território através da promoção da mobilidade urbana e do transporte acessível, com qualidade e segurança; preservar o patrimônio ambiental e cultural; e aperfeiçoar o planejamento e a gestão urbana e territorial de Nova Friburgo para melhor integração das políticas setoriais.

Uma das principais ações prioritárias para a implementação do planejamento e gestão democrática e participativa é a modernização dos sistemas e procedimentos de licenciamento e fiscalização do uso e ocupação do território.

Em relação à promoção do desenvolvimento socioeconómico e da geração de emprego e renda para o Município de Nova Friburgo, há quatro diretrizes importantíssimas. São elas: incentivar a instalação de atividades que venham a fortalecer a posição de Nova Friburgo como polo regional de comércio e de prestação de serviços; promover a diversificação e a qualificação da produção agrícola de maneira sustentável; incentivar o incremento das atividades de turismo rural, ecológico, cultural, de entretenimento, de negócios, de esporte e de aventura; e promover a atração de

indústrias compatíveis com o suporte de infraestrutura do Município e a conservação do meio ambiente. As principais acções prioritárias para a promoção do desenvolvimento socioeconómico e da geração de emprego e renda em Nova Friburgo são: apoiar atividades económicas que propiciem cadeias produtivas complementares; fomentar atividades económicas compatíveis com a preservação do património ambiental e cultural; apoiar comunidades tradicionais que sobrevivem da pequena produção agrícola; estimular e apoiar a formação de cooperativas em programas e projectos de interesse social; implantar e organizar infraestrutura de suporte para a inserção de Nova Friburgo nos circuitos e rotas nacionais e internacionais de turismo; viabilizar parcerias com o setor privado para a requalificação de áreas urbanas para o incremento das atividades de comércio e de prestação de serviços; e incentivar o uso de áreas industriais e agrícolas ociosas por micro, pequenas e médias empresas e cooperativas.

Em se tratando de qualidade de vida e do saneamento ambiental do Município de Nova Friburgo, o PDP-NF expressa em seu artigo 18 que o assunto requer acções e investimentos dirigidos à universalização da cobertura do abastecimento de água e da coleta e tratamento do esgoto sanitário, além da 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. O sistema de saneamento ambiental é composto por todas as redes de infraestrutura e serviços que propiciam a salubridade dos assentamentos humanos rurais e urbanos por meio da gestão ambiental, do abastecimento de água potável, da coleta e tratamento do esgoto sanitário, da drenagem das águas pluviais, do manejo dos resíduos sólidos, bem como da implementação de medidas para racionalizar a utilização dos recursos naturais, tornando-a sustentável.

Para a promoção do saneamento ambiental em Nova Friburgo há diversas diretrizes previstas no PDP-NF. São elas: implantar redes de coleta e tratamento adequado do esgoto sanitário em todo o território municipal; estimular a adoção de soluções alternativas para garantir a integridade e a cobertura do saneamento ambiental em todo o território municipal; proteger os cursos d'água e águas subterrâneas; garantir a gestão integrada dos resíduos sólidos; ampliar a coleta seletiva e a reciclagem dos resíduos sólidos domésticos e industriais, bem como promover a redução da geração de resíduos sólidos; aperfeiçoar e ampliar a cobertura da limpeza urbana; complementar a rede coletora de águas pluviais e o sistema de drenagem nas áreas urbanizadas do território; promover a humanização dos espaços públicos coletivos por meio da manutenção de áreas verdes e da arborização urbana; apoiar o uso de tecnologia de saneamento ambiental adequado nas áreas de produção agropecuária; implementar programa de coleta de embalagens de agrotóxico em toda a área de produção agrícola do Município; garantir a convergência entre o uso dos recursos naturais para a geração de energia e o suprimento das demandas locais sem prejuízo ou dano socioambiental; garantir através da gestão ambiental a recuperação e preservação dos mananciais, dos remanescentes florestais, das matas ciliares, das áreas de preservação permanente, e das

unidades de conservação ambiental; disciplinar a implantação de atividades potencialmente causadoras de impactos ambientais negativos; e promover a recuperação e reversão dos processos de degradação das condições físicas, químicas e biológicas do ambiente.

Para efetivar a promoção do saneamento ambiental o Poder Executivo de Nova Friburgo deverá elaborar, como instrumento básico de planejamento e gestão, o Plano Municipal de Saneamento Ambiental, que deverá contemplar diagnóstico socioambiental que caracterize e avalie a situação de salubridade ambiental no Município, por meio de indicadores sanitários, epidemiológicos e ambientais; metas e diretrizes da política de saneamento ambiental para a compatibilização, integração e coordenação dos planos setoriais de água, esgoto, drenagem, resíduos sólidos, controlo de riscos ambientais e gestão ambiental, respeitando as diretrizes previstas no PDP-NF; definição dos recursos financeiros necessários à implementação da política de saneamento ambiental; caracterização e quantificação dos recursos humanos, materiais, tecnológicos, institucionais e administrativos necessários à execução das acções propostas; indicação dos instrumentos de planejamento e controlo ambiental; programa de investimento em obras e outras medidas relativas à utilização, recuperação, conservação e proteção do sistema de saneamento ambiental; indicação de acções para implantação das Zonas de Especial Interesse Ambiental destinadas ao lazer, dispendo sobre o tratamento paisagístico adequado para garantir as suas funções e atender às demandas sociais, e os critérios para definição da vegetação a ser empregada no paisagismo urbano, garantindo sua diversificação e adequação às singularidades de Nova Friburgo; e a previsão das condições e prioridades para a implantação de programas e projectos para as Zonas de Especial Interesse de Recuperação Ambiental.

É importante ressaltar que os planos, projectos e programas setoriais que integram o Sistema Municipal de Saneamento Ambiental deverão expressar a visão integrada preconizada e prevista no PDP-NF. Aperfeiçoando o Sistema Municipal de Saneamento Ambiental, será possível o monitoramento permanente da qualidade dos serviços de saneamento ambiental em todo o território municipal; a manutenção do sistema de informação atualizado sobre a cobertura e a qualidade do atendimento dos serviços de saneamento ambiental; o controlo e a fiscalização da qualidade dos serviços de saneamento ambiental prestados por empresas públicas e privadas; e o controlo e a fiscalização sobre as atividades potencialmente poluidoras.

Em relação à moradia digna e inclusão territorial, para os efeitos de aplicação do PDP-NF, a superação das demandas sociais requer a regularização de assentamentos de interesse social existentes, a produção de novas moradias populares e a justa distribuição de infraestrutura e equipamentos urbanos e sociais, e para garantir a moradia digna e a inclusão territorial, o Poder Público Municipal deverá promover a regularização urbanística e fundiária, prioritariamente, nas Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS); a melhoria de áreas com unidades habitacionais precárias que sejam de interesse social; a reserva de terras urbanas para a produção de novas

moradias populares e de interesse social em áreas providas de infraestrutura; e a sustentabilidade social, económica e ambiental na concepção e na implementação dos programas habitacionais de interesse social. Para garantir da moradia digna e da inclusão territorial, são consideradas acções prioritárias a produção de moradias de interesse social nas áreas urbanas com melhores condições de acesso ao trabalho e ao lazer; a implementação de programas habitacionais integrados à geração de trabalho e renda; a priorização das áreas de moradias populares e de interesse social na distribuição dos equipamentos e serviços públicos sociais e urbanos; o incentivo à produção de novas moradias populares através das linhas de crédito e financiamento disponíveis; a implementação de programas de regularização urbanística e fundiária que utilizem instrumentos de financiamento e parceria junto às populações contempladas, quando não se tratar de áreas de interesse social; a promoção de assistência técnica às iniciativas individuais ou coletivas de construção de moradias populares, através de convênios e parcerias com entidades profissionais ou outros meios que se mostrem adequados; a disponibilização de assessoria jurídica para regularização fundiária de interesse social; o incentivo e o apoio à formação de cooperativas e associações comunitárias autogestionárias na execução de programas habitacionais; a promoção ao acesso à terra por meio do emprego de instrumentos que assegurem a utilização adequada das áreas vazias e subutilizadas; a implementação de programas e projectos que contemplem a autogestão e o consórcio imobiliário para ampliar o acesso à moradia; a controlar as áreas impróprias para a ocupação urbana e impedir a instalação de novos assentamentos nesses locais; a estimular a produção de unidades habitacionais voltadas para a ampliação do mercado popular de moradias; o fortalecimento dos mecanismos e das instâncias de participação com representantes do poder público, dos usuários e do setor produtivo na formulação e deliberação das políticas, na definição das prioridades e na implementação dos programas habitacionais.

O reassentamento de interesse social para abrigar famílias que ocupam áreas de risco ou Zonas de Especial Interesse de Recuperação Ambiental (ZEIRA) deverá resguardar para toda a população afetada diretamente pela intervenção a integridade da sua vida familiar; a garantia de sua moradia digna em área provida de infraestrutura e de acesso aos equipamentos urbanos sociais; e a sua inserção social; a sua participação direta nas decisões afetas ao seu cotidiano e à sua qualidade de vida. É relevante ressaltar que o PDP-NF prevê em seu artigo 28 que o Poder Público Municipal deverá promover as medidas necessárias para que o Município de Nova Friburgo se integre ao Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social. Para a promoção da moradia digna e da inclusão territorial o Poder Executivo deverá conceber e implementar o Plano Municipal de Habitação de Interesse Social, adequado às diretrizes dispostas no PDP-NF, contendo no mínimo a avaliação das condições de moradia em todo o território Municipal; a identificação de demandas por Unidade Territorial de Planeamento; os objectivos e acções estratégicas para a implementação da Política Municipal de Habitação de Interesse Social; a definição de metas de atendimento às demandas, com prazos e prioridade para as áreas mais carentes; a definição de benefícios e formas de subsídios



financeiros para a regularização e produção de moradias populares e de interesse social; e a compatibilização dos parâmetros de uso, ocupação e parcelamento do solo das Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS) com as normas construtivas de Habitação de Interesse Social (HIS).

O PDP-NF em seu artigo 36 considera patrimônio ambiental os bens naturais (formações físicas, biológicas e geológicas) e patrimônio cultural os bens materiais ou imateriais existentes no Município de Nova Friburgo, tomados isoladamente ou em conjunto, e cuja conservação seja de interesse histórico, paisagístico, estético, científico, arqueológico, artístico, bibliográfico ou etnográfico, ou ainda por serem representativos das tradições e da identidade cultural local.

Para efeito da aplicação do PDP-NF e integração das políticas setoriais, compreende-se que a estratégia de preservação do patrimônio ambiental e cultural de Nova Friburgo contemple simultaneamente a conservação e qualificação dos bens culturais e a valorização dos bens naturais. A valorização dos bens naturais de Nova Friburgo, incluindo as unidades de conservação (UC), as áreas de preservação permanente (APP), as áreas verdes, as áreas de remanescentes florestais e os cursos d'água, deverá ser implementada de acordo com algumas diretrizes, como proteger os bens e os recursos naturais de maneira integrada à promoção da qualidade de vida no Município; compatibilizar a expansão e a renovação dos ambientes urbanos com a proteção ambiental; proteger as áreas de fragilidade ambiental e impróprias à ocupação; recuperar as áreas degradadas em todo o território municipal, em especial aquelas localizadas nas áreas urbanas; incentivar a proteção e conservação da biodiversidade da mata atlântica; e garantir a reserva de áreas verdes em loteamentos e condomínios residenciais.

De acordo com o PDP-NF, para o aperfeiçoamento do Sistema Municipal de Unidades de Conservação, considerando as singularidades próprias de cada uma das Unidades Territoriais de Planejamento, o Poder Público deverá articular ações entre os órgãos competentes para a elaboração e implementação dos planos de manejo das Unidades de Conservação (UC); definir o enquadramento adequado das Zonas de Especial Interesse Ambiental (ZEIA) e elaborar seus respectivos Planos de Manejo; e instituir instrumentos de monitoramento, proteção e controle das Unidades de Conservação (UC).

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 (Rio Bengalas, Rio Grande e Rio Macaé), instituídas no PDP-NF como Unidades Territoriais de Planejamento (UTP).

No artigo 44 do PDP-NF foi criado o Plano de Organização Territorial (POT) do Rio Bengalas. As diretrizes do POT são valorizar as singularidades de Nova Friburgo; promover a conservação da natureza; promover o desenvolvimento sustentável das atividades rurais; garantir a

melhor utilização da infraestrutura em cumprimento da função social da propriedade; controlar e induzir o desenvolvimento urbano; e indicar prioridades para a gestão urbana e territorial.

Para fins de implementação do POT, as Unidades Territoriais de Planeamento (UTP) instituídas no artigo 44 do PDP-NF, estão divididas 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 compatibilizadas 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 em dois eixos rodoviários (RJ-130 e 116); e áreas urbanas, delimitadas para fins de parcelamento, uso e ocupação do solo sobre as quais incidirão o zoneamento urbano.

O zoneamento urbano institui as regras de uso e ocupação do solo urbano para as Áreas Urbanas definidas nos POT, com objectivos de consolidar e otimizar a utilização da infraestrutura básica instalada, concentrar o adensamento e evitar a expansão desnecessária da malha urbana.

Segundo o artigo 52 do PDP-NF, uma Lei Municipal de Uso e Ocupação do Solo determinará a criação dos Eixos de Dinamização Urbana de Nova Friburgo para a diferenciação e detalhamento de parâmetros urbanísticos complementares para as Zonas e Subzonas Urbanas. Os Eixos de Dinamização Urbana têm por objectivos a formação de áreas de animação urbana; a localização do comércio e prestação de serviços de apoio à vida urbana nos diferentes bairros e localidades; e a diminuição dos deslocamentos gerados pelas necessidades cotidianas de acesso às atividades de comércio e serviços urbanos.

As Áreas Urbanas inseridas nas Unidades Territoriais de Planeamento (UTP) serão divididas em zonas e subzonas. Para a regulamentação do uso e ocupação do solo, de acordo com o PDP-NF, as Áreas Urbanas de Nova Friburgo estão subdivididas em Zonas Urbanas. São elas: Zonas de Restrição (ZR); Zonas de Transição (ZT); Zonas de Expansão Orientada (ZEO); Zona de Requalificação Urbana (ZRU); e Zonas de Especial Interesse (ZEI).

### **Zonas de Restrição (ZR)**

Seus objectivos são conter a expansão urbana nas áreas de remanescentes florestais e de alta declividade; conter a ocupação das faixas marginais de proteção dos rios; regulamentar e disciplinar a ocupação das faixas ao longo da RJ-116; estimular a formação de subcentros de bairro para dinamização urbana; incentivar a implantação de atividades de apoio ao turismo no eixo da RJ-116; e instituir a Zona de Especial Interesse Social (ZEIS) para fins de regularização fundiária.

### **Zonas de Transição (ZT)**

As Zonas de Transição (ZT) abrangem as áreas com baixa intensidade de ocupação e próximas às áreas de desenvolvimento rural sustentável, a serem preservadas da expansão da malha urbana. Seus objectivos são: reservar áreas para sítios e chácaras de recreio; incentivar atividades de apoio ao turismo ecológico e rural; e limitar o parcelamento do solo urbano. Foram instituídas no PDP-NF duas Subzonas de Transição, nas quais serão aplicados parâmetros urbanísticos específicos.

### **Zonas de Expansão Orientada (ZEO)**

Seus objectivos são 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.

### **Zona de Requalificação Urbana (ZRU)**

Seus objectivos são otimizar a infraestrutura existente; qualificar as localidades e bairros consolidados; induzir a ocupação de imóveis não utilizados ou subutilizados; qualificar os espaços públicos; requalificar a paisagem urbana do centro da cidade; orientar a convivência adequada de usos diferentes; e introduzir novas dinâmicas urbanas.

### **Zonas de Especial Interesse (ZEI)**

Compreendem as áreas do território que exigem tratamento diferenciado em relação aos parâmetros reguladores de uso e ocupação do solo urbano definidos nas zonas e subzonas urbanas.

São classificadas em Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS); Zonas de Especial Interesse Ambiental (ZEIA); Zonas de Especial Interesse Urbanístico e Económico (ZEIUE); Zonas de Especial Interesse de Recuperação Ambiental (ZEIRA); e Zonas de Especial Interesse de Proteção do Ambiente Cultural (ZEIPAC).

### **Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS)**

Essas zonas são parcelas do território municipal destinadas, prioritariamente, à regularização fundiária, à urbanização e à produção de Habitação de Interesse Social (HIS) para a população de baixa renda.

As ZEIS classificam-se em:

ZEIS A: áreas públicas ou particulares, ocupadas por assentamentos de população de baixa renda, devendo o Poder Público promover a regularização fundiária e urbanística, com implantação de equipamentos públicos e sociais, incluindo espaços para recreação e lazer e previsão de implantação de comércio e serviços de apoio local;

ZEIS B: terrenos não edificados e imóveis subutilizados ou não utilizados, indicados no POT do Rio Bengalas, necessários à implantação de programas habitacionais de interesse social, que deverão ser urbanizados e dotados de equipamentos públicos; e

ZEIS C: terrenos não edificados e imóveis localizados em áreas destinadas à implantação de Operações Urbanas Consorciadas ou Zonas de Especial Interesse Económico e Urbanístico onde haja interesse público em produzir HIS.

### **Zonas de Especial Interesse Ambiental (ZEIA)**

Essas zonas são áreas públicas ou privadas destinadas à proteção e recuperação da paisagem urbana e do meio ambiente e classificam-se em:

ZEIA A: áreas verdes públicas, parques e unidades de conservação situadas nas zonas urbanas, cuja função é proteger as características ambientais existentes e oferecer espaços públicos adequados e qualificados ao lazer da população; e

ZEIA B: áreas com significativa vegetação preservada, situadas nas zonas urbanas, que deverão ser instituídas como unidades de conservação da natureza, para posterior elaboração de plano de manejo, com o objectivo de propiciar o equilíbrio ambiental.

### **Zonas de Especial Interesse Urbanístico e Económico (ZEIUE)**

São parcelas do território municipal destinadas à implementação de intervenções dirigidas à melhoria dos espaços públicos visando a qualificação urbanística e à implantação de empreendimentos económicos e/ou estratégicos, podendo estar associadas ou não a operações urbanas consorciadas.

Na criação de uma ZEIUE será necessária a definição de parâmetros de uso e ocupação do solo urbano que respeite o coeficiente de aproveitamento do terreno da Zona em que se situa ou não permitindo a sua ocupação, e ainda, serão determinadas, onde couber, as obrigações destinadas à mitigação dos impactos urbanos e/ou ambientais produzidos, bem como as compensações necessárias.

### **Zonas de Especial Interesse de Recuperação Ambiental (ZEIRA)**

São áreas públicas ou privadas, ocupadas ou utilizadas de maneira irregular e em situação de degradação, que geram riscos ou comprometem a sobrevivência da população, e que devem sofrer intervenções destinadas, preferencialmente, à recuperação ambiental e ao lazer da população.

### **Zonas de Especial Interesse de Proteção do Ambiente Cultural (ZEIPAC)**

São áreas públicas ou privadas destinadas à preservação e revalorização do patrimônio cultural de Nova Friburgo.

As principais diretrizes do POT do Rio Bengalas são: Promover a requalificação urbanística e ambiental das áreas urbanas consolidadas; Conter a expansão urbana nas áreas destinadas ao desenvolvimento rural sustentável; Impedir a ocupação das faixas de domínio das rodovias que cruzam a área urbana; Proteger os remanescentes florestais e afloramentos rochosos que integram a área urbana; e Garantir a proteção e conservação do patrimônio ambiental e cultural.

A Unidade Territorial que abrange o POT do Rio Bengalas é dividida em Área de Interesse Ambiental, em Área de Desenvolvimento Rural Sustentável, em Área de Interesse Logístico, e em Área Urbana. É importante lembrar que o uso e ocupação do solo nas Áreas de Interesse Ambiental deverão respeitar a legislação ambiental e os planos de manejo das Unidades de Conservação.

### **Uso e Ocupação do Solo Urbano segundo o PDP-NF**

Todos os usos e atividades são admitidos desde que obedeçam às características e finalidades das Zonas Urbanas em que vierem a se instalar e o disposto neste Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo. Tais usos e atividades serão analisados em função de sua potencialidade como geradores de impacto urbano e ambiental de acordo com a sua classificação de uso, como a residencial, a não residencial e a mista.

Para a definição e enquadramento das atividades conforme o impacto ambiental, deverão ser observados vários itens, como a poluição sonora: geração de impacto causada pelo uso de máquinas, utensílios ruidosos, aparelhos sonoros ou similares no entorno; a poluição atmosférica: lançamento na atmosfera de matéria ou energia provenientes dos processos de produção ou transformação; a poluição hídrica: lançamento de efluentes que alterem a qualidade da rede hidrográfica ou a integridade do sistema coletor de esgotos; a geração de resíduos sólidos: produção, manipulação ou estocagem de resíduos sólidos, com riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública; e vibração: impacto provocado pelo uso de máquinas ou equipamentos que produzam choques repetitivos ou vibração sensível.

O Art. 128 do Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo prevê que uma Lei Municipal de Uso e Ocupação do Solo detalhará, para as Zonas e Subzonas Urbanas, o complemento dos parâmetros a serem seguidos, respeitando as seguintes determinações:

- I - restringir a ocupação e a expansão urbana em terrenos com declividade superior a 30%;
- e
- II - impedir a utilização, para qualquer fim, de áreas com declividade superior a 100%.

### 3.2 Características da Bacia do Rio Bengalas

A área de estudo deste trabalho é a Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas, localizada no Município de Nova Friburgo, Serra dos Órgãos, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, com uma área de 191 Km<sup>2</sup> (Figura 8).

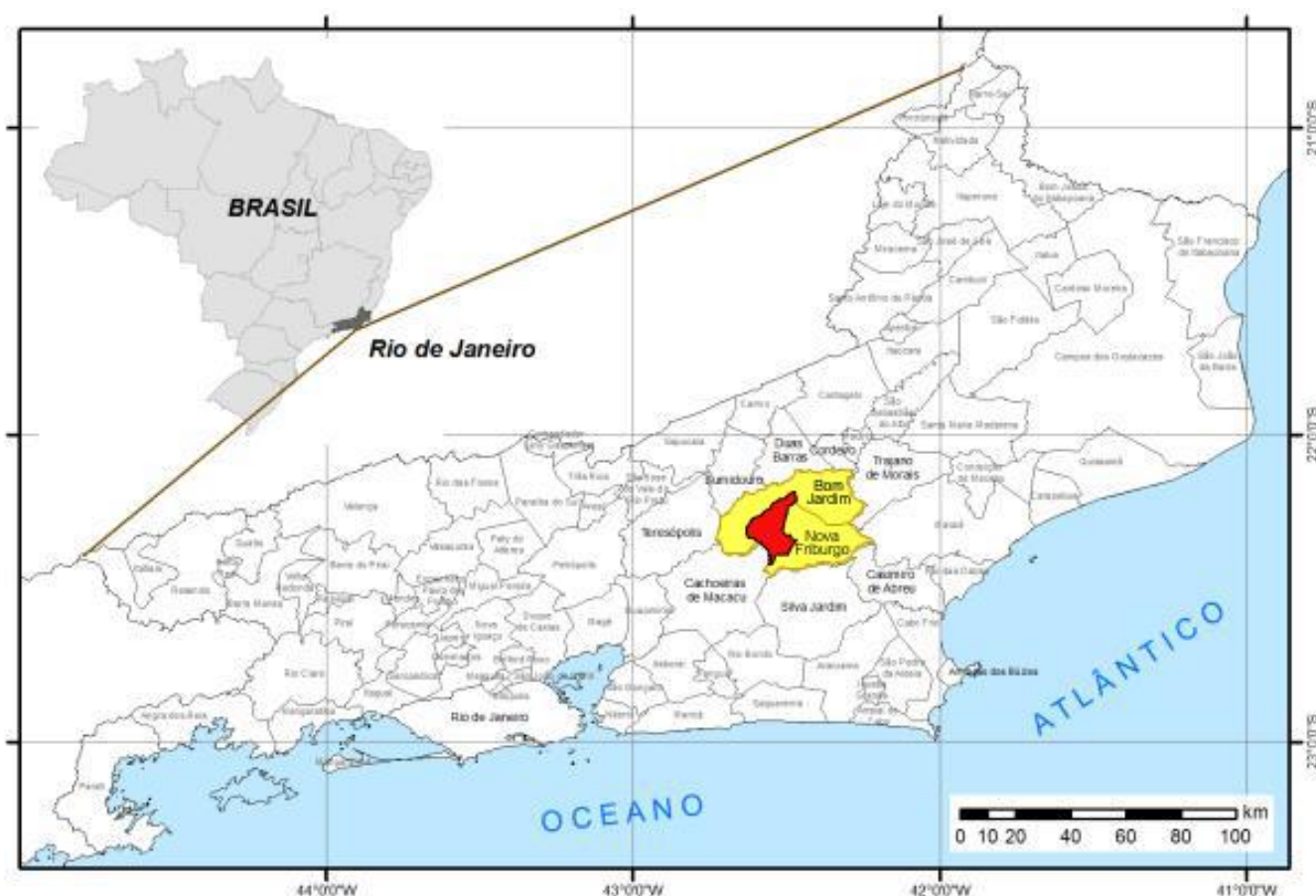


Figura 8. Localização da Bacia do Rio Bengalas

Fonte: IBGE (2011b), adaptada pelo Autor.

### 3.2.1 Declividade

A partir da Figura 9 observa-se que a maior parte da Bacia do Rio Bengalas, com uma área de 70,52 Km<sup>2</sup> (36,85%), tem uma declividade alta que varia de 30 a 47%.

Com uma declividade muito alta (> 47%) existe nesta Bacia uma área de 55,20 Km<sup>2</sup> (28,85%).

O conhecimento das classes de declividade, entre outras como as curvaturas vertical e horizontal, é de extrema importância, já que são fatores que influenciam na infiltração da água no solo, na taxa de escoamento superficial da água, etc (PINTO et al., 2005).

Análises de redes fluviais (WANG e YIN, 1998; TURCOTTE et al., 2001), partição de microbacias hidrográficas (BAND, 1986) e a identificação de unidades de relevo (MEIJERINK, 1988; GILES e FRANKLIN, 1998) vêm sendo desenvolvidas em ambiente computacional, amenizando a demanda de trabalho manual e a subjetividade dessas atividades.

Analogamente ao levantamento de solos a partir de reconhecidos condicionantes do relevo, a geração de extensas coleções de dados assim viabilizadas têm dado suporte, por exemplo, ao estudo de efeitos topográficos sobre a vegetação (FLORINSKY e KURYAKOVA, 1996), entre outros aspectos da paisagem.

Os estudos de compartimentação da topografia apontam a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis de alto poder de identificação de unidades homogêneas do relevo (DOORNKAMP e KING, 1971).

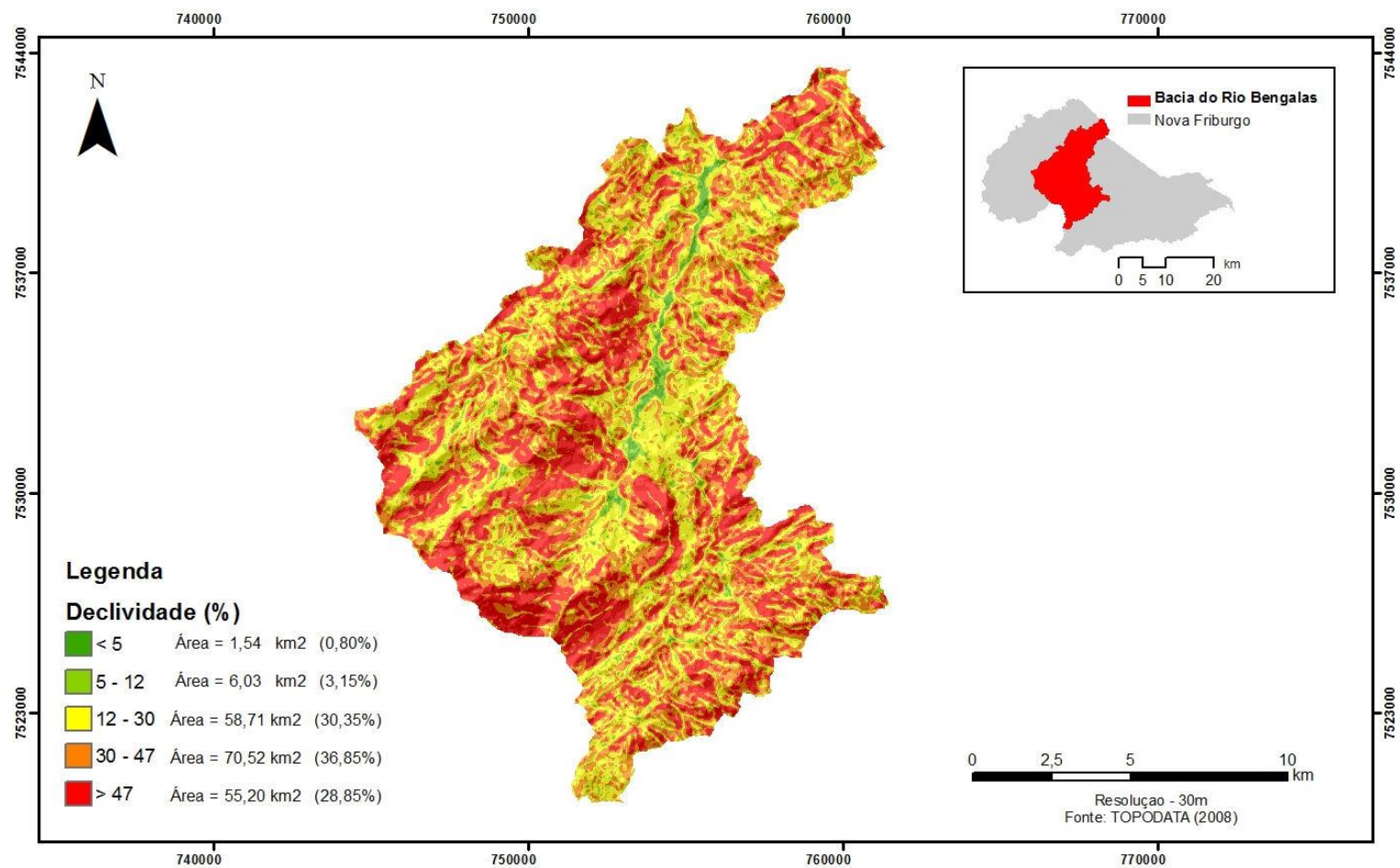


Figura 9. Declividade da Bacia do Rio Bengalas

Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).



### 3.2.2 Pedologia

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006) os solos que predominam nas áreas da Bacia do Rio Bengalas são, em ordem alfabética, os Argissolos (0,43%), Cambissolos (45,35%), Latossolos (30,3%), Neossolos (2,32%) e Afloramentos Rochosos (16,6%) (Figura 10).

**Argissolos:** São solos compostos por material mineral, com características diferenciais à presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico (EMBRAPA, 2006).

Segundo a EMBRAPA (2006) os argissolos são minerais, não-hidromórficos, com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara). Apresentam horizonte B de cor avermelhada até amarelada e teores de óxidos de ferro inferiores a 15%. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Sua profundidade varia de 50 a 100 cm e tem ampla variabilidade de classes texturais.

Os argissolos ocorrem em diferentes posições na paisagem e neles constata-se grandes propriedades de interesse para a fertilidade e uso agrícola (teor variável de nutrientes, textura, profundidade, presença ou ausência de cascalhos, pedras e concreções).

**Cambissolos:** São solos compostos por material mineral. Suas principais características são a presença de horizonte B incipiente e o baixo gradiente textural entre os horizontes. São solos pouco desenvolvidos em relação aos Latossolos e Podzólicos (EMBRAPA, 2003).

Apresentam horizonte B em formação, são rasos e de elevada erodibilidade, podendo em curto espaço de tempo ocorrer exposição do subsolo. Por serem muito suscetíveis à erosão, normalmente não permitem um uso intensivo, podendo em condições naturais, ser observada a ocorrência de erosão laminar moderada ou severa, bem como em sulcos e voçorocas (EMBRAPA, 2003). Voçorocas é o resultado da formação de grandes buracos de erosão causados pela chuva e intempéries, em solos onde a vegetação é escassa e não mais protege o solo, que fica cascalhento e suscetível de carregamento por enxurradas (EMBRAPA, 2007). Sua espessura varia de 50 a 100 cm (EMBRAPA, 2011).

Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características dos cambissolos variam muito de um local para outro (EMBRAPA, 2003).

Devido à sua gênese, os cambissolos são altamente suscetíveis a problemas ambientais, como elevadas perdas de solo e contaminações, especialmente da água, tanto subterrânea, quanto superficial. Esses problemas estão associados ao fato de que são unidades pedológicas em formação, normalmente com elevados teores de silte, sobretudo em profundidade (RESENDE et al., 1999).

Estes, por sua vez, são componentes texturais pouco desejáveis no contexto conservacionista tropical, devido à sua capacidade de se desprender pelo impacto de gotas de chuva e/ou irrigação (salpicamento) e, produzir um selamento superficial, dificultando infiltração de água e aumento de escoamento superficial e erosão (RESENDE et al., 1999).

**Latossolos:** São solos em avançado estágio de intemperismo, muito evoluídos, como resultado de energéticas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e baixa capacidade de troca catiônica (EMBRAPA, 2003).

São normalmente muito profundos, sendo a espessura do solo raramente inferior a um metro. Têm sequência de horizontes A, B, C, com pouca diferenciação de subhorizontes e transições usualmente difusas ou graduais (EMBRAPA, 2003).

Os latossolos são solos predominantes no Brasil e apresentam-se associados a relevos suave, grande profundidade e alta permeabilidade. No caso de compactação subsuperficial, a erodibilidade destes solos aumenta, exigindo cuidados redobrados no seu manejo (EMBRAPA, 2003).

Latossolos são solos típicos de países de clima tropical (ANDRADE et al., 2004), desenvolvendo-se a partir de diversos materiais de origem (exceto aqueles essencialmente quartzosos) e sob diferentes condições climáticas, relevo e vegetação. Expressiva ainda é sua ocorrência no domínio dos Mares de Morros e Planalto das Araucárias (ALMEIDA, 1996).

Os latossolos são formados através do longo e/ou intenso intemperismo de rochas e sedimentos (processo de ferralitização ou alitização), com concomitante concentração residual de minerais resistentes em todas as frações granulométricas (SCHAEFER, 2001).

Apesar de derivarem de uma ampla variedade de materiais de origem, possuem essencialmente uma estrutura granular típica e isto ocorre devido ao prevaletimento dos processos de ferralitização ou alitização e à intensa pedoturbação (SCHAEFER, 2001).

**Neossolos:** São solos em avançado estágio de intemperismo, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo.

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) os neossolos são solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 30 cm de espessura, com pequena expressão dos processos pedogenéticos, os quais não conduziram ainda a modificações expressivas do material de origem que permitam a ocorrência de um horizonte B diagnóstico.

São solos não hidromórficos, constituído por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com pequena expressão dos processos pedogenéticos devido à baixa intensidade atuação desses processos e/ou resistência do material originário ao intemperismo, e/ou condições do relevo, que isoladamente ou em conjunto, limitaram a evolução desses solos.

**Afloramentos Rochosos:** Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005), compreende as exposições de rochas em superfície, normalmente relacionadas às áreas de relevo mais movimentado. O afloramento rochoso significa o surgimento de rocha-mãe à superfície da terra após terem sido arrastados todos os materiais que a cobriam, facilitando o estudo e mapeamento geológico.

Este arrastamento dos materiais pode acontecer por processos naturais (como sejam a erosão provocada pelos rios, pelas chuvas, glaciares ou o deslizamento de terras) ou por processos artificiais (como a abertura de estradas e túneis que colocam a descoberto as rochas), expondo a rocha-mãe.

Na Figura 10 apresenta-se o mapa de pedologia da Bacia do Rio Bengalas, com suas respectivas classes de solos.

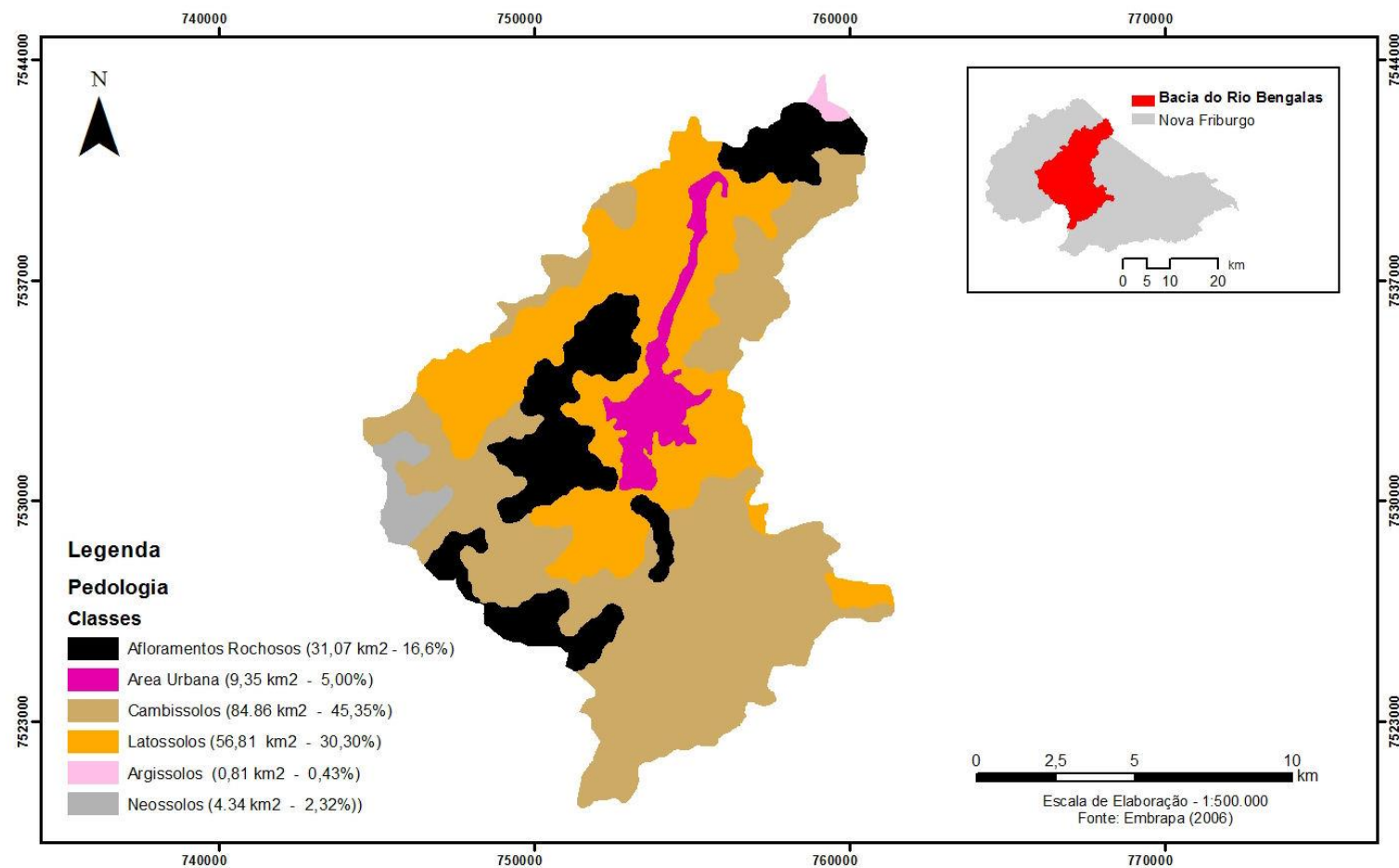


Figura 10. Pedologia da Bacia do Rio Bengalas  
 Fonte: Própria, dados provenientes da EMBRAPA (2006).

### 3.2.3 Litologia

A Bacia do Rio Bengalas, bem como todo o Município de Nova Friburgo, está sob o sítio geológico “Parque Estadual dos Três Picos” (Figura 11), maciço granítico inserido no Parque Estadual dos Três Picos, a maior unidade de conservação do Estado do Rio de Janeiro, que apresenta ecossistemas associados à Mata Atlântica, abrigando uma rica biodiversidade (SIGEP, 2007).



Figura 11. Três Picos de Salinas

Fonte: BATALHA (2008), adaptada pelo Autor.

Tendo em vista o grande desnível das escarpas, da qualidade e volume de rocha exposta, e das enormes fendas que cortam os maciços, o conjunto de montanhas do Maciço dos Três Picos tornou-se uma referência da escalada em grandes paredes do Brasil, com longas vias com até 700m de comprimento, reconhecidos internacionalmente (SIGEP, 2007).

O conjunto das imponentes montanhas formadas pelo Maciço dos Três Picos (Pico Maior, Pico Médio e Pico Menor) faz parte de um conjunto granítico conhecido como Maciço dos Frades e ocorre encaixado em ortognaisses neoproterozóicos relacionados às etapas pré (arco magmático) e sin-colisionais da Faixa Ribeira, quando a margem retrabalhada do Cráton de São Francisco, ou seja, o Terreno Ocidental, encontrava-se em convergência com o Terreno Oriental (HEILBRON et al., 2000).

O maciço eleva-se acima da escarpa principal da Serra do Mar em um conjunto de paredões subverticais e contém o pico de maior altitude da região (Pico Maior dos Três Picos, com 2.318 m). Sua idade de cristalização é correlacionável àquela obtida para o Maciço de Nova Friburgo (ca. 500 Ma), tendo sido gerado na fase tardia da Orogênese Ribeira (TUPINAMBÁ 1999). É constituído por granitos equigranulares e porfíricos, quartzo dioritos e dioritos (FERRASSOLI 2006), e encontra-se encaixado em gnaisses do Batólito da Serra dos Órgãos.

A geração de granitos tardios pós-colisionais, normalmente, está associada à etapa distensiva dos orógenos, num ambiente de deformação dúctil-rúptil que envolve o colapso da faixa orogênica (HEILBRON et al., 2004). Portanto, o estudo destes plútons graníticos contribui para a compreensão do comportamento do magmatismo e da tectônica na etapa final dos orógenos brasileiros.

As estruturas geológicas planares (foliação, falhas e fraturas) condicionam a orientação da rede de drenagem e possuem um papel fundamental na atuação dos processos erosivos nas encostas (movimentos de massa), principalmente as fraturas, tanto subverticais como as sub-horizontais (EIRADO et al., 2006).

As formas de relevo que são representadas pelas montanhas do Maciço dos Três Picos foram moldadas pela conjunção dos fatores litológicos e estruturais expostos anteriormente (EIRADO et al., 2006).

As classes litológicas da Bacia do Rio Bengalas são várias: anfibólio gnaiss; biotita gnaiss; colúvio; gabro; gnaiss; granito, diorito e granodiorito; metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaiss granulítico; ortognaiss de composição granítica; quartzito; e sedimentos aluvionar e coluvionar (Figura 12).

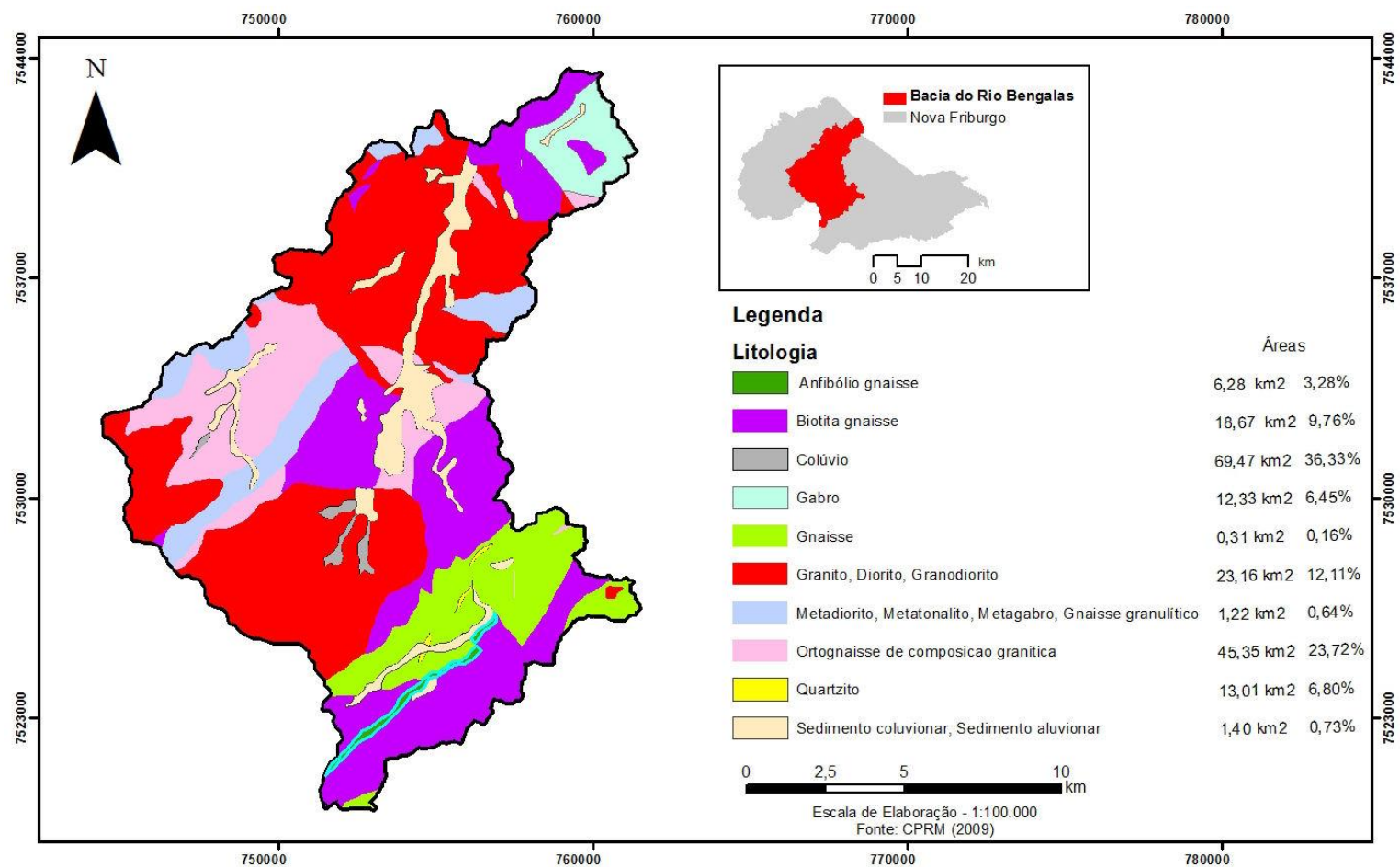


Figura 12. Litologia da Bacia do Rio Bengalas  
Fonte: Própria, dados provenientes do CPRM (2009).



### **3.2.4 Uso e Cobertura do Solo**

A análise do uso e cobertura do solo, por meio de informações colhidas através de novas tecnologias de informação e de tratamento de dados espaciais digitais, é de extrema importância como ferramenta no planejamento e na administração da ocupação ordenada e racional do meio físico.

Sendo o relevo palco das atividades sociais e económicas desenvolvidas pelo homem, cabe aos gestores públicos avaliar e monitorar o uso da terra de uma determinada localidade, sobretudo, esta avaliação deve ser realizada de maneira que se mantenha um equilíbrio entre o homem e a natureza.

Práticas antrópicas contra o meio em que vivemos, como a retirada de vegetação nativa, queimadas, poluição dos rios, construções que infringem leis ambientais e de segurança, entre outros fatores, são elementos que devem ser observados de perto pelo gestor público.

Porém, a deficiência no monitoramento e na fiscalização das áreas de preservação ocasionadas pela falta de meios e materiais, tem sido um grande desafio sob o aspecto técnico e económico, impedindo uma melhor investigação e colaborando de forma expressiva nas ocorrências de agressões ao meio ambiente. Como consequência desta agressão, a humanidade poderá sofrer diversos tipos de desastres naturais, como escorregamentos de terras e outros.

Em ambientes rurais ou urbanos, as modificações na paisagem, principalmente no recobrimento dos solos, definem mudanças no comportamento hidrológico das bacias de drenagem. A bacia de drenagem, ou bacia hidrográfica, é vista como uma unidade fisiográfica da paisagem de fundamental importância aos estudos geomorfológicos, hidrológicos e geoecológicos. (FREITAS, 2003). Analisar a dinamicidade da sociedade no espaço geográfico e as relações que o homem mantém com o mesmo, é de extrema importância no mundo contemporâneo em estudos de planejamento e monitoramento do espaço, tendo em vista algumas inquietações surgidas nas últimas décadas relacionadas ao uso sustentável dos recursos naturais. Algumas formas de uso e exploração dos recursos naturais podem causar desequilíbrio ecológico, gerando a degradação do meio ambiente com os escorregamentos de terras, erosões, inundações e assoreamentos do solo e de corpos d'água, potencializados é claro por acções antrópicas.

Segundo TRICART (1977) a cobertura vegetal responde pela estabilidade dos processos morfodinâmicos. Para o Autor a cobertura vegetal densa apresenta a capacidade de frear o “desencadeamento de processos mecânicos da morfogênese”.



A baixa energia para a remoção de material e transporte favorece os processos pedogenéticos enquanto restringe os processos morfogenéticos. Por outro lado, a falta de cobertura florestal densa contribui para a instabilidade ambiental, com o desenvolvimento da morfogênese (TRICART, 1977).

Para CHRISTOFOLETTI (1989) as características da cobertura vegetal vão influenciar a variedade das modalidades e intensidades dos processos, contribuindo para a acumulação ou subtração de matéria. Segundo ROSS (1991) a remoção da cobertura vegetal, parcial ou total, tornando o terreno exposto, facilita o escoamento pluvial concentrado e diminui a infiltração de água no solo. A cobertura florestal é a melhor defesa natural de um terreno contra a erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985). A atuação da floresta sobre a erosão vai além, melhora os processos de infiltração, percolação e armazenamento d'água, diminui o escoamento superficial, contribui para o escoamento subsuperficial, influências que, juntas, proporcionam a diminuição do processo erosivo (BROWN, 1976; LEE, 1980).

A cobertura vegetal é o fator isolado de maior influência no processo erosivo, evita o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo desnudo e a desagregação das partículas (DERPSCH, 1984), aumenta a humidade na zona radicular, mantém a microflora (REICHARDT, 1987), interfere no processo precipitação-vazão, reduzindo as vazões máximas devido ao amortecimento do escoamento (TUCCI, 1993).

A cobertura vegetal exerce função hidrológica de interceptação e redistribuição da água da chuva. A maior quantidade da água da chuva atravessa o dossel da floresta, atingindo o piso florestal recoberto de serapilheira. Nesse processo, o papel exercido pela serapilheira na diminuição da erosão superficial é fundamental, evitando o selamento do solo e permitindo a infiltração da água no solo (COELHO NETO, 1985).

A presença de vegetação permite que grande quantidade de água seja evaporada, reduzindo a humidade do solo e contribuindo para o aumento da taxa de infiltração e a redução do volume de escoamento superficial. Pode, haver aumento do teor de matéria orgânica (DEDECECK et al., 1986; SEGAFREDO et al., 1997), que, incorporada ao solo, melhora a drenagem (LIRA, 1999), melhora a estrutura do solo e facilita a penetração das raízes dos vegetais (BERTOL et al., 2008).

A Bacia do Rio Bengalas é ocupada por 9 (nove) classes do uso e cobertura do solo. São elas: floresta (Mata Atlântica); floresta inicial e média; agricultura; eucaliptos e pinheiros; pastagens e forragens área degradada; área urbana; afloramentos rochosos; e lagos (Figura 13).

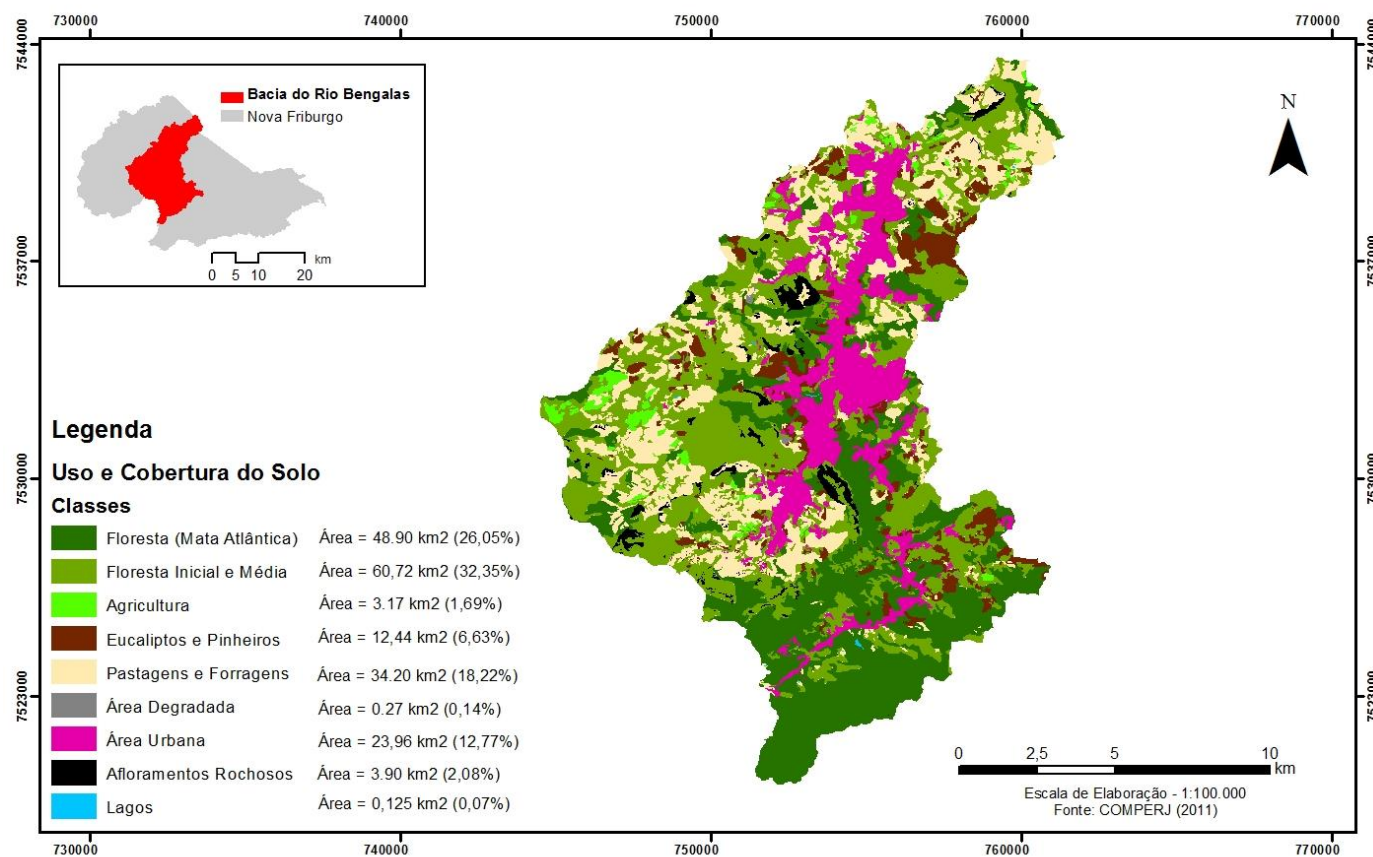


Figura 13. Uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Bengalas

Fonte: Própria, dados provenientes do COMPERJ (2011).

### 3.2.5 Curvaturas Vertical e Horizontal

Os dados topográficos são fontes de variáveis importantes e muito solicitadas nas análises ambientais de bacias hidrográficas. Os estudos envolvendo dados topográficos têm se voltado à caracterização de unidades da paisagem com base em variáveis morfológicas, estreitamente ligadas a feições geométricas da superfície sob análise (DOORNKAMP & KING, 1971; MEIJERINK, 1988).

Segundo FERNANDES et al. (2001), em estudos de instabilidades de encostas, a declividade vem sendo utilizada de maneira predominante, ou até exclusiva, como fator condicionante de cunho geomorfológico, gerando, com frequência, distorções na análise de escorregamentos.

O mesmo pode se dizer dos estudos de processos erosivos e dos métodos de planeamento territorial. Geomorfólogos e cartógrafos utilizam variáveis derivadas de dados de elevação para quantificar a forma ou a estrutura de superfícies topográficas (ROBINSON et al., 1995;. WILSON e GALLANT, 2000; SLOCUM et al., 2004;. LI et al., 2004). Assim, a geração e difusão do mapeamento das curvaturas vertical e horizontal, bem como de outras variáveis topográficas, representam uma grande e poderosa estratégia para a operacionalização de análises adequadas às relações entre os diversos fatores topográficos.

A análise da convexidade do relevo é reconhecida como um atributo importante para a distinção de sítios geomorfológicos, estudada desde os trabalhos de DAVIS (1892) e GILBERT (1909). A curvatura horizontal refere-se ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projecção horizontal. Esta variável está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade, e desempenha papel importante sobre o decorrente balanço hídrico e os processos de pedogênese (BINDA & BERTOTTI, 2007).

Neste trabalho a topografia foi analisada por meio da inclinação e das curvaturas vertical e horizontal do terreno, pois com relação à morfometria das vertentes, a variável geomorfométrica declividade fornece a medida de inclinação (em graus ou percentual) do relevo em relação ao plano horizontal e está diretamente relacionada à velocidade de deslocamento de material e à capacidade de transporte de massas sólidas e líquidas no terreno (MUÑOZ, 2005). Para tanto, essa variável tem grande importância nos processos geomorfológicos, condicionando cursos de água e deslocamento de colúvio (CHRISTOFOLLETTI, 1980).

As declividades acima de 30° (57%), por exemplo, apresentam risco de deslizamentos mais frequentes (MUÑOZ, 2005). Além da declividade, a curvatura vertical e a curvatura horizontal merecem ser destacadas. A primeira se refere ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil, enquanto que a última, ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projecção horizontal (Figura 14).

Assim, ambas as variáveis estão relacionadas aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e materiais orgânicos no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Tais variáveis combinadas representam uma caracterização das formas do terreno, que se associam diretamente a propriedades hidrológicas e de transporte (SCHMIDT et al., 2003).

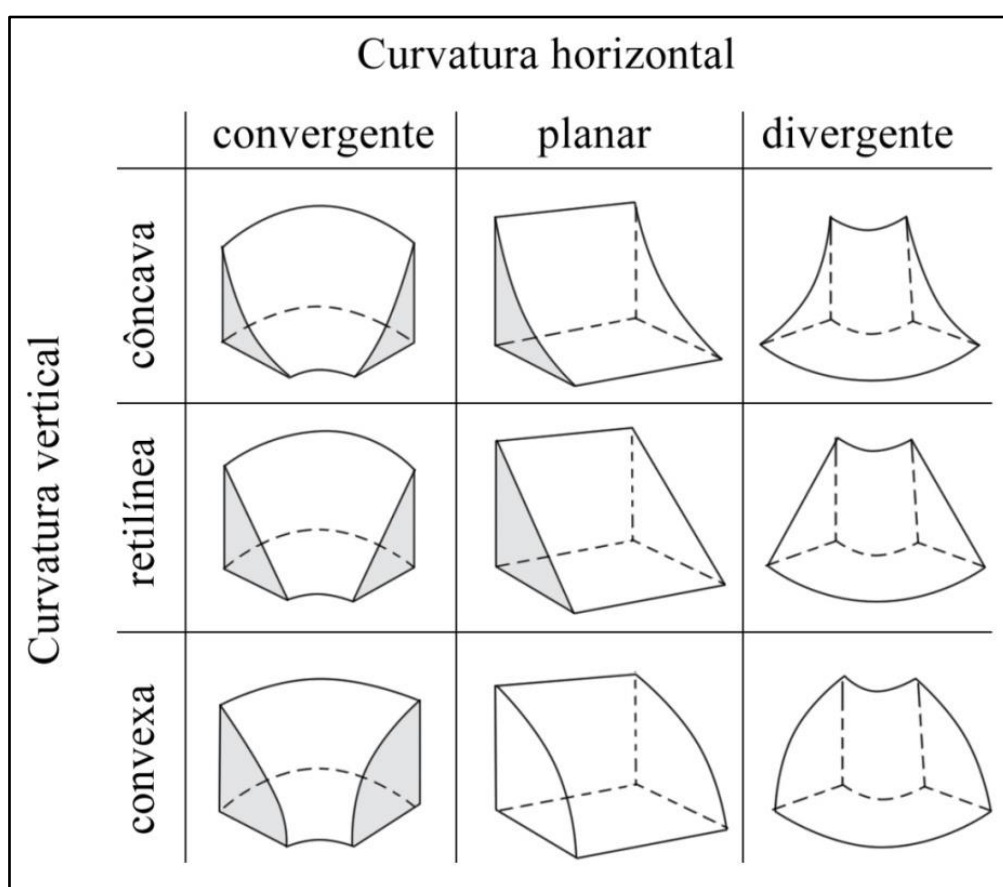


Figura 14. Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno

Fonte: DIKAU (1990).

A seguir apresentam-se os mapas das curvaturas vertical (Figura 15) e horizontal (Figura 16) da Bacia do Rio Bengalas.

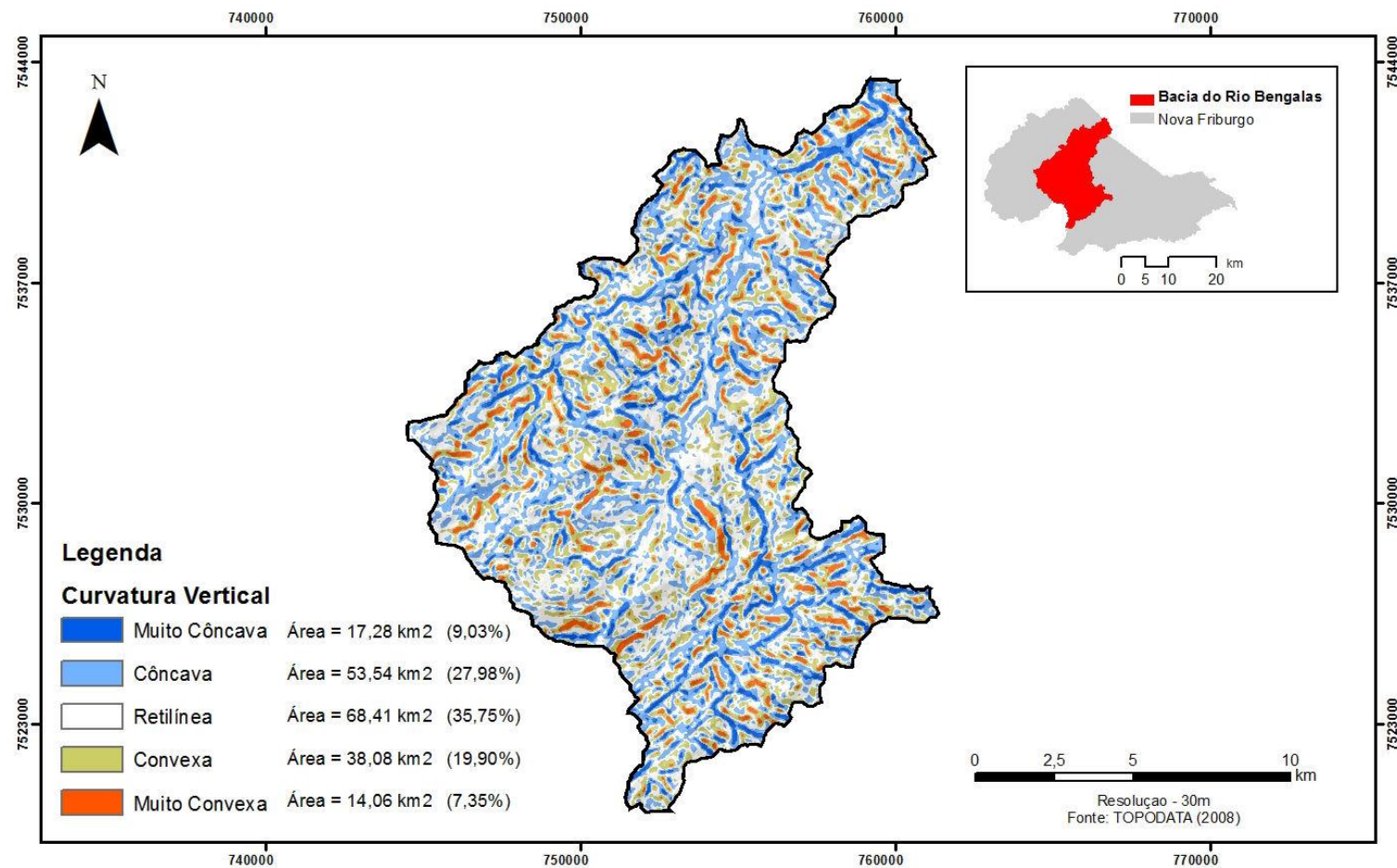


Figura 15. Curvatura Vertical da Bacia do Rio Bengalas  
Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).

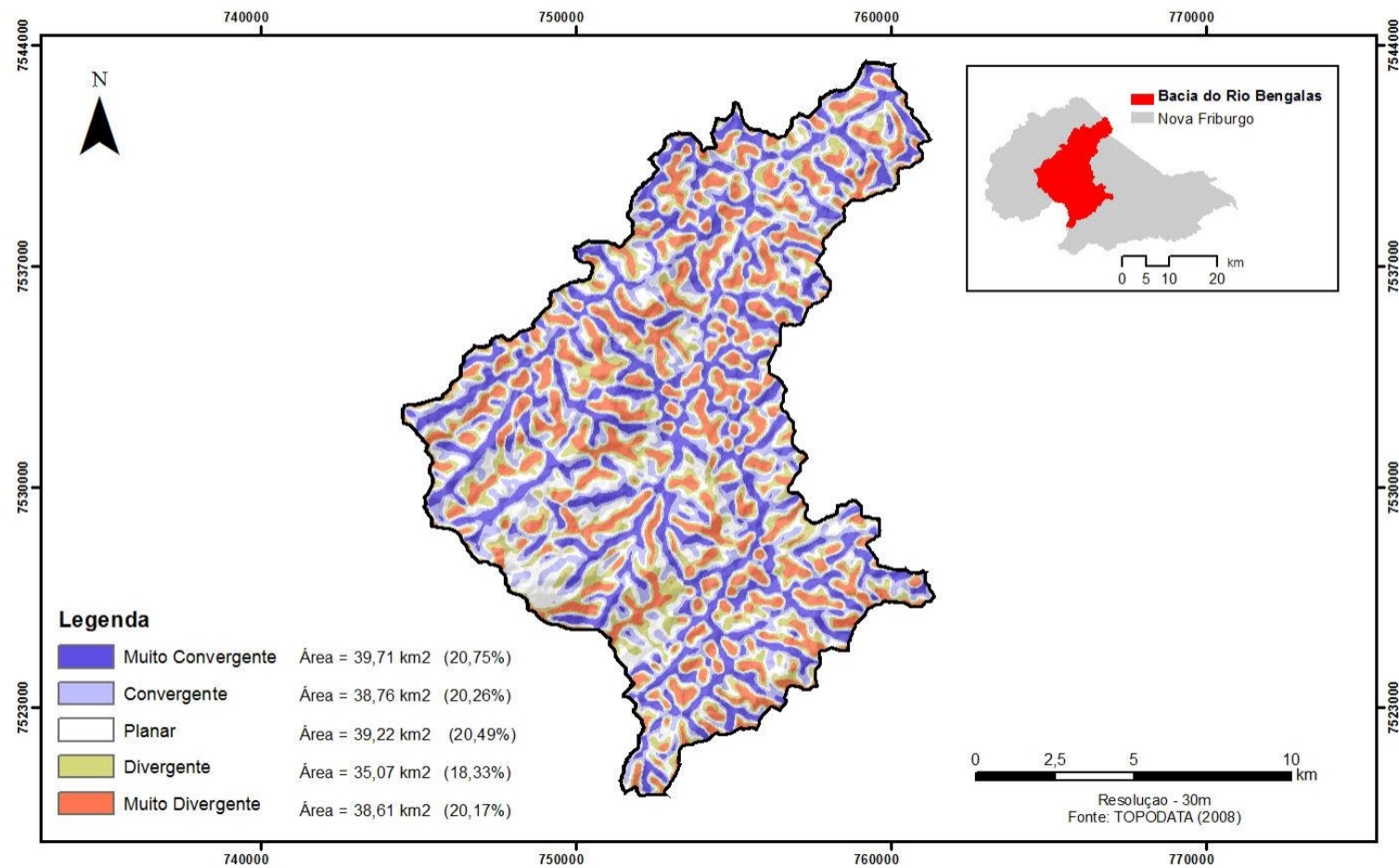


Figura 16. Curvatura Horizontal da Bacia do Rio Bem galas

Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).

### 3.2.6 Hidrografia

O Rio Bengalas é formado pela confluência dos Rios Santo Antônio e Cônego e sua bacia hidrográfica apresenta uma área de drenagem de 191 km<sup>2</sup>, com uma extensão aproximada de 13 km, atravessando toda a zona urbana da cidade de Nova Friburgo. O Rio Bengalas é afluente da margem direita do rio Grande, tributário do rio Dois Rios, que por sua vez é afluente do rio Paraíba do Sul (UFRJ, 1998).

Após cruzar a sede do Município de Nova Friburgo, o Rio Bengalas desagua no rio Grande, já no Município de Bom Jardim, mais precisamente no Distrito de Banquete. O rio Grande por sua vez é um dos principais afluentes da margem direita do Rio Paraíba do Sul.

Um dos grandes problemas ambientais no local é a poluição dos rios e córregos que integram a Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas, pois a maior parte dos rios recebe o lançamento de grande quantidade de agrotóxicos e por falta de saneamento básico no Município de Nova Friburgo, os esgotos domiciliares também são lançados sem qualquer tratamento nas águas do rio. É importante ressaltar que em 13 de julho de 2012 foi inaugurada a primeira estação de tratamento de esgoto do Município de Nova Friburgo, que trata cerca de trinta por cento dos esgotos do Município. A coleta dos esgotos é feita através dos interceptores instalados às margens do Rio Bengalas, com auxílio de geradores e escavadeiras hidráulicas. Caracteriza uma forma rápida e eficiente de solucionar a questão do lançamento de esgoto não tratado na Bacia do Rio Bengalas, pois é uma solução consagrada e utilizada em diversos Municípios do Brasil, como Poços de Caldas, Cachoeiro de Itapemirim e Viçosa, e em Strasbourg e Bordure na França. Além da alta tecnologia utilizada, estudos e cálculos foram feitos para praticar tarifas dentro da realidade econômica e social do Município de Nova Friburgo. A tarifa mínima básica ou referencial praticada no Município é de R\$1,83/m<sup>3</sup>, enquanto as médias das tarifas Nacional e do Estado do Rio de Janeiro respectivamente são de R\$ 2,12/m<sup>3</sup> e R\$ 2,15/m<sup>3</sup>. Assim, conclui-se que a tarifas praticadas no Município de Nova Friburgo está 13,7% menor que a média nacional.

Durante as cheias com periodicidade próxima a 10 anos, o rio Bengala extravasa de sua calha principal inundando diversos bairros, trazendo uma série de transtornos para cidade. O crescimento da cidade e o consequente aumento significativo das áreas impermeáveis e das vazões de cheia, aliados à falta de manutenção periódica são os principais fatores responsáveis pelas inundações do Rio Bengalas (UFRJ, 1998).

Na Figura 17 apresenta-se o mapa de hidrografia da Bacia do Rio Bengalas.



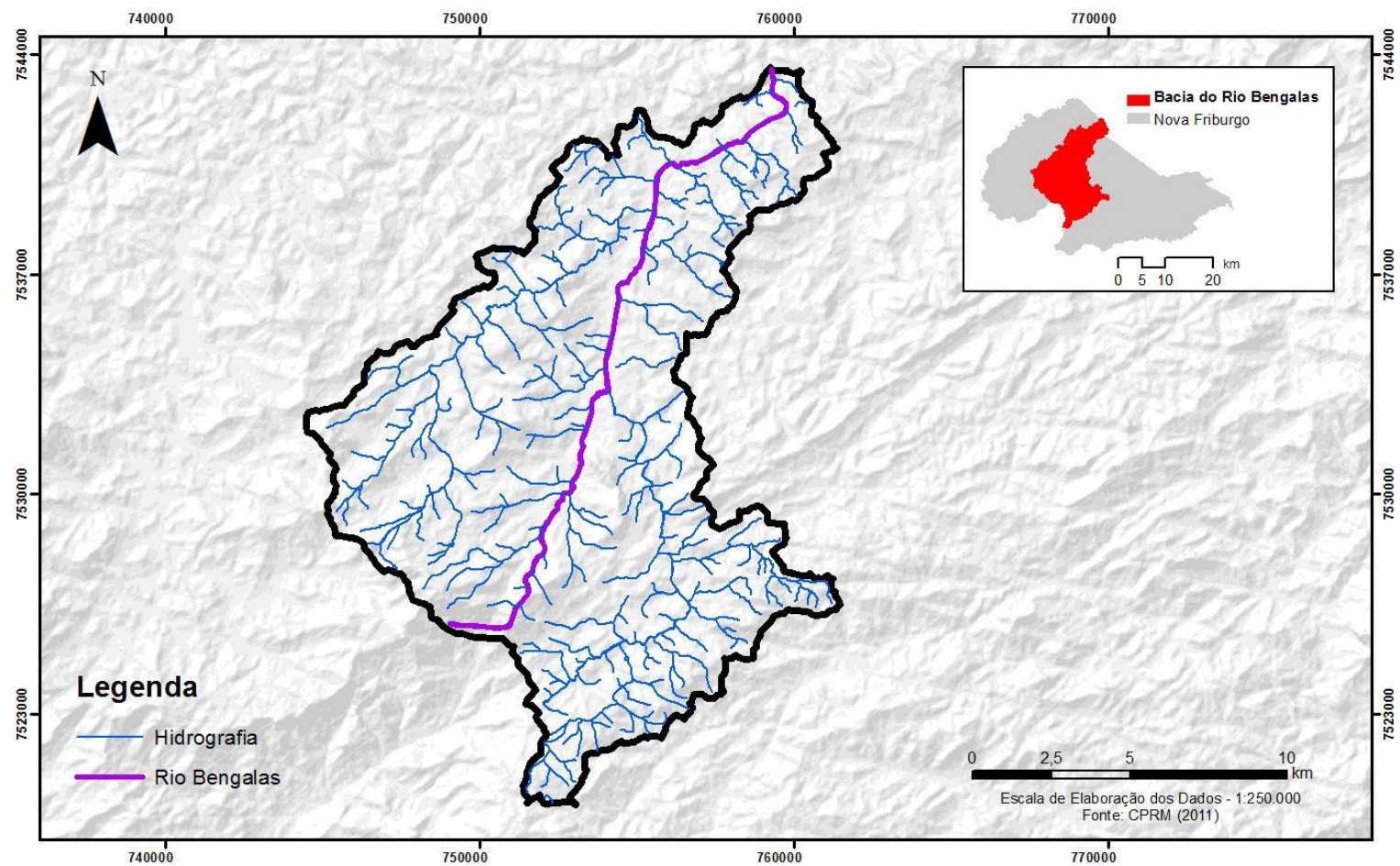


Figura 17. Hidrografia da Bacia do Rio Bengalas  
Fonte: Própria, dados provenientes do CPRM (2011).



### 3.2.7 Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem, reconhecida como um dos mais importantes parâmetros da análise morfométrica de bacias hidrográficas, foi definida inicialmente por HORTON (1945) como o comprimento médio de rios de uma bacia hidrográfica por unidade de área, podendo ser expressa pela Equação 5 a seguir:

$$Dd = \frac{\Sigma L}{A} \quad (5)$$

**Onde:**

**Dd** = Densidade de drenagem

**$\Sigma L$**  = Comprimento total dos canais

**A** = Área total da bacia

Esse índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, pois indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem. Seu estudo aponta para a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Portanto, tais dados auxiliam no planejamento do uso da bacia hidrográfica (CARDOSO et al., 2006).

Segundo STRAHLER (1964), a densidade de drenagem pode ser pensada como uma expressão da proximidade dos canais. Admite-se que a ela varie de 0,5 km/km<sup>2</sup> para bacias de drenagem pobre, a 3,5 km/km<sup>2</sup> ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (VILELLA e MATTOS, 1975). Uma densidade de drenagem alta reflete uma bacia altamente dissecada, que responde de maneira relativamente rápida a uma determinada quantidade de chuva, enquanto uma densidade de drenagem baixa reflete uma bacia de drenagem pobre com respostas hidrológicas lentas. Conforme os autores, densidades de drenagens baixas são observadas normalmente em solos mais resistentes à erosão ou muito permeável e onde o relevo é suave.

Valores altos podem ser esperados em bacias cujos solos são facilmente erodidos ou relativamente impermeáveis, as declividades são altas e as coberturas de vegetação são ralas (LINSLEY et al., 1975).

Segundo CHRISTOFOLETTI (1974), o cálculo da densidade de drenagem é importante nas análises de bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios, ou seja, conforme se aumenta o valor da densidade há a diminuição quase proporcional do tamanho dos cursos d'água das bacias de drenagem. O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários. Seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo, assim, o índice que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede - sejam eles perenes, intermitentes ou temporários - e a área total da bacia (PINTO et al., 2005).

Baseado em VILELLA e MATTOS (1975), quando admitem que a densidade de drenagem varia de 0,5 km/km<sup>2</sup> para bacias de drenagem pobre, a 3,5 km/km<sup>2</sup> ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas, e como não há uma classificação detalhada para adequar a densidade de drenagem levantada neste trabalho para a Bacia do Rio Bengalas, foi criada uma classificação proporcional (Tabela 7) àquela admitida por tais autores, com o objectivo de medir as cinco classes expostas na Figura 18, com um índice de densidade de drenagem para a Bacia do Rio Bengalas de 1,98 Km/Km<sup>2</sup>.

Índices de Densidade de Drenagem - km/km <sup>2</sup>		Classificação Adoptada
De	Até	
0,00	0,82	Muito Baixa
0,83	1,60	Baixa
1,70	2,50	Média
2,60	3,30	Alta
3,40	4,10	Muito Alta

Tabela 7. Classificação dos Índices de Densidade de Drenagem

Fonte: VILELLA e MATTOS (1975), adaptada pelo Autor.

Na Figura 18 apresenta-se o mapa de densidade de drenagem da Bacia do Rio Bengalas.

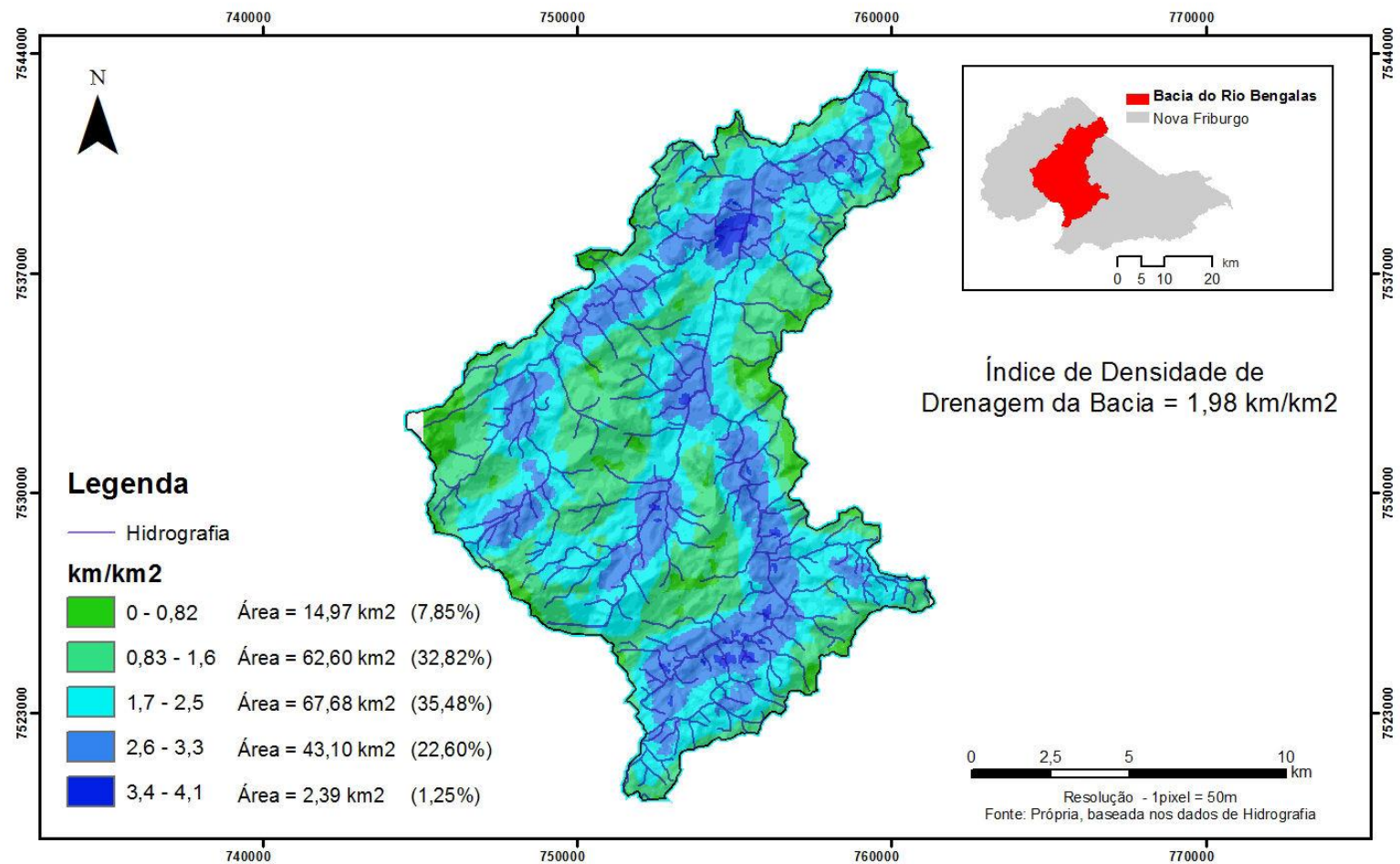


Figura 18. Densidade de Drenagem da Bacia do Rio Bengalas

Fonte: Própria, baseada nos dados de Hidrografia.

#### **4 AS CHUVAS DE JANEIRO DE 2011 EM NOVA FRIBURGO**

Em janeiro de 2011, entre a noite do dia 11 e a manhã do dia 12, um forte temporal atingiu a Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Em apenas 24 horas choveu o esperado para todo o mês de janeiro, o que resultou na maior tragédia climática já ocorrida no Brasil, atingindo fortemente o Município de Nova Friburgo, ocasionando vários prejuízos à sociedade local, como perdas humanas, materiais e ambientais (O GLOBO, 2011).

Segundo a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Luiza Coelho Netto, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a chuva torrencial ocorrida não foi a única culpada pelo cenário avassalador da Região Serrana do Rio de Janeiro. Parte da tragédia deve ser atribuída à inércia de autoridades, que não investem no diagnóstico de áreas mais suscetíveis a tragédias ambientais, tampouco na retirada da população de regiões de risco. De acordo com a pesquisadora, a vulnerabilidade do local é há muito tempo conhecida, dada a sua localização, a frágil composição do solo e principalmente o modo irregular como foram ocupados por ricos e pobres (O GLOBO, 2011).

O crescimento desordenado de várias cidades e a falta de uma política séria de habitação, que incluiria uma fiscalização rigorosa da ocupação de áreas de risco, também fazem com que seja criado, no Brasil, o cenário perfeito para a destruição. A população urbana no país cresceu de 26,3% para 81,2% entre a década de 1940 e o início do século XXI. Nesse período, o país passou por um processo intenso de urbanização, tendo que abrigar mais de 125 milhões de pessoas em suas cidades. E essa transição aconteceu sem nenhum planejamento. Moradias irregulares, despejo de lixo em encostas e construções à margem de rios assoreados completam a equação mortal (GUERREIRO, 2011).

Em relação às consequências humanas foram registrados 429 óbitos, 789 desabrigados (aqueles que são amparados pelo poder público) e 4.528 desalojados (aqueles que são amparados por parentes e amigos) no Município de Nova Friburgo (BBC-BRASIL, 2012).

A Prefeitura de Nova Friburgo calculou que o Município teve um prejuízo total de aproximadamente R\$ 1,5 bilhão (US\$ 882 milhões) em decorrência do forte temporal dos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Só nas indústrias, a tragédia provocou uma perda de R\$ 700 milhões (US\$ 412 milhões) (R7 NOTÍCIAS, 2011a).

Segundo a FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro), o mercado de tecidos e lingerie, um dos principais carros-chefes da economia do Município, teve cerca de 20% das empresas destruídas, o que deixou de movimentar mensalmente R\$ 20 milhões (US\$ 11,7 milhões) aos cofres públicos (R7 NOTÍCIAS, 2011a).

O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro (CREA-RJ), preocupado com os desastres naturais ocorridos na Região Serrana do Rio de Janeiro, realizou no Município de Nova Friburgo inspeções em áreas críticas atingidas pelas fortes chuvas ocorridas entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, produzindo relatório preliminar (CREA-RJ, 2011).

Assim, diversas imagens dos desastres naturais ocorridos no Município de Nova Friburgo foram produzidas e apresentadas por assunto no relatório de inspeção do CREA-RJ, como: Escorregamentos de terra em taludes íngremes, com ocupações antrópicas na própria encosta ou no sopé da mesma (Figuras 19 a 27); Alagamentos de áreas públicas e privadas pelo transbordamento das águas dos rios e pelos escorregamentos de terras (Figuras 28 a 37); e Destruição de benfeitorias públicas e privadas (Figuras 38 a 47).

**Deslizamento de terra em taludes íngremes,  
com ocupações antrópicas na própria encosta ou no sopé da mesma**



Figura 19. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 20. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 21. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 22. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 23. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 24. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 25. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 26. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 27. Escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).

**Alagamentos de áreas públicas e privadas ocasionados pelo transbordamento das águas dos rios e muitas vezes influenciados também pelos escorregamentos de terras das encostas**



Figura 28. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 29. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 30. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 31. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 32. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 33. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 34. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra  
Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 35. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra  
Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 36. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 37. Alagamentos de áreas públicas e privadas por escorregamentos de terra

Fonte: CREA-RJ (2011).

## Destruição de benfeitorias públicas e privadas



Figura 38. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 39. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 40. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 41. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 42. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 43. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 44. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 45. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).





Figura 46. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).



Figura 47. Destruição de benfeitorias públicas e privadas

Fonte: CREA-RJ (2011).

#### **4.1 Os Escorregamentos de Terra na Bacia do Rio Bengalas**

Segundo o Relatório de Setorização do Risco Remanescente no Município de Nova Friburgo, emitido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Nova Friburgo foi duramente atingido por chuvas de rara intensidade no evento da madrugada de 12/01/2011 (BRASIL, 2011). Como consequência de tais chuvas, do relevo montanhoso do seu território e da ocupação desordenada das encostas e talvegues dos vales, foram registrados 183 escorregamentos e corridas de detritos na Bacia do Rio Bengalas, que afetaram tanto áreas urbanas consolidadas como áreas com ocupações subnormais, e também áreas não ocupadas, resultando em perdas humanas, económicas e ambientais. Aproximadamente 50% de Nova Friburgo foi atingido pelo evento pluviométrico catastrófico de Janeiro de 2011. Prédios e habitações foram destruídos, comprometendo principalmente os serviços de abastecimento de água, energia elétrica e de telefonia fixa. No total foram mapeados 254 setores de riscos distribuídos em seis (6) Distritos do Município de Nova Friburgo (BRASIL, 2011). São eles: 1º Distrito - Sede do Município de Nova Friburgo (167 setores); 2º Distrito - Riograndina (20 setores); 3º Distrito - Campo do Coelho (45 setores); 4º Distrito - Amparo (2 setores); e 6º Distrito - Conselheiro Paulino (20 setores). O 1º Distrito - Sede do Município de Nova Friburgo (zona urbana) - está inserido na Bacia do Rio Bengalas.

As características ambientais desta região, que combina montanhas e muitos rios, subsolo composto de rocha e pequena camada de terra, associada ao fato de já ter ocorrido muita extração de madeira nativa, desmatamento e implantação de florestas com espécies exóticas para fins industriais foram, ao longo dos anos, tornaram a mesma propícia a ocorrência de escorregamentos (CEPED-UFSC, 2011). Os processos de degradação ambiental e ocupação, combinados com as características geológicas e hidrometeorológicas (alta pluviosidade), tornam a região vulnerável a ameaças naturais como os escorregamentos de terra. Por esta razão o Município de Nova Friburgo, bem como outros Municípios da Região Serrana do Rio de Janeiro, se encontram entre os 251 Municípios mais vulneráveis a escorregamentos de terra no Brasil (BRASIL, 2011). Diante disso, é importante ressaltar a importância das florestas nativas e da sua preservação, evitando para tanto o seu desmatamento, pois segundo COELHO NETO (1985), a cobertura vegetal exerce função hidrológica de interceptação e redistribuição da água da chuva, evita o selamento do solo e permite a infiltração da água no solo. Além disso, segundo DERPSCH (1984), a cobertura vegetal é o fator de maior influência no processo de erosão, evita o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo desnudo e a desagregação das suas partículas. Trata-se de considerações importantíssimas para se evitar escorregamentos de terra. A seguir apresenta-se o Mapa da Bacia do Rio Bengalas, com a área urbana e com os escorregamentos de terra ocorridos em janeiro de 2011 (Figura 48). Além disso, apresenta-se outro mapa da Bacia do Rio Bengalas, com os escorregamentos de terra e com os dados do uso e cobertura do solo (Figura 49).

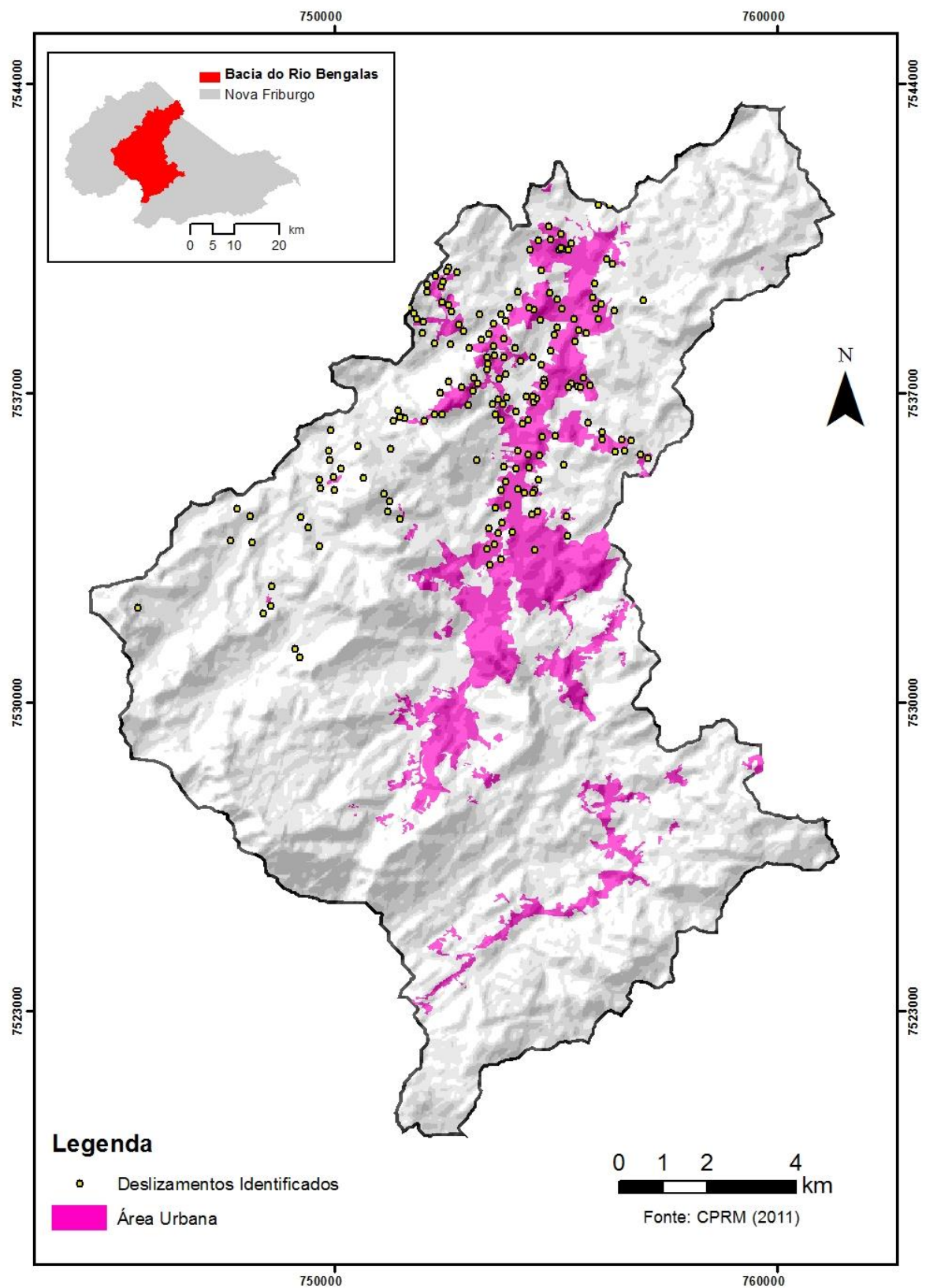


Figura 48. A Bacia do Rio Bengalas e os escorregamentos de terra de janeiro de 2011

Fonte: Própria, dados provenientes da CPRM (2011).



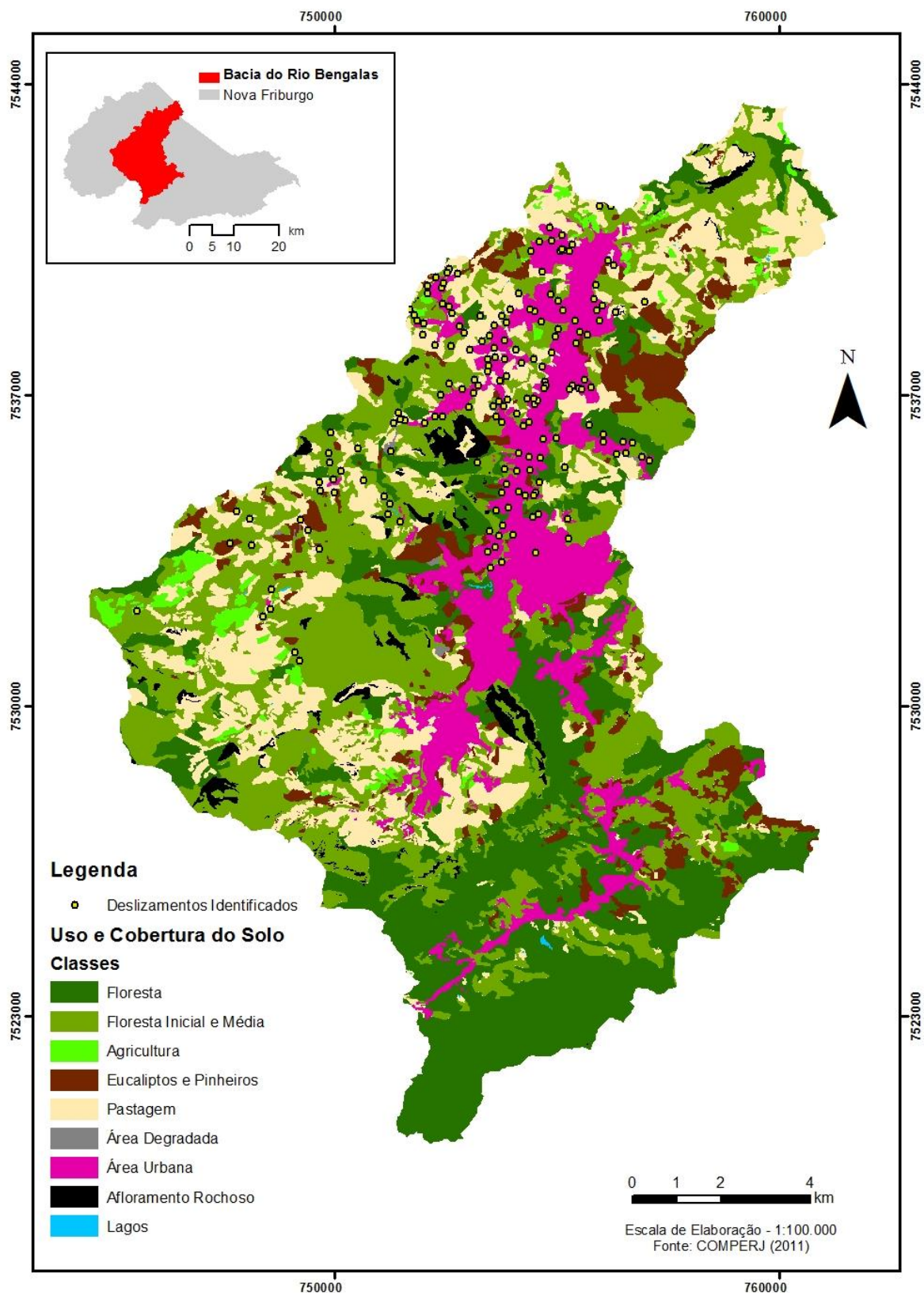


Figura 49. A Bacia do Rio Bengalas, os escorregamentos de terra e o uso e cobertura do solo  
Fonte: Própria, dados provenientes do COMPERJ (2011).

## 5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

ERMINI et al. (2005) empregaram uma abordagem não paramétrica, baseada em redes neurais artificiais (RNA), para o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa nos Montes Apeninos setentrionais (Itália), considerando critérios de litologia, declividade, curvatura vertical de terreno, cobertura da terra e área de contribuição à montante.

Nessa mesma linha metodológica CHAUHAN et al. (2010) produziram um mapa de zoneamento de áreas suscetíveis a escorregamentos a partir de RNA, levando em conta diversas variáveis condicionantes como declividade, densidade de drenagem, orientação de vertentes, relevo relativo, litologia, falhas, cobertura e uso da terra.

PRADHAN et al. (2006) consideraram fatores como cobertura da terra, geologia, lineamentos, falhas, geomorfologia e drenagem, extraídos a partir de imagens de satélite, a fim de conduzir, por meio do método booleano, uma análise de suscetibilidade a escorregamentos para uma região tectonicamente ativa no Himalaia central. Os Autores concluíram que áreas com alta densidade de lineamentos, moderada a baixa densidade de drenagem e alta declividade são as mais vulneráveis a escorregamentos.

KOMAC (2006) utilizou o método de Processo Hierárquico Analítico (*Analytical Hierarchy Process - AHP*) aliado a uma análise estatística multivariada, para a geração de mapas de suscetibilidade a movimentos de massa em uma região central da Eslovênia, considerando 24 variáveis, das quais a declividade, litologia, rugosidade do terreno e tipo de cobertura da terra mostraram-se decisivas para a determinação das áreas suscetíveis a esses fenômenos.

Este trabalho apoiou-se nos procedimentos metodológicos propostos por CREPANI et al. (2001), onde as variáveis comparadas têm a mesma importância, ou seja, são idênticas, adaptadas pelo Autor.

O método utilizado foi o heurístico, pois são aqueles que levam a soluções viáveis através de avaliações baseadas nas características dos problemas, com o objetivo de encontrar boas soluções (CARNEIRO, 2010).

Para cada variável (declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal) foram adotados pesos de acordo com suas classes, podendo variar de 0,00 a 1,00, sendo que àqueles mais próximos de 0,00 indicam classes de baixa relação com a suscetibilidade a escorregamentos de terra, enquanto que àqueles mais próximos de 1,00 indicam classes de elevada relação.

A interação dos planos de informações destas variáveis está fundamentada nos estudos de TRICART (1977), com os princípios da ecodinâmica, que estabelece uma gradação entre a morfogênese, prevalecendo os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e a pedogênese, onde os processos formadores de solos prevalecem.

Especificamente, os procedimentos metodológicos deste trabalho são:

- ✓ Levantamento dos pontos de escorregamentos de terra que desencadearam os desastres ocorridos na Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas, no Município de Nova Friburgo, em janeiro de 2011.
- ✓ Compreender como os elementos naturais e antrópicos da área de estudo estão relacionados com a dinâmica local dos desastres, no que diz respeito às suas interferências na indução dos escorregamentos de terra.
- ✓ Compilação de dados georreferenciados da área de estudo e tratá-los por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), para que as informações espaciais representem da melhor forma possível a sua suscetibilidade/vulnerabilidade a escorregamentos de terra. Cabe aqui os ajustes e elaborações dos mapas temáticos, que servirão de base para a análise da suscetibilidade/vulnerabilidade a escorregamentos de terra da área de estudo.
- ✓ Desenvolver metodologia, calcular e analisar o grupo de indicadores de suscetibilidade “físico-ambiental” da área de estudo (Bacia do Rio Bengalas), baseados nas características do meio físico tais como: declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal. Ressalta-se que neste novo modelo foram inclusas as variáveis geomorfométricas “curvatura vertical” e “curvatura horizontal”.
- ✓ Levantamento e avaliação dos dados de precipitação em conjunto com os da humidade do solo (US) da área de estudo.
- ✓ A partir de dados do grupo de indicadores de suscetibilidade e das precipitações ocorridas na Bacia do Rio Bengalas, desenvolver equação para a nova metodologia do cálculo da vulnerabilidade a escorregamentos de terra.



## 5.1 Classes da Suscetibilidade/Vulnerabilidade

Foi utilizado o software ArcGIS® 10.1 para o desenvolvimento das operações de geoprocessamento com a extensão *Spatial Analyst*, com cálculos de operações algébricas dos valores atribuídos a cada classe de uma determinada variável disponibilizadas em formato *raster*, considerando o grau de sensibilidade de cada atributo selecionado, utilizando, para tanto, a ferramenta *raster calculator*. Ressalta-se que todos os mapas deste trabalho foram gerados por ferramentas do software ArcGIS® 10.1 na função de álgebra de mapas, que é uma linguagem computacional de alto nível usada para realizar análise espacial cartográfica usando dados *raster*. O ArcGIS® é um conjunto integrado de softwares de Sistema de Informação Geográfica produzido pela empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), que fornece ferramentas baseadas em padrões para realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento (SILVA, 2010).

O método adotado neste trabalho baseia-se no estudo da Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados propostos por TRICART (1977) e também por ROSS (1994), em que sistematiza uma hierarquia nominal de fragilidade representada por valores ou pesos, denominada neste trabalho como “Classes da Suscetibilidade/Vulnerabilidade e seus Índices” (Tabela 8), adaptados pelo Autor. São elas: muito baixa (0,00 a 0,19), baixa (0,20 a 0,39), média (0,40 a 0,59), alta (0,60 a 0,69) e muito alta ( $\geq$  a 0,70). Observa-se que a amplitude da classe alta (0,60 a 0,69) é menor que as demais, tendo em vista que diversos testes e cálculos foram feitos e a melhor forma encontrada para a classificação foi esta, conforme explicitada na Tabela 8.

Classes da Suscetibilidade/Vulnerabilidade	
Classes	Índices Adotados
Muito Baixa	0,00 a 0,19
Baixa	0,20 a 0,39
Média	0,40 a 0,59
Alta	0,60 a 0,69
Muito Alta	$\geq$ a 0,70

Tabela 8. Classes da Suscetibilidade/Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra e seus Índices

Fonte: TRICART (1977) e ROSS (1994), adaptada pelo Autor.

Aquelas classes com “muito baixa” ou “baixa” suscetibilidade/vulnerabilidade são as áreas que apresentam menores riscos a escorregamentos de terra.

Quanto às classes “média”, “alta” e “muito alta”, são as áreas que apresentam, respectivamente, suscetibilidade/vulnerabilidade média, alta e muito alta a escorregamentos de terra, sendo que algumas delas podem se encontrar comprometidas por conta de ações antrópicas, decorrentes principalmente de desmatamentos, ocupações desordenadas e ocupações em áreas de risco.

Como dito anteriormente, quando o índice de uma determinada área for igual ou superior a 0,70 ( $\geq$  a 0,70), indica que a suscetibilidade/vulnerabilidade a escorregamentos de terra é muito alta.

Em relação às variáveis, os critérios de observação e análise adotados para este trabalho, foram adaptados de TAGLIANI (2002) pelo Autor, e estão disponíveis na Tabela 9.

Variáveis	Critérios de Observação e Análise Adotados
Declividade	Ângulo do terreno
Pedologia	Espessura e densidade aparente do solo
Litologia	Tipologia das rochas
Uso e cobertura do solo	Proteção do solo e escoamento superficial/infiltração
Curvatura Vertical	Formas do terreno
Curvatura Horizontal	

Tabela 9. Critérios de Observação e Análise Adotados

Fonte: TAGLIANI (2002), adaptada pelo Autor.

## 5.2 Critérios adoptados para os cálculos

### 5.2.1 Critérios adoptados para os cálculos da suscetibilidade

Inicialmente o levantamento da suscetibilidade das áreas da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra foi feito considerando os 183 escorregamentos que lá ocorreram em 12 de janeiro de 2011.

Pesos que variam de “0,00” a “1,00”, calculados proporcionalmente ao número de escorregamentos de terra, foram atribuídos às classes das variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal”, dispostos na Tabela 12.

Assim, os pesos foram introduzidos na Equação 6 a seguir, criada especificamente neste trabalho para calcular os índices de **SUSCETIBILIDADE (S)** da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra.

$$S = \left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) \quad (6)$$

Onde:

**NVA** = Número de Variáveis (6)

**S** = Suscetibilidade

$\sqrt{V_{dc}}$  = Raiz Quadrada da Variável Declividade

$\sqrt{V_{pd}}$  = Raiz Quadrada da Variável Pedologia

$\sqrt{V_{li}}$  = Raiz Quadrada da Variável Litologia

$\sqrt{V_{us}}$  = Raiz Quadrada da Variável Uso e Cobertura do Solo

$\sqrt{V_{cv}}$  = Raiz Quadrada da Variável Curvatura Vertical

$\sqrt{V_{ch}}$  = Raiz Quadrada da Variável Curvatura Horizontal

### 5.2.2 Critérios adoptados para os cálculos da vulnerabilidade

A Equação 7 abaixo foi desenvolvida especificamente neste trabalho para calcular a **VULNERABILIDADE (V)** da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra.

A Equação 7 é composta por dois (2) termos conforme a seguir:

$$V = \frac{\overbrace{\left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right)}^{1^\circ \text{ termo}} + \overbrace{\sqrt{\left[ \left( \frac{PD}{CPC} \right) + \left( \frac{PA5}{MAXPA5} \right) \right]}}^{2^\circ \text{ termo}}}{2} \quad (7)$$

Onde:

- CPC** = Coeficiente de Precipitação Crítica (70 mm/24 horas)
- MAXPA5** = Máxima Precipitação Acumulada de 5 dias da série 01/01/1995 a 19/03/2013
- NVA** = Número de Variáveis (6)
- PD** = Precipitação Diária
- PA5** = Precipitação Acumulada de 5 dias
- V** = Vulnerabilidade
- $\sqrt{V_{dc}}$  = Raiz Quadrada da Variável Declividade
- $\sqrt{V_{pd}}$  = Raiz Quadrada da Variável Pedologia
- $\sqrt{V_{li}}$  = Raiz Quadrada da Variável Litologia
- $\sqrt{V_{us}}$  = Raiz Quadrada da Variável Uso e Cobertura do Solo
- $\sqrt{V_{cv}}$  = Raiz Quadrada da Variável Curvatura Vertical
- $\sqrt{V_{ch}}$  = Raiz Quadrada da Variável Curvatura Horizontal

### 1º Termo da Equação 7

O 1º termo da Equação 7 refere-se aos índices de **SUSCETIBILIDADE (S)** calculados conforme item 5.2.1 (Equação 6).

### 2º Termo da Equação 7

O 2º termo da Equação 7 é composto por indicadores relacionados com a precipitação ocorrida no Município de Nova Friburgo no período de 01/01/1995 a 19/03/2013, como a Precipitação Diária (PD), a Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) e a Máxima Precipitação Acumulada de 5 dias (MAXPA5).

Além disso, neste 2º termo da Equação 7, o CPC (Coeficiente de Precipitação Crítica) de 70 mm/24 horas foi utilizado, pois FEIJÓ (2001), em estudos realizados na cidade do Rio de Janeiro, considera as médias 30 mm/h, 70 mm/24h e 100 mm/96h das precipitações pluviométricas para que ocorra um acidente, assim como BRAND et. al. (1984) em estudos realizados na cidade de Hong Kong.

Ressalta-se que os dados da Precipitação Diária (PD), da Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) e da Máxima Precipitação Acumulada de 5 dias (MAXPA5), são **DADOS INTERPOLADOS**, pois foram constatadas diversas falhas em relação aos dados da precipitação do Município de Nova Friburgo para o período de 01/01/1995 a 19/03/2013, ou seja, não havia dados completos para a série.

No caso de falhas, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Brasil, implantou um sistema específico para tratar tais deficiências, de modo que trata os dados da estação da área de estudo e das diversas estações próximas a ela, considerando o método de interpolação “Inverso do Quadrado da Distância” das diversas estações envolvidas no cálculo, rodando um script com algoritmos matemáticos para obter a estimativa espacial da precipitação.

Assim, buscando obter precisão dos dados de precipitação, optou-se por utilizar os dados de precipitação interpolados gerados pelo CPTEC/INPE/MCTI, pois a série do período de 01/01/1995 a 19/03/2013 estava completa e sem falhas.

SILVA et al. (1999), PINTO (1999) e ASSAD et al. (1994), na ausência de informações, tanto pluviométricas quanto pluviográficas, sugerem trabalhar com métodos que determinam uma média ponderada dos parâmetros da equação de chuvas intensas pelo inverso da distância, geralmente com o quadrado da distância, obtendo-se, desta forma, uma equação de chuvas intensas

para locais desprovidos de dados pluviométricos, utilizando dados de estações meteorológicas adjacentes.

Este método tem sido empregado e sugerido atualmente, conforme os trabalhos citados, em especial os de MYERS (1994) e LASLETT (1994), que fizeram uma abordagem geral de métodos utilizados para interpolação espacial de parâmetros em áreas de pesquisa como ciência do solo, ecologia, engenharia florestal, hidrologia e meteorologia, destacando-se a krigagem (ou interpolação geoestatística) como um preditor potencial de inúmeros parâmetros nestas áreas. DIRKS et al. (1998) trabalharam com alguns interpoladores espaciais para chuvas anuais, mensais, diárias e horárias para a Ilha de Norfolk na Nova Zelândia. Assim, os pesquisadores concluíram que os métodos “krigagem” e “Inverso do Quadrado da Distância” sobressaíram em relação a polígonos de Thiessen, Splines Cúbicas e Inverso da Distância com Expoentes 1, 3 e 4. Contudo, os Autores não estabeleceram qual dos dois métodos citados poderia produzir maior precisão.

O cálculo do 2º termo da Equação 7 é representado pela Equação 8 a seguir, dividindo a Precipitação Diária (PD) pelo Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC). Em seguida, dividiu-se a Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) pela Máxima Precipitação Acumulada de 5 dias (MAXPA5).

Os resultados de ambas as divisões foram somados e divididos por dois (2) e extraída a raiz quadrada do resultado, mantendo a mesma a linha de cálculo do 1º termo da Equação 7.

$$\sqrt{\left[ \frac{\left( \frac{PD}{CPC} \right) + \left( \frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]} \quad (8)$$

Onde:

- PD** = Precipitação Diária
- CPC** = Coeficiente de Precipitação Crítica (fixo de 70 mm/24 horas)
- PA5** = Precipitação Acumulada de 5 dias
- MAXPA5** = Máxima Precipitação Acumulada de 5 dias

Os indicadores relacionados com a precipitação de chuvas (PD; PA5; e MAXPA5) ocorridas no Município de Nova Friburgo, no período de 01/01/1995 a 19/03/2013, utilizados neste trabalho, além do CPC que é fixo em 70 mm/24 horas, estão dispostos na Tabela 10.

<b>Data</b>	<b>PD (mm)</b>	<b>PA5 (mm)</b>
07/01/2011	1,08	41,15
08/01/2011	0,01	38,79
09/01/2011	0,00	32,00
10/01/2011	0,15	4,19
11/01/2011	83,73	84,98
12/01/2011	136,03	219,94
<b>MAXPA5 (mm)</b>		260,53
<b>CPC (mm)</b>		70,00

Tabela 10. Dados da Precipitação de Chuvas - PD, PA5, CPC e MAXPA5

Fonte: CPTEC/INPE, adaptados pelo Autor.

O índice resultante do 2º termo da Equação 7, conforme o seu valor, foi classificado de acordo com os pesos pré-definidos na Tabela 11.

<b>Índice resultante do 2º termo da equação</b>		<b>Pesos</b>
<b>De</b>	<b>A</b>	
<b>0,00</b>	<b>0.19</b>	<b>0,00</b>
<b>0.20</b>	<b>0.39</b>	<b>0,20</b>
<b>0,40</b>	<b>0,59</b>	<b>0,40</b>
<b>0.60</b>	<b>0.69</b>	<b>0,60</b>
<b>≥ a 0,70</b>		<b>1,00</b>

Tabela 11. Tabela de classificação dos índices do 2º termo da Equação 7 referente à precipitação

Buscando manter o padrão dos índices das variáveis do 1º termo da Equação 7 que podem variar de 0,00 a 1,00, optou-se por classificar os índices resultantes do 2º termo desta Equação por pesos pré-definidos com a mesma variância. Assim, com a metodologia desenvolvida e utilizada neste trabalho, bem como em outros trabalhos com o mesmo objectivo a serem feitos universalmente no futuro, o índice de **VULNERABILIDADE (V)** a escorregamentos de terra variou e poderá variar de 0,00 a 1,00.

Exemplo: Se o índice resultante do 2º termo da Equação 7 for 0,65, o peso a ser considerado será 0,60; se o índice for 0,30, o peso a ser considerado será 0,20; e assim por diante.

Finalizando a equação que determina a **VULNERABILIDADE (V)** a escorregamentos de terra, os índices resultantes do 1º e 2º termo da Equação 7 foram somados e dividido por dois (2).



### 5.3 Variáveis e seus pesos adotados/propostos neste trabalho

Inicialmente, pesos que variam de “0,00” a “1,00”, calculados proporcionalmente ao número de escorregamentos de terra (183) ocorridos nas áreas da Bacia do Rio Bengalas em 12/01/2011, foram atribuídos às classes das variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal”, e estão dispostos na Tabela 12.

Variáveis	Pesos Adotados/ Propostos	Variáveis	Pesos Adotados/ Propostos
<b>Declividade</b>		<b>Pedologia</b>	
< 5%	0,02	Cambissolos	0,13
5 a 12%	0,03	Área Urbana	0,20
12 a 30%	0,38	Latossolos	0,68
30 a 47%	0,41	Afloramentos Rochosos	0,00
> 47%	0,16	Argissolos	0,00
<b>Litologia</b>		Neossolos	0,00
<b>Rochas Ígneas</b>		<b>Uso e Cobertura do Solo</b>	
Gabro	0,00	Lagos	0,00
Gnaiss	0,00	Floresta (Mata Atlântica)	0,04
Granito, diorito e granodiorito; e Metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaiss granulítico.	0,65	Eucaliptos e Pinheiros	0,01
		Floresta Inicial e Média	0,26
Quartzito	0,00	Pastagens e Forragens	0,19
Ortognais de composição granítica.	0,14	Agricultura	0,01
<b>Rochas Metamórficas</b>		Área Degradada	0,01
Anfibólio gnaiss	0,00	Afloramentos Rochosos	0,00
Biotita gnaiss	0,04	Área Urbana	0,48
<b>Rochas Sedimentares</b>			
Colúvio; e Sedimentos aluvionar e coluvionar.	0,17		

Continuação

Variáveis	Pesos Adoptados/ Propostos	Variáveis	Pesos Adoptados/ Propostos
Curvatura Vertical		Curvatura Horizontal	
Muito Convexa	0,03	Muito Divergente	0,10
Convexa	0,08	Divergente	0,10
Retilínea	0,27	Planar	0,19
Côncava	0,39	Convergente	0,33
Muito Côncava	0,23	Muito Convergente	0,28

Tabela 12. Escala das variáveis e seus pesos adoptados/propostos neste trabalho

Ressalta-se que quando o peso da classe de uma determinada variável for 0,00, significa que não houve escorregamentos de terra em áreas da Bacia do Rio Bengalas composta por tais classes desta variável.

Exemplo: Variável “litologia”, grupo de rochas ígneas, classe: gabro, peso: 0,00. Em áreas da Bacia do Rio Bengalas, com litologia composta por gabro, não houve escorregamento de terra.

É importante lembrar que a partir da atribuição dos pesos às classes das variáveis (Tabela 12) é que os índices de **SUSCETIBILIDADE (S)** a escorregamentos de terra foram calculados.

#### 5.4 Geração dos mapas de suscetibilidade e de vulnerabilidade

Como dito anteriormente, todos os mapas deste trabalho foram gerados por ferramentas do software ArcGIS® 10 na função de álgebra de mapas. Álgebra de Mapas é matemática aplicada a *rasters*, uma prática que é possível porque *rasters* são geograficamente cadeias de números referenciados e no software ArcGIS® 10, empilhando *rasters* um sobre o outro, pode-se realizar diversos tipos de cálculos, dos mais simples ao mais sofisticados.

Segundo BERRY (1993) a álgebra de mapas ou álgebra de campos pode ser vista como uma extensão da álgebra tradicional e constitui um conjunto de operadores onde as variáveis manipuladas correspondem a geocampos. Como na matemática, a álgebra de mapas usa expressões contendo operadores e funções com dados *rasters*. Operadores da álgebra de mapas, que são relacionais, Booleanos, lógicos, combinatórios, e de bit, funcionam com uma ou mais entradas para desenvolver novos valores. Para se ter uma ideia, as funções realizam tarefas específicas, tais como calcular declividade a partir de elevação, retornando valores numéricos, etc.

O termo “álgebra de mapas” foi cunhado por TOMLIN (1990), para indicar o conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas. Esta visão concebe a análise espacial como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, em analogia aos ambientes de álgebra e estatística tradicional. Os mapas são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre estas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa. A Álgebra de Mapas compõe uma linguagem especializada para realizar operações que tem sentido matemático, cartográfico e espacial.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Suscetibilidade - Cálculo dos índices

Os índices de **SUSCETIBILIDADE (S)** da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra foram calculados a partir dos pesos atribuídos às classes de cada variável estudada neste trabalho (Tabela 12).

Como dito anteriormente, tais pesos foram calculados proporcionalmente ao número de escorregamentos de terra e em seguida foram utilizados para o cálculo dos índices de **SUSCETIBILIDADE** (Equação 6).

Ressalta-se que cada ponto de escorregamento de terra apresenta o índice de **SUSCETIBILIDADE** relacionado a cada variável (Tabela 13).

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
1	0,62	0,45	0,41	0,51	0,52	0,53	0,51
2	0,62	0,45	0,41	0,51	0,62	0,57	0,53
3	0,17	0,36	0,37	0,51	0,48	0,53	0,40
4	0,62	0,36	0,81	0,10	0,62	0,53	0,51
5	0,40	0,36	0,41	0,44	0,62	0,57	0,47
6	0,62	0,82	0,37	0,44	0,62	0,57	0,58
7	0,64	0,45	0,20	0,51	0,48	0,57	0,48
8	0,62	0,45	0,20	0,51	0,48	0,44	0,45
9	0,62	0,45	0,41	0,69	0,17	0,32	0,44
10	0,64	0,45	0,41	0,69	0,52	0,32	0,51
11	0,64	0,45	0,37	0,44	0,62	0,57	0,52
12	0,64	0,45	0,41	0,69	0,52	0,32	0,50
13	0,64	0,82	0,41	0,51	0,52	0,57	0,58

Continuação

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
14	0,40	0,82	0,37	0,10	0,62	0,57	0,48
15	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,44	0,65
16	0,64	0,45	0,37	0,69	0,48	0,57	0,53
17	0,14	0,45	0,41	0,69	0,52	0,57	0,46
18	0,64	0,82	0,37	0,20	0,28	0,44	0,46
19	0,64	0,82	0,37	0,44	0,48	0,53	0,55
20	0,62	0,45	0,37	0,69	0,48	0,53	0,52
21	0,62	0,82	0,81	0,51	0,48	0,44	0,61
22	0,64	0,82	0,41	0,44	0,48	0,57	0,56
23	0,62	0,82	0,81	0,69	0,48	0,57	0,67
24	0,64	0,82	0,81	0,51	0,48	0,53	0,63
25	0,62	0,82	0,41	0,20	0,48	0,57	0,52
26	0,40	0,45	0,37	0,44	0,62	0,57	0,48
27	0,62	0,82	0,81	0,69	0,62	0,53	0,68
28	0,64	0,82	0,81	0,44	0,52	0,57	0,63
29	0,64	0,45	0,37	0,20	0,52	0,32	0,42
30	0,62	0,45	0,37	0,69	0,62	0,44	0,53
31	0,62	0,45	0,37	0,51	0,62	0,53	0,52
32	0,17	0,45	0,37	0,51	0,48	0,53	0,42
33	0,64	0,82	0,41	0,69	0,62	0,57	0,63
34	0,40	0,82	0,81	0,69	0,52	0,57	0,64
35	0,62	0,82	0,37	0,44	0,52	0,53	0,55
36	0,40	0,82	0,81	0,69	0,28	0,44	0,57
37	0,62	0,45	0,81	0,69	0,62	0,44	0,60
38	0,14	0,45	0,41	0,69	0,52	0,53	0,46
39	0,62	0,82	0,41	0,44	0,52	0,44	0,54
40	0,62	0,45	0,81	0,69	0,62	0,44	0,60

Continuação

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
41	0,62	0,82	0,81	0,51	0,17	0,32	0,54
42	0,64	0,82	0,37	0,44	0,48	0,57	0,55
43	0,62	0,82	0,37	0,51	0,62	0,57	0,59
44	0,62	0,82	0,37	0,20	0,48	0,57	0,51
45	0,40	0,82	0,37	0,44	0,62	0,44	0,52
46	0,62	0,45	0,41	0,69	0,52	0,53	0,54
47	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,44	0,65
48	0,14	0,82	0,81	0,51	0,62	0,53	0,57
49	0,62	0,82	0,81	0,51	0,62	0,57	0,66
50	0,62	0,82	0,37	0,51	0,48	0,53	0,56
51	0,64	0,82	0,81	0,20	0,48	0,53	0,58
52	0,62	0,36	0,81	0,20	0,52	0,53	0,51
53	0,40	0,82	0,81	0,69	0,62	0,57	0,65
54	0,62	0,82	0,41	0,69	0,28	0,44	0,54
55	0,62	0,36	0,81	0,69	0,62	0,53	0,60
56	0,40	0,36	0,81	0,51	0,52	0,57	0,53
57	0,64	0,82	0,37	0,51	0,52	0,57	0,57
58	0,64	0,36	0,81	0,51	0,62	0,57	0,59
59	0,62	0,45	0,81	0,51	0,48	0,44	0,55
60	0,64	0,82	0,37	0,10	0,62	0,53	0,52
61	0,64	0,82	0,37	0,44	0,52	0,44	0,54
62	0,64	0,36	0,81	0,51	0,48	0,53	0,55
63	0,62	0,36	0,81	0,69	0,52	0,57	0,60
64	0,62	0,36	0,81	0,69	0,62	0,53	0,60
65	0,40	0,82	0,81	0,69	0,52	0,32	0,59
66	0,64	0,82	0,81	0,69	0,48	0,53	0,66

Continuação

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
67	0,64	0,36	0,81	0,69	0,48	0,53	0,58
68	0,62	0,82	0,37	0,51	0,62	0,53	0,58
69	0,62	0,45	0,81	0,51	0,62	0,44	0,57
70	0,64	0,36	0,81	0,20	0,52	0,44	0,49
71	0,64	0,82	0,81	0,44	0,52	0,57	0,63
72	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,57	0,69
73	0,62	0,82	0,81	0,69	0,62	0,53	0,68
74	0,62	0,45	0,81	0,69	0,62	0,57	0,63
75	0,62	0,82	0,81	0,69	0,48	0,53	0,66
76	0,62	0,82	0,81	0,69	0,48	0,57	0,67
77	0,64	0,82	0,81	0,44	0,48	0,57	0,63
78	0,62	0,45	0,81	0,69	0,52	0,44	0,59
79	0,62	0,82	0,81	0,69	0,52	0,57	0,67
80	0,62	0,82	0,81	0,51	0,62	0,57	0,66
81	0,62	0,82	0,81	0,44	0,17	0,32	0,53
82	0,62	0,82	0,81	0,51	0,62	0,53	0,65
83	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,57	0,68
84	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,53	0,69
85	0,64	0,82	0,81	0,51	0,62	0,44	0,64
86	0,62	0,45	0,81	0,69	0,48	0,53	0,60
87	0,64	0,82	0,81	0,51	0,62	0,53	0,66
88	0,62	0,45	0,81	0,69	0,62	0,53	0,62
89	0,64	0,82	0,81	0,44	0,52	0,32	0,59
90	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,57	0,68
91	0,40	0,82	0,81	0,69	0,62	0,44	0,63
92	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,57	0,69

Continuação

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
93	0,64	0,82	0,41	0,69	0,62	0,57	0,63
94	0,62	0,82	0,81	0,69	0,48	0,57	0,67
95	0,62	0,82	0,41	0,69	0,48	0,53	0,59
96	0,62	0,82	0,41	0,69	0,17	0,44	0,53
97	0,62	0,82	0,41	0,69	0,48	0,53	0,59
98	0,62	0,45	0,81	0,69	0,48	0,57	0,60
99	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,53	0,69
100	0,64	0,82	0,41	0,69	0,62	0,57	0,63
101	0,62	0,82	0,41	0,69	0,28	0,32	0,53
102	0,62	0,45	0,81	0,69	0,62	0,53	0,62
103	0,17	0,82	0,81	0,51	0,48	0,57	0,56
104	0,62	0,45	0,81	0,44	0,62	0,57	0,58
105	0,64	0,82	0,41	0,69	0,52	0,53	0,60
106	0,62	0,82	0,81	0,51	0,48	0,57	0,64
107	0,62	0,82	0,41	0,69	0,48	0,53	0,59
108	0,64	0,82	0,81	0,44	0,52	0,32	0,59
109	0,62	0,82	0,81	0,44	0,48	0,57	0,62
110	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,44	0,67
111	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,57	0,69
112	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,57	0,69
113	0,62	0,82	0,81	0,51	0,48	0,57	0,64
114	0,64	0,82	0,81	0,69	0,28	0,32	0,59
115	0,40	0,82	0,81	0,51	0,17	0,32	0,51
116	0,64	0,82	0,81	0,51	0,28	0,32	0,56
117	0,64	0,82	0,81	0,44	0,28	0,32	0,55
118	0,62	0,82	0,81	0,44	0,48	0,53	0,62



Continuação

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
119	0,40	0,82	0,81	0,44	0,52	0,32	0,55
120	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,44	0,65
121	0,40	0,82	0,81	0,51	0,48	0,53	0,59
122	0,64	0,82	0,81	0,44	0,62	0,32	0,61
123	0,40	0,82	0,41	0,69	0,62	0,32	0,55
124	0,64	0,82	0,81	0,51	0,48	0,57	0,64
125	0,64	0,82	0,81	0,69	0,28	0,57	0,64
126	0,64	0,45	0,81	0,69	0,28	0,32	0,53
127	0,64	0,82	0,81	0,51	0,62	0,57	0,66
128	0,40	0,82	0,81	0,44	0,52	0,44	0,57
129	0,40	0,82	0,81	0,69	0,17	0,32	0,54
130	0,62	0,82	0,81	0,69	0,62	0,53	0,68
131	0,40	0,82	0,81	0,69	0,62	0,32	0,61
132	0,64	0,82	0,81	0,51	0,48	0,57	0,64
133	0,62	0,82	0,81	0,69	0,62	0,53	0,68
134	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,32	0,63
135	0,62	0,82	0,81	0,69	0,52	0,57	0,67
136	0,64	0,82	0,81	0,51	0,48	0,44	0,62
137	0,40	0,82	0,81	0,51	0,52	0,32	0,56
138	0,17	0,45	0,41	0,69	0,62	0,53	0,48
139	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,57	0,69
140	0,62	0,82	0,41	0,69	0,62	0,53	0,62
141	0,40	0,82	0,81	0,20	0,52	0,57	0,55
142	0,40	0,82	0,81	0,44	0,28	0,44	0,53
143	0,64	0,82	0,81	0,10	0,62	0,44	0,57
144	0,64	0,36	0,81	0,44	0,62	0,44	0,55

Continuação

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
145	0,40	0,36	0,81	0,44	0,28	0,32	0,43
146	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,32	0,65
147	0,62	0,82	0,41	0,69	0,52	0,57	0,61
148	0,62	0,45	0,81	0,69	0,62	0,57	0,63
149	0,64	0,82	0,81	0,51	0,28	0,32	0,56
150	0,17	0,82	0,81	0,69	0,48	0,53	0,58
151	0,40	0,82	0,81	0,51	0,62	0,44	0,60
152	0,62	0,36	0,81	0,69	0,62	0,53	0,61
153	0,64	0,82	0,81	0,51	0,62	0,44	0,64
154	0,62	0,36	0,81	0,69	0,48	0,57	0,59
155	0,64	0,82	0,81	0,44	0,52	0,32	0,59
156	0,64	0,45	0,81	0,51	0,62	0,44	0,58
157	0,40	0,82	0,41	0,69	0,62	0,32	0,55
158	0,40	0,82	0,81	0,69	0,62	0,44	0,63
159	0,62	0,82	0,81	0,69	0,52	0,53	0,67
160	0,62	0,82	0,81	0,51	0,62	0,57	0,66
161	0,64	0,36	0,20	0,69	0,62	0,53	0,51
162	0,40	0,36	0,81	0,51	0,62	0,57	0,55
163	0,64	0,82	0,41	0,44	0,62	0,57	0,59
164	0,64	0,36	0,20	0,69	0,62	0,53	0,51
165	0,40	0,36	0,20	0,51	0,52	0,44	0,40
166	0,64	0,36	0,81	0,44	0,62	0,53	0,57
167	0,62	0,36	0,20	0,51	0,48	0,53	0,45
168	0,40	0,82	0,81	0,69	0,28	0,32	0,55
169	0,62	0,36	0,20	0,44	0,48	0,53	0,44
170	0,40	0,82	0,37	0,44	0,52	0,32	0,48

Continuação

Pontos	Declividade	Pedologia	Litologia	Uso e Cob. do Solo	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Índice de Suscet.
171	0,64	0,82	0,37	0,44	0,52	0,32	0,52
172	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,44	0,65
173	0,62	0,45	0,41	0,51	0,28	0,32	0,43
174	0,62	0,82	0,81	0,69	0,52	0,53	0,67
175	0,64	0,82	0,81	0,51	0,52	0,32	0,60
176	0,64	0,82	0,81	0,69	0,52	0,32	0,63
177	0,64	0,82	0,81	0,44	0,52	0,32	0,59
178	0,64	0,82	0,81	0,69	0,62	0,44	0,67
179	0,64	0,82	0,41	0,51	0,62	0,44	0,57
180	0,40	0,82	0,81	0,69	0,52	0,32	0,59
181	0,62	0,82	0,81	0,69	0,52	0,32	0,63
182	0,40	0,45	0,81	0,44	0,62	0,57	0,55
183	0,64	0,45	0,20	0,69	0,52	0,32	0,47
<b>IMSV</b>	<b>0,57</b>	<b>0,69</b>	<b>0,65</b>	<b>0,56</b>	<b>0,52</b>	<b>0,48</b>	<b>0,58</b>
<b>IMGS (Índice Médio Geral de Suscetibilidade): 0,58</b>							

Tabela 13. Índices de Suscetibilidade dos 183 Pontos de Escorregamentos de Terra da Bacia do Rio Bengalas, o IMSV e o IMGS

A partir da Tabela 13 que apresenta os índices de suscetibilidade adoptados neste trabalho para cada variável, foram calculados o Índice Médio da Suscetibilidade da Variável (IMSV) que refere-se à média simples dos valores de suscetibilidade de cada variável levantados para os 183 pontos de escorregamentos de terra, e o Índice Médio Geral de Suscetibilidade (IMGS) que refere-se à média simples dos valores de suscetibilidade de todas as variáveis juntas

Com o cálculo do IMSV observa-se na Tabela 13 que a “PEDOLOGIA” (0,69) e a “LITOLOGIA” (0,65) foram as variáveis da Bacia do Rio Bengalas que apresentaram os maiores índices de suscetibilidade a escorregamentos de terra (alta suscetibilidade), enquanto que a declividade (0,57), uso e cobertura do solo (0,56), curvatura horizontal (0,52) e curvatura vertical (0,48) apresentaram os menores índices, classificadas como sendo de média suscetibilidade.

Observa-se na Tabela 13 e na Figura 50, e em conformidade à Tabela 8 que apresenta as classes da suscetibilidade/vulnerabilidade e seus índices adoptados neste trabalho, que o IMGS calculado (0,58) é de “média” suscetibilidade a escorregamentos de terra, porém está muito próximo de ser considerado como sendo de alta suscetibilidade, faltando apenas 0,02 para isso. No caso de arredondamento ou se fosse utilizada apenas uma casa decimal, o IMGS seria considerado como sendo de alta suscetibilidade a escorregamentos de terra.

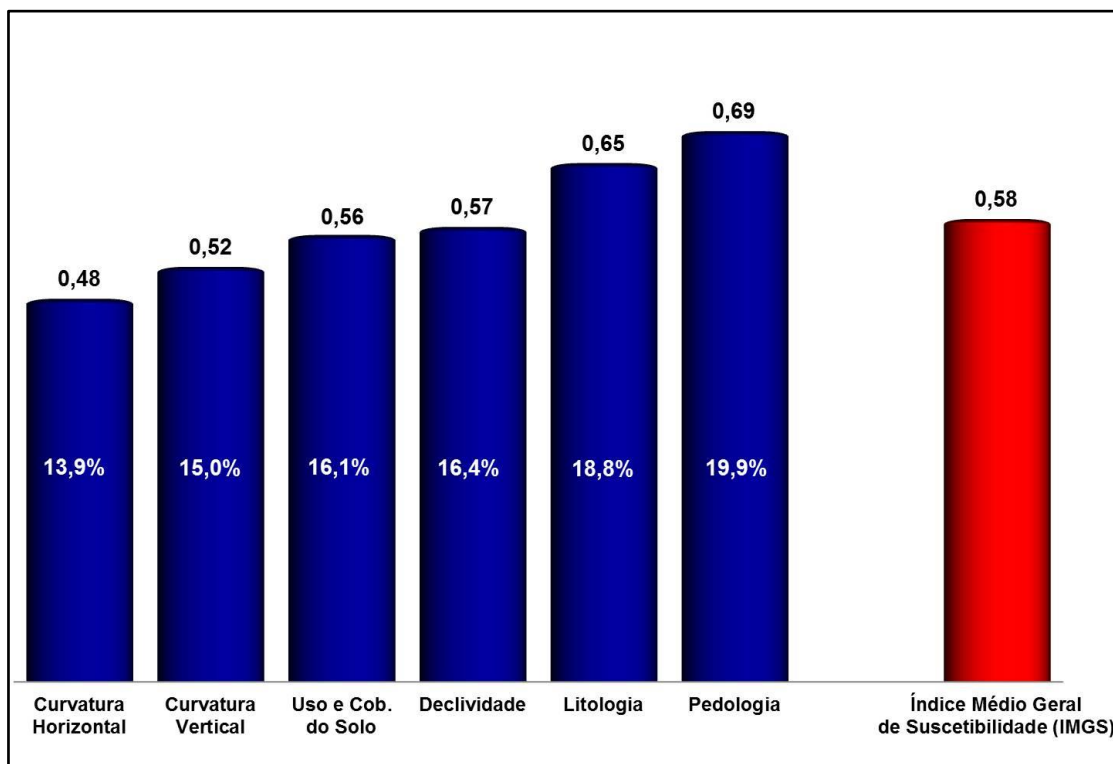


Figura 50. Índice Médio de Suscetibilidade da Variável (IMSV) e o Índice Médio Geral de Suscetibilidade (IMGS) da Bacia do Rio Bengalas

## 6.2 Mapa de suscetibilidade

De posse dos índices de suscetibilidade levantados a partir dos pesos adoptados para cada classe das variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal” e após o cálculo baseado na Equação 6, procedeu-se a geração do mapa de suscetibilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra (Figura 51).

Visivelmente o mapa gerado mostra que das áreas da Bacia, 114,22 Km<sup>2</sup> são classificadas como sendo de média suscetibilidade, 52,72 Km<sup>2</sup> de baixa suscetibilidade e 22,73 Km<sup>2</sup> de alta suscetibilidade a escorregamentos de terra. Imperceptíveis no mapa, 1,15 Km<sup>2</sup> da Bacia são áreas de muito baixa suscetibilidade e 0,19 Km<sup>2</sup> de muito alta suscetibilidade a estes tipos de desastres.

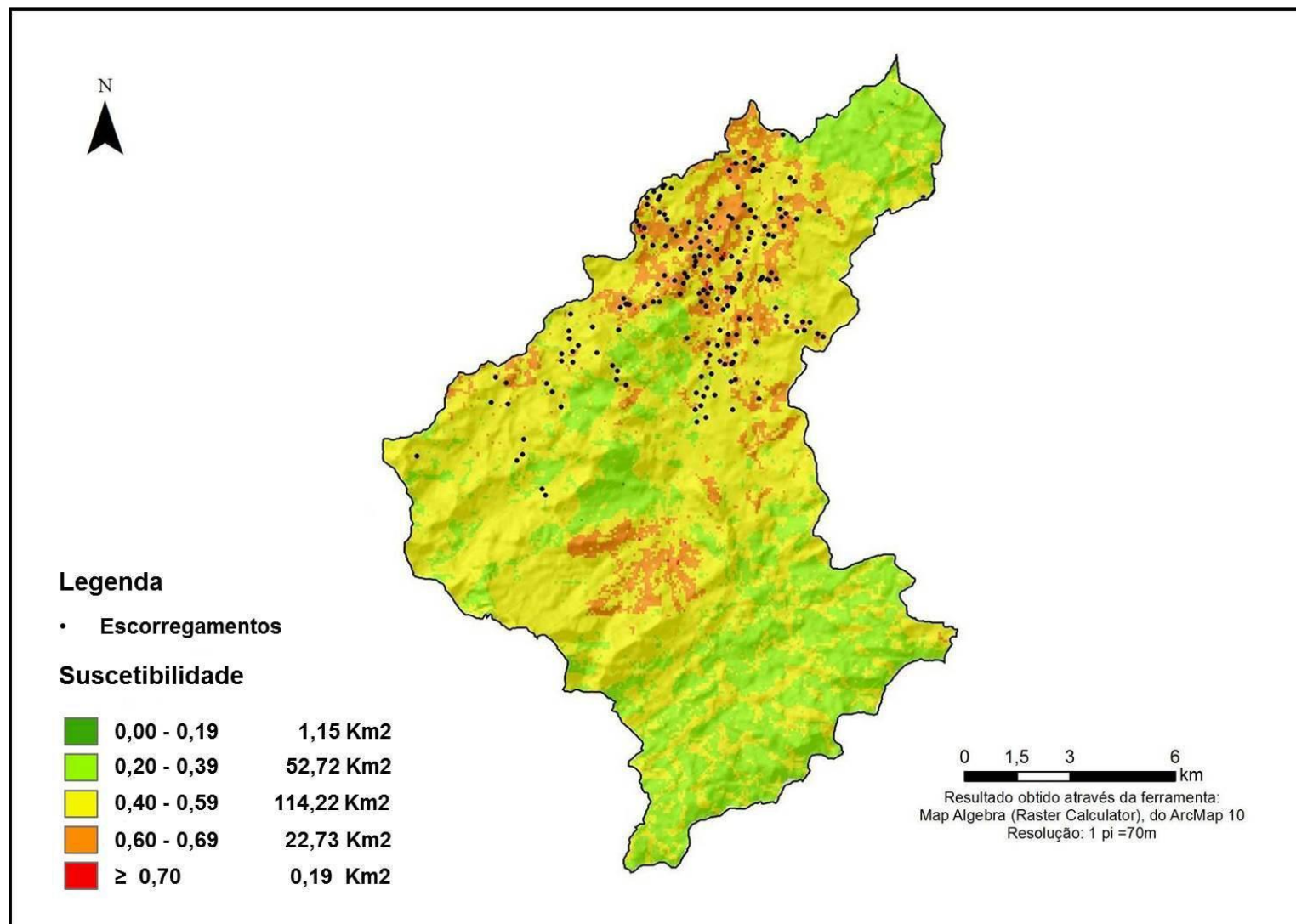


Figura 51. Mapa de Suscetibilidade da Bacia do Rio Bengalas a Escorregamentos de Terra

### 6.3 Suscetibilidade - Análise das variáveis & pontos de escorregamentos de terra

De acordo com os índices de **SUSCETIBILIDADE (S)** calculados, dispostos na Tabela 13, apresenta-se a seguir análises relacionadas ao número de escorregamentos de terra ocorridos na Bacia do Rio Bengalas em 12/01/2011, para cada uma das variáveis estudadas neste trabalho, com as suas respectivas classes e áreas em Km<sup>2</sup> da Bacia.

Tais análises foram feitas cruzando o número de escorregamentos de terra observados, com as classes de cada uma das variáveis estudadas neste trabalho, com o objectivo de conhecer com detalhes a suscetibilidade da Bacia do Rio Bengalas a estes tipos de desastres e de compreender como os elementos naturais e antrópicos da área de estudo estão relacionados com a dinâmica local destes desastres.

#### 6.3.1 Declividade

A seguir apresenta-se análise da variável **DECLIVIDADE** em relação às demais variáveis, a partir das Tabelas 14 e 15 e da Figura 52.

**3 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com declividade < 5% (índice: 0,14).** Tais escorregamentos de terra ocorreram uma área de 1,54 Km<sup>2</sup> (0,81%) da Bacia do Rio Bengalas. Se tal área fosse maior e com as mesmas condições das variáveis apresentadas neste grupo, o número de ocorrências seria maior, pois o número de pontos de escorregamentos pela área da ocorrência é alto (1,95), ou seja, quase dois escorregamentos por Km<sup>2</sup>.

O uso e cobertura do solo (0,63) foi a variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra, seguido pela pedologia (0,57), curvatura vertical (0,55), litologia (0,54), curvatura horizontal (0,54) e declividade (0,14).

**5 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com declividade variando de 5 a 12% (índice: 0,17).** Tais escorregamentos de terra ocorreram uma área de 6,03 Km<sup>2</sup> (3,16%) da Bacia do Rio Bengalas.

Neste grupo a variável pedologia (0,58) foi determinante nas ocorrências, seguida pelo uso e cobertura do solo (0,58), litologia (0,55), curvatura horizontal (0,54), curvatura vertical (0,51) e declividade (0,17). Observa-se a partir do número de pontos de escorregamentos pela área que houve quase uma ocorrência por cada Km<sup>2</sup> (0,83).

**30 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com declividade > 47% (índice: 0,40).** Tais escorregamentos de terra ocorreram uma área de 55,20 Km<sup>2</sup> (28,90%) da Bacia do Rio Bengalas.

Neste grupo a variável pedologia (0,72) foi determinante nas ocorrências, seguida pela litologia (0,69), uso e cobertura do solo (0,54), curvatura vertical (0,51), curvatura horizontal (0,43) e declividade (0,40).

**70 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com declividade variando de 12 a 30% (índice: 0,62).** Tais escorregamentos de terra ocorreram uma área de 58,71 Km<sup>2</sup> (30,40%) da Bacia do Rio Bengalas.

Neste grupo a variável pedologia (0,73) foi determinante nas ocorrências, seguida pela litologia (0,67), declividade (0,64), pelo uso e cobertura do solo (0,54), curvatura vertical (0,53) e curvatura horizontal (0,47). Observa-se a partir do número de pontos de escorregamentos pela área que houve mais de uma ocorrência por Km<sup>2</sup> (1,21).

**75 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com declividade variando de 30 a 47% (índice: 0,64).** Tais escorregamentos de terra ocorreram uma área de 70,52 Km<sup>2</sup> (36,92%) da Bacia do Rio Bengalas. Neste caso a pedologia (0,73) novamente foi a variável determinante no desencadeamento dos escorregamentos. Em seguida apresenta-se a litologia (0,67), a declividade (0,64), uso e cobertura do solo (0,54), curvatura vertical (0,53) e curvatura horizontal (0,47). Observa-se a partir do número de pontos de escorregamentos pela área que houve mais de uma ocorrência por Km<sup>2</sup> (1,06).

Analisando os cinco grupos de escorregamentos de terra, observa-se que 105 ocorrências foram em áreas com declividades acentuadas (30 ocorrências em áreas > 47%; e 75 ocorrências em áreas com declividade que variam de 30 a 47%). Cruzando tais ocorrências de escorregamentos ocorridos com a variável o uso e cobertura do solo, observou-se que 88 destes desastres foram em áreas urbanas. Tal análise reflete a condição de que em tais áreas há a incidência da construção civil, em desacordo com Lei nº 6.766, de 19/12/1979 (BRASIL, 1979), que não permite o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, bem como o Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo que também restringe a ocupação e a expansão urbana em terrenos com declividade superior a 30% (PDP-NF, 2007).

<b>Classe</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da Área Total</b>	<b>Nº Pontos de Escorregamentos</b>	<b>% dos Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Pontos de Escorregamentos pela Área</b>	<b>Índice de Suscetibilidade</b>
<b>&lt; 5%</b>	<b>1,54</b>	<b>0,81</b>	<b>3</b>	<b>1,64</b>	<b>1,95</b>	<b>0,14</b>
<b>5% - 12%</b>	<b>6,03</b>	<b>3,16</b>	<b>5</b>	<b>2,73</b>	<b>0,83</b>	<b>0,17</b>
<b>&gt; 47%</b>	<b>55,20</b>	<b>28,90</b>	<b>30</b>	<b>16,39</b>	<b>0,54</b>	<b>0,40</b>
<b>12% - 30%</b>	<b>58,71</b>	<b>30,40</b>	<b>70</b>	<b>38,25</b>	<b>1,21</b>	<b>0,62</b>
<b>30% - 47%</b>	<b>70,52</b>	<b>36,92</b>	<b>75</b>	<b>40,98</b>	<b>1,06</b>	<b>0,64</b>
<b>Total</b>	<b>191</b>	<b>100</b>	<b>183</b>	<b>100</b>	<b>0,96</b>	

Tabela 14. A Declividade e os Pontos de Escorregamentos de Terra



<b>Nº de Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Litologia</b>	<b>Uso e Cob. do Solo</b>	<b>Curvatura Vertical</b>	<b>Curvatura Horizontal</b>
<b>3</b>	<b>0,14</b>	<b>0,57</b>	<b>0,54</b>	<b>0,63</b>	<b>0,55</b>	<b>0,54</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>5º</b>
<b>5</b>	<b>0,17</b>	<b>0,58</b>	<b>0,55</b>	<b>0,58</b>	<b>0,51</b>	<b>0,54</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>2º</b>	<b>5º</b>	<b>4º</b>
<b>30</b>	<b>0,40</b>	<b>0,72</b>	<b>0,69</b>	<b>0,54</b>	<b>0,51</b>	<b>0,43</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>
<b>70</b>	<b>0,62</b>	<b>0,65</b>	<b>0,64</b>	<b>0,58</b>	<b>0,52</b>	<b>0,51</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>
<b>75</b>	<b>0,64</b>	<b>0,73</b>	<b>0,67</b>	<b>0,54</b>	<b>0,53</b>	<b>0,47</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>

Tabela 15. Classes da Declividade, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra

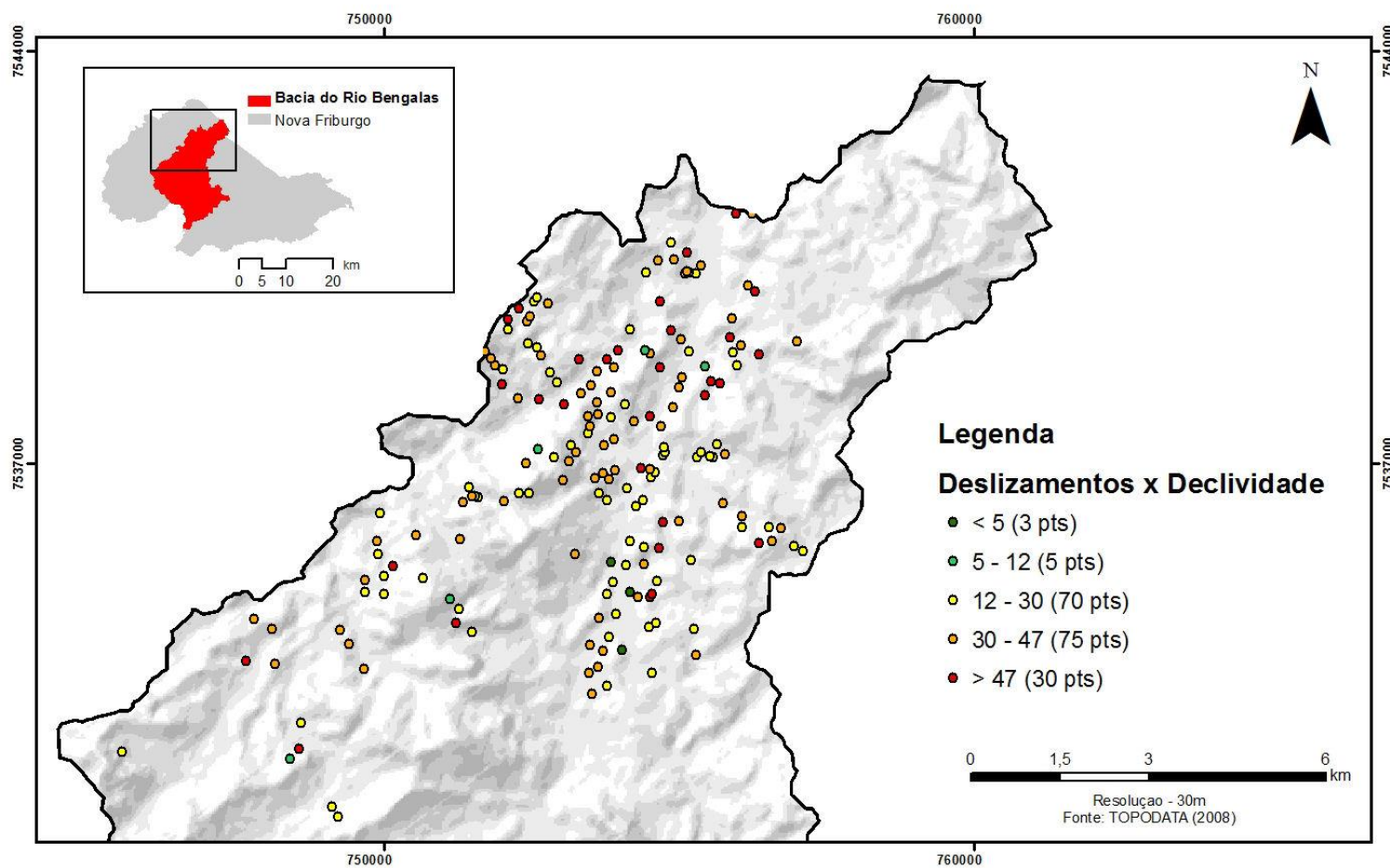


Figura 52. A Declividade e os Pontos de Escorregamentos de Terra

Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).

### 6.3.2 Pedologia

A seguir apresenta-se análise da variável **PEDOLOGIA** em relação às demais variáveis, a partir das Tabelas 16 e 17 e da Figura 53.

**23 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com pedologia composta por cambissolos (índice: 0,36).** Tais escorregamentos de terra ocorreram uma área de 84,86 Km<sup>2</sup> (45,32%) da Bacia do Rio Bengalas.

Neste grupo a variável litologia (0,64) foi determinante nas ocorrências, seguida pela declividade (0,56), curvatura vertical (0,55), curvatura horizontal (0,52) e por último a pedologia (0,36).

**36 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas urbanas (índice: 0,45).** Estas ocorrências aconteceram em uma área de 9,35 Km<sup>2</sup> (4,99%) da Bacia do Rio Bengalas. Observa-se a partir do número de pontos de escorregamentos pela área que houve quase três ocorrências por Km<sup>2</sup> (2,89).

A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi o uso e cobertura do solo (0,60). Em seguida apresenta-se a declividade (0,56), a litologia (0,55), a curvatura vertical (0,53), a curvatura horizontal (0,48) e a pedologia (0,45).

**124 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com pedologia composta por latossolos (índice: 0,82).** Entre os diversos tipos de solos existentes na Bacia do Rio Bengalas, nota-se que foram em áreas de latossolos onde houve o maior número de escorregamentos (124), equivalente a 67,76% das 183 ocorrências que houve na Bacia em 12/01/2011.

Os escorregamentos de terra foram influenciados primeiramente pela variável pedologia (0,82), seguida pela litologia (0,69), declividade (0,58), uso e cobertura do solo (0,56) e pelas curvaturas vertical (0,51) e horizontal (0,48).

As áreas de latossolos na Bacia do Rio Bengalas são de 56,81 Km<sup>2</sup> (30,34%) e nelas ocorreram mais de dois escorregamentos de terra por Km<sup>2</sup> (2,18).

<b>Classe</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da Área Total</b>	<b>Pontos de Escorregamentos</b>	<b>% dos Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Pontos de Escorregamentos pela Área</b>	<b>Índice de Suscetibilidade</b>
<b>Cambissolos</b>	<b>84,86</b>	<b>45,32</b>	<b>23</b>	<b>12,57</b>	<b>0,27</b>	<b>0,36</b>
<b>Área Urbana</b>	<b>9,35</b>	<b>4,99</b>	<b>36</b>	<b>14,75</b>	<b>2,89</b>	<b>0,45</b>
<b>Latossolos</b>	<b>56,81</b>	<b>30,34</b>	<b>124</b>	<b>67,76</b>	<b>2,18</b>	<b>0,82</b>
<b>Afloramentos Rochosos</b>	<b>31,07</b>	<b>16,59</b>				
<b>Argissolos</b>	<b>0,81</b>	<b>0,43</b>				
<b>Neossolos</b>	<b>4,34</b>	<b>2,32</b>				
<b>Total</b>	<b>191</b>	<b>100</b>	<b>183</b>	<b>100</b>	<b>0,96</b>	

Tabela 16. A Pedologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra

<b>Nº de Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Declividade</b>	<b>Litologia</b>	<b>Uso e Cob. do Solo</b>	<b>Curvatura Vertical</b>	<b>Curvatura Horizontal</b>
<b>23</b>	<b>0,36</b>	<b>0,56</b>	<b>0,64</b>	<b>0,51</b>	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>2º</b>	<b>1º</b>	<b>5º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>
<b>36</b>	<b>0,45</b>	<b>0,56</b>	<b>0,55</b>	<b>0,60</b>	<b>0,53</b>	<b>0,48</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>
<b>124</b>	<b>0,82</b>	<b>0,58</b>	<b>0,69</b>	<b>0,56</b>	<b>0,51</b>	<b>0,48</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>

Tabela 17. Classes da Pedologia, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra

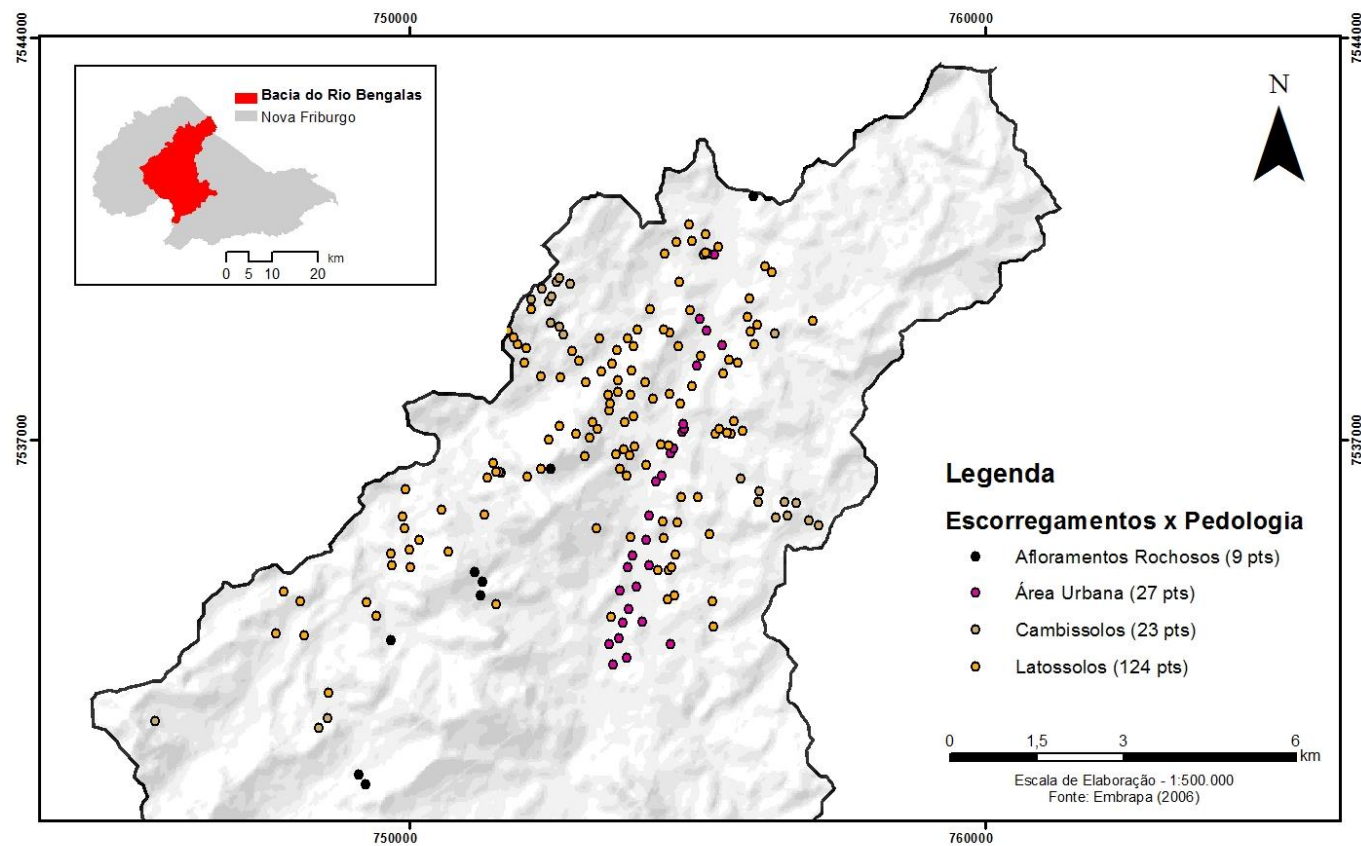


Figura 53. A Pedologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra

Fonte: Própria, dados provenientes da EMBRAPA (2006).

### 6.3.3 Uso e Cobertura do Solo

A seguir apresenta-se análise da variável **USO E COBERTURA DO SOLO** em relação às demais variáveis, a partir das Tabelas 20 e 21 e da Figura 54.

**1 Ponto de Escorregamento de Terra ocorrido em uma área com o uso e cobertura do solo composto por área degradada (índice: 0,10).** Este escorregamento de terra aconteceu em uma área de 0,27 Km<sup>2</sup> (0,14%) da Bacia do Rio Bengalas.

A variável determinante nesta ocorrência foi a pedologia (0,82), seguida pela curvatura vertical (0,62), curvatura horizontal (0,57), declividade (0,40), litologia (0,37) e uso e cobertura do solo (0,10).

**1 Ponto de Escorregamento de Terra ocorrido em uma área com o uso e cobertura do solo composto por eucaliptos e pinheiros (índice: 0,10).** Este escorregamento de terra aconteceu em uma área de 12,44 Km<sup>2</sup> (6,63%) da Bacia do Rio Bengalas.

A variável determinante nesta ocorrência foi a pedologia (0,82), seguida pela declividade (0,64), curvatura vertical (0,62), curvatura horizontal (0,53), litologia (0,37) e uso e cobertura do solo (0,10).

**2 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em uma área com o uso e cobertura do solo composto por agricultura (índice: 0,10).** Estes escorregamentos de terra aconteceram em uma área de 3,17 Km<sup>2</sup> (1,69%) da Bacia do Rio Bengalas.

A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a litologia (0,81), declividade (0,63), a curvatura vertical (0,62), a pedologia (0,59), curvatura horizontal (0,49) e uso e cobertura do solo (0,10).

**8 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em uma área com o uso e cobertura do solo composto por floresta Mata Atlântica (índice: 0,20).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 48,90 Km<sup>2</sup> (26,05%) da Bacia do Rio Bengalas.

A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,66), a litologia (0,60), a declividade (0,60), a curvatura horizontal (0,50), a curvatura vertical (0,48) e o uso e cobertura do solo (0,20).

**35 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em uma área com o uso e cobertura do solo composto por pastagens e forragens (índice: 0,44).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 34,20 Km<sup>2</sup> (18,22%) da Bacia do Rio Bengalas.

Observa-se que nestas áreas compostas por pastagens e forragens houve mais de um escorregamento de terra por Km<sup>2</sup> (1,02).

A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,71), a litologia (0,62), a declividade (0,57), a curvatura vertical (0,51), a curvatura horizontal (0,46) e o uso e cobertura do solo (0,44).

**48 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em uma área com o uso e cobertura do solo composto por florestas inicial e média (índice: 0,51).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 60,72 Km<sup>2</sup> (32,35%) da Bacia do Rio Bengalas.

A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,68), a litologia (0,65), a declividade (0,56), a curvatura vertical (0,52), o uso e cobertura do solo (0,51) e a curvatura horizontal (0,49).

**88 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em uma área com o uso e cobertura do solo composto por área urbana (índice: 0,69).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 23,96 Km<sup>2</sup> (12,77%) da Bacia do Rio Bengalas.

Observa-se que nestas áreas ocorreram mais de três escorregamentos por Km<sup>2</sup> (3,67).

Novamente, a variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,69), seguida pela variável uso e cobertura do solo (0,69), a litologia (0,68), a declividade (0,58), a curvatura vertical (0,52) e a curvatura horizontal (0,48).



Classe	Área (Km <sup>2</sup> )	% da Área Total	Pontos de Escorregamentos	% dos Pontos de Escorregamentos	Pontos de Escorregamentos pela Área	Índice de Suscetibilidade
Área Degradada	0,27	0,14	1	0,55	3,70	0,10
Eucaliptos e Pinheiros	12,44	6,63	1	0,55	0,08	0,10
Agricultura	3,17	1,69	2	1,09	0,63	0,10
Floresta (Mata Atlântica)	48,90	26,05	8	4,37	0,16	0,20
Pastagens e Forragens	34,20	18,22	35	19,13	1,02	0,44
Floresta Inicial e Média	60,72	32,35	48	26,23	0,79	0,51
Área Urbana	23,96	12,77	88	48,09	3,67	0,69
Lagos	0,125	0,07				
Afloramentos Rochosos	3,90	2,08				
Total	191	100	183	100	0,96	

Tabela 18. O Uso e Cobertura do Solo e os Pontos de Escorregamentos de Terra

<b>Nº de Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Uso e Cob. do Solo</b>	<b>Declividade</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Litologia</b>	<b>Curvatura Vertical</b>	<b>Curvatura Horizontal</b>
<b>1 (Área Degradada)</b>	<b>0,10</b>	<b>0,40</b>	<b>0,82</b>	<b>0,37</b>	<b>0,62</b>	<b>0,57</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>5º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>
<b>1 (Eucaliptos e Pinheiros)</b>	<b>0,10</b>	<b>0,64</b>	<b>0,82</b>	<b>0,37</b>	<b>0,62</b>	<b>0,53</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>2º</b>	<b>1º</b>	<b>5º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>
<b>2</b>	<b>0,10</b>	<b>0,63</b>	<b>0,59</b>	<b>0,81</b>	<b>0,62</b>	<b>0,49</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>5º</b>
<b>8</b>	<b>0,20</b>	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>0,60</b>	<b>0,48</b>	<b>0,50</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>5º</b>	<b>4º</b>
<b>35</b>	<b>0,44</b>	<b>0,57</b>	<b>0,71</b>	<b>0,62</b>	<b>0,51</b>	<b>0,46</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>
<b>48</b>	<b>0,51</b>	<b>0,56</b>	<b>0,68</b>	<b>0,65</b>	<b>0,52</b>	<b>0,49</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>5º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>6º</b>
<b>88</b>	<b>0,69</b>	<b>0,58</b>	<b>0,69</b>	<b>0,68</b>	<b>0,52</b>	<b>0,48</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>

Tabela 19. Classes do Uso e Cobertura do Solo, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra

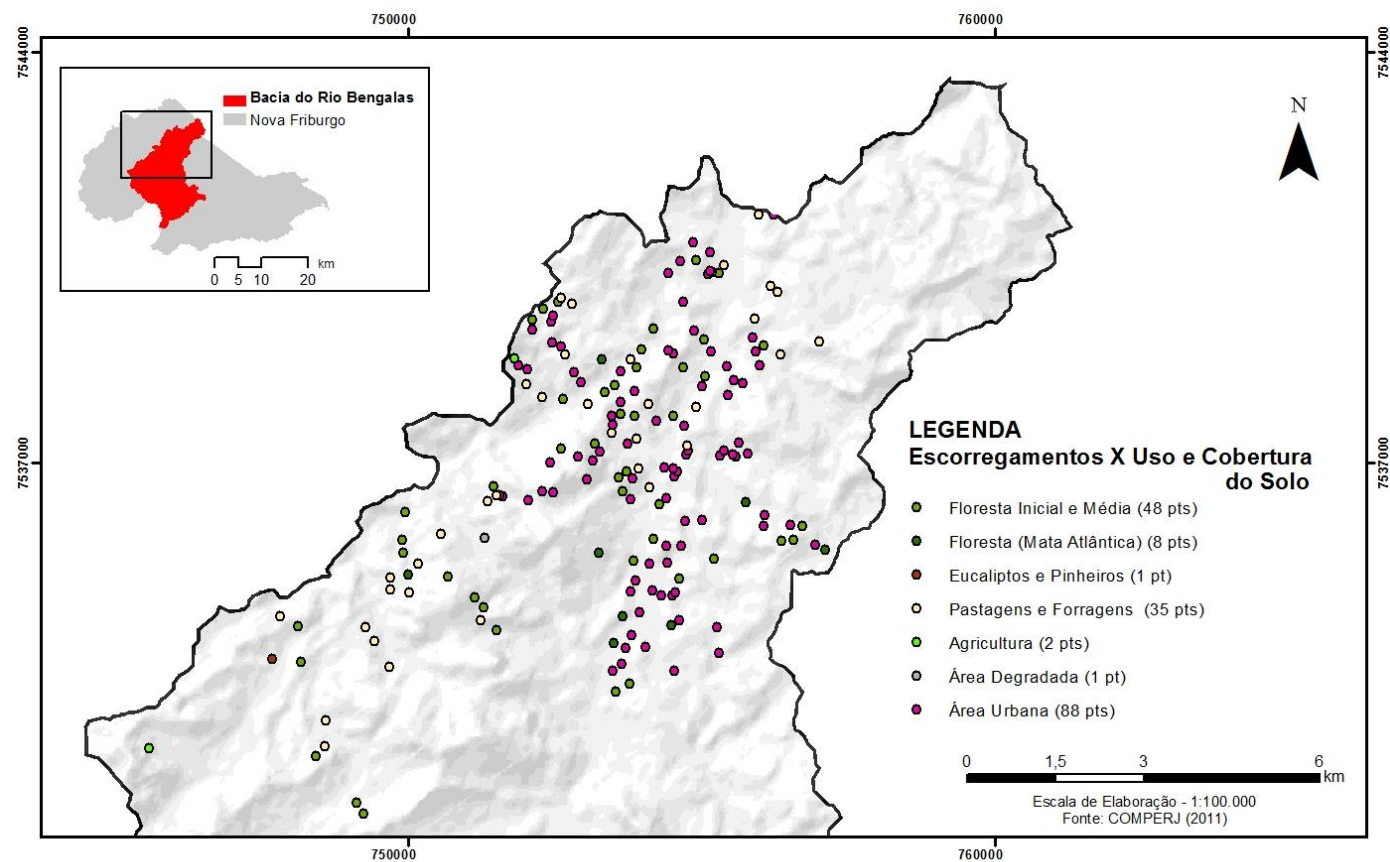


Figura 54. O Uso e Cobertura do Solo e os Pontos de Escorregamentos de Terra

Fonte: Própria, dados provenientes do COMPERJ (2011).

#### 6.3.4 Litologia

A seguir apresenta-se análise da variável **LITOLOGIA** em relação às demais variáveis, a partir das Tabelas 18 e 19 e da Figura 55.

**8 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com litologia composta por biotita gnaiss (índice: 0,20).** Entre os diversos tipos de rochas existentes na Bacia do Rio Bengalas, nota-se que estes 8 escorregamentos de terra ocorreram área composta por biotita gnaiss, que perfazem 45,35 Km<sup>2</sup> (23,72%) do total da área da Bacia, pertencentes ao grupo de rochas metamórficas. Primeiramente, a variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a declividade (0,60), seguida pelo uso e cobertura do solo (0,57), curvatura vertical (0,53), curvatura horizontal (0,49), pedologia (0,39) e litologia (0,20).

**25 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em área com litologia composta por ortognaiss de composição granítica (índice: 0,37).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 23,16 Km<sup>2</sup> (12,11%) da Bacia do Rio Bengalas e observa-se que nestas áreas houve mais de uma ocorrência por Km<sup>2</sup> (1,08). As rochas ortognaiss de composição granítica pertencem ao grupo de rochas ígneas. A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,68), seguida pela declividade (0,56), curvatura vertical (0,54), curvatura horizontal (0,50), uso e cobertura do solo (0,43) e litologia (0,37).

**31 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em área com litologia composta por sedimentos aluvionar e coluvionar (índice: 0,41).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 13,01 Km<sup>2</sup> (6,8%) da Bacia do Rio Bengalas e observa-se que nestas áreas houve mais de duas ocorrências por Km<sup>2</sup> (2,38). Os sedimentos aluvionar e coluvionar pertencem ao grupo de rochas sedimentares. Novamente a pedologia (0,69) foi a variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra, seguida pelo uso e cobertura do solo (0,61), a declividade (0,56), curvatura vertical (0,50), curvatura horizontal (0,49) e litologia (0,41).

**119 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em área com litologia composta por granito, diorito e granodiorito; e metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaiss granulítico (índice: 0,81).** Analisando a litologia com as demais variáveis, observa-se que este grupo foi o que apresentou o maior número de escorregamentos de terra (119). Tais escorregamentos aconteceram em uma área de 81,80 Km<sup>2</sup> (42,83%) da Bacia do Rio Bengalas, com mais de uma ocorrência por Km<sup>2</sup> (1,45). Neste grupo a litologia (0,81) foi a variável determinante na ocorrência dos desastres, seguida pela pedologia (0,71), declividade (0,58), uso e cobertura do solo (0,57), curvatura vertical (0,52) e curvatura horizontal (0,48).

Classe		Área (Km²)	% da Área Total	Pontos de Escorregamentos	% dos Pontos de Escorregamentos	Pontos de Escorregamentos pela Área	Índice de Suscetibilidade
Rochas Ígneas	Gabro	6,28	3,28				
	Gnaisse	18,67	9,76				
	Granito, diorito e granodiorito; e Metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaisse granulítico.	81,80	42,83	119	65,03	1,45	0,81
	Quartzito	0,31	0,16				
	Ortognaisse de composição granítica	23,16	12,11	25	13,66	1,08	0,37
Rochas Meta-mórficas	Anfibólio gnaisse	1,22	0,64				
	Biotita gnaisse	45,35	23,72	8	4,37	0,18	0,20
Rochas Sedi-mentares	Colúvio	1,4	0,73				
	Sedimentos Aluvionar e Coluvionar.	13,01	6,8	31	16,94	2,38	0,41
Total		191	100	183	100	0,96	

Tabela 20. A Litologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra

<b>Nº de Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Litologia</b>	<b>Declividade</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Uso e Cob. do Solo</b>	<b>Curvatura Vertical</b>	<b>Curvatura Horizontal</b>
<b>8</b>	<b>0,20</b>	<b>0,60</b>	<b>0,39</b>	<b>0,57</b>	<b>0,53</b>	<b>0,49</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>1º</b>	<b>5º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>
<b>25</b>	<b>0,37</b>	<b>0,56</b>	<b>0,68</b>	<b>0,43</b>	<b>0,54</b>	<b>0,50</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>2º</b>	<b>1º</b>	<b>5º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>
<b>31</b>	<b>0,41</b>	<b>0,56</b>	<b>0,69</b>	<b>0,61</b>	<b>0,50</b>	<b>0,49</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>
<b>119</b>	<b>0,81</b>	<b>0,58</b>	<b>0,71</b>	<b>0,57</b>	<b>0,52</b>	<b>0,48</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>

Tabela 21. Classes da Litologia, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra

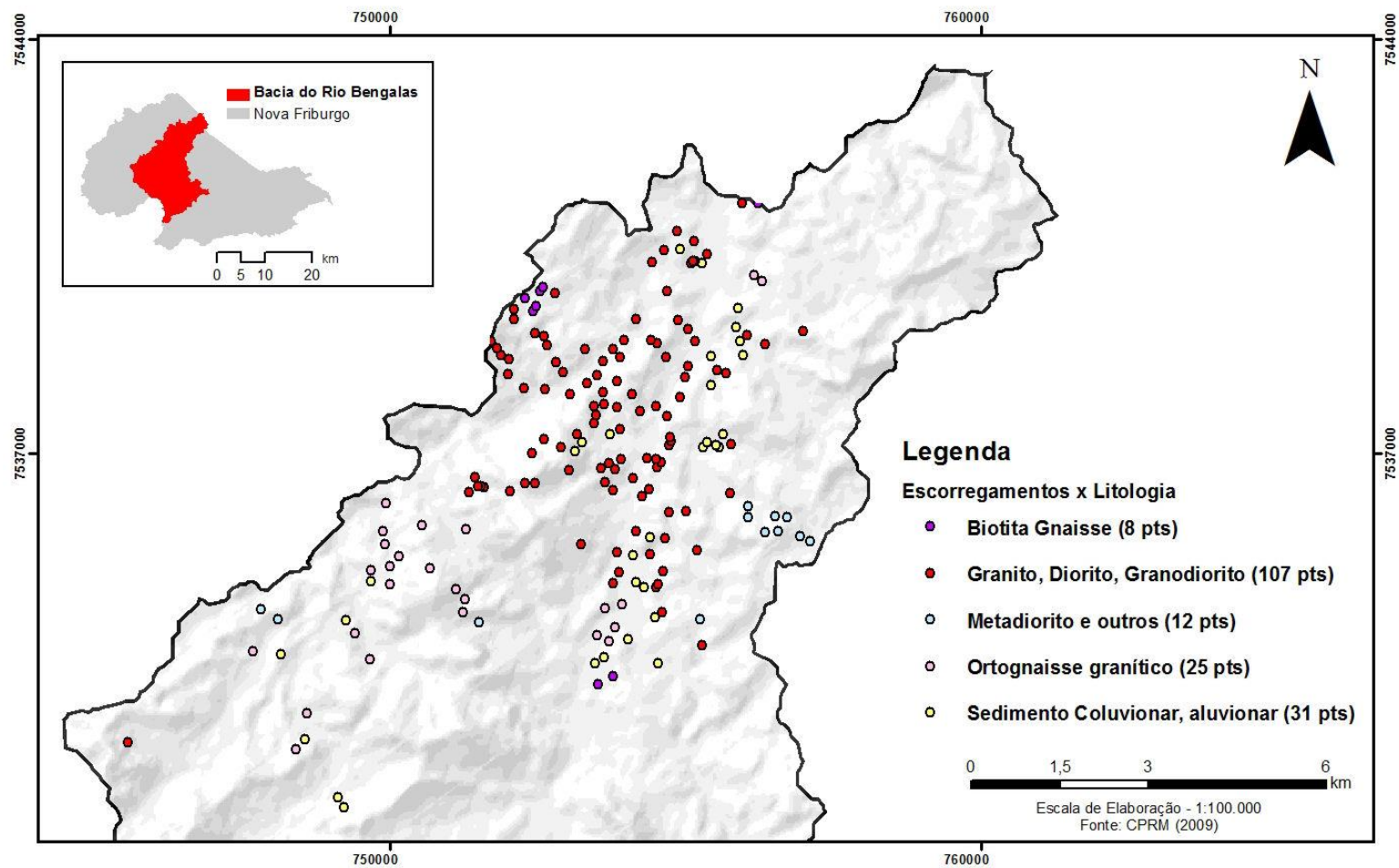


Figura 55. A Litologia e os Pontos de Escorregamentos de Terra

Fonte: Própria, dados provenientes do CPRM (2009).

### 6.3.5 Curvatura Vertical

A seguir apresenta-se análise da variável **CURVATURA VERTICAL** a partir das Tabelas 22 e 23 e da Figura 56.

**6 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura vertical muito convexa (índice: 0,17).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 14,06 Km<sup>2</sup> (7,35%) da Bacia do Rio Bengalas. A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,76), seguida pela litologia (0,68), o uso e cobertura do solo (0,59), a declividade (0,55), a curvatura horizontal (0,34) e a curvatura vertical (0,17).

**14 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura vertical convexa (índice: 0,28).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 38,08 Km<sup>2</sup> (19,90%) da Bacia do Rio Bengalas. Como no grupo anterior a variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,73), seguida pela litologia (0,69), a declividade (0,57), o uso e cobertura do solo (0,56), a curvatura horizontal (0,37) e a curvatura vertical (0,28).

**42 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura vertical muito côncava (índice: 0,48).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 17,28 Km<sup>2</sup> (9,03%) da Bacia do Rio Bengalas. Observa-se que nestas áreas houve mais de dois escorregamentos de terra por Km<sup>2</sup> (2,43). A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,71), seguida pela litologia (0,65), a declividade (0,57), o uso e cobertura do solo (0,56), a curvatura horizontal (0,45) e a curvatura vertical (0,52).

**50 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura vertical retilínea (índice: 0,27).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 68,41 Km<sup>2</sup> (35,75%) da Bacia do Rio Bengalas. A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,54), seguida pela litologia (0,47), o uso e cobertura do solo (0,34), a declividade (0,34), a curvatura vertical (0,27) e a curvatura horizontal (0,21).

**71 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura vertical côncava (índice: 0,62).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 53,54 Km<sup>2</sup> (27,98%) da Bacia do Rio Bengalas. Observa-se que nestas áreas houve mais de um escorregamento de terra por Km<sup>2</sup> (1,33). A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,67), seguida pela litologia (0,67), a curvatura vertical (0,62), a declividade (0,57), o uso e cobertura do solo (0,57) e a curvatura horizontal (0,51).



<b>Classe</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da Área Total</b>	<b>Pontos de Escorregamentos</b>	<b>% dos Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Pontos de Escorregamentos pela Área</b>	<b>Índice de Suscetibilidade</b>
<b>Muito Convexa</b>	<b>14,06</b>	<b>7,35</b>	<b>6</b>	<b>3,28</b>	<b>0,43</b>	<b>0,17</b>
<b>Convexa</b>	<b>38,08</b>	<b>19,90</b>	<b>14</b>	<b>7,65</b>	<b>0,37</b>	<b>0,28</b>
<b>Muito Côncava</b>	<b>17,28</b>	<b>9,03</b>	<b>42</b>	<b>22,95</b>	<b>2,43</b>	<b>0,48</b>
<b>Retilínea</b>	<b>68,41</b>	<b>35,75</b>	<b>50</b>	<b>27,32</b>	<b>0,73</b>	<b>0,52</b>
<b>Côncava</b>	<b>53,54</b>	<b>27,98</b>	<b>71</b>	<b>38,80</b>	<b>1,33</b>	<b>0,62</b>
<b>Total</b>	<b>191</b>	<b>100</b>	<b>183</b>	<b>100</b>	<b>0,96</b>	

Tabela 22. A Curvatura Vertical e os Pontos de Escorregamentos de Terra

<b>Nº de Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Curvatura Vertical</b>	<b>Declividade</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Litologia</b>	<b>Uso e Cob. do Solo</b>	<b>Curvatura Horizontal</b>
<b>6</b>	<b>0,17</b>	<b>0,55</b>	<b>0,76</b>	<b>0,68</b>	<b>0,59</b>	<b>0,34</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>5º</b>
<b>14</b>	<b>0,28</b>	<b>0,57</b>	<b>0,73</b>	<b>0,69</b>	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>
<b>42</b>	<b>0,48</b>	<b>0,58</b>	<b>0,68</b>	<b>0,62</b>	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>
<b>50</b>	<b>0,52</b>	<b>0,57</b>	<b>0,71</b>	<b>0,65</b>	<b>0,56</b>	<b>0,45</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>5º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>6º</b>
<b>71</b>	<b>0,62</b>	<b>0,57</b>	<b>0,67</b>	<b>0,67</b>	<b>0,57</b>	<b>0,51</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>

Tabela 23. Classes da Curvatura Vertical, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra

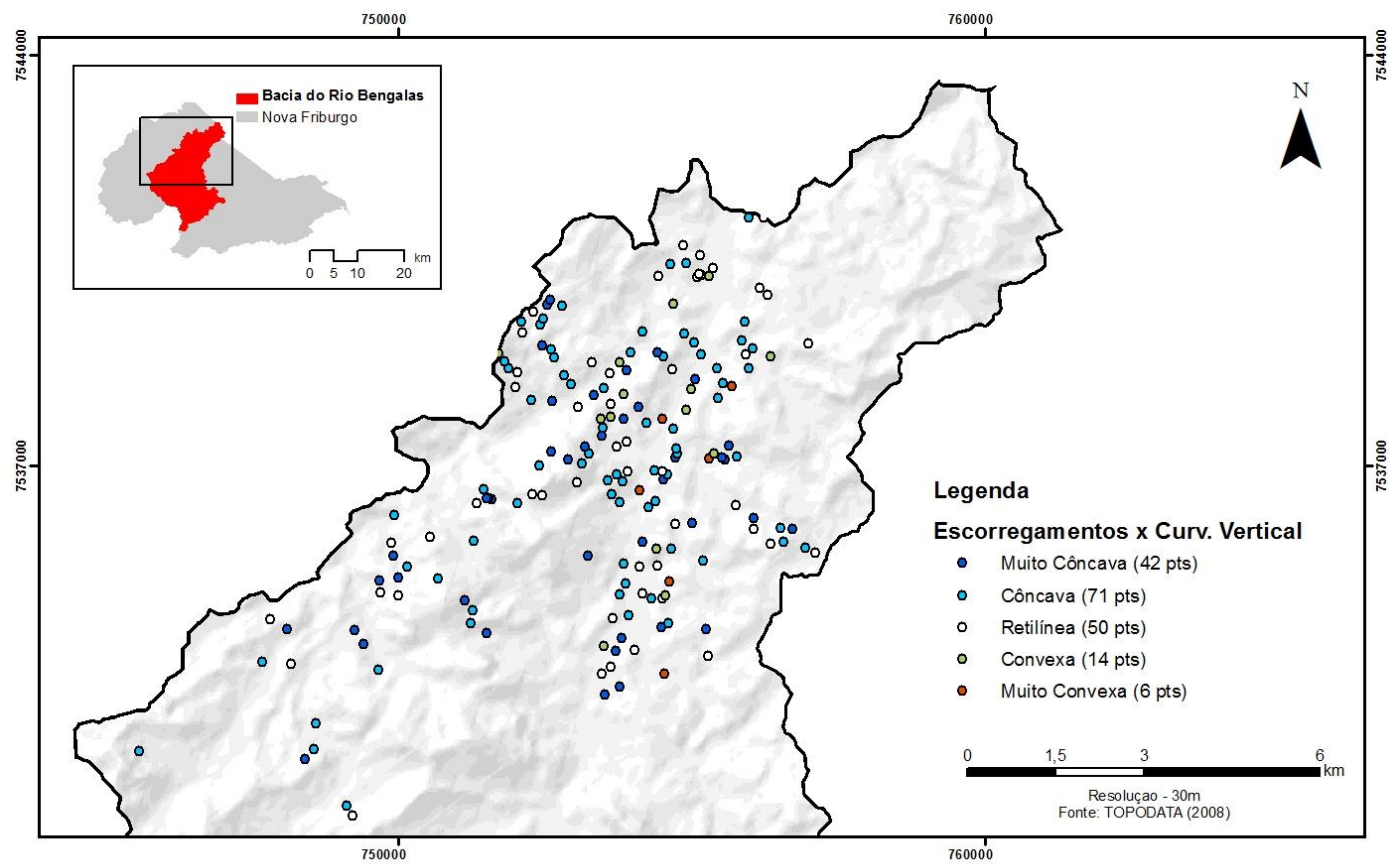


Figura 56. A Curvatura Vertical e os Pontos de Escorregamentos de Terra

Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).

### 6.3.6 Curvatura Horizontal

A seguir apresenta-se análise da variável **CURVATURA HORIZONTAL** a partir das Tabelas 24 e 25 e da Figura 57.

**18 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura horizontal muito divergente (índice: 0,32).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 38,61 Km<sup>2</sup> (20,17%) da Bacia do Rio Bengalas. A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,72), seguida pela litologia (0,68), o uso e cobertura do solo (0,59), a declividade (0,58), a curvatura vertical (0,35) e a curvatura horizontal (0,32).

**19 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura horizontal divergente (índice: 0,32).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 35,07 Km<sup>2</sup> (18,33%) da Bacia do Rio Bengalas. A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,76), seguida pela litologia (0,68), o uso e cobertura do solo (0,55), a declividade (0,54), a curvatura vertical (0,50) e a curvatura horizontal (0,32).

**35 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura horizontal planar (índice: 0,44).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 39,22 Km<sup>2</sup> (20,49%) da Bacia do Rio Bengalas. A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,70), seguida pela litologia (0,68), a declividade (0,58), o uso e cobertura do solo (0,55), a curvatura vertical (0,52) e a curvatura horizontal (0,44).

**51 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura horizontal muito convergente (índice: 0,53).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 39,71 Km<sup>2</sup> (20,75%) da Bacia do Rio Bengalas. Observa-se que nestas áreas houve mais de um escorregamento de terra por Km<sup>2</sup> (1,28). A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,63), seguida pela litologia (0,61), o uso e cobertura do solo (0,58), a declividade (0,57), a curvatura vertical (0,55) e a curvatura horizontal (0,53).

**60 Pontos de Escorregamentos de Terra ocorridos em áreas com a curvatura horizontal convergente (índice: 0,57).** Estes escorregamentos de terra ocorreram em uma área de 38,76 Km<sup>2</sup> (20,26%) da Bacia do Rio Bengalas. Observa-se que nestas áreas houve mais de um escorregamento de terra por Km<sup>2</sup> (1,55). A variável determinante neste grupo de escorregamentos de terra foi a pedologia (0,71), seguida pela litologia (0,66), a declividade (0,58), a curvatura horizontal (0,57), o uso e cobertura do solo (0,55) e a curvatura vertical (0,55).

<b>Classe</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da Área Total</b>	<b>Pontos de Escorregamentos</b>	<b>% dos Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Pontos de Escorregamentos pela Área</b>	<b>Índice de Suscetibilidade</b>
<b>Muito Divergente</b>	<b>38,61</b>	<b>20,17</b>	<b>18</b>	<b>9,84</b>	<b>0,47</b>	<b>0,32</b>
<b>Divergente</b>	<b>35,07</b>	<b>18,33</b>	<b>19</b>	<b>10,38</b>	<b>0,54</b>	<b>0,32</b>
<b>Planar</b>	<b>39,22</b>	<b>20,49</b>	<b>35</b>	<b>19,13</b>	<b>0,89</b>	<b>0,44</b>
<b>Muito Convergente</b>	<b>39,71</b>	<b>20,75</b>	<b>51</b>	<b>27,87</b>	<b>1,28</b>	<b>0,53</b>
<b>Convergente</b>	<b>38,76</b>	<b>20,26</b>	<b>60</b>	<b>32,79</b>	<b>1,55</b>	<b>0,57</b>
<b>Total</b>	<b>191</b>	<b>100</b>	<b>183</b>	<b>100</b>	<b>0,96</b>	

Tabela 24. A Curvatura Horizontal e os Pontos de Escorregamentos de Terra

<b>Nº de Pontos de Escorregamentos</b>	<b>Curvatura Horizontal</b>	<b>Declividade</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Litologia</b>	<b>Uso e Cob. do Solo</b>	<b>Curvatura Vertical</b>
<b>18</b>	<b>0,32</b>	<b>0,58</b>	<b>0,72</b>	<b>0,68</b>	<b>0,59</b>	<b>0,35</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>5º</b>
<b>19</b>	<b>0,32</b>	<b>0,54</b>	<b>0,76</b>	<b>0,68</b>	<b>0,55</b>	<b>0,50</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>5º</b>
<b>35</b>	<b>0,44</b>	<b>0,58</b>	<b>0,70</b>	<b>0,68</b>	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>
<b>51</b>	<b>0,53</b>	<b>0,57</b>	<b>0,63</b>	<b>0,61</b>	<b>0,58</b>	<b>0,55</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>6º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>5º</b>
<b>60</b>	<b>0,57</b>	<b>0,58</b>	<b>0,71</b>	<b>0,66</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
<b>Níveis de Influência nos Escorregamentos</b>	<b>4º</b>	<b>3º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>

Tabela 25. Classes da Curvatura Horizontal, as Médias das Variáveis e seus Níveis de Influência nos Escorregamentos de Terra

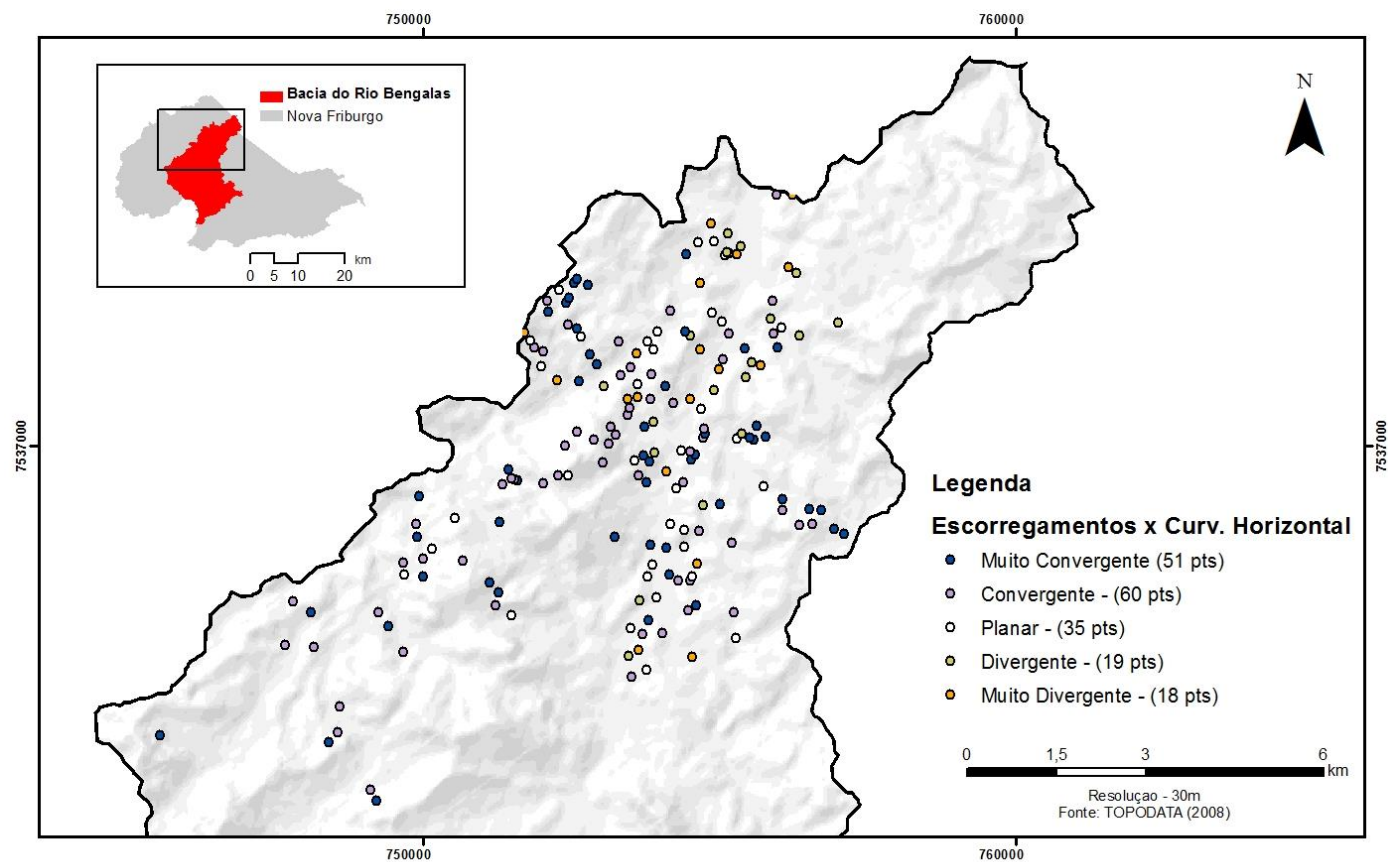


Figura 57. A Curvatura Horizontal e os Pontos de Escorregamentos de Terra

Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008)

A maioria dos escorregamentos de terra ocorridos na Bacia do Rio Bengalas em janeiro de 2011 foram observados em áreas de média e de alta suscetibilidade.

Em relação às variáveis estudadas neste trabalho, estes escorregamentos de terra ocorreram em áreas de:

**Declividade:** com ângulos variando de 12 a 30% e de 30 a 47% de declividade;

**Pedologia:** composta na sua grande parte por latossolos;

**Uso e cobertura do solo:** composto por áreas urbanas, floresta inicial e média, e de pastagens e forragens;

**Litologia:** composta por granito, diorito e granodiorito; metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaiss granulítico; sedimentos aluvionar coluvionar; e ortogneiss de composição granítica;

**Curvatura vertical:** côncavas, retilíneas e muito côncavas; e

**Curvatura horizontal:** convergente, muito convergente e planares.

No caso dos escorregamentos de terra observados espacialmente em áreas de curvatura vertical retilínea e de curvatura horizontal planar, onde um escorregamento é representado por um (1) único pixel, ressalta-se que estes ocorreram em áreas de declividade acentuada, com acção antrópica na sua base, tendo sua descarga de terra em áreas retilíneas e planares.

#### **6.4 Precipitação - Análise da precipitação acumulada de cinco dias (PA5) com a humidade do solo (US)**

Neste estudo são utilizadas informações de precipitação acumulada para descrever a magnitude dos eventos. Existe uma relação climatológica entre a precipitação acumulada e a humidade do solo, que descreve o estado de encharcamento do solo prévio ao evento de precipitação extrema e exerce um importante controlo na resposta do solo a este evento. A Tabela 26 e as Figuras 58, 59, 60, 61 e 62 apresentam a precipitação acumulada de 5 dias (PA5) e a humidade do solo (US) do Município de Nova Friburgo para 6 dias (5 dias anteriores ao dia do evento + o dia do evento).

A série histórica escolhida para a análise foi de 01/01/1995 a 19/03/2013 que compreende 4.827 dias. Deste total de dias, quatro (4) deles (19/01/2005; 04/01/2007; 12/01/2011; e 18/03/2013) tiveram seus dados separados para serem analisados, pois nestes dias (aqui chamados por “dia do



evento”) foi registrada no Município de Nova Friburgo uma precipitação diária de chuva superior a 80 mm.

**Evento de 19/01/2005:** Nesta data a PA5 foi de 117,5 mm e no dia anterior (18/01/2005) foi de 32,8 mm. Observa-se que a US foi de 99,9% durante três dias consecutivos (17, 18 e 19/01/2005) e apesar do solo estar saturado, a PA5 do dia do evento não foi suficiente para a ocorrência de escorregamentos de terra.

**Evento de 04/01/2007:** A PA5 nesta data foi de 176,3 mm e no dia anterior (03/01/2007) foi de 88,6 mm. A US foi de 99,9% durante quatro dias consecutivos (01, 02, 03 e 04/01/2007).

Ressalta-se que no dia 04/01/2007 foram observados 350 escorregamentos de terra no Município, pois neste dia e no dia anterior (03/01/2007) a PA5 foi alta, respectivamente na ordem de 176,3 mm e 88,6 mm. Este caso é diferente do evento anterior ocorrido em 19/01/2005, pois nesta data a PA5 foi alta (117,5 mm), mas no dia anterior (18/01/2005) foi baixa (32,8 mm), não sendo suficiente para a ocorrência dos escorregamentos de terra. Daí a importância de se analisar a PA5, no caso de previsão de escorregamentos de terra, sempre para o mínimo dois (2) dias.

**Evento de 12/01/2011:** A PA5 nesta data foi de 219,9 mm e no dia anterior (11/01/2011) foi de 85,0 mm. Em tais dias a US foi de 99,9% e neste caso houve a ocorrência de 800 escorregamentos de terra no Município de Nova Friburgo. Conforme mencionado anteriormente, neste evento confirma-se a importância de se analisar a PA5 no mínimo de dois (2) dias, no caso de previsão de escorregamentos de terra. Observa-se que no dia anterior (11/01/2011) a PA5 foi de 85,0 mm e no dia seguinte, subiu para 219,9 mm, ou seja, o solo além de estar saturado, não suportou a alta precipitação do dia 12 e os escorregamentos iniciaram.

**Evento de 18/03/2013:** A PA5 nesta data foi de 131,6 mm e a US de 99,9%, enquanto que no dia anterior a PA5 foi de 26,8 mm e a US de 93,8%. Neste caso não houve a ocorrência de escorregamentos de terra. Observa-se que a situação ocorrida neste evento foi a mesma do evento de 19/01/2005, houve uma PA5 alta no dia do evento, mas no dia anterior a PA5 foi baixa.

Analisando estes quatro (4) eventos ocorridos no Município de Nova Friburgo, observou-se que a alta da precipitação acumulada de chuvas em um dia, saturando o solo, com a continuidade e elevação destas chuvas no dia subsequente, foi suficiente para a ocorrência de escorregamentos de terra. Por outro lado observa-se que a alta precipitação acumulada de chuvas em um único dia, mesmo com o solo saturado, mas sem a continuidade e elevação destas chuvas no dia seguinte, não houve escorregamentos de terra. Tais observações estão explícitas a partir da Tabela 26 e das Figuras 58, 59, 60, 61 e 62 a seguir.

Dia do Evento	Nº de Escorregamentos ocorridos no Município de Nova Friburgo	Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) (mm) e a Humidade do Solo (US) (%) do Município de Nova Friburgo													
		Precipitação Diária no dia do Evento  (mm)	Análise dos 5 dias anteriores ao dia do evento + o dia do evento												
			5º dia		4º dia		3º dia		2º dia		1º dia		Dia do Evento		
			PA5 (mm)	US (%)	PA5 (mm)	US (%)	PA5 (mm)	US (%)	PA5 (mm)	US (%)	PA5 (mm)	US (%)	PA5 (mm)	US (%)	
19/01/2005	0	84,7	14/01/2005		15/01/2005		16/01/2005		17/01/2005		18/01/2005		19/01/2005		
			98,6	98,1	60,2	96,5	20,1	94,8	35,8	99,9	32,8	99,9	117,5	99,9	
04/01/2007	350	97,3	30/12/2006		31/12/2006		01/01/2007		02/01/2007		03/01/2007		04/01/2007		
			38,7	99,9	31,9	99,1	33,4	99,9	42,4	99,9	88,6	99,9	176,3	99,9	
12/01/2011	800	136,0	07/01/2011		08/01/2011		09/01/2011		10/01/2011		11/01/2011		12/01/2011		
			41,2	98,8	38,8	97,0	32,0	95,0	4,2	93,2	85,0	99,9	219,9	99,9	
18/03/2013	0	105,1	13/03/2013		14/03/2013		15/03/2013		16/03/2013		17/03/2013		18/03/2013		
			25,9	90,6	43,8	95,5	36,4	96,5	36,1	95,3	26,8	93,8	131,6	99,9	

Tabela 26. Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) e a Humidade do Solo (US) do Município de Nova Friburgo

Fonte: CPTEC/INPE (2013), cálculos e adaptação do Autor.

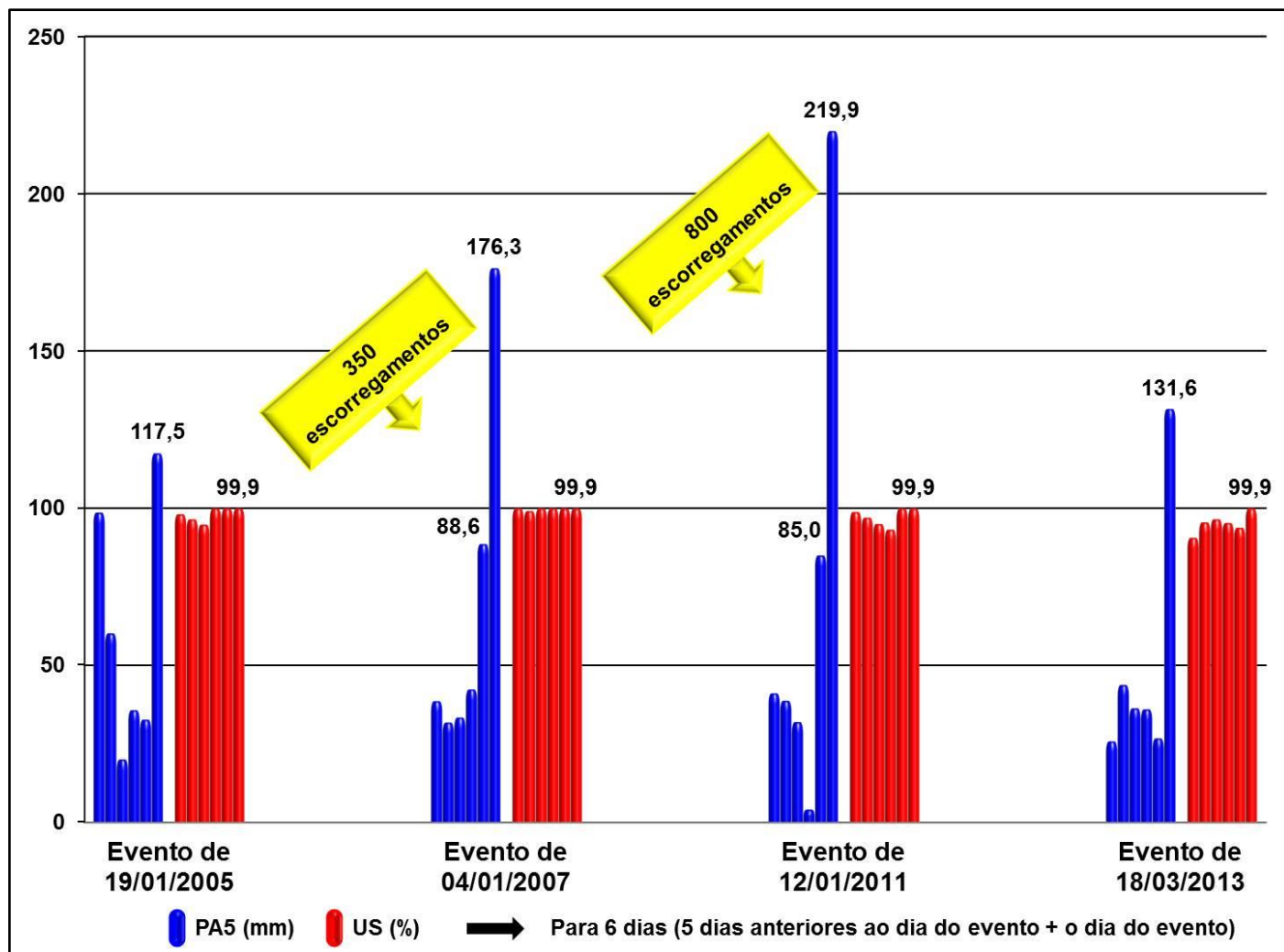


Figura 58. Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) (mm), a Humidade do Solo (US) (%) e o Número de Escorregamentos de Terra ocorridos no Município de Nova Friburgo

Fonte: CPTEC/INPE (2013), cálculos e adaptação do Autor.

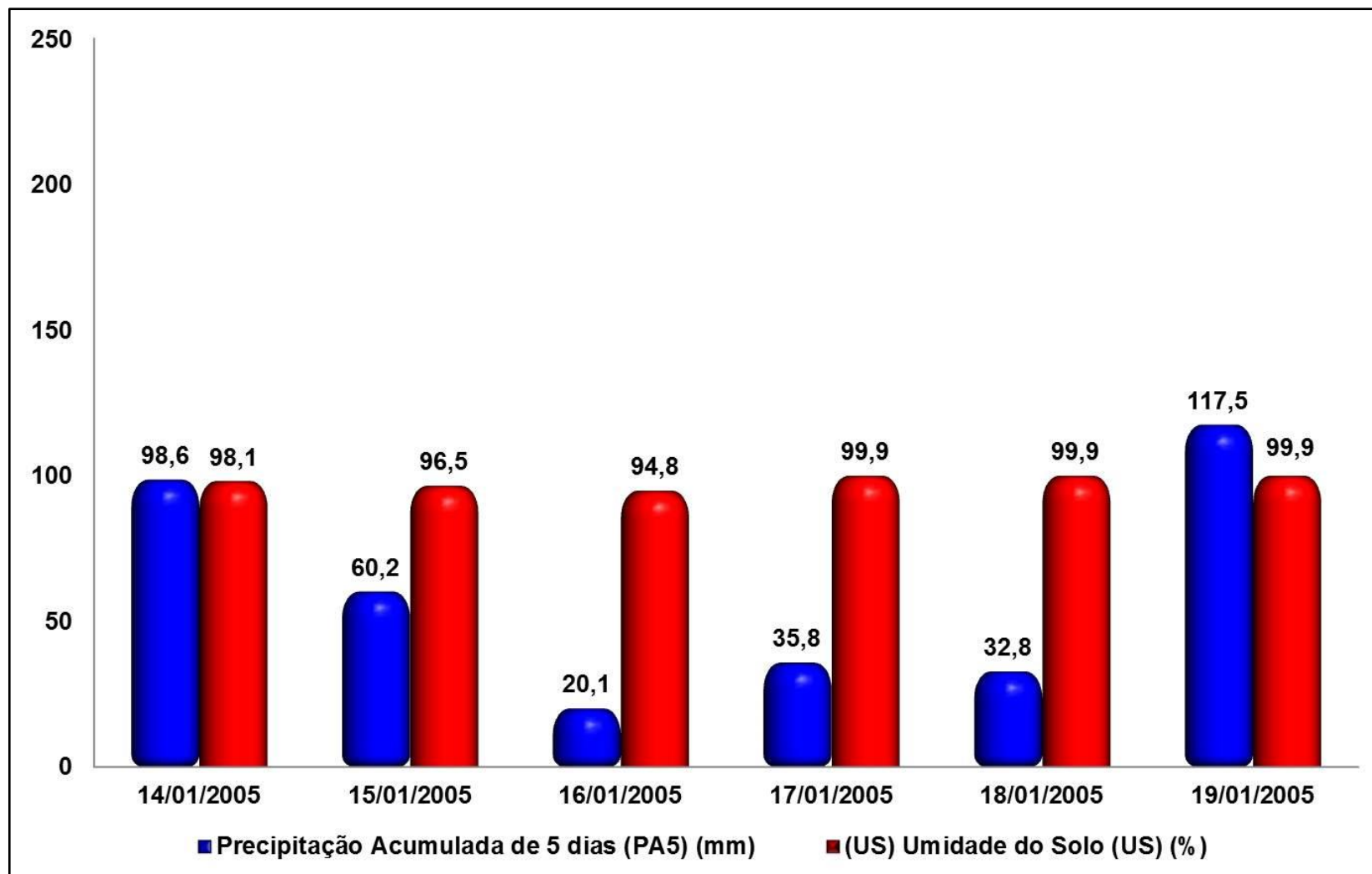


Figura 59. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 14/01/2005 a 19/01/2005

Fonte: CPTEC/INPE (2013), cálculos e adaptação do Autor.

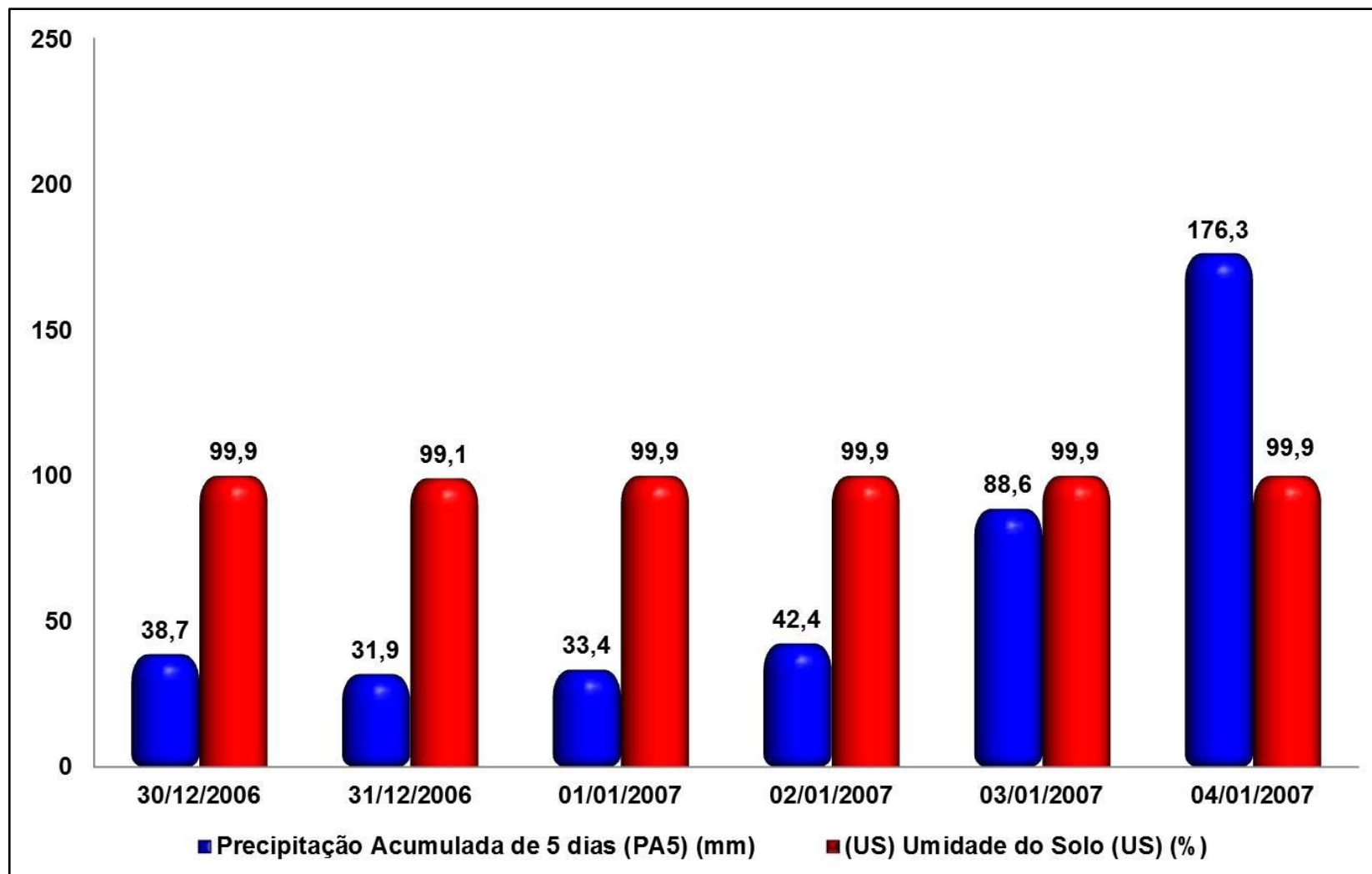


Figura 60. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 30/12/2006 a 04/01/2007

Fonte: CPTEC/INPE (2013), cálculos e adaptação do Autor.

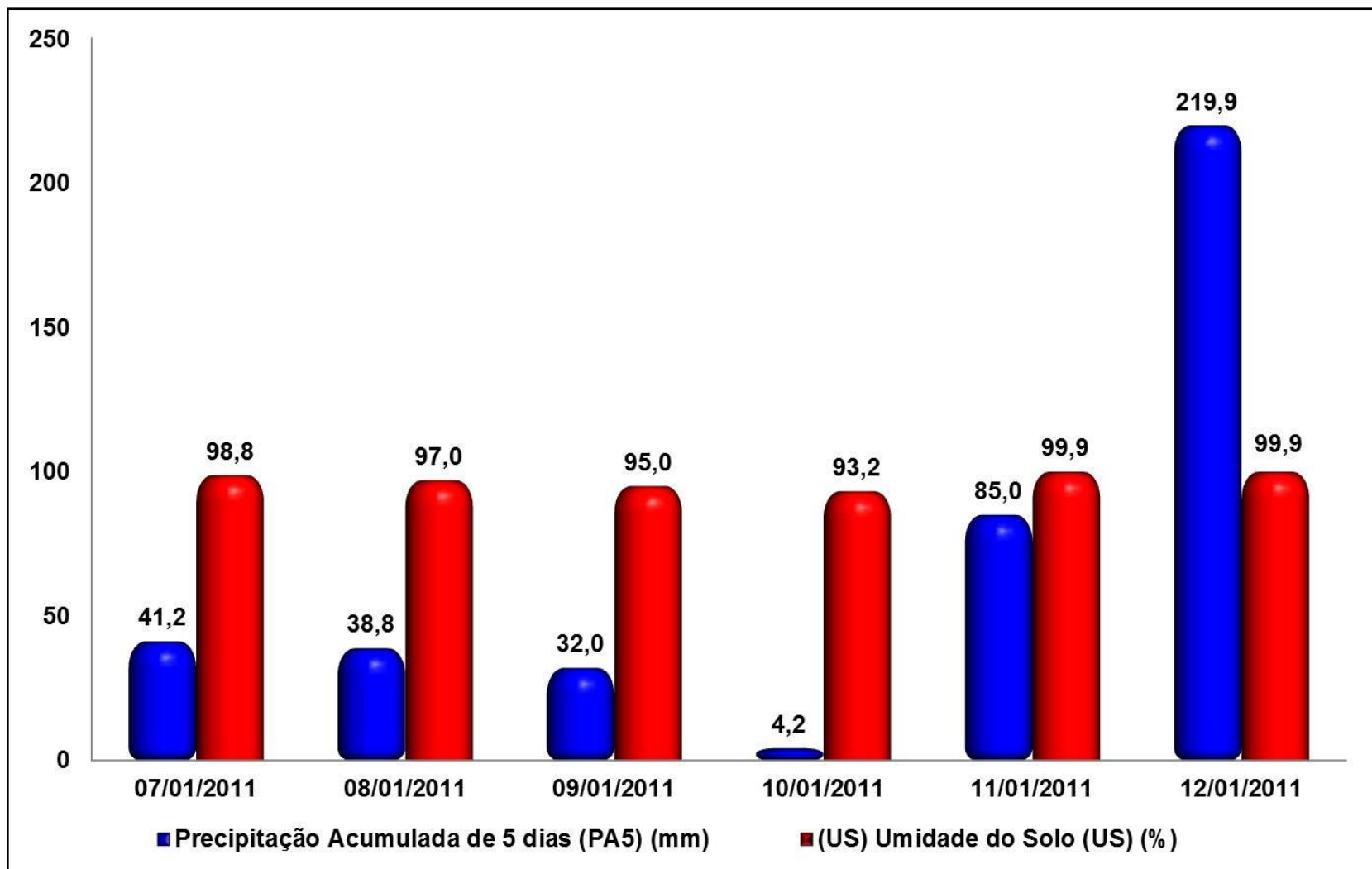


Figura 61. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 07/01/2011 a 12/01/2011

Fonte: CPTEC/INPE (2013), cálculos e adaptação do Autor.

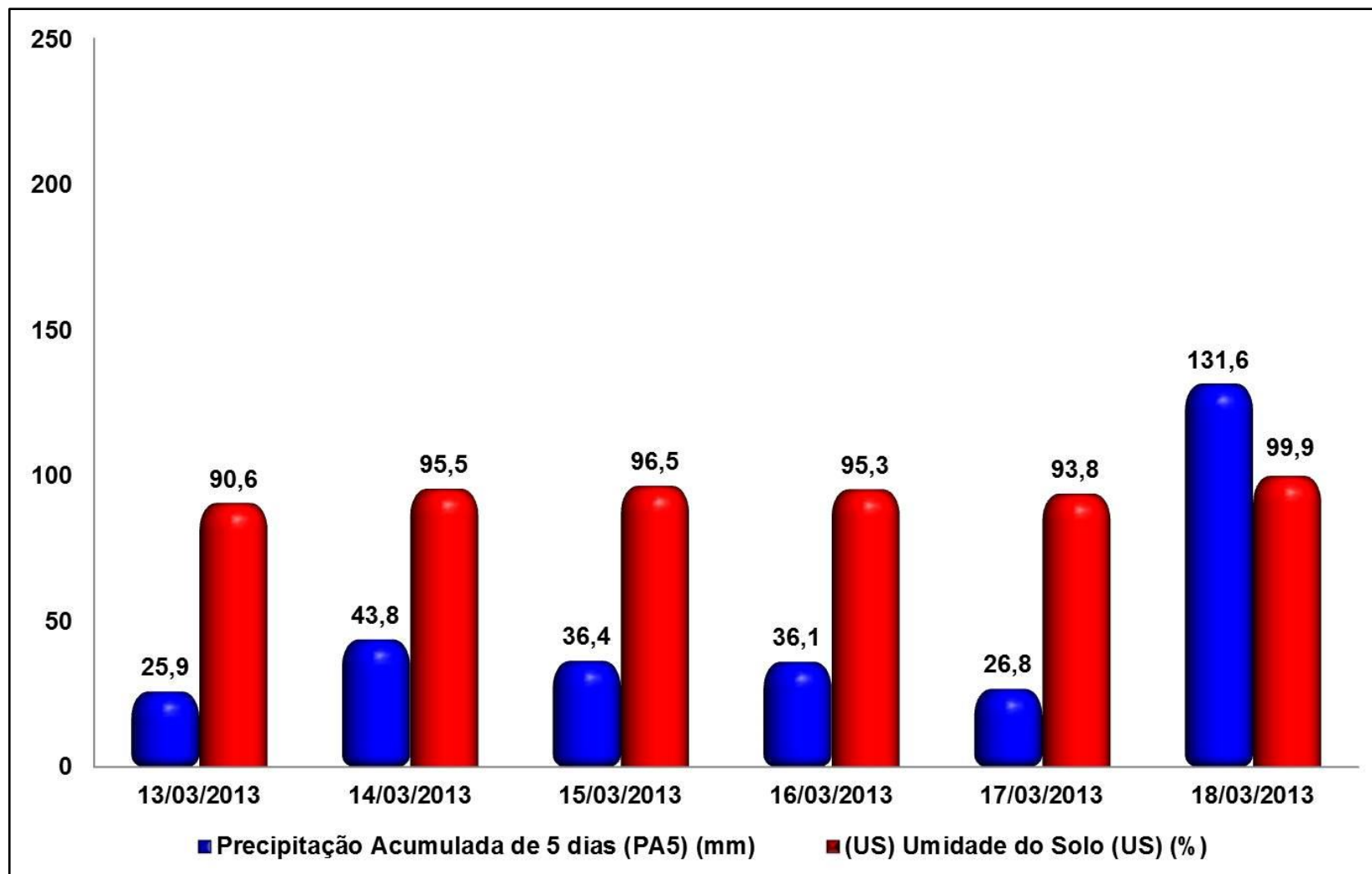


Figura 62. Precipitação Acumulada 5 dias e a Humidade do Solo do Município de Nova Friburgo - Período: 13/03/2013 a 18/03/2013

Fonte: CPTEC/INPE (2013), cálculos e adaptação do Autor.

## 6.5 Precipitação - Análise da classificação dos índices de precipitação a pesos

O índice resultante do 2º termo da Equação 7 que se refere à precipitação, conforme o seu valor, foi classificado de acordo com os pesos pré-definidos na Tabela 11.

Para elucidar questões relacionadas a esta classificação, construiu-se a Tabela 27 onde apresenta uma análise de seis dias para cada um dos quatro eventos ocorridos no Município de Nova Friburgo. Para cada um dos eventos apresenta-se o número de escorregamentos de terra ocorridos, os índices resultantes do 2º termo da equação referente à precipitação, os pesos a que tais índices foram classificados, bem como a média destes índices e dos pesos para o dia do evento e do 1º dia anterior a ele.

Evento de 19/01/2005	ZERO Escorregamentos	14/01/2005	15/01/2005	16/01/2005	17/01/2005	18/01/2005	19/01/2005	Média dos dias 18 e 19/01/2005
	Índices resultantes do 2º termo da Equação 7	0,44	0,34	0,20	0,51	0,32	0,91	0,62
	Classificação dos Índices para Pesos	0,40	0,20	0,20	0,40	0,20	1,00	0,60
Evento de 04/01/2007	350 Escorregamentos	30/12/2006	31/12/2006	01/01/2007	02/01/2007	03/01/2007	04/01/2007	Média dos dias 03 e 04/01/2007
	Índices resultantes do 2º termo da Equação 7	0,38	0,26	0,38	0,47	0,71	1,02	0,87
	Classificação dos Índices para Pesos	0,20	0,20	0,20	0,40	1,00	1,00	1,00
Evento de 12/01/2011	800 Escorregamentos	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011	Média dos dias 11 e 12/01/2011
	Índices resultantes do 2º termo da Equação 7	0,29	0,27	0,25	0,10	0,87	1,18	1,03
	Classificação dos Índices para Pesos	0,20	0,20	0,20	0,00	1,00	1,00	1,00
Evento de 18/03/2013	ZERO Escorregamentos	13/03/2013	14/03/2013	15/03/2013	16/03/2013	17/03/2013	18/03/2013	Média dos dias 17 e 18/03/2013
	Índices resultantes do 2º termo da Equação 7	0,23	0,47	0,34	0,27	0,23	1,00	0,62
	Classificação dos Índices para Pesos	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	1,00	0,60

Tabela 27. Análise da classificação dos índices de precipitação a pesos



O 1º termo da Equação 7 refere-se à suscetibilidade, padronizado para variar entre 0,00 e 1,00 conforme apresentado no item 5.2.2. Por este motivo, procurou-se classificar os índices resultantes do 2º termo da Equação 7, que refere-se à precipitação, dentro do mesmo intervalo. Esta padronização da variação da vulnerabilidade justifica-se pelo fato de permitir sua replicabilidade para outros estudos de casos ou até mesmo para sistemas de monitoramento e alerta de desastres, pois facilita a interpretação dos resultados em categorias distintas de vulnerabilidade.

#### **Eventos de 19/01/2005 e de 18/03/2013: sem escorregamentos de terra**

Para os eventos ocorridos em 19/01/2005 e 18/03/2013, sem registros de escorregamentos de terra no Município de Nova Friburgo, nota-se que nestas datas os índices foram  $\geq$  a 0,70, portanto o peso de classificação do índice do 2º termo da Equação 7 foi de 1,00, enquanto que no 1º dia anterior a estas datas, os índices foram baixos, respectivamente de 0,32 e de 0,23, classificando-os pelo peso 0,20.

A média dos índices dos dias destes eventos com os índices do 1º dia anterior a eles, em ambos os casos foi de 0,62, ou seja,  $\leq$  a 0,70. Portanto, como nestes dias os índices foram inferiores a 0,70 e nos dias dos eventos foram superiores a 0,70, não houve escorregamentos de terra, tendo em vista que somente no dia do evento os índices foram maiores ou iguais a 0,70.

#### **Eventos de 04/01/2007 e de 12/01/2011: com escorregamentos de terra**

Para os eventos ocorridos em 04/01/2007 e de 12/01/2011, respectivamente houveram 350 e 800 escorregamentos de terra no Município. Somente na Bacia do Rio Bengalas, área de estudo deste trabalho, ocorreram 183 escorregamentos no evento de 12/01/2011.

Os índices resultantes do 2º termo da Equação 7 para estes eventos foram respectivamente de 1,02 (peso 1,00) e de 1,18 (peso 1,00). No 1º dia anterior aos dias destes eventos, os índices foram respectivamente de 0,71 (peso 1,00) e de 0,87 (peso 1,00). Analisando os índices observa-se que são superiores a 0,70, tanto no dia dos eventos, como no 1º dia anterior a eles. Obviamente, receberam o peso 1,00.

A média dos índices dos dias destes eventos com os índices do 1º dia anterior a eles foi muito alta, respectivamente de 0,87 e de 1,03. Portanto, como nos dias dos eventos e no 1º dia anterior a eles os índices maiores ou iguais a 0,70, houve escorregamentos de terra.

Assim, a partir da análise realizada para os quatro eventos, com e sem escorregamentos de terra, nota-se que a metodologia criada neste trabalho para classificar os índices resultantes do 2º termo da Equação 7 a pesos pré-definidos, foi coerente com o que ocorreu nas áreas do Município.

## 6.6 Vulnerabilidade - Cálculo dos índices

Os índices de **VULNERABILIDADE (V)** da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra, dispostos na Tabela 28, foram calculados a partir da Equação 7 criada e proposta especificamente neste trabalho.

O cálculo dos índices de **VULNERABILIDADE (V)** foi baseado nos índices de **SUSCETIBILIDADE (S)** da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra (Tabela 13), calculados a partir da análise espacial das áreas da Bacia onde ocorreram os 183 escorregamentos em 12 de janeiro de 2011.

Ressalta-se que os índices de **VULNERABILIDADE (V)** foram calculados para seis (6) dias, sendo cinco (5) dias anteriores ao dia do evento + o dia do evento (12/01/2011).

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
1	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
2	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
3	0,30	0,30	0,30	0,20	0,70	0,70
4	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
5	0,33	0,33	0,33	0,23	0,73	0,73
6	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
7	0,34	0,34	0,34	0,24	0,74	0,74
8	0,32	0,32	0,32	0,22	0,72	0,72
9	0,32	0,32	0,32	0,22	0,72	0,72
10	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
11	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
12	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
13	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79

Continuação

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
14	0,34	0,34	0,34	0,24	0,74	0,74
15	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
16	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
17	0,33	0,33	0,33	0,23	0,73	0,73
18	0,33	0,33	0,33	0,23	0,73	0,73
19	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
20	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
21	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
22	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
23	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
24	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
25	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
26	0,34	0,34	0,34	0,24	0,74	0,74
27	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
28	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
29	0,31	0,31	0,31	0,21	0,71	0,71
30	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
31	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
32	0,31	0,31	0,31	0,21	0,71	0,71
33	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
34	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
35	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
36	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
37	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
38	0,33	0,33	0,33	0,23	0,73	0,73
39	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
40	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80

Continuação

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
41	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
42	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
43	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
44	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
45	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
46	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
47	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
48	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
49	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
50	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
51	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
52	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
53	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
54	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
55	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
56	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
57	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
58	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
59	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
60	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
61	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
62	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
63	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
64	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
65	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
66	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83

Continuação

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
67	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
68	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
69	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
70	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
71	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
72	0,45	0,45	0,45	0,35	0,85	0,85
73	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
74	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
75	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
76	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
77	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
78	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
79	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
80	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
81	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
82	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
83	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
84	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
85	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
86	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
87	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
88	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
89	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
90	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
91	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
92	0,45	0,45	0,45	0,35	0,85	0,85

Continuação

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
93	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
94	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
95	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
96	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
97	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
98	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
99	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
100	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
101	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
102	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
103	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
104	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
105	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
106	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
107	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
108	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
109	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
110	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
111	0,45	0,45	0,45	0,35	0,85	0,85
112	0,45	0,45	0,45	0,35	0,85	0,85
113	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
114	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
115	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
116	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
117	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
118	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81

Continuação

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
119	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
120	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
121	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
122	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
123	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
124	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
125	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
126	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
127	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
128	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
129	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
130	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
131	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
132	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
133	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
134	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
135	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
136	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
137	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
138	0,34	0,34	0,34	0,24	0,74	0,74
139	0,45	0,45	0,45	0,35	0,85	0,85
140	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
141	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
142	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
143	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
144	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78

Continuação

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
145	0,32	0,32	0,32	0,22	0,72	0,72
146	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
147	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
148	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
149	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
150	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
151	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
152	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
153	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
154	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
155	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
156	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
157	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
158	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
159	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
160	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
161	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
162	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
163	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
164	0,35	0,35	0,35	0,25	0,75	0,75
165	0,30	0,30	0,30	0,20	0,70	0,70
166	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
167	0,32	0,32	0,32	0,22	0,72	0,72
168	0,38	0,38	0,38	0,28	0,78	0,78
169	0,32	0,32	0,32	0,22	0,72	0,72
170	0,34	0,34	0,34	0,24	0,74	0,74



Continuação

Pontos	Índices de Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra					
	Dias que antecedem o Dia do Evento					Dia do Evento
	5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
	07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
171	0,36	0,36	0,36	0,26	0,76	0,76
172	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
173	0,32	0,32	0,32	0,22	0,72	0,72
174	0,43	0,43	0,43	0,33	0,83	0,83
175	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
176	0,42	0,42	0,42	0,32	0,82	0,82
177	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
178	0,44	0,44	0,44	0,34	0,84	0,84
179	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
180	0,40	0,40	0,40	0,30	0,80	0,80
181	0,41	0,41	0,41	0,31	0,81	0,81
182	0,37	0,37	0,37	0,27	0,77	0,77
183	0,33	0,33	0,33	0,23	0,73	0,73
<b>Índice Médio da Vulnerabilidade Diária (IMVD)</b>	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>	<b>0,29</b>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>
<b>Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) (mm)</b>	<b>41,2</b>	<b>38,8</b>	<b>32,0</b>	<b>4,2</b>	<b>85,0</b>	<b>219,9</b>
<b>Humidade do Solo (US) (%)</b>	<b>98,8</b>	<b>97,0</b>	<b>95,0</b>	<b>93,2</b>	<b>99,9</b>	<b>99,9</b>
<b>Desvio Padrão dos Índices de Vulnerabilidade do Dia do Evento: 0,03</b>						

Tabela 28. Índices de Vulnerabilidade dos 183 Pontos de Escorregamentos de Terra da Bacia do Rio Bengalas, o IMVD, a PA5, a US e o Desvio Padrão dos Índices de Vulnerabilidade no Dia do Evento

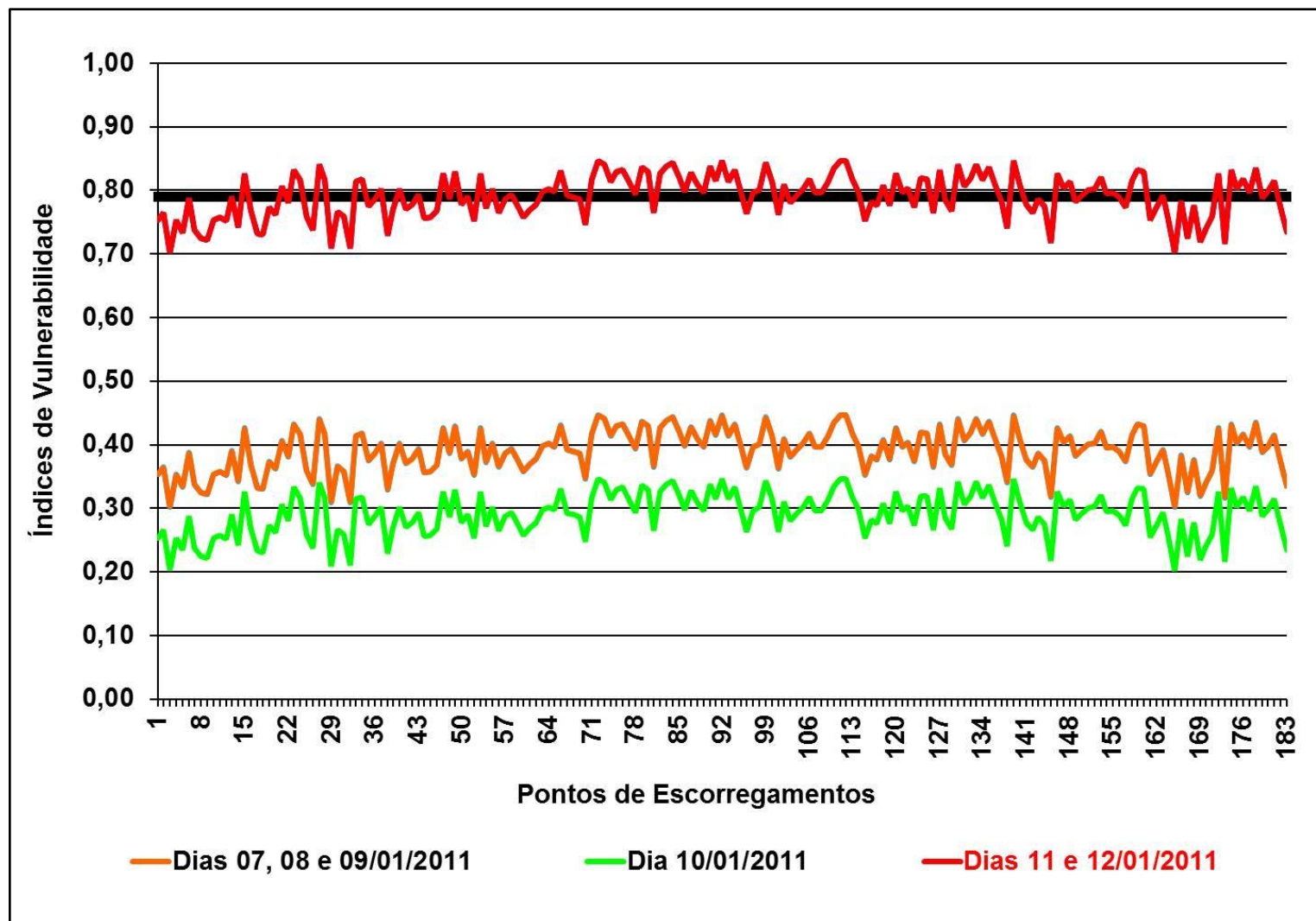


Figura 63. Índices de Vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a Escorregamentos de Terra calculados para os dias 07, 08, 09, 10, 11 e 12/01/2012, com a ocorrência de 183 escorregamentos na Bacia do Rio Bengalas em 12/01/2011

Os índices de **VULNERABILIDADE (V)** a escorregamentos de terra calculados para a Bacia do Rio Bengalas, apresentados na Tabela 28 e representados na Figura 63, para o dia do evento (12/01/2011) e para os cinco (5) dias anteriores a ele, demonstram a efetividade da metodologia criada e proposta neste trabalho.

Observa-se na Figura 63 que nos dias 11/01/2011 (dia anterior ao dia do evento) e 12/01/2011 (dia do evento), todos os índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra são maior ou igual ao limiar de “0,70”, ora considerado neste trabalho (Tabela 8) como sendo um índice de muito alta vulnerabilidade.

Nota-se que os índices de todos os pontos de escorregamentos de terra para estes dois (2) dias foram idênticos. Em se tratando de previsão de escorregamentos de terra, comprova-se a importância da análise dos índices de no mínimo dois (2) dias, pois os índices estiveram acima da linha “0,70” no dia anterior ao dia do evento e no próprio dia do evento.

Ainda para os dias 11 e 12/01/2011, o índice médio de vulnerabilidade diária (IMVD) foi de 0,79, considerado como sendo de muito alta vulnerabilidade a escorregamentos de terra. Assim, comprova-se que o IMVD calculado a partir da metodologia utilizada neste trabalho é coerente com o que ocorreu na Bacia do Rio Bengalas.

É importante notar que a humidade do solo (US) do Município de Nova Friburgo foi decrescente do dia 07 a 10/01/2011, porém no dia 11 e 12/01/2011 manteve-se a 99,9% devido à alta da precipitação ocorrida no local em ambos os dias.

Ressalta-se que a alta da PA5 ocorrida no dia 11 (1º dia anterior ao dia do evento) e no dia 12 (dia do evento) foi o fator determinante na ocorrência dos escorregamentos de terra em áreas de média e de alta suscetibilidade da Bacia a estes tipos de desastres.

### 6.6.1 Vulnerabilidade - Cálculo dos índices de outros eventos ocorridos no Município de Nova Friburgo

Com o objectivo de validar a metodologia utilizada e proposta neste trabalho para o cálculo de **VULNERABILIDADE (V)** a escorregamentos de terra, os índices de **V** do evento de 12/01/2011 foram comparados com os índices de **V** de outros três (3) eventos que ocorreram no Município de Nova Friburgo, sendo que em um deles ocorreu 350 escorregamentos de terra e em outros dois não houve a ocorrência destes desastres, conforme Tabela 29.

<b>Datas dos Eventos</b>	<b>Nº de Escorregamentos de Terra que ocorreram no Município de Nova Friburgo</b>
<b>19/01/2005</b>	0
<b>04/01/2007</b>	350
<b>12/01/2011</b>	800 (183 na Bacia do Rio Bengalas)
<b>18/03/2013</b>	0

Tabela 29. Datas de Eventos e o Número de Escorregamentos de Terra que ocorreram no Município de Nova Friburgo

Os eventos ocorridos em 19/01/2005, 04/01/2007, 12/01/2011 e 18/03/2013 foram escolhidos, tendo em vista que da série histórica da precipitação de chuvas ocorridas no Município de Nova Friburgo para análise neste trabalho, foram nestas datas que o Município teve uma precipitação diária (PD) de chuva superior a 80 mm.

O evento ocorrido em 12/01/2011 no Município de Nova Friburgo ocasionou 800 escorregamentos de terra em suas áreas. Ressalta-se que deste total, 183 escorregamentos ocorreram nas áreas da Bacia do Rio Bengalas, os quais foram estudados neste trabalho.

**Evento de 19/01/2005:** Mesmo com uma precipitação diária (PD) de 84,7 mm e uma precipitação acumulada de 5 dias (PA5) de 117,5 mm no dia 19/01/2005, não foi suficiente para a ocorrência de escorregamentos de terra.

O índice médio da vulnerabilidade diária (IMVD) do dia do evento e dos cinco (5) anteriores a ele foi calculado e estão dispostos na Tabela 30. Observa-se que o IMVD do 5º e 2º dia antes do dia do evento são iguais (média vulnerabilidade: 0,49) e do 4º, 3º e 1º dia também são iguais (baixa vulnerabilidade).

Dos seis (6) dias analisados, só houve um (1) dia (19/01/2005) que o IMVD foi de muito alta vulnerabilidade (0,79) a escorregamentos de terra. Porém, observa-se que este único dia com o índice de vulnerabilidade de 0,79 não foi suficiente para a ocorrência destes desastres.

Observa-se que a PA5 dos referidos dias refletem diretamente no cálculo do IMVD, tendo em vista que ela é um dos indicadores que faz parte da Equação 7 para o cálculo do IMVD.

Índices	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento 19/01/2005
	5º dia 14/01/2005	4º dia 15/01/2005	3º dia 16/01/2005	2º dia 17/01/2005	1º dia 18/01/2005	
<b>IMVD</b>	0,49	0,39	0,39	0,49	0,39	0,79
<b>PA5 (mm)</b>	98,6	60,2	20,1	35,8	32,8	117,5

Tabela 30. O IMVD e a PA5 do Evento de 19/01/2005 do Município de Nova Friburgo

**Evento de 04/01/2007:** Nesta data a precipitação diária (PD) foi de 97,3 mm e a precipitação acumulada de 5 dias (PA5) foi de 176,3 mm.

Este evento ocasionou 350 escorregamentos de terra no Município de Nova Friburgo. Observa-se que o IMVD do dia do evento e do dia anterior a ele foi de muito alta vulnerabilidade (0,79) a escorregamentos de terra, conforme Tabela 31.

Pode-se observar que a PA5 de 03/01/2007 (88,6 mm) e de 04/01/2007 (176,3 mm) foram determinantes na ocorrência dos escorregamentos de terra, pois alavancaram o IMVD para 0,79 (muito alta vulnerabilidade) conforme cálculo feito para estes dois (2) dias.

Nota-se também que o IMVD do 5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento foi de baixa vulnerabilidade (0,39) a escorregamentos de terra, porém no 2º dia anterior ao dia do evento o IMVD foi de média vulnerabilidade (0,49) e como citado anteriormente, nos dois (2) dias seguintes o IMVD foi de muito alta vulnerabilidade (0,79).

Observa-se que o IMVD do 5º, 4º e 3º dia antes do evento se manteve em 0,39, aumentando para 0,49 no 2º dia, para 0,79 no 1º dia e se manteve com o mesmo índice no dia do evento. Como IMVD se manteve em 0,79 para o 1º dia (03/01/2007), bem como para o dia do evento (04/01/2007), comprova-se que a metodologia utilizada neste trabalho para o cálculo de **VULNERABILIDADE (S)** está condizente com o que ocorreu no Município de Nova Friburgo em 04/01/2007.

Índices	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento 04/01/2007
	5º dia 30/12/2006	4º dia 31/12/2006	3º dia 01/01/2007	2º dia 02/01/2007	1º dia 03/01/2007	
IMVD	0,39	0,39	0,39	0,49	0,79	0,79
PA5 (mm)	38,7	31,9	33,4	42,4	88,6	176,3

Tabela 31. O IMVD e a PA5 do Evento de 04/01/2007 do Município de Nova Friburgo

**Evento de 12/01/2011:** Nesta data a precipitação diária (PD) foi de 136,0 mm e a precipitação acumulada de 5 dias (PA5) foi de 219,9 mm.

Este evento ocasionou a ocorrência de 800 escorregamentos de terra no Município de Nova Friburgo. Deste total, 183 escorregamentos ocorreram nas áreas da Bacia do Rio Bengalas, os quais foram estudados neste trabalho.

A partir da Tabela 32 observa-se que o IMVD do 5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento foi de 0,39 e no 2º dia anterior ao dia do evento (0,29), índices considerados como sendo de baixa vulnerabilidade a escorregamentos de terra. Porém, no 1º dia antes do dia do evento e no próprio dia do evento o IMVD foi de muito alta vulnerabilidade (0,79).

O IMVD de 0,39 se manteve do 5º ao 3º dia antes do dia do evento, mas caiu para 0,29 no 2º dia. É interessante observar que o fato do IMVD no 2º dia antes do dia do evento ter caído em relação aos dias anteriores, não impactou para que não houvesse a ocorrência de escorregamentos de terra. Assim, confirma-se que o fator determinante nos escorregamentos de terra foi a PA5 de 11/01/2011 (85,0 mm) e de 12/01/2011 (219,9 mm). Além disso, confirma-se a importância da análise, no caso de uma previsão de escorregamentos de terra, das precipitações acumuladas de 5 dias (PA5) para o mínimo dois (2) dias.

É interessante observar que, como no evento de 04/01/2007, confirmou-se na análise do evento do dia 12/01/2011 que bastou a alta da PA5 no dia 11/01/2011, com a sua elevação e continuidade no dia 12/01/2011, para que o processo de escorregamento de terra iniciasse. Além disso, comprova-se que a metodologia utilizada neste trabalho para o cálculo de **VULNERABILIDADE (S)** está condizente com o que ocorreu na Bacia do Rio Bengalas em 12/01/2011.

Índices	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento 12/01/2011
	5º dia 07/01/2011	4º dia 08/01/2011	3º dia 09/01/2011	2º dia 10/01/2011	1º dia 11/01/2011	
IMVD	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
PA5 (mm)	41,2	38,8	32,0	4,2	85,0	219,9

Tabela 32. O IMVD e a PA5 do Evento de 12/01/2011 do Município de Nova Friburgo

**Evento de 18/03/2013:** Nesta data a precipitação diária (PD) foi de 105,1 mm e a precipitação acumulada de 5 dias (PA5) foi de 131,6 mm. Apesar da alta PD no dia do evento, não ocorreram escorregamentos de terra no Município de Nova Friburgo.

O índice médio da vulnerabilidade diária (IMVD) do dia do evento e dos cinco (5) anteriores a ele foi calculado e estão dispostos na Tabela 33. Observa-se que o IMVD do 5º, 3º, 2º e 1º dia antes do dia do evento são iguais (baixa vulnerabilidade: 0,39) e no 4º dia o IMVD foi de 0,49, considerado como sendo de média vulnerabilidade a escorregamentos de terra.

Já no dia do evento o IMVD foi de muito alta vulnerabilidade (0,79), porém não houve escorregamento de terra no Município de Nova Friburgo, tendo em vista que o IMVD do dia anterior foi de baixa vulnerabilidade (0,39).

Índices	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento 18/03/2013
	5º dia 13/03/2013	4º dia 14/03/2013	3º dia 15/03/2013	2º dia 16/03/2013	1º dia 17/03/2013	
<b>IMVD</b>	0,39	0,49	0,39	0,39	0,39	0,79
<b>PA5 (mm)</b>	25,9	43,8	36,4	36,1	26,8	131,6

Tabela 33. O IMVD e a PA5 do Evento de 18/03/2013 do Município de Nova Friburgo



## 6.7 Mapas de vulnerabilidade

Os mapas de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra, bem como todos os outros mapas deste trabalho, foram gerados por meio do software ArcGIS® 10.

Conforme especificado no item 5, em procedimentos metodológicos, os mapas de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra (Figuras 65, 66 e 67) foram gerados através do software ArcGIS® 10 (Figura 64), com a sobreposição dos mapas das variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal”, com suas respectivas informações, incluindo os índices de vulnerabilidade da Bacia calculados a partir da Equação 7.

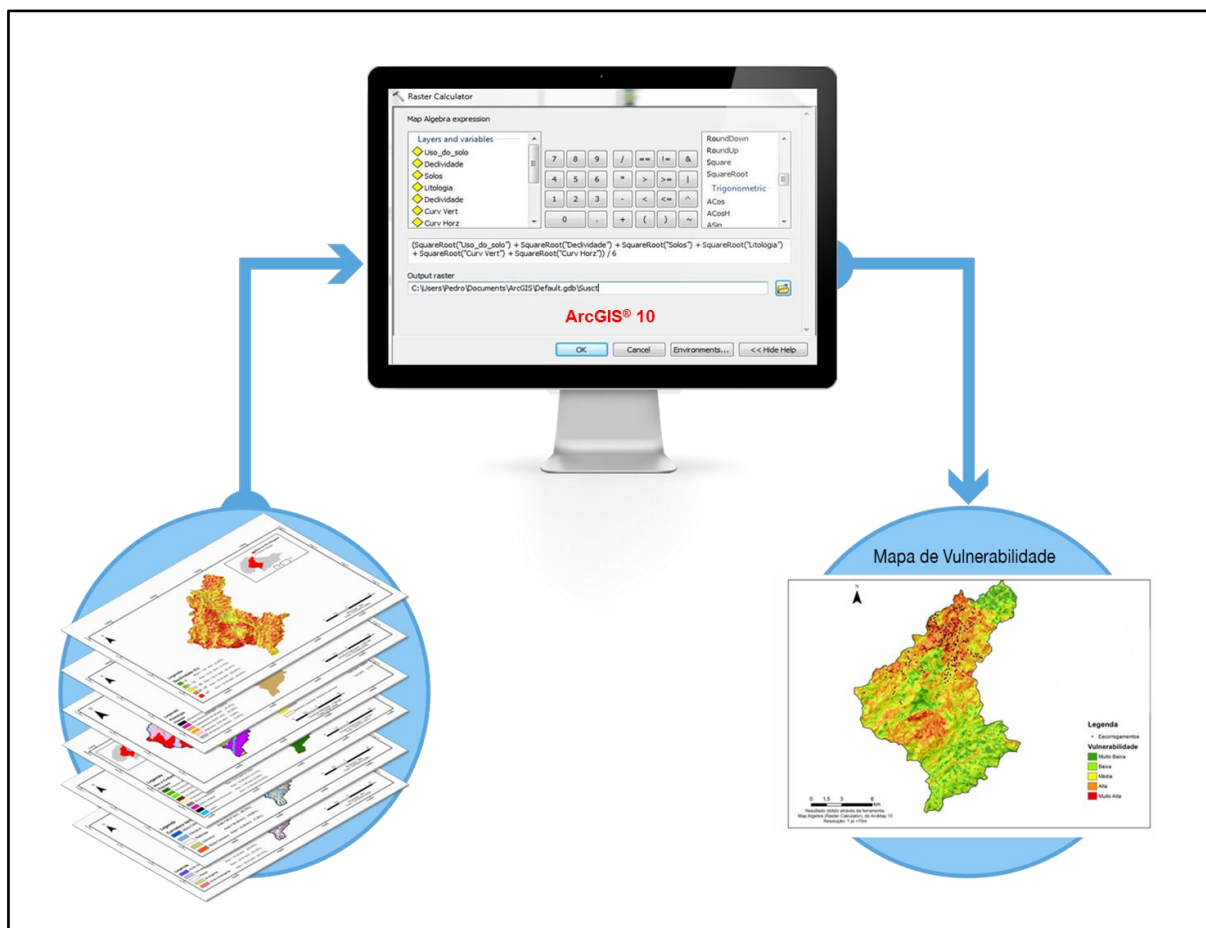


Figura 64. Geração dos mapas de vulnerabilidade a escorregamentos de terra

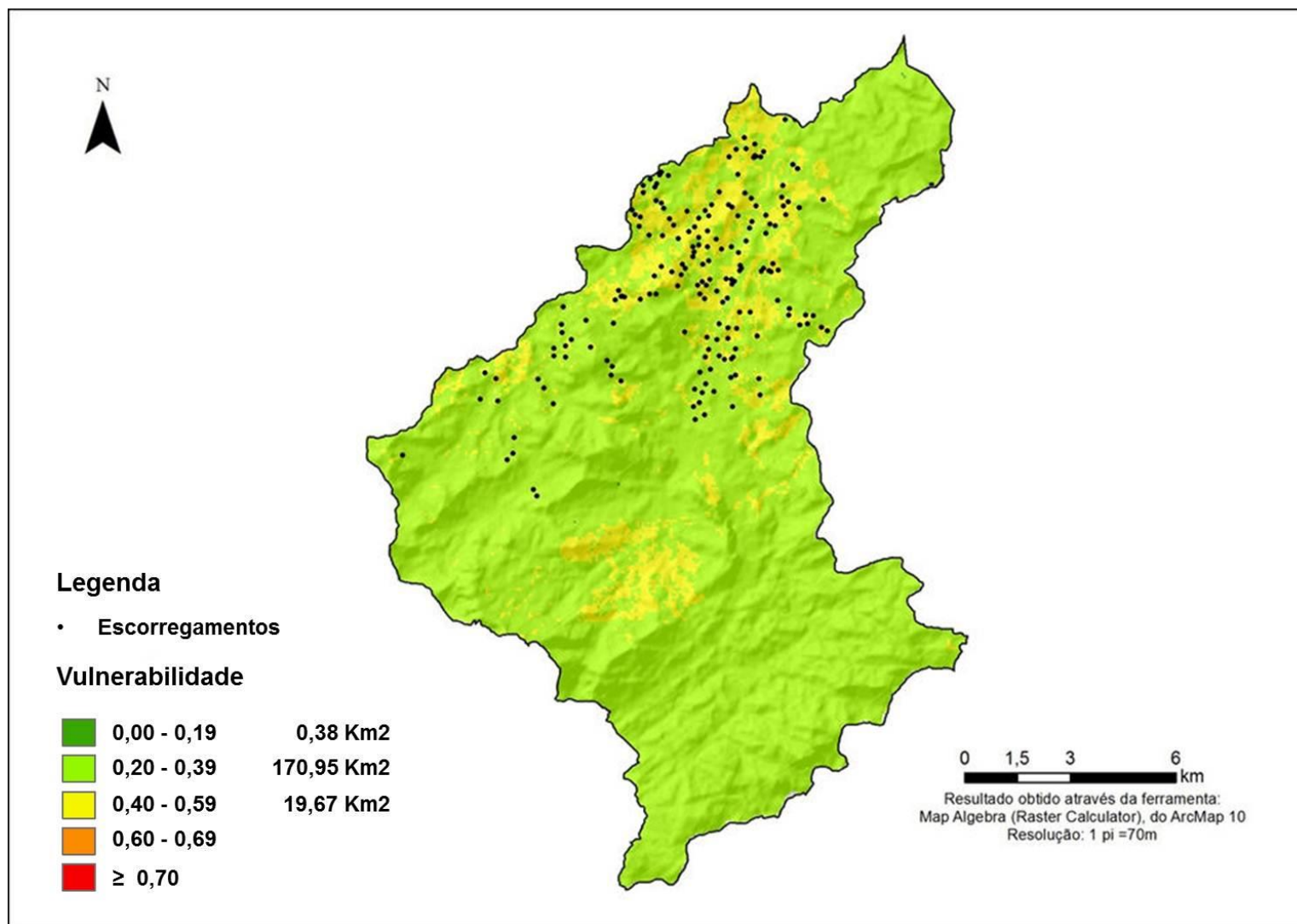


Figura 65. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para os dias 07, 08 e 09 de janeiro de 2011, respectivamente o 5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento

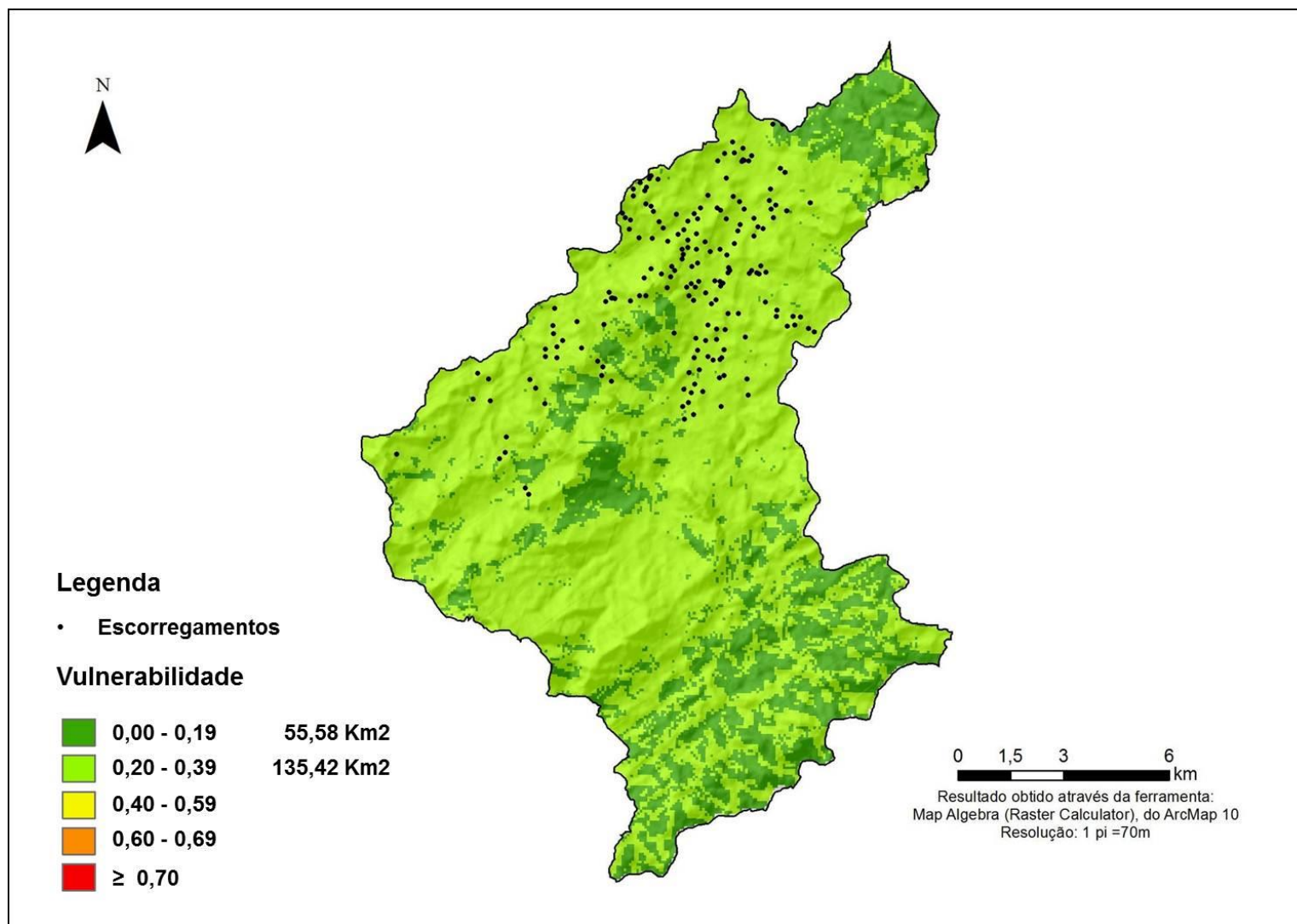


Figura 66. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para o dia 10 de janeiro de 2011 (2º dia antes do dia do evento)

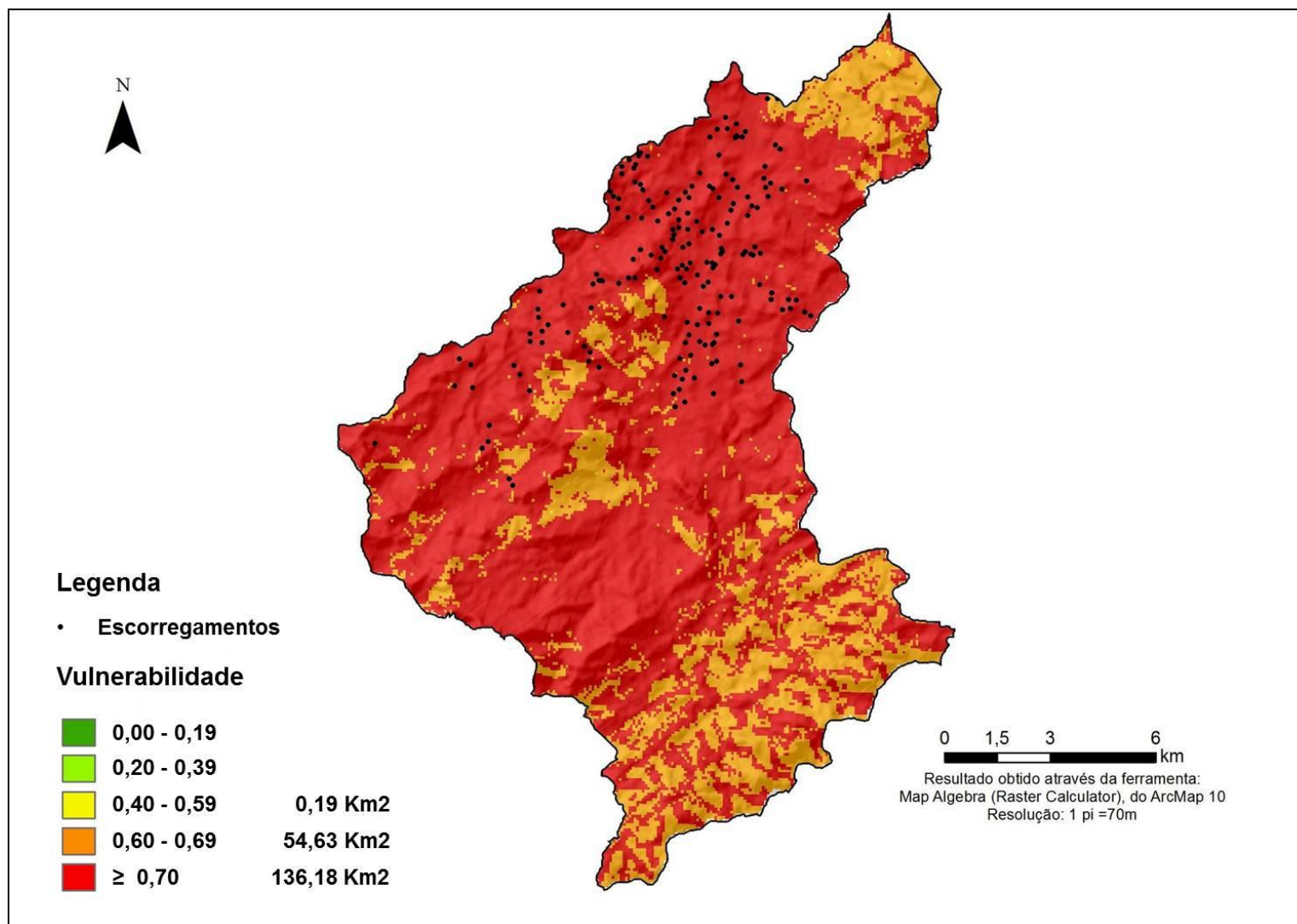


Figura 67. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, respectivamente o 1º dia antes do dia do evento e o dia do evento

O mapa gerado para a vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra (Figura 65) é idêntico para o 5º, 4º e 3º dia anteriores ao dia do evento, respectivamente os dias 07,08 e 09 de janeiro de 2011. Observa-se que nestes dias a maior parte da Bacia (170,95 Km<sup>2</sup>) apresentou baixa vulnerabilidade a escorregamentos de terra, com o índice médio da vulnerabilidade diária (IMVD) de 0,39 (Tabela 32). Apesar do IMVD ser classificado como de baixa vulnerabilidade, a precipitação acumulada de 5 dias (PA5) nestas datas foi respectivamente de 41,2 mm, 38,8 mm e de 32,0 mm (Tabela 32), porém insuficientes para haver escorregamentos de terra.

A Figura 66 apresenta o mapa de vulnerabilidade da Bacia gerado para o dia 10 de janeiro de 2012 (2º dia anterior ao dia do evento). Nesta data a maior parte da Bacia, na ordem de 135,42 Km<sup>2</sup>, apresentou baixa vulnerabilidade a escorregamentos de terra, enquanto que 55,58 Km<sup>2</sup> da mesma apresentou muito baixa vulnerabilidade. Ressalta-se que neste dia o IMVD calculado foi de 0,29, inferior ao IMVD dos três dias anteriores que foi de 0,39. Tal queda deve-se ao fato de que neste 2º dia anterior ao dia do evento, a precipitação acumulada de 5 dias (PA5) foi de 4,2 mm (Tabela 32), muito inferior àquelas registradas nos dias 07,08 e 09 de janeiro de 2011.

O mapa de vulnerabilidade (Figura 67) gerado para o 1º dia anterior ao dia do evento (11/01/2011), bem como para o próprio dia do evento (12/01/2011), data em que ocorreram 183 escorregamentos de terra na Bacia do Rio Bengalas, também foi idêntico. Neste mapa observa-se que em 136,18 Km<sup>2</sup> da Bacia a vulnerabilidade a escorregamentos de terra foi muito alta, em 54,63 Km<sup>2</sup> foi alta e em 0,19 Km<sup>2</sup> foi média. A PA5 registrada para o dia 11/01/2011 foi 85,0 mm e para o dia 12 (dia do evento) foi de 219,9 mm, elevando o IMVD para 0,79 nestes dois dias.

É possível observar neste mapa de vulnerabilidade (Figura 67) que a metodologia aplicada indicou duas grandes classes de vulnerabilidade - muito alta e alta - que correspondem respectivamente a 136,18 Km<sup>2</sup> e 54,63 Km<sup>2</sup> da Bacia do Rio Bengalas. A classe média também foi levantada na Figura 67, mas como é uma área muito pequena (0,19 Km<sup>2</sup>), tornou-se imperceptível no mapa de vulnerabilidade a escorregamentos de terra. Estas duas grandes classes de vulnerabilidade representam na Figura 67 que, com exceção dos extremos Norte, Sul e Sudeste da Bacia, todas as outras localidades da mesma apresentam-se com índices de vulnerabilidade ponderados  $\geq$  de 0,70.

Assim, os índices adotados para as classes de vulnerabilidade ora padronizados neste trabalho (Tabela 8), com intervalos de 0,00 a 0,19 (muito baixa vulnerabilidade); 0,20 a 0,39 (baixa); 0,40 a 0,59 (média); 0,60 a 0,69 (alta); e  $\geq$  a 0,70 (muito alta), não permitem um maior detalhamento de observação e análise de quais são as áreas da Bacia do Rio Bengalas mais vulneráveis a escorregamentos de terra. A primeira impressão é de que toda a área de estudo apresenta a mesma característica.

Para tanto, a técnica de álgebra de mapas aplicada a partir da ponderação de todos os mapas temáticos resulta em valores numéricos contínuos que permitem outras formas de categorização da vulnerabilidade, caso seja necessário avaliar as áreas mais ou menos críticas da bacia. Assim, optou-se por reclassificar os índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra calculados para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, a partir do fatiamento destes índices para que a análise pudesse ser mais minuciosa.

Na Figura 68 apresenta-se a alternativa para o caso, que trata da divisão das classes de vulnerabilidade a partir de percentis encontrados no histograma resultante da álgebra de mapas para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011 (Figura 67).

Este tipo de classificação é feito para vários fenômenos da natureza, onde se procura definir um limiar crítico que, a partir deste, há a ocorrência de eventos considerados extremos/raros (espacial e temporalmente). Isto ocorre, por exemplo, na análise de dados pluviométricos. No caso, a distribuição temporal das chuvas ao longo de um determinado período (anual ou decadal) é avaliada estatisticamente, de forma que as chuvas que correspondem ao chamado percentil 99% são àquelas consideradas como eventos muito extremos. Ou seja, são chuvas que não ocorrem 99% das vezes em uma região ao longo de um determinado período.

Neste trabalho, para o caso da vulnerabilidade a escorregamentos de terra, procurou-se traçar tais percentis com o objectivo de definir as áreas da Bacia do Rio Bengalas que representam situação muito crítica, ou seja, de muito alta vulnerabilidade a estes tipos de desastres. Na literatura existem diversos estudos validados que indicam que a classe mais crítica de vulnerabilidade ocupa, normalmente, entre 3,5% e 8,0% das bacias analisadas (KAYASTHA et al., 2013; BAI et al., 2009; AYALEW et al., 2004, AKINCI et al., 2011; GOMES et al., 2013). Assim, o limite para a classe de vulnerabilidade “muito alta” foi traçado para o percentil 95%, como opção de visualização dos resultados apresentados no mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra (Figura 69).

Isto significa que a classe de vulnerabilidade “muito alta” está acima de 95% dos valores encontrados dentro da Bacia do Rio Bengalas, representando consequentemente os 5% mais críticos da Bacia em relação a escorregamentos de terra. Ressalta-se que as demais classes de vulnerabilidade – muito baixa; baixa; média; e alta – também foram traçadas com base nos valores encontrados na literatura, de forma que a classe menos crítica representa o percentil 10% e as demais classes foram colocadas equidistantes uma das outras, conforme resultado apresentado nas Figuras 68 e 69.



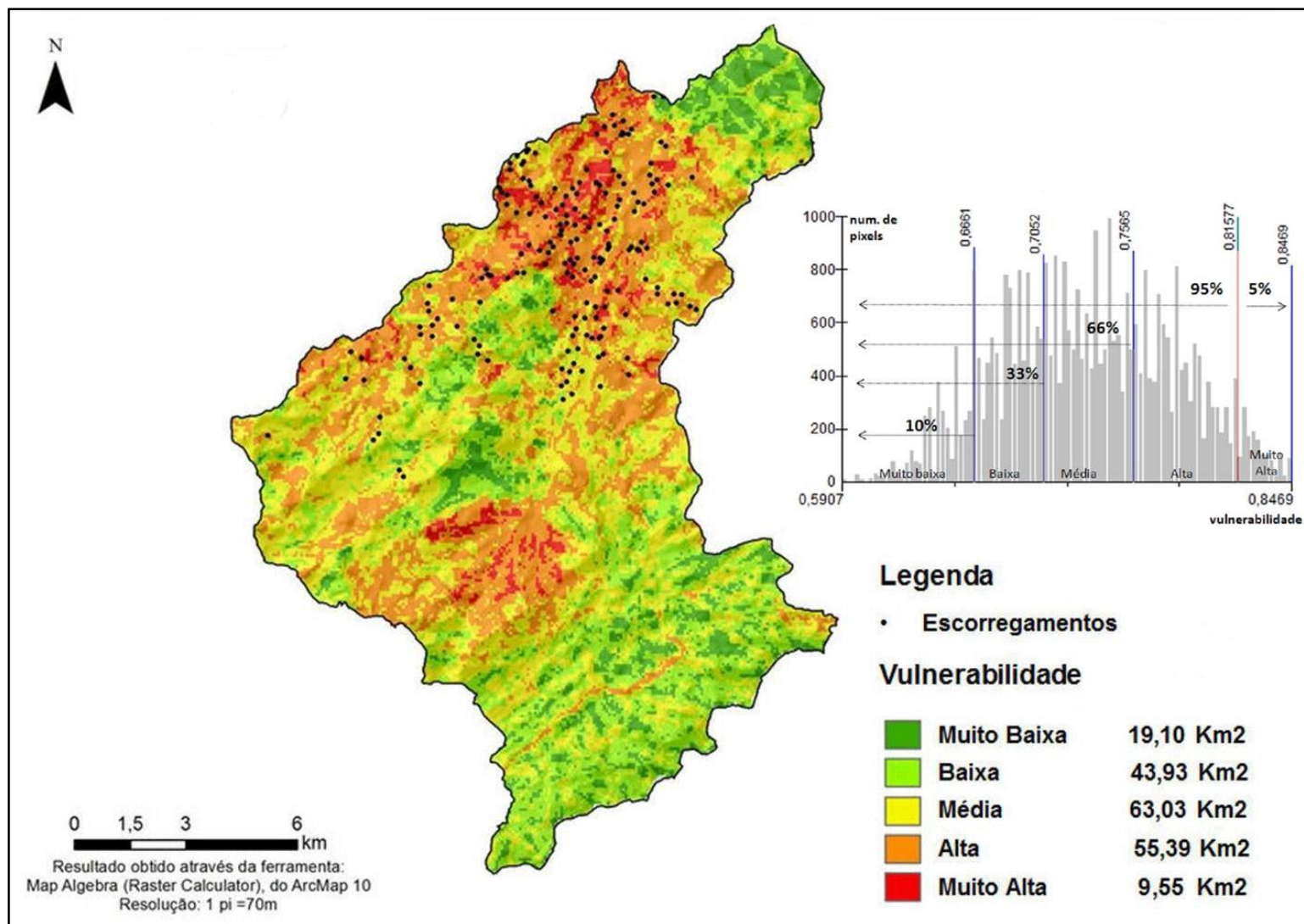


Figura 68. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, representando os 5% mais críticos da Bacia

Foram contabilizados 35.318 pixels no mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a escorregamentos de terra (Figura 69). Ressalta-se que neste trabalho cada ponto de escorregamento de terra é representado por um único pixel.

Tendo em vista que a classe “muito alta” representa os 5% mais críticos da Bacia, tal classe tem 5% do total de pixels, ou seja, possui 1.766 pixels. Deste total foram identificados 75 pontos de escorregamentos de terra.

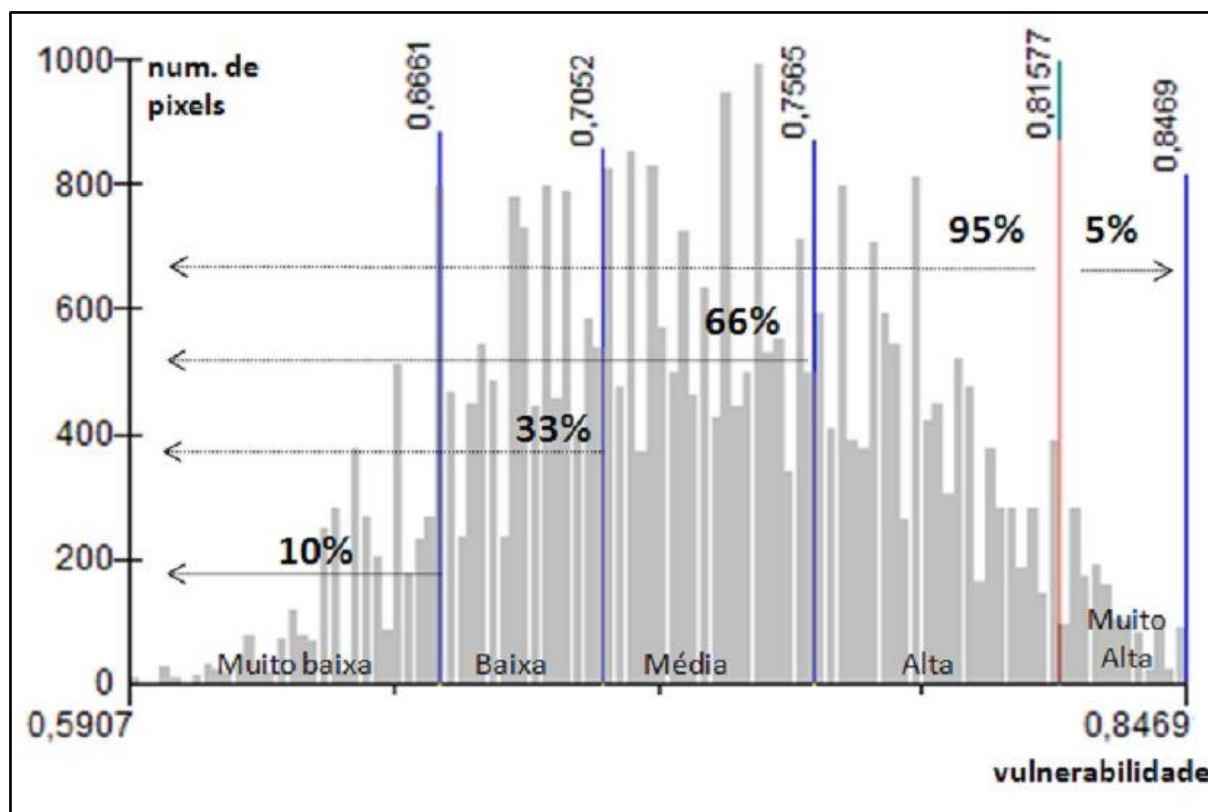


Figura 69. Histograma apresentando a distribuição dos pixels do mapa de vulnerabilidade

Se cada ponto de escorregamento de terra refere-se a um único pixel, resulta-se em uma taxa de 4,25%  $((75 \div 1.766) \cdot 100)$  da classe “muito alta” ocupada por escorregamentos. Segundo FERNANDES et al. (2001), em trabalho realizado nas Bacias dos Rios Quitite e Papagaio, na vertente oeste do Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro, foi observado por eles que as taxas de potenciais de deslizamento se encontram-se entre 1 a 4% das áreas de Bacias. VIEIRA et al. (2010), em trabalho realizado na Serra do Mar, Região Sudeste do Brasil, observaram que a classe mais instável, de muito alta vulnerabilidade, foi a que apresentou maiores taxas de potenciais de deslizamentos, variando entre 5,0 e 6,4%.



Tendo em vista que a classe de “muito alta” vulnerabilidade está inserida em uma área de 9,55 Km<sup>2</sup> da Bacia, onde ocorreram 75 escorregamentos de terra, conclui-se que nela quase que houve oito (8) escorregamentos por Km<sup>2</sup> (7,85).

Para tanto, segundo SARKAR (1996) é de extrema importância calcular a frequência destes tipos de desastres para cada classe de vulnerabilidade. Assim, a frequência de escorregamentos de terra foi calculada para cada Km<sup>2</sup> de cada classe de vulnerabilidade segundo o número de pixels observados por meio do software ArcGIS® 10.1, conforme Tabela 34.

<b>Classes de Vulnerabilidade</b>	<b>Nº de Escorregamentos</b>	<b>Área da Bacia (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Frequência (Km<sup>2</sup>)</b>
Muito Baixa	0	19,10	0,00
Baixa	0	43,93	0,00
Média	16	63,03	0,25
Alta	92	55,39	1,66
Muito Alta	75	9,55	7,85
<b>Total</b>	<b>183</b>	<b>191</b>	

Tabela 34. Frequência do número de escorregamentos de terra por Km<sup>2</sup> das áreas da Bacia de acordo com as classes de vulnerabilidade adotando os percentis

Segundo SARKAR e KANUNGO (2004), em estudo realizado em Darjeeling, região montanhosa da Cordilheira do Himalaia, Índia, as frequências de escorregamentos de terra por Km<sup>2</sup> e por classes calculadas por eles foram “muito baixa: 0,00”; “baixa: 0,16”; “moderada: 0,50”; e “alta: 1,79”.

Neste trabalho, as referidas frequências calculadas foram: “muito baixa: 0,00”; “baixa: 0,00”; “média: 0,25”; “alta: 1,66”; e “muito alta: 7,85”. Como dito anteriormente houve quase que oito (8) escorregamentos de terra por cada Km<sup>2</sup> da classe de vulnerabilidade muito alta da Bacia (Tabela 34).

Para fins de análise comparativa, como neste trabalho há cinco (5) classes de vulnerabilidade (muito baixa; baixa; média; alta; e muito alta) e se fossem igualadas as quatro (4) classes do trabalho desenvolvido por SARKAR e KANUNGO (2004), a situação encontra-se na Tabela 35.

<b>Classes de Vulnerabilidade</b>	<b>Nº de Escorregamentos</b>	<b>Área da Bacia (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Frequência (Km<sup>2</sup>)</b>
Muito Baixa	0	19,10	0,00
Baixa	0	43,93	0,00
Média	16	63,03	0,25
Alta	167	64,94	2,57
<b>Total</b>	<b>183</b>	<b>191</b>	

Tabela 35. Frequência do número de escorregamentos de terra pelas áreas da Bacia de acordo com as classes de vulnerabilidade adotadas segundo o número de pixels

A classe “alta” da Tabela 35 representa o agrupamento (soma dos dados) das classes “alta” e “muito alta” da Tabela 34.

A partir da análise dos pixels do mapa de vulnerabilidade a escorregamentos de terra, se a frequência destes desastres por Km<sup>2</sup> apurada neste trabalho para a classe “alta: 2,57”, for comparada à frequência obtida da classe “alta: 1,79” do trabalho validado por SARKAR e KANUNGO (2004), conclui-se que o resultado aqui encontrado está acima daquele encontrado pelos autores, de modo que este tipo de classificação através dos percentis é capaz de representar bem a situação crítica que corresponde aos escorregamentos de terra.

## 6.8 Comparando a metodologia desenvolvida neste trabalho

### Suscetibilidade

Para a Bacia do Rio Bengalas, se fossem considerados os índices de suscetibilidade existentes na literatura, tais índices teriam uma variação de 0,37 a 0,87, variando respectivamente de “baixa” a “muito alta suscetibilidade”, com uma média simples de 0,66.

Com a metodologia criada neste trabalho, que considera a proporcionalidade do número de escorregamentos ocorridos para o cálculo dos índices de cada variável da Bacia, os índices variaram de 0,40 (média suscetibilidade) a 0,69 (alta suscetibilidade), com uma média simples de 0,58. Assim, utilizando esta metodologia para o cálculo dos índices de suscetibilidade gerados a partir da Equação 6, observa-se nas Figuras 70 e 71 que tais índices estão menos dispersos que àqueles da literatura existente.

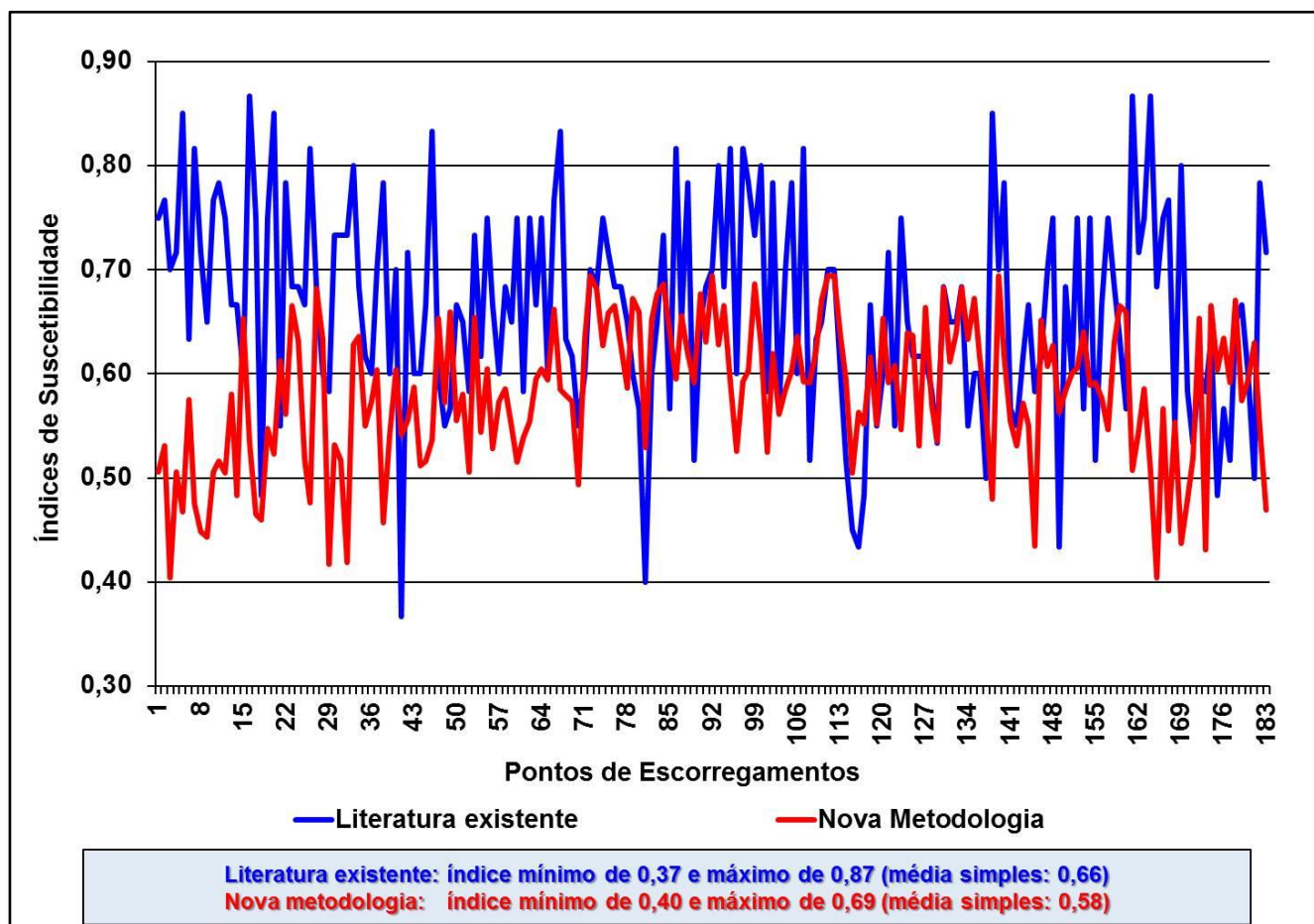


Figura 70. Comparação dos índices de suscetibilidade a escorregamentos de terra propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente

Na Figura 71 observa-se que, se os índices de suscetibilidade existentes na literatura fossem utilizados neste trabalho e se comparados com os índices aqui propostos para a suscetibilidade/vulnerabilidade a escorregamentos de terra (Tabela 8), conclui-se que setenta (70) pontos da Bacia já teriam escorregado sem mesmo ter tido precipitação alguma, pois tais pontos de suscetibilidade variaram de 0,70 a 0,87 (Figura 71) e neste trabalho prevê-se que os índices  $\geq 0,70$  são de “muito alta” vulnerabilidade.

Organizando os índices de suscetibilidade em ordem crescente, observa-se na Figura 71 que os índices gerados segundo a nova metodologia estão menos dispersos por estarem distribuídos em uma faixa de 0,29, variando de 0,40 a 0,69 (linha vermelha), enquanto que àqueles gerados de acordo com a literatura existente estão mais dispersos por estarem distribuídos em uma faixa de 0,43, variando de 0,37 a 0,86 (linha azul).

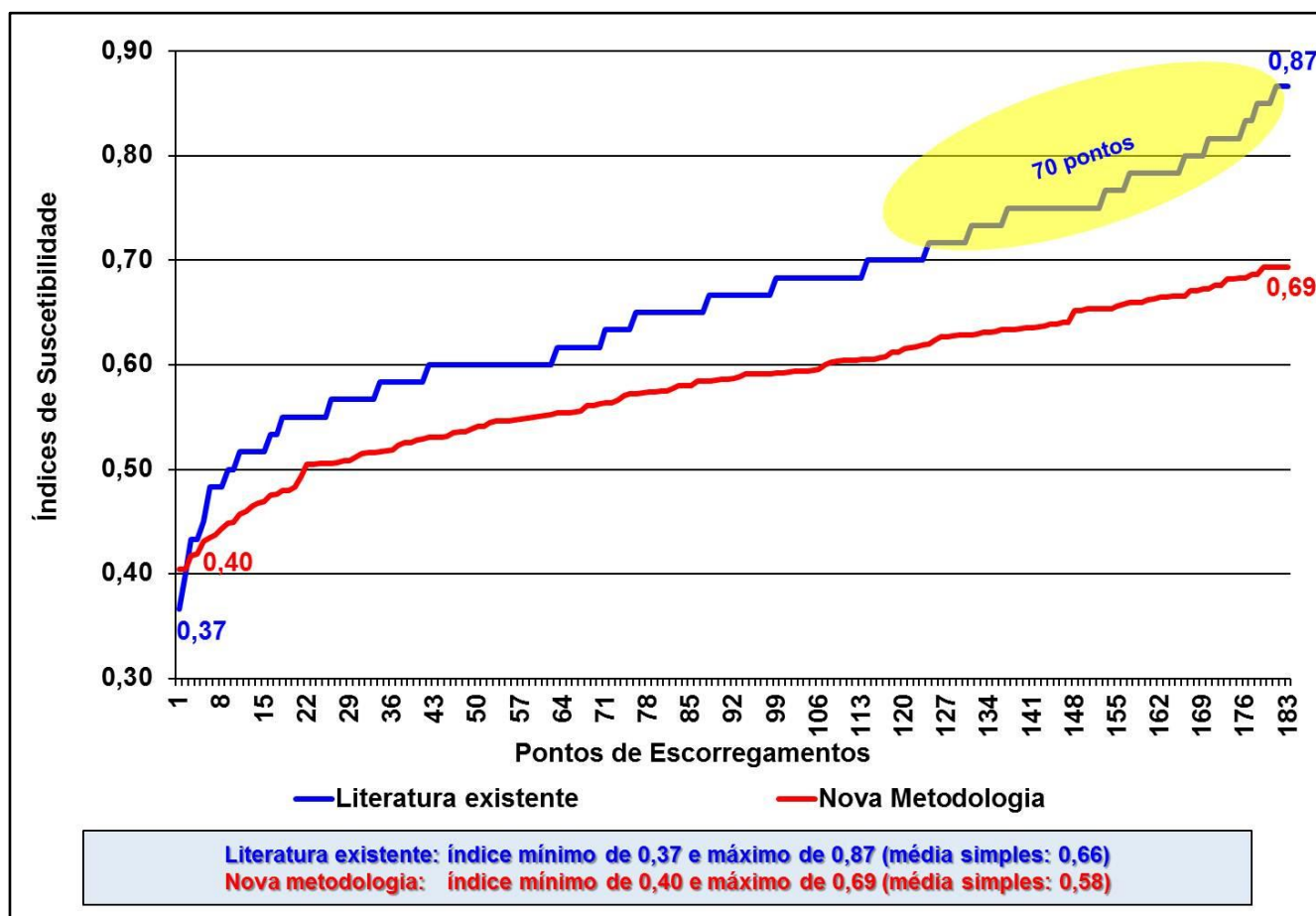


Figura 71. Comparação dos índices de suscetibilidade a escorregamentos de terra, em ordem crescente, propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente

## Vulnerabilidade

Se fossem considerados os índices de vulnerabilidade existentes na literatura, tais índices teriam uma variação de 0,37 a 0,87, variando respectivamente de “baixa” a “muito alta vulnerabilidade”, com uma média simples de 0,66.

Observa-se nas Figuras 72 e 73 que os índices de vulnerabilidade segundo a literatura existente apresentaram uma variação de 0,43 a 0,86.

Se fossem comparados com os índices propostos neste trabalho para a vulnerabilidade a escorregamentos de terra (Tabela 8), conclui-se que noventa e oito (98) pontos da Bacia NÃO teriam escorregado, pois estes tiveram seus índices variando entre 0,43 e 0,69 (Figura 73), e na nova metodologia seriam considerados como sendo de média e de alta vulnerabilidade. Por outro lado, oitenta e cinco (85) pontos é que estariam na situação de “muito alta vulnerabilidade”, variando de 0,70 a 0,86.

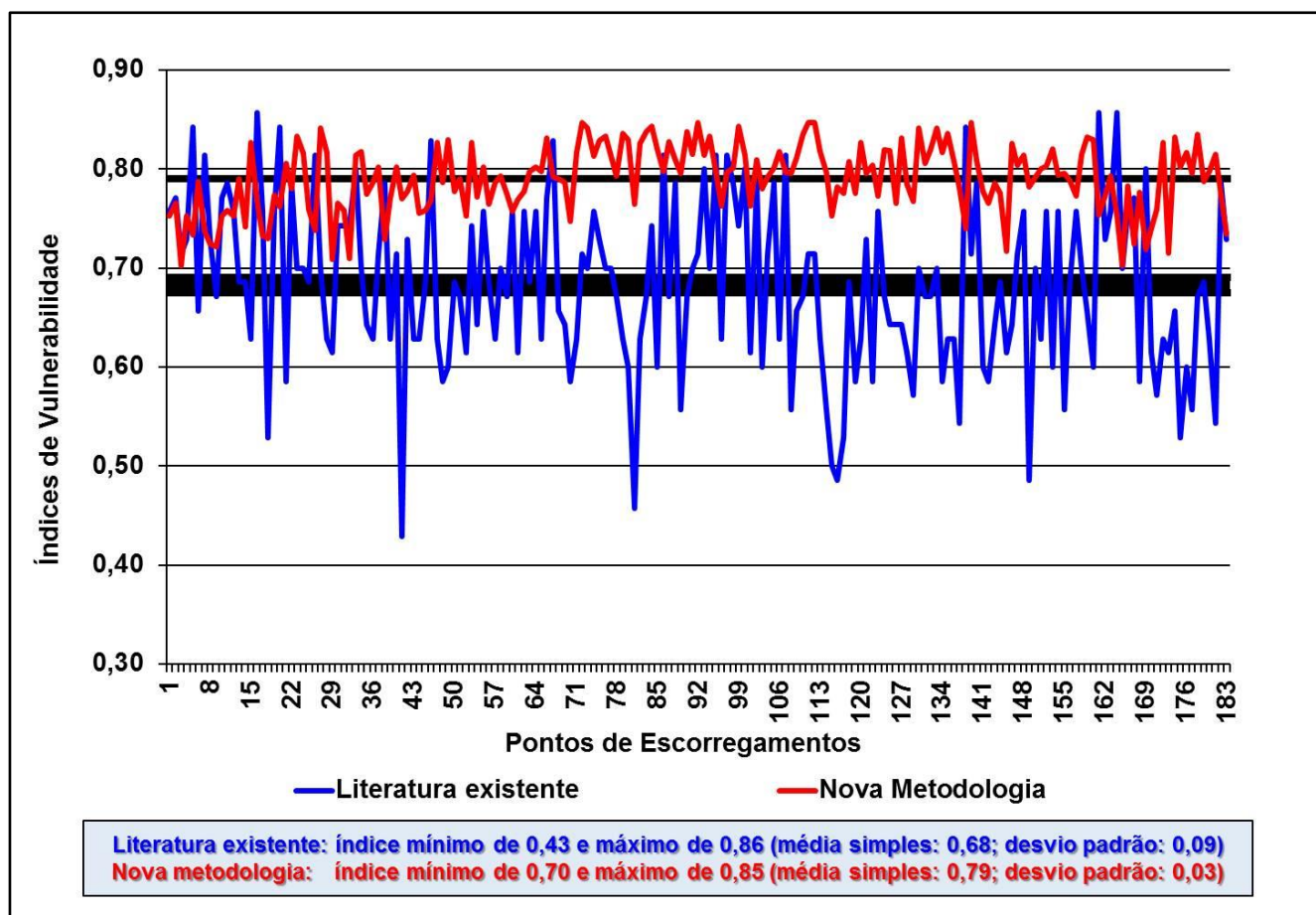


Figura 72. Comparação dos índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente

Porém, com a nova metodologia criada neste trabalho, observa-se nas Figuras 72 e 73 que o índice mínimo foi de 0,70 e o máximo de 0,85, com uma média simples de 0,79. Ou seja, diante da classificação dos índices de vulnerabilidade (Tabela 8) aqui proposta, os 183 pontos da Bacia do Rio Bengalas tiveram seus escorregamentos validados, pois tiveram índices  $\geq 0,70$ .

Organizando os índices de vulnerabilidade em ordem crescente, observa-se na Figura 73 que os índices gerados segundo a metodologia criada neste trabalho, estão visivelmente menos dispersos por estarem distribuídos em uma faixa de 0,15, variando de 0,70 a 0,85 (linha vermelha), com desvio padrão de 0,03, enquanto que àqueles da literatura existente estão mais dispersos por estarem distribuídos em uma faixa de 0,43, com variação de 0,43 a 0,86 (linha azul), com desvio padrão de 0,09.

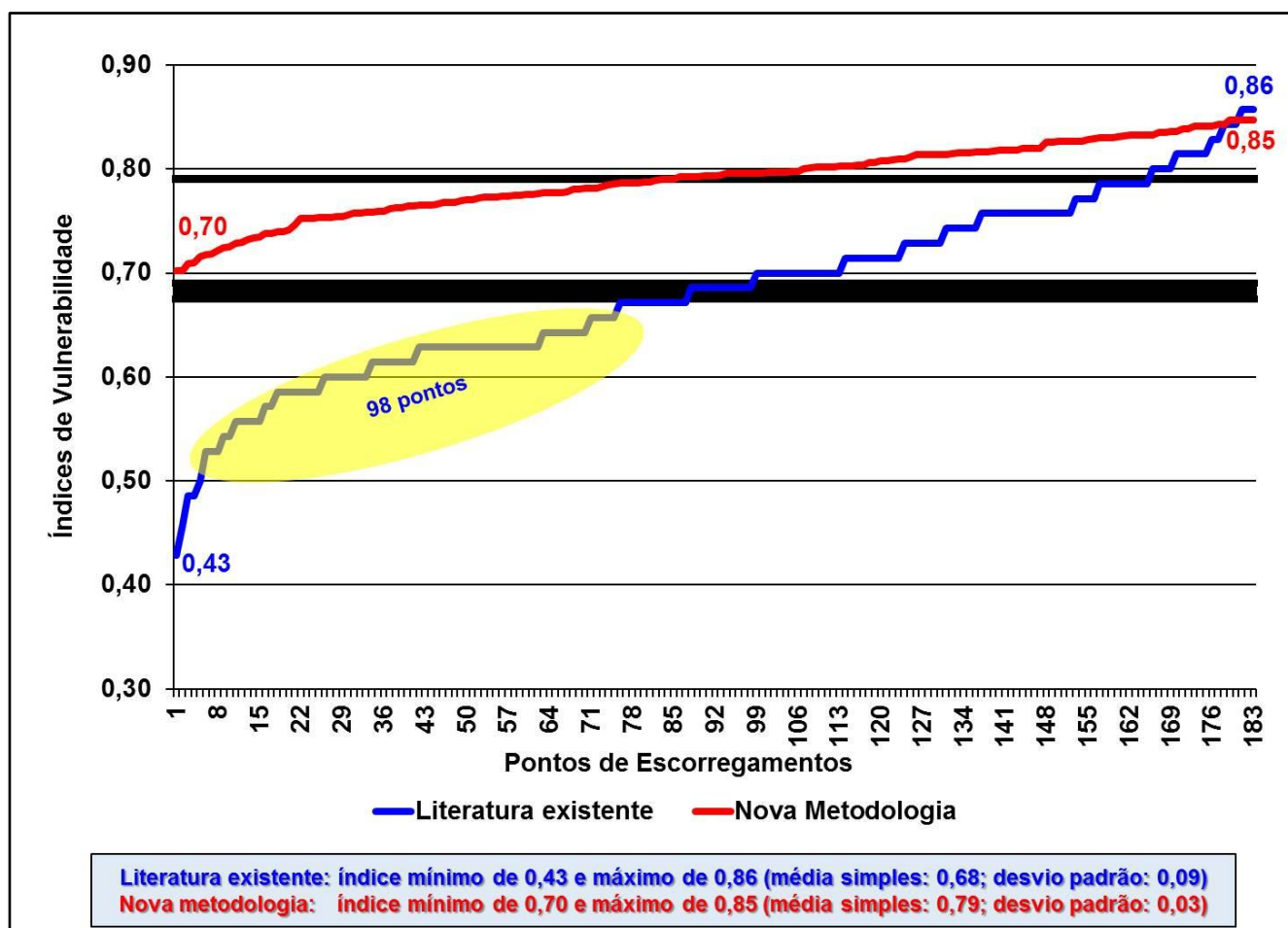


Figura 73. Comparação dos índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra, em ordem crescente, propostos pela metodologia desenvolvida neste trabalho e pela literatura existente

## 7 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível criar uma metodologia específica capaz de criar índices de suscetibilidade e de vulnerabilidade a escorregamentos de terra (respectivamente as Equações 6 e 7), que poderá ser utilizada universalmente por centros de pesquisas e demais instituições que trabalham na prevenção, monitoramento e previsão de escorregamentos de terra.

$$S = \left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) \quad (6)$$

$$V = \frac{\left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) + \sqrt{\left[ \frac{\left( \frac{PD}{CPC} \right) + \left( \frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}}{2} \quad (7)$$

A metodologia desenvolvida neste trabalho para a criação de índices de suscetibilidade e de vulnerabilidade a escorregamentos de terra, a partir do levantamento de dados ambientais e de precipitação de chuvas ocorridas em 12 de janeiro de 2011 na Bacia do Rio Bengalas, se mostrou eficaz no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade.

Esta metodologia foi aplicada para quatro (4) eventos de alta precipitação de chuvas que houve no Município de Nova Friburgo, dois (2) com a ocorrência de escorregamentos de terra (04/01/2007 e 12/01/2011) e dois (2) sem registros destes tipos de desastres (19/01/2005 e 18/03/2013), tendo sido eficiente nas quatro (4) situações e comprovando que se trata de uma metodologia que pode ser utilizada universalmente por centros de pesquisas e demais instituições que trabalham na prevenção, monitoramento e previsão de escorregamentos de terra.

As variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal” foram escolhidas para compor a metodologia criada neste trabalho, tendo em vista que a combinação de todas elas figura uma melhor caracterização das formas do terreno da Bacia do Rio Bengalas. Além disso, a geração e a difusão do mapeamento destas variáveis representam uma grande e poderosa estratégia para a operacionalização de análises adequadas às relações entre os diversos fatores topográficos dos terrenos da Bacia estudada.



Ressalta-se que os pesos ora calculados/adoptados/propostos neste trabalho para as variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal”, poderão ser utilizados universalmente para o cálculo da suscetibilidade a escorregamentos de terra de qualquer área. Trata-se de uma ferramenta útil que poderá ser aplicada principalmente por gestores públicos e profissionais envolvidos no parcelamento, uso e ocupação do solo, que seguem as diretrizes dos Planos Diretores Municipais. Para tanto, sugere-se que investimentos sejam realizados no mapeamento espacial e “*in loco*” de áreas ainda não mapeadas.

Foi observado que quando o índice de vulnerabilidade a escorregamentos de terra for maior ou igual a 0,70 (limiar crítico) para dois (2) dias subsequentes, conforme proposto neste trabalho, a incidência destes tipos de desastres é “muito alta”. Além disso, destaca-se a importância de se analisar a Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) de no mínimo dois (2) dias.

É importante observar na Figura 50, página 144, que a variável preponderante na ocorrência dos 183 escorregamentos de terra ocorridos na Bacia do Rio Bengalas em Janeiro de 2011 foi a Pedologia, com um índice de suscetibilidade de 0,69, seguida pela Litologia com um índice de 0,65, o que sugere que trabalhos minuciosos de análise de solos e de litologia sejam feitos na prevenção, monitoramento e previsão destes tipos de desastres, bem como na gestão do parcelamento, uso e ocupação dos solos.

Apesar dos bons resultados obtidos na validação deste trabalho, procurou-se incluir na metodologia de criação de índices de suscetibilidade e de vulnerabilidade a escorregamentos de terra a variável “capacidade de armazenamento total de água no solo”. Porém, por falta de dados, tal procedimento não foi possível.

Para tanto, com o intuito de melhorar a qualidade e o refinamento dos resultados obtidos neste trabalho, de forma a envolver outros parâmetros importantes na causa de escorregamentos de terra, sugere-se que as variáveis “capacidade de armazenamento total de água no solo”, “densidade de drenagem” e “aspectos socioeconômicos” sejam incluídas no cálculo dos índices de suscetibilidade/vulnerabilidade em trabalhos do gênero a serem realizados no futuro.



ABBOTT, L.; MILTON, N.; MURPHY, D. & HAQ, K. Introducing the concept of soil biological fertility to land managers: A soil biology education program. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., Thailand, 2002. Abstracts. Bangkok, IUSS, 2002. p. 1686.

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo, Viçosa : SBCS, 2000. V. 1, p.299-352.

AKINCI, H.; DOĞAN, S.; KILIÇOĞLU, C. TEMİZ, M. S.; Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey) City Center by using frequency ratio method. Geomatics Engineering, Ondokuz Mayıs University, 55139, Kurupelit/Samsun, Turkey. Kavak Vocational School, Ondokuz Mayıs University, Kavak/Samsun, Turkey. International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(5), pp. 1015-1025, 4 March, 2011. DOI: 10.5897/IJPS11.133. Academic Journals. 2011.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Geomorphology, v. 47, n. 2-4, p. 107-124, 2002. Cambridge - MA, USA. Disponível em: <[http://xbiblio.ecologia.edu.mx/biblioteca/Cursos/Manejo/Alcantara\\_ayala.pdf](http://xbiblio.ecologia.edu.mx/biblioteca/Cursos/Manejo/Alcantara_ayala.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2011.

ALEXANDER, D., The Study of Natural Disasters, 1977-97: Some Reflections on a Changing Field of Knowledge. Disasters, 21: 284-304. 1997. University of Massachusetts at Amherst. USA. Doi: 10.1111/1467-7717.00064.

ALEXANDER, D., A survey of the field of natural hazards and disaster studies. In: CARRARA, A.; GUZZETTI, F. (Ed.) Geographical information systems in assessing natural hazards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. Cap. 1, p. 1-19.

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN T. A.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; AMBENJE, P.; RUPA, K. K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J Geophys Res 111:D05109. Doi:10.1029/2005JD006290.

ALEXANDROVSKAYA, E.I.; ALEXANDROVSKIY, A.L. History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it. Catena, v.41, n.1-3, p.249-259, 2000.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: Irrigation and Drainage Paper 56, 300p., FAO, 1998.

ALMEIDA, J.A. Solos dos pampas. In: ALVAREZ, V.H.V.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.). Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS; UFV, 1996. p. 298-306.

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. Revista Brasileira de Estudos de População, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, jan./jun. 2006.

ALVES, H. P. F.; TORRES, H. G. Vulnerabilidade socioambiental na cidade de São Paulo: uma análise de famílias e domicílios em situação de pobreza e risco ambiental. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 1, p. 44-60, jan./mar. 2006.

- ANDRADE, F.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; CORREA, M.L.T.; MENDONÇA, E.S. Carbon stocks in Brazilian Latosols (Oxisols) from different morphoclimatic regions and management systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 35, n. 15/16, p. 2125-2136, 2004.
- ANJOS, M.J. et al. Elemental concentration analysis in soils contaminated with recyclable urban garbage by tube-exited energy-dispersive X-ray fluorescence. *Radiation Physics and Chemistry*, v.65, p.495-500, 2002.
- APARIN, B. & SUHACHEVA, E. Methodology of uninterrupted ecological education and soil science. In: *WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE*, 17., Thailand, 2002. Abstracts. Bangkok, IUSS, 2002. p. 1685.
- ASSAD, M.L.L.; ASSAD, E.D. & EVANGELHISTA, B.A. Chuvas extremas na região dos cerrados. In: ASSAD, C.D., coord. *Chuva no cerrado: análise e espacialização*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.49-54.
- AUGUSTO FILHO, O. 1994. *Cartas de Risco de Escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no Município de Ilhabela, SP*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. São Paulo, 167p.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.
- AVISO. Information Bulletin on Global Environmental Change and Human Security. n. 14, Oct. 2005.
- AYALEW, L.; YAMAGISHI, H.; UGAWA, N.; Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. DOI 10.1007/s10346-003-0006-9. School of Natural Resources. University of Arizona. 2004.
- AYOADE, J. O. *Introdução à Climatologia para os Trópicos*. 3 ed. São Paulo: Difel, 1986, 333p.
- BADRINATH, M.S.; CHIKKARAMAPPA, T. & JAYAPRAKASH, S.M. Karnataka Soil Reference Information Centre (KASRIC): A novel center for soil science education in India. In: *WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE*, 17., Thailand, 2002. Abstracts. Bangkok, IUSS, 2002. p. 1687.
- BAI, S-B.; WANG, J.; LÜ, G-N.; ZHOU, P-G.; HOU, S-S.; XU, S-N.; GIS-Based and Data-Driven Bivariate Landslide-Susceptibility Mapping in the Three Gorges Area, China. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097 (China). China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081 (China). ELSEVIER. Vol. 19, Issue 1, February 2009, Pages 14–20.
- BAND, L. E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. *Water Resources Research*, v. 22, n. 1 p. 15-24, 1986.
- BARBIERI, D. W. et al. Relação entre os desastres naturais e as anomalias de precipitação para a região Sul do Brasil. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal. Anais eletrônicos. Natal: INPE, 2009. Disponível em: <[http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/publicacoes/3527\\_3534\\_BARBIERI\\_Relacao\\_entre\\_desastres\\_naturais\\_2009.pdf](http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/publicacoes/3527_3534_BARBIERI_Relacao_entre_desastres_naturais_2009.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- BASILE, R.O.N.C.; NEGREIROS, A.B.; MIGUEL, F.L.C.G. A estrutura da Floresta Atlântica de encosta e arquitetura de raízes arbóreas: maciço da Tijuca - RJ. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 10., 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: 2003. v.1, p.1909-1917.

- BATALHA, Sílvia. Três Picos de Salinas. 2008. Disponível em: <http://olhares.uol.com.br/3-picos-de-salinas-foto1918133.html>. Acesso em: 29 jan. 2013.
- BATES, R.; JACKSON, J. Glossary of Geology, 2nd edition, American Geological Institute, 1980, pg. 677).
- BATTAN, Louis J. The Nature of Violent Storms. New York: Doubleday & Company, Inc, 1961, 158p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil physics. New York : John Wiley & Sons, 1972. 498p.
- BBC-BRASIL. Um ano após tragédia, bairro de Nova Friburgo parece cidade fantasma. Rafael Spuldar. 13/01/2012. Disponível em: [http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/01/120112\\_teresopolis\\_cidade\\_fantasma\\_rs.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/01/120112_teresopolis_cidade_fantasma_rs.shtml). Acesso em: 15 jan. 2012.
- BERNARD, A.M. Effects of heavy metals in the environment on human health. Contaminated soils, Paris, 1995. Paris : INRA, 1997. p.21-33. (Les colloques, nº 85).
- BERRY, J.K. Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: GOODCHILD, M.; PARKS, B.O. & STEYAERT, L.T., eds. Environmental modeling with GIS. Oxford, Oxford University Press, 1993. p.58-74.
- BERTOL, I.; ZOLDAN JUNIOR, W.A.; FABIAN, E.L.; ZAVASCHI, E.; PEGORARO, R. & PAZ GONZÁLEZ, A. Efeito de escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. R. Bras. Ci. Solo, 32:747-757, 2008.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: Ceres, 1985. 392p.
- BINDA, A.L.; BERTOTTI, L.G. Geoprocessamento Aplicado à Análise da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeirinha, Guarapuava-PR. In Proceedings of the 12 Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Natal, Brasil, 9-13 July 2007.
- BIRKMANN, J. (Ed.) Measuring Vulnerability to Natural Hazards. Towards Disaster Resilient Societies. Tokyo, New York, Paris: UNU-Press, 2006.
- BLUM, W. 1998. Basic Concepts: Degradation, Resilience, and Rehabilitation. pp. 1-16 In: Lal, R.; Blum, W.H.; Valentine, C. & Stewart, B.A. (Eds.) Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Science. CRC Press.
- BLUME, H.P. Classification of soils in urban agglomerations. Catena, v.16, n.3, p.269-275, 1989.
- BRADSHAW, A.; HUNT, B.; WALMSLEY, T. Trees in the urban landscape: principles and practices. London : E & FN Spon, 1995. 271p.
- BRAGA, T.M.; OLIVEIRA, E.L.; GIVISIEZ, G.H.N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 1, p. 81-95, jan./mar. 2006.

BRAND, E. W., PREMCHITT, J. & PHILLIPSON, U. B. (1984) Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides (Toronto, 1984), vol. 1, 377-385.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal, Política do Meio Ambiente. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 18 out. 2012.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. 2011. Relatório de Setorização do Risco Remanescente no Município de Nova Friburgo, RJ. Julho de 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. 2007. Rede de avaliação e capacitação para a implementação dos Planos Diretores Participativos. Cíntia Portugal Viana. Disponível em: [http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/RedeAvaliacao/NovaFriburgo\\_AvaliacaoRJ.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/RedeAvaliacao/NovaFriburgo_AvaliacaoRJ.pdf). Acesso em: 13 fev. 2011.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. 2001, Brasília. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm)>. Acesso em: 14 fev. 2012.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao.htm)>. Acesso em: 14 fev. 2012.

BRASIL. Lei Federal nº 6.939, de 09 de setembro de 1981. Define a política nacional do meio ambiente. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1980-1988/L6939.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6939.htm). Acesso em: 18 fev. 2012.

BRASIL. Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm). Acesso em: 29 set. 2012.

BRAUCH, H.G. Treats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security. Bonn: SOURCE (Studies of the University: research, counsel, education)/UNU-EHS, n. 1, 2005.

BRIDGES, E.M. & CATIZZONE, M. Soil science in a holistic framework: Discussion of an improved integrated approach. *Geoderma*, 71:275-287, 1996.

BRIDGES, E.M. & VAN BAREN, J.H.V. Soil: An overlooked undervalued and vital part of the human environment. *Environ.*, 17:15-20, 1997.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Hydraulic properties of porous media *Hidrol. Pap.* 3. Fort Collins: Colorado State University, 1964. 180p.

BROWN, G. W. Forestry and water quality. Corvallis: Oregon State University Bookstore, 1976. 74p.

BUJ BUJ, ANTONIO. Los desastres naturales y la geografía contemporánea. *Estudios geográficos*, LVIII, 229, Madrid, October-December 1997, pp. 545-564.

BURTON, I.; KATES, R.W.; WHITE, G.F. The environment as hazard. New York: Oxford University, 1978. 240p.

BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage induce random roughness and pore space. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 33, p. 449-452, 1969.

- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. . Estado da água no solo e na planta. In: Adonai Gimenez Calbo; Washington LC Silva. (Org.). Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos. 1 ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005, v. 1, p. 95-102.
- CALHEIROS, Lelio Bringel (coord). Conferência geral sobre desastres: para prefeitos, dirigentes de instituições públicas e privadas e líderes comunitários. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2002, 21p.
- CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; RESENDE, A. SILVA de. Características da área de estudo e aspectos gerais. 16-18 pp. In: CAMPELLO, E. F. C. (ed.). Seminário sobre Agricultura Migratória na Região Serrana do Rio de Janeiro. Seropédica: EMBRAPA-Agrobiologia, 2004; 86p.
- CANAL DO MUNDO. Debate de assuntos de interesse público. CHANELWORD. 2011. Disponível em: <http://channelworld00.blogspot.pt/p/desastres-naturais.html>. Acesso em: 13 mar. 2012.
- CANAVESI, V.; ALVALÁ, R. Changes in Vegetation Cover in Reforested Areas in the State of São Paulo, Brazil and the Implication for Landslide Processes. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2012, 1, 209-227; ISSN 2220-9964; doi:10.3390/ijgi1020209. Published: 12 September 2012.
- CAPECHE, C.L. Processos Erosivos em Áreas da Usina Hidroelétrica Franca Amaral, Bom Jesus do Itabapoana, RJ, p.9-11-12, dez. 2005.
- CARDONA O. D. et al. System of indicators for disaster risk management: main technical report. Manizales - Washington: Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia / Inter-American Development Bank, 2005.
- CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARNEIRO, F. M. Avaliação de Métodos Heurísticos para a Solução de Problemas de Programação Flowshop com Tempos de Setup Assimétricos e Dependentes da Sequência. Dissertação de Mestrado. 2010. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia. 185 p.
- CARRARA A., GUZZETTI F., CARDINALI M., REICHENBACK P. (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. Natural Hazards, 20: 117-135.
- CARVALHO G.M.B.S., SOUZA M.J.N.de., SANTOS, S.M. 2003. Análise da vulnerabilidade à erosão: bacias dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim (CE). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, 11, Anais eletrônicos, 1 CD-ROM.
- CARVALHO, D.F.; CRUZ, E.S.; PINTO, F. M.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J.G.M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p.3-9, 2009.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S.; CEDDIA, M. B.; LANA, Â.M. Q.; Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2001.
- CARVALHO, José Alcino Rodrigues. Perigos Geológicos, Cartografia Geotécnica e Proteção Civil. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. CD ROM.

CARVALHO, S.N. Planejamento urbano e democracia: a experiência de Santos. Tese de Doutorado. Campinas, Departamento de Ciência Política, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Unicamp, 1999.

CASTRO, A. L. C. Manual de desastres: desastres naturais. Brasília: MIN, 2003. 174 p.

CASTRO, A. L. C. Manual de planejamento em defesa civil. Brasília: MIN, 1999. 133 p.

CASTRO, A. L. C. Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres. 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento/Departamento de Defesa Civil, 1998, 173p.

CASTRO, Susana Aneas de. Riesgos y peligros: una visión desde lá Geografía. Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Barcelona, n.60, 15 de mar. 2000. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn-60.htm>>. Acesso em: 27 dez. 2011.

CEPED-UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina. Diretrizes em Redução de Riscos de Desastres Região Serrana do Rio de Janeiro. Florianópolis: CEPED-UFSC; 2011.

CERRI, Leandro Eugênio da Silva. Riscos Geológicos Urbanos. In: CHASSOT, Attico; CAMPOS, Heraldo (Orgs.). Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogo para (inter)ações no Planeta. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1999, p. 49-73.

CHACÓN J., IRIGARAY C., FERNÁNDEZ T., HAMDOUNI R. E. (2006). Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. Engineering Geology, 65: 341-411.

CHAPMAN, David. Natural Hazards. Melbourne: Oxford University Press, 1997, 174p.

CHAUHAN, S.; SHARMA, M.; ARORA, M.K.; GUPTA, N.K. Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 12, p. 340-350, 2010.

CHIARINI, J.V.; DONZELLI, P.L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. Geografia dos Eventos Catastróficos. Boletim de Geografia Teorética. Rio Claro, n.6, v.11/12, p.91-93, 1976.

CHRISTOFOLETTI, A. Panorama sobre as expectativas atuais no tocante às pesquisas em geografia física. Departamento de Planejamento Regional - IGCE - UNESP, Rio Claro - SP, 606-625p. 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 200 p., 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

CIDE. CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. Estado do Rio de Janeiro: território. 2ª ed. Rio de Janeiro: CIDE, 2000.

CNDC. Conferência Nacional de Defesa Civil e Assistência Humanitária: por uma ação integral e contínua: relatório final, 1., 2010, Brasília. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2010. Disponível em: <[http://conferenciadesecivil.org/downloads/1\\_cndc/relatorio\\_final\\_1\\_CNDC.pdf](http://conferenciadesecivil.org/downloads/1_cndc/relatorio_final_1_CNDC.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2011.

COELHO NETO, A.L. O geocossistema da Floresta da Tijuca. In: ABREU, M.A.A. Natureza e sociedade no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Biblioteca Carioca/IPLANRIO, 1985. p.104-142.

COELHO, L.G.; Barth, O.M. & Chaves, H.A.F. 2002. Palynological records of environmental changes in Guaratiba mangrove área, southeast Brazil, in the last 6000 years B.P. Revista Pesquisas em Geociências.

COLE, Franklyn W. Introduction to Meteorology. 3ed. New York: John Wiley and Sons, 1980, 505p.

COMFORT, L.K. Fragility in disaster response: Hurricane Katrina, 29 August 2005. The Forum. 2005; 3 (3): 1-8.

COMPERJ. Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Plano Local de Desenvolvimento Sustentável de Nova Friburgo (PLDS NF). Secretaria de Estado do Ambiente (RJ). Ministério do Meio Ambiente. Agenda 21. Petrobras. Rio de Janeiro - RJ. 2011. Disponível em: <http://www.agenda21comperj.com.br/municipios/nova-friburgo/o-municipio>. Acesso em: 13.nov. 2011.

COSTA, J. Dicionário rural do Brasil. Rio de Janeiro: Campos, 2003.

COUTINHO, H. L. da C.; PRADO, R. B.; DONAGEMMA, G. K.; POLIDORO, J. C.; GONCALVES, A. O.; ANDRADE, A. G. de. Qualidade de solo e água como indicadores de recuperação de áreas degradadas submetidas a manejo agroflorestal. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 38 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100).

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. 2011. Relatório de Setorização do Risco Remanescente no Município de Nova Friburgo, RJ. Julho de 2011.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Departamento de Recursos Minerais-DRM. Projeto Rio de Janeiro - Mapa de Isoietas Totais Anuais. 2009. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/rehi/regionalizacao/sint\\_reg58.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/regionalizacao/sint_reg58.pdf). Acesso em: 02 set. 2011.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Programa Gate - Informações para a gestão territorial. Volume 3. Cobertura e Uso da Terra. 2005. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/apa\\_sul\\_rmbh\\_cobertura\\_uso\\_terra\\_texto.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/apa_sul_rmbh_cobertura_uso_terra_texto.pdf). Acesso em: 08 set. 2012.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI). Índices da Precipitação Interpolada e da Capacidade de Água Disponível no Solo (CAD). Dados fornecidos a pedido do Autor. Cachoeira Paulista, SP - Brasil. 2013. <http://www6.cptec.inpe.br/proclima/>. 2013.

CRAUL, P.J. Urban soils: Applications and practices. New York : John Wiley, 1999. 366p.

CRAUL, P.J. Urban soil in landscape design. New York: John Wiley, 1992.

CREA-RJ. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro. Relatório Preliminar da Inspeção realizada em áreas de Teresópolis e Nova Friburgo afetadas pelas fortes chuvas - Janeiro/2011. Rio de Janeiro/RJ. 2011. Disponível em: [http://www.crea-rj.org.br/wp-content/uploads/2011/08/relatorio\\_preliminar\\_regiao\\_serrana\\_janeiro2011.pdf](http://www.crea-rj.org.br/wp-content/uploads/2011/08/relatorio_preliminar_regiao_serrana_janeiro2011.pdf). Acesso em: 14 jun. 2011.

CREPANI, E. M.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento

Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001 (INPE-8454-RPQ/72). 124 p.

CREPANI, E. M.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ, FILHO P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. 1996. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico: metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico. INPE, São José dos Campos, 25 p.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (2003). Degradação Ambiental. In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Páginas 337-379. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2003. 372 p.

CUTTER, S. L.; FINCH, C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. Proceedings of the National Academy of Sciences, n. 105, v. 7, p. 2301-2306, 2008.

CUTTER, S. L. The vulnerability of science and the science of vulnerability. Annals of the Association of American Geographers, v. 93, n. 1, p. 1-12, 2003.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, v.20, n. 4,p.529-539, Dec. 1996.

D'COSTA, V.P.; OMOTO, W.O.; ONYATTA, J.O. Application of soils and land evaluation data for urban and peri-urban land use planning of Kisumu, Kenya. In. WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok, Thailand. Anais... Bangkok, 2002. V.5, p.1670.

DAVIS, W. M. The convex profile of badland divides. Science, v. 20, p.245, 1892.

DE BIASI, Mário. A carta clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confecção. Revista de Pós-Graduação da USP, n.6. São Paulo; 1992, 45-53p.

DE JEU, R. A. M. Retrieval of land surface parameters using passive microwave remote sensing. Thesis. Vrije Universiteit Amsterdam, 2003.

DE KIMPE, C.R.; MOREL, J.L. Urban soil management: a growing concern. Soil Science, v.165, n.1, p.31-40, 2000.

DEDECEK, R.A.; RESK, D.V.S. & FREITAS JÚNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, 10:265-272, 1986.

DEGG, M. Natural disasters: recent trends and future prospects. Geography, v. 77, n. 336, p.198-209, Jul. 1992.

DELLITTI, W.B.C. 1984. Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na Mata Ciliar, no Campo Cerrado e na Floresta implantada de Pinus elliotti Engelm. var. elliotti (Mogi-Guaçu). Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 248p.

DENT, D.; YOUNG, A. Soil Survey and Land Evaluation. London: George Allen & Unwin (Ed.), 1981. 278p.

DERPSCH, R. Importância da cobertura do solo e do preparo conservacionista. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1., SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3., 1983, Passo Fundo. Anais ... Passo Fundo: PIVSCS/UPF, 1984.

DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa : SBCS, 2000. V.1, p.55-94.



DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 2, n. 80, p. 45-55, 1990.

DILLEY, M.R.S.; CHEN, B.; Deichmann, U.; LERNER-LAM, A.; ARNOLD, M. Natural disaster hotspots: a global risk analysis. Washington: World Bank Publications, 2005.

DIRKS, K.N.; HAY, J.E.; STOW, C.D. & HARRIS, D. Highresolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data. *J. Hydrol.*, 208:187-193, 1998.

DISTRITOS DE NOVA FRIBURGO. Divisão Política. Nova Friburgo. 2012. Disponível em: <<http://distritosnf.blogspot.com/>>. Acesso em: 14 fev. 2012.

DOOREMBOS, J. e PRUIT, W.O. Guidelines for predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 24, 2ª ed. Rome, 1977. 144p.

DOORNKAMP, J. C; KING, C. A. M. Numerical analysis in Geomorphology: An Introduction. London: Edward Arnold Ltd., 1971. 372p.

EINSTEIN, H.H. 1988. Landslides risk assessment procedure. In: International Symposium on Landslides, 5, Lausanne, 1988. Vol. 2. p. 1075-1090.

EIRADO, L.G., MOTTA, M., TUPINAMBÁ, M., ALMEIDA, C.G. 2006. Relatório Final: Geologia e Geomorfologia do Parque estadual dos Três Picos. In: Plano Diretor do Parque Estadual dos Três Picos, RJ. Instituto Estadual de Florestas (IEF-RJ) e Fundação Brasileira para Conservação da Natureza (FBCN), 45p e anexos.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cambissolos. 2011. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma\\_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wte dt3n5ubswf.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wte dt3n5ubswf.html). Acesso em: 14 jan. 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Formação de Voçorocas. 2007. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura\\_e\\_meio\\_ambiente/arvore/CONTAG01\\_58\\_2 10200792814.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_58_2 10200792814.html). Acesso em: 14 jan. 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xh02wx5eo0y53mhyx67ox h3.html>. Acesso em: 14 set. 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA SOLOS, 2003. Mapa de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos do Estado do Rio de Janeiro. Carvalho Filho, A. Rio de Janeiro. 2003.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recuperação de áreas degradadas através da introdução de gramíneas forrageiras e de leguminosas arbóreas no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. ISSN 1517-5219 - Dezembro, 2000. 52p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

EM-DAT - Emergency Events Database. The OFDA/CRED International Disaster Database. 2007. Disponível em: <<http://www.em-dat.net/>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

ENTIN, J. K. et al. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 105, n. 11, p. 865-877, 2000.

- ERMINI, L.; CATANI, F.; CASAGLI, N. Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, v. 66, p. 327-343, 2005.
- FACELLI, J.M. & PICKETT. S.T.A. 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review* 57:1-32.
- FAO. 2004. *The State of Food Insecurity In The World*. FAO, Rome.
- FAO. 1994. *Soil Map of the World. Revised Legend*. FAO. Rome.
- FAVERO, E., DIESEL, V. 2008. A seca enquanto um hazard e um desastre: uma revisão teórica. *Aletheia* 27(1), p.198-209, jan./jun. 2008.
- FEIJÓ, R. L., PAES, N. M., D'ORSI, R. N. 2001. Chuvas e movimentos de massa no município do Rio de Janeiro. In: *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, III COBRAE, Rio de Janeiro, 2001, Anais, 1: 223 – 230.
- FERNANDES, L. S.; GRIFFITH, J. J.; FONSECA, D. M.; DIAS, L. E.; RUIZ H. A.; Uso de geomantas no controle da erosão superficial hídrica em um talude em corte de estrada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:199-206, 2009. ISSN 0100-0683. 2009.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.2, n.1, p. 51-71, 2001.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.
- FERNANDO PESSOA. *O Guardador de Rebanhos*. In *Poemas de Alberto Caeiro*. Lisboa: Ática, 1946 (10ª ed. 1993).
- FERRASSOLI, M.A. 2006. *Geologia do Maciço Granítico dos Frades, Parque Estadual dos Três Picos, Nova Friburgo - Teresópolis, (RJ)*. Monografia de Graduação. Faculdade de Geologia, UERJ. Rio de Janeiro, 65p.
- FLORINSKY, I. V.; KURYAKOVA, G. A. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, v. 27, p. 123-141, 1996.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Dilma diz que região serrana do Rio vive "momento dramático". *Folha de São Paulo*, São Paulo, 13 jan. 2011. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/860132-dilma-diz-que-regiao-serrana-do-rio-vive-momento-dramatico.shtml>>. Acesso em: 14 jun. 2011.
- FREIRE, E. S. M. 1965. *Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática*. Construção, Rio de Janeiro, n. 8, p. 10-18.
- FREITAS, M. M. Funcionalidade hidrológica dos cultivos de banana e territorialidade na paisagem do Parque Municipal de Grumari - maciço da Pedra Branca - RJ. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. 452p.
- FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 1992. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/pub/pub00.htm#>>. Acesso em: 04 abr. 2012.
- FYFE, W.S. Soil and global change. *Episodes*, n. 12, p. 259-254, 1989.

GARCÍA-TORNEL, Francisco Calvo. La Geografía de los Riesgos. Universidad de Barcelona. Barcelona. GEO Crítica: Ano IX, n.54, nov. 1984.

GE, Y.; MURRAY, P.; WENDERSHOT, W.H. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. Environmental Pollution, v.107, p.137-144, 2000.

GEVAERD, R., FREITAS, S. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera- Parte I: descrição da metodologia e validação. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3, 1-15, 2006.

GILBERT, G.K. The convexity of hilltops. Journal of Geology, v. 17, n. 4, p. 344-350, 1909.

GILES, P.T.; FRANKLIN, S.E. An automated approach to the classification of the slope units using digital data. Geomorphology, v.21, p251-264. 1998.

GLIESSMAM, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

GOLLEY, P.T. 1978. Litterfall in forest on Christmas island, Indian Ocean: quantity, seasonality, and composition. Biotropica 30:671-676.

GONCALVES, A. O.; ANDRADE, A. G. de. Qualidade de solo e água como indicadores de recuperação de áreas degradadas submetidas a manejo agroflorestal. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 38 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100).

GONÇALVES, J. C. Impactos e medidas econômicas relacionados a desastres. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. São Paulo, abr. 2010. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=55&id=695&print=true>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

GONÇALVES, L. F. H; GUERRA, A. J. T. Movimento de Massa na Cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T; CUNHA S. B. (Orgs): Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001.

GREGORY, Ken J. A Natureza da Geografia Física. (Tradução de Eduardo Almeida Navarro). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992, 367p.

GUEDES, F.M. Informações sobre formações de pastagens consorciadas em unidades montanhosas. II Curso sobre biologia do solo na agricultura. EMBRAPA-CNPBS (Documento 8). P. 25-28. 1992.

GUERRA, A.J.T. (2001). Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A.J.T. & Baptista, S. (Org), Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Bertrand Brasil, 4a ed., Rio de Janeiro, p.149-195.

GUERREIRO, A. Artigo "É preciso cobrar". 17.01.2011. O Globo, Opinião, p. 7, 2011. Disponível em: <http://pib.socioambiental.org/es/noticias?id=97191>. Acesso em: 02 fev. 2011.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. 1984. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher, 194p.

GUZZETTI F., CARDINALI M., REICHENBACH P., CARRARA A. (2000). Comparing landslide maps: a case study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. Environmental Management, 25 (3): 247-263.

- HARRIS, R.W.; CLARK, J.R.; MATHENY, N.P. Arboriculture: integrated management of landscape trees, shrubs, and vines. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1999.
- HEILBRON M., MOHRIAK W., VALERIANO, C.M., MILANI, E.J., ALMEIDA J., TUPINAMBÁ M. 2000. From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. In: W. Mohriak,
- HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A.C., CAMPOS-NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R., JANASI, V. 2004. A Província Mantiqueira. In: V. Mantesso, A Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito-Neves (eds) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca Produções Culturais Ltda, São Paulo, p. 203-235.
- HEITZMANN, K., CANAGARAJAH, R. S., & SIEGEL, P. B. (2002). Guidelines for assessing the sources of risk and vulnerability. Washington: World Bank. Washington, D. C.: Social Protection Discussion Paper Series, 0218. Disponível em: <[www.worldbank.org/socialanalysis/sourcebook/analytic5.htm](http://www.worldbank.org/socialanalysis/sourcebook/analytic5.htm)>. Acesso em: 07 set. 2011.
- HERRMANN, Maria Lúcia de Paula. Levantamento dos Desastres Naturais Causados por Adversidades Climáticas no Estado de Santa Catarina, Período 1980 a 2000. Florianópolis: [s.n.], 2001, 92p.
- HERZ, F.; DE BIASE, M. Critérios e Legendas para Macrozoneamento costeiro. Brasília: Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, 1989.
- HERZER, Hilda Maria; VIRGILIO, Maria Mercedes di. Buenos Aires inundable del siglo XIX del siglo XX. In: GARCIA ACOSTA, Virginia (coord). Historia y Desastres em America Latina. Vol. I. Panamá: La Red, 1996, p. 67-100.
- HILLEL, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. San Diego. 771p.
- HILLER, D.A. Properties of urbic anthrosols from an abandoned shunting yard in the Ruhr area, Germany. Catena, v.39, n.4, p.245-266, 2000.
- HOGAN, D. J. Urban Growth, Vulnerability and Adaptation: Social and ecological dimensions of climate change on the Coast of São Paulo. Projeto de Pesquisa aprovado pelo Programa FAPESP em Mudanças Climáticas Globais. Campinas, 2009.
- HOLZMANN, R., SHERBURNE-Bens, L., & TESLIUC, E. (2003). Social risk management: the World Bank's approach to Social Protection in a globalizing world. Washington, D. C.: Social Protection Department. Disponível em: <[www.siteresources.worldbank.org/SOCIALPROTECTION/.../SRMWBAapproachtoSP.pdf](http://www.siteresources.worldbank.org/SOCIALPROTECTION/.../SRMWBAapproachtoSP.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2012.
- HOOGEVEEN, J., TESLIUC, E., & VAKIS, R. (2005). A Guide to the Analysis of Risk, Vulnerability and Vulnerable Groups. Washington, D. C.: World Bank. Disponível em: <[www.worldbank.org/sp/.../Training/GuidetoRVAandVulnerableGroups.pdf](http://www.worldbank.org/sp/.../Training/GuidetoRVAandVulnerableGroups.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2011.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative
- HOUGHTON, J. Global warming: the complete briefing. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 251p.
- HUDSON, N. W. Soil conservation. 3.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1995.

IANNARELLI, Thaís. Desastres naturais e seus impactos. Revista Filantropia. São Paulo, maio. 2011. Disponível em: <[http://www.revistafilantropia.net.br/\\_Orf/materias.asp?Id\\_pagina=6504](http://www.revistafilantropia.net.br/_Orf/materias.asp?Id_pagina=6504)>. Acesso em: 14 jun. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011a. 261 p. ISBN 978-85-240-4187-7.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011b. Dados básicos do Município de Nova Friburgo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=330340>. Acesso em: 13.fev. 2011.

INBAR, M.; TAMIR, M.; WITTENBERG, L. Runoff and erosion process after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. Geomorphology, v. 24; p. 17-33, 1998.

INFANTI JR., Nelson; FORNASARI FILHO, Nilton. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, Antônio Manuel dos Santos & BRITO, Sérgio Nertam Alves de. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE-CNPq-FAPESP, 1998. p. 131-144.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990/ Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF : INMET, 2009. 465 p.: ISBN: 978-85-62817-01-4.

IPCC. Assessment Report, 4., 2007, Valencia, Spain. Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers. [Genebra]: IPCC, 2007b. 18 p. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 04 set. 2011.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 2009. Banco de dados de mortes por escorregamentos no Brasil. Banco de Dados Digital. São Paulo: IPT, 2009. Novos dados obtidos junto ao IPT com o Sr. Eduardo Soares Macedo em 06. fev. 2013. 2013.

ISELL, R.F. The australian soil classification. Collingwood: CSIRO, 1996. 151p.

ISSSWG RB. International Society of Soil Science Working Group RB. World Reference Base for Soil Resources: I n t r o d u c t i o n . Leuven: Acco : ISRIC, Rome: FAO, 1998. 79p.

IUSS - International Union of Soil Sciences). 2003. Disponível em: <<http://www.iuss.org/>>. Acesso em: 23 abr. 2012.

JACKSON, T.J. 2001. Multiple resolution analysis of L-band brightness temperature for soil moisture. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 39, no. 1, p. 151-164.

JHUNG, M. A.; SHEHAB, N.; ROHR-ALLEGRI, C.; POLLOCK, D. A.; SANCHEZ, R.; GUERRA, F. et al. Chronic disease and disasters medication demands of Hurricane Katrina evacuees. American Journal of Preventive Medicine. 2007; 33 (3) :207-210.

JIM, C.Y. Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong. Landscape and Urban Planning, v.40, p.235-249, 1998.

JORNAL LIVRE. Seu artigo na WEB. 2009. Cidade de Nova Friburgo. Disponível em: <http://www.jornallivre.com.br/297590/cidade-de-nova-friburgo.html>. Acesso em: 13 fev. 2011.

KASPERSON, J.; KASPERSON, R.; TURNER II, B.L.; HSIEH, W.; SCHILLER, A. Vulnerability to global environmental change. In: KASPERSON, J.X.; KASPERSON, R.E. The social contours of risk: risk analysis, corporations & globalization of risk. London: Earthscan, 2005. p. 245-285. 2 v.

KASPERSON, J.; KASPERSON, R. International workshop on vulnerability and global environmental change. Stockholm: SEI, 2001.

KAYASTHA, P.; DHITAL, M. R.; SMEDT, F.; Evaluation and Comparison of GIS based Landslide Susceptibility Mapping Procedures in Kulekhani Watershed, Nepal. Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium. Mountain Risk Engineering Unit, Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal. Central Department of Geology, Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal. JOURNAL GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA. Vol.81, February 2013, pp.219-231.

KAZTMAN, R.; BECCARIA, L.; FILGUEIRA, F.; GOLBERT, L.; KESSLER, G. Vulnerabilidad, activos y exclusión social en Argentina y Uruguay. Santiago de Chile: OIT, 1999.

KELLER, E.A. Environmental geology. 7.ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1996. 560p.

KIEHL, J. E.; (1979). Manual de Edafologia. Agronômica Ceres, São Paulo, 262 p.

KLAR, A.E., Água no sistema solo-planta-atmosfera. 1984. Ed. Nobel, São Paulo. 408 p.

KOBIYAMA, M. et al. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 109 p.

KOMAC, M. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. Geomorphology, v. 74, p. 17-28, 2006.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. Soil erosion research methods. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LAMPARELLI, C. e ZAN, P. Novo conceito de plano diretor a partir da própria Constituição da República. In: Seminário Plano Diretor Municipal, 23 a 25 de ago. São Paulo, FAU-USP, 1989.

LASLETT, G.M. Kriging and splines: an empirical comparison of their predictive performance in some applications. J. Am. Stat. Assoc., 89:391-400, 1994

LAVELL, Alain Thomas. (1993), "Ciencias Sociales y Desastres Naturales en América Latina: Un Encuentro Inconcluso", in A. Maskrey (org.), Los Desastres No Son Naturales. La Red, México: IDG.

LEE, R. Forest hydrology. Columbia: Columbia University Press, 1980. 349p.

LEPSCH, Igo F. FORMAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS. 2. ed. São Paulo: Oficina Das Letras, 170 p. 2010.

LI, Z., ZHU, Q., GOLD, C., 2004. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. CRC Press, Boca Raton. 323 pp.

LINDSTROM, M.J. et al. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. J. Soil Water Conserv., v. 53, p. 59-63, 1998.

LINSLEY, R.K. Jr. et al. Hydrology for Engineers. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1975. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering)

LU, Y. et al. Concentrations and chemical speciations of Cu, Zn, Pb and Cr of urban soils in Nanjing, China. Geoderma, v.1976, p.1-11, 2003.

- MADRID, L.; DÍAZ-BARRIENTOS, E.; MADRID, F. Distributions of heavy metals contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere*, v.49, p.1301-1308, 2002.
- MANTA, D.S. et al. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *The Science of the Total Environment*, v.300, p.229- 243, 2002.
- MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D. J. As Dimensões da Vulnerabilidade. *São Paulo em Perspectiva*, v. 20, n. 1, p. 33-43, jan./mar. 2006.
- MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D. J. Natural Hazards: O estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*. V. VII, n.2, p.95-110, jul./dez. 2004a.
- MARCELINO, E. V. Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos. *Caderno Didático nº 1*. Santa Maria: CRS/INPE, 2008. 40 p.
- MARCELINO, E. V. Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos. Santa Maria: CRS/INPE, 2007. 20 p.
- MARCELINO, Isabela Pena Viana de Oliveira; MENDONÇA, Magaly; RUDORFF, Frederico de Moraes. Ocorrências de Granizo no estado de Santa Catarina. In: 1 SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2004b, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004b, p. 795-805. CD ROM.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.; SAMPAIO, G.; CAMARGO, H.; ALVES, L.; OLIVEIRA, R. (2008a). The drought of Amazonia in 2005. *J. Climate*, 21, 495-516.
- MATTEDI, M. A; BUTZE, I. C.. A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. *Ambiente & Sociedade*, Campinas, n. 9, p. 01-22, 2001.
- MEDEIROS J.S.de. 1999. Bancos de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 220 p.
- MEDEIROS, J. D. Avaliação de Impacto Ambiental. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 47., 1995, São Luis. Anais. São Luis: SBPC, 1995.
- MEIJERINK, A. M. J. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. *ITC Journal*, v.1988, n. 1, p.23-44, 1988.
- MELLO, A. Y. I.; D'ANTONA, A. O.; ALVES, H. P.; CARMO, R. L. Análise da Vulnerabilidade Socioambiental nas Áreas Urbanas do Litoral Norte de São Paulo. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 3, Florianópolis. Anais. Campinas: ANPPAS, 2010.
- MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C.; RESCK, J. M. L.; JUNIOR, M. S. D. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, jul./ago., 2002, v.26, n.4, p.836-841.
- MET OFFICE. Meteorological Office. Meteorologia do Reino Unido. Beaufort wind force scale. Specifications and equivalent speeds. Devon. United Kingdom. 2012. Disponível em: <<http://www.metoffice.gov.uk/weather/marine/guide/beaufortscale.html>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT - Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007. 176 p.

MOSER, C. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. World Development, v.26, n.1, 1998.

MUÑOZ, V.A. Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil. São José dos Campos, 2005. 50 p. Anexos. Especialização (XVIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE.

MURPHY, Craig N. (1994). International Organization and Industrial Change: global governance since 1850, New York, Oxford University Press.

MYERS, D.E. Spatial interpolation: an overview. Geoderma, 62:17-28, 1994.

NAE - NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. (2005). Mudança do Clima. Brasília: NAE, Secretaria do Governo e Gestão Estratégica.

NAKAZAWA, V. A. & CERRI, L. E. S. 1990. Os escorregamentos ocorridos em Petrópolis, RJ, em fevereiro de 1988: ações emergenciais. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. Anais... ABGE, São Paulo. p. 325-333.

NAVAS, A.; JAVIER, M. Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Aragon (northeast Spain): controlling factors and environmental implications. Applied Geochemistry, v. 17, n. 8, p.961-973, 2002.

NICHOLLS, N. Atmospheric and climatic hazards: improved monitoring and prediction for disaster mitigation. Natural Hazards. Melbourne, Australia. 23, 137-155, 2001.

NJOKU, E.G.; LI, L. 1999. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6-18 GHz. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 37, n. 1, p. 79-93.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. 1999. Vulnerability assessment: 1999. Disponível em: < <http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/training/roadmap>>. Acesso em: 17 set. 2012.

NUNES, A. J. C. et al. 1990. Contribuição ao conhecimento do risco geológico da cidade de Petrópolis, RJ. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. Anais... ABGE, São Paulo. p. 102-114.

O ESTADO DE SÃO PAULO. Desastres naturais causaram prejuízo de US\$ 109 bilhões em 2010, diz ONU. O Estado de São Paulo, São Paulo, 24 jan. 2011. Disponível em: <<http://m.estadao.com.br/noticias/internacional,desastres-naturais-causaram-prejuizo-de-us-109-bilhoes-em-2010--diz-onu,670438.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2011.

O GLOBO. Desastre na Região Serrana foi maior devido à ocupação irregular do solo. O Globo, Rio de Janeiro, 12 jan. 2011. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/mat/2011/01/12/desastre-na-regiao-serrana-foi-maior-devido-ocupacao-irregular-do-solo-923492191.asp>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

O NOSSO FUTURO COMUM. Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento. Lisboa: Meribérica/Liber, 1987. 434 p.



OLIVEIRA, C.M.G. Carta de risco de colapso de solos para a área urbana do Município de Ilha Solteira - PS. 2002. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UNESP.

OLIVEIRA, J. F. S. Gestão Ambiental. Lisboa: Lidel, 2005.

OPAS/OMS, Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde. Disponível em: <http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=47&area=Conceito>. Acesso em: 09 set. 2011.

PANTELIC, J.; SRDANOVIC, B.; GREENE, M. Postmodern urbanization and the vulnerability of the poor. Third Urban Research Symposium: "Land Development, Urban Policy and Poverty Reduction", The World Bank and IPEA. Brasília, DF, Brazil. April 4-6, 2005.

PDP-NF: PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO DE NOVA FRIBURGO. Lei Complementar nº 024, de 28 de dezembro de 2007. Prefeitura Municipal de Nova Friburgo. Nova Friburgo. 2007.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KAMINSKI, J. Solos Urbanos. Urban Soils. Ciência Rural, v.34, n.5, set-out, 2004. Santa Maria – RS. Brasil. ISSN 0103-8478.

PEDUZZI, P.; DAO, H.; HEROLD, C.; ROCHETTE, D. Feasibility report on global risk and vulnerability index - trends per year (GRAVITY) for UNDP/ERD. Geneva: UNEP/DEWA/GRID, June 2001.

PELOGGIA, Alex. O Homem e o Ambiente Geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo. São Paulo: Xamã, 1998, 271p.

PEREIRA, L. S., CORDERY, I., & IACOVIDES, I. (2002). Coping with water scarcity. Paris: UNESCO, IHP-VI, Technical Documents in Hidrology, 58.

PICKERING, Kevin; OWEN, Lewis. An Introduction to Global Environmental Issues. London and New York: Routledge, 1994, 390 p.

PINTO, F.R.L. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: estimativa e espacialização. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 70p. (Tese de Mestrado)

PINTO, L.V.A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. Revista Cerne, Lavras, v.1, n.1, p. 49-60, 2005.

PIPKIN, B.W. & TRENT, D.D. Geology and the environment. New York. USA. John Wiley & Sons, 1997. 473 p.

PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO DE NOVA FRIBURGO (PDP-NF). Lei complementar nº 24, de 28 de dezembro de 2007. Nova Friburgo. 2007.

PLANO NACIONAL DE DEFESA CIVIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2000, 57p.

POLÍTICA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2007, 82p.

- POPKOV, S.; DEMENT'EVA, E. Soil properties effect on the development and distribution of urban vegetative cover of the forest zone. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok, Thailand. Anais. Bangkok, 2002. V.5, p.1672.
- PRADHAN, B.; SINGH, R.P.; BUCHROITHNER, M.F. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data. *Advances in Space Research*, v. 37, p. 698-709, 2006.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA FRIBURGO. Dados Gerais. Distritos. Nova Friburgo. 2011. Disponível em: < <http://novafriburgo.rj.gov.br/nova-friburgo/dados-gerais/#axzz1mMZhFCX3>>. Acesso em: 26 out. 2011.
- QUARANTELLI, E. L. (ed.) What is a disaster? London and New York: Routledge, 1998.
- R7 NOTÍCIAS. Dois meses após tragédia da chuva, prefeitura de Nova Friburgo calcula prejuízo de mais de R\$ 1 bilhão. 11.03.2011. 2011<sup>a</sup>. Disponível em: <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/dois-meses-apos-tragedia-da-chuva-prefeitura-de-nova-friburgo-calcula-prejuizo-de-mais-de-r-1-bilhao-20110311.html>. Acesso em: 12 abr. 2011.
- R7 NOTÍCIAS. Detalhes da tragédia na região serrana do Rio de Janeiro. 11.03.2011. 2011<sup>b</sup>. Disponível em: <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/videos-mostram-detallhes-da-tragedia-na-regiao-serrana-do-rio-de-janeiro-20110113.html>. Acesso em: 19 fev. 2011.
- RABAH, L.; DOSSO, M. & RUELLAN, A. Soil education and public awareness: An international SOS2 campaign. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., Thailand, 2002. Abstracts. Bangkok, IUSS, 2002. p. 1694.
- RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983. v.32. 775p.
- RECKZIEGEL, B. W., Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração em Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Naturais e Exatas. Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005. Universidade de Santa Maria. Santa Maria – RS. Brasil. 2007. Disponível em: [http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/dissertacoes\\_06-11/BernadeteReckziegel.pdf](http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/dissertacoes_06-11/BernadeteReckziegel.pdf). Acesso em: 10 fev. 2011.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo, Manole, 188p. 1990.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 189p. 1987.
- REINERT, D.J. Soil structural form and stability induced by tillage in a Typic Hapludalf. 1990. 120f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Michigan State University.
- RESENDE, M.; Curi, N.; REZENDE, S.B.; CORREA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1999. 338p.
- ROBAINA, L. E. S. Espaço urbano: relação com os acidentes e desastres naturais no Brasil. *Ciência e Natura*, UFSM, 30 (2): 93 -105, 2008.
- ROBAINA, L. E. S.; BERGER, M. G.; DE CRISTO, S. S. V. et al. Análise dos ambientes urbanos de risco do município de Santa Maria - RS. *Ciência & Natura*, Santa Maria, v. 23, p. 139-152, 2001.

- ROBINSON, A.H., MORRISON, J.L., MUEHRCKE, P.C., KIMERLING, A.J., GUPTILL, S.C., 1995. Elements of Cartography, 6th ed. John Wiley and Sons, New York. 688 pp.
- RODRIGUEZ, D. A., TOMASELLA, J. Uma melhora física no modelo de balanço hídrico operacional do CPTEC/INPE In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia - Fortaleza. , 2004.
- ROSS, J. L. S., Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. Revista do Departamento de Geografia, n. 8, São Paulo: FFLCH/USP, 1994.
- ROSS, J. L. S., As Superfícies de Aplanamento e os Níveis morfológicos na Bacia do Alto Paraguai-Cuiabá-. In: IV-Simpósio de Geografia Física Aplicada, 1991, Porto Alegre-RS. Anais do IV Simpósio de Geografia Física., 1991. v. I.
- ROSSATO, L., ALVALÁ, R.C. e TOMASELLA, J., 2002 . Climatologia da Umidade do Solo no Brasil- XII Congresso Brasileiro de Meteorologia – Foz do Iguaçu.
- SABOYA, R. Concepção de um sistema de suporte à elaboração de planos diretores participativos. 2007. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.
- SAMPAIO, E. P. M. 1999. Utilização da Carta de Solos. Universidade de Évora. Oficinas Gráficas de Barbosa & Xavier, Ldº. Évora. Portugal.
- SANTOS, Milton. A urbanização brasileira. São Paulo: Hucitec, 1993. 157 p.
- SARKAR, S.; and KANUNGO, D.P.; An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING. Vol. 70, No. 5, May 2004, pp. 617-625.
- SCHAEFER, C.E.R. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs Australian Journal Soil Research, Melbourne, v. 39, p. 909-926, 2001.
- SCHLEUB, U.; WU, Q.; BLUME, H. Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany. Catena, v.33, p.255-270, 1998.
- SCHMIDT, J.; EVANS, I.S.; BRINKMANN, J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. International Journal of Geographical Information Science, v. 17, n. 8, p. 797-814, 2003.
- SCHUELER, T. The compaction of urban soils. Technical note nº107. Watershed Protection Techniques, v.3, n.2, p.661-665, 2000. Disponível em: <<http://www.stormwatercenter.net/Practice/36-The%20Compaction%20of%20urban%20Soils.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2012.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão de sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 21:287-291, 1997.
- SÉGUIER, J. Dicionário prático ilustrado. Porto, Chardron, 1935. 1779 p.
- SHERBININ, A.; SCHILLER, A.; PULSIPHER, A. The vulnerability of global cities to climate hazards. Environment & Urbanization, London, Vol. 19, No. 1, April 2007.

SHINN, N.J. et al. Determination of spatial continuity of soil lead levels in an urban residential neighborhood. *Environmental Research*, v.82, p.46-52, 2000.

SIGEP. Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. Proposta de descrição de sítio geológico do Brasil para registro no patrimônio mundial da humanidade (World Heritage Committee - UNESCO). Miguel Antonio Tupinambá Araújo Souza. 2007. Disponível em: [http://sigep.cprm.gov.br/propostas/Tres\\_Picos\\_RJ.htm](http://sigep.cprm.gov.br/propostas/Tres_Picos_RJ.htm). Acesso em: 09.nov. 2012.

SILVA, D. D.; VALVERDE, A. E. L.; PRUSKI, F. F. & GONÇALVES, R. A. B. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Estado de São Paulo. *R. Eng. Agric.*, 7:70-87, 1999.

SILVA, V. C. B. Iniciando no ARCGIS. Departamento de Ciências Biológicas, Ambientais e da Saúde (DCBAS). Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH). Belo Horizonte, 2010.

SIMÃO, J. B. P.; SIQUEIRA, J. O. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediações. *Recuperação de áreas degradadas*, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.18-26, mai-jun, 2001. (Informe Agropecuário).

SLOCUM, T., MCMASTER, R., KESSLER, F., HOWARD, H., 2004. *Thematic Cartography and Geographic Visualization*, 2nd ed. Pearson Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River. 528 pp.

SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome FAO. 45p. 1991

SOANE, B. D.; van OUWERKERK, C. Soil compaction in crop production. Amsterdam : Elsevier, 1994. 662p.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VIANA, E. C.; ANTUNES, F. C. Borges. Impactos ambientais decorrentes da ocupação desordenada na área urbana do Município de Viçosa, estado de Minas Gerais. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, Garça, ano iv, n. 8, 2006. ISSN 1678-3867. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/florestal08/pages/artigos/artigo06.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

SOETERS R., VAN WESTEN C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. In Turner A K, Schuster R L (Eds.) *Landslides, investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A.: 129-177.

SOUZA C.J. da. S. de. 1999. Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em áreas intensamente antropizada. *Dissertação de Mestrado*, INPE, 155 p.

SOUZA, C. R. de G. 1998. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. *Anais Academia Brasileira Ciências*, 70 (2): 353-366, 1998.

SPAARGAREN, O. C. Other systems of soil classification. In. SUMMER, M.E. *Handbook of soil science*. Boca Raton : CRC, 2000. Section E, p.137-174.

STAR, S. L. & GRIESEMER J. R. "Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39". *Social Studies of Science* 19 (4): 387-420, 1989.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, Ven Te (Ed.). *Handbook of applied Hidrology*. New York: McGraw-Hill, 1964. p. 4.39-4.76.

STROGANOVA, M. N.; AGARKOVA, M. G. Urban soils: experimental study and classification (exemplified by soils of Southwestern Moscow). Eurasian Soil Science, v.25, n.3, p.59-69, 1993.

TAESOMBAT, W.; SRIWONGSITANON, N. Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. Science Asia, v. 35, n. 3, p. 268-275, 2009.

TAGLIANI, C. R. A. 2002. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. Galeria de artigos acadêmicos. Disponível em: [www.fatorgis.com.br](http://www.fatorgis.com.br). Acesso em: 10 jan. 2012.

TAVARES, R., SANT'ANNA NETO, J. L., TOMMASELLI, J. T. G., PRESSINOTTI, M. M. N., SANTORO, J. 2004. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associadas aos movimentos de massa no litoral norte paulista. In Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. Anais do I SIBRADEN. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.680- 696. (CD-ROM).

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Episódios de chuvas intensas na região sul do Brasil. Parte I: configuração sinópticas associadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. Anais eletrônicos. Fortaleza: INPE, 2004. Disponível em: <<http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/09.21.10.34>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

TOBIN, G. A.; MONTZ, B. E. Natural hazards: explanation and integration. New York: The Guildford Press, 1997. 388 p.

TOMASELLA, J.; M. G. HODNETT . Pedotransfer Functions for tropical soils. In: Pachepsky Y.; Rawls, W.J.. (Org.). Developments in Soil Science: Pedotransfer Functions in Hydrology. Amsterdam: Elsevier, 2005, v. 30, p. 415-435.

TOMASELLA, J., M. G. HODNETT, L. ROSSATO. 2000. Pedo-transfer functions for soil water retention in Brazilian soils. Soil Science Society of America Journal. Jan-Fev 2000.

TOMINAGA, L. K. 2007. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado 220 p + Mapas.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p. ISBN 85-224-1256-1.

TOMLIN, D. Geographic information systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, New York, 1990.

TOPODATA. Projeto Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Modelo Digital de Elevação (MDE). 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 02 set. 2012.

TORRES, H.; COSTA, H. (Orgs.). População e meio ambiente: debates e desafios. São Paulo: Editora Senac, 2000, p. 53-73.

TRICART, J. Ecodinâmica, Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977, 91p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente).

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade - ABRH/EDUSP, 1993, 943p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Água no Meio Urbano. In: REBOUÇAS, Aldo da C.; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. 2 ed. São Paulo: Escrituras, 2002, p.473-506.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Inundações Urbanas. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario T. de. Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH/Ed. da UFRGS, 1995, p. 15-36.

TUPINAMBÁ, M. 1999. Evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP. São Paulo, 204 p.

TURCOTTE, R.; FORTIN, J.-P.; ROUSSEAU, A. N.; MASSICOTTE, S.; VILLENEUVE, J.-P. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. Journal of Hydrology, v.240, p.225-242, 2001.

UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Diagnóstico de Drenagem Urbana - Nova Friburgo. 1998. Disponível em: <http://www.hidro.ufrj.br/pqarj/municip/novafrib/diagdren.htm> e <http://www.hidro.ufrj.br/pqarj/paginas/36/..%5C..%5Crelatorios%5Cps-re-49.pdf>. Acesso em: 29 set. 2012.

UN. World Conference on Disaster Reduction. Kobe: UNGA; jan. 2005.

UNDP - Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP, 2004.

UNESP. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Geodinâmica Externa. Processos de Dinâmica Superficial. Movimentos de Massa. 2013. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09.html>. Acesso em: 10 fev. 2012.

UNFPA - Situação da População Mundial 2007: Desencadeando o Potencial do Crescimento Urbano. Fundo de População das Nações Unidas. Nova York: UNFPA, 2007.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2011. UNISDR warns against ignoring seismic threats as quakes wreak havoc for second year. United Nations. Geneva. Suíça. Disponível em: <http://www.unisdr.org/archive/24692>. Acesso em: 01 fev. 2012.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations. Geneva. Suíça. Disponível em: <http://www.unisdr.org>. Acesso em: 25 ago. 2011.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2004. Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), United Nations. Geneva. Suíça. 152pp. Disponível em: <http://www.unisdr.org>. Acesso em: 25 ago. 2011.

UN-ISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction - Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations. Geneva, Suíça. 2002. Disponível em: [http://www.unisdr.org/eng/about\\_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm](http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm). Acesso em: 25 ago. 2011.

USDA - Erosion and sedimentation on construction site. Urban Technical Note Nº 1, march, 2000b. Capturado em 15 de maio de 2002. Online. Disponível em: <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/pdf/u02d.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2011.

USDA - Urban soil compaction. Urban Technical Note Nº 2, march, 2000a. Disponível em: <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQL/pdf/u01d.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2012.

VAN BAREN, H.; MUGGLER, C.C. & BRIDGES, E.M. Soil reference collections and expositions at district level: Environmental awareness and community development. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16. Montpellier, 1998. Abstracts. Montpellier, ISSS, 1998. CD-ROM.

VAN WESTER C. J., CASTELLANOS E., KURIAKOSE S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Engineering Geology*, 102: 112-131.

VARNES D. J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris - France.

VARNES, D. J. 1984. Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice. UNESCO Press, Paris. 56 p.

VARNES, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER & KRIZEK (eds.). Landslides: analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC. p. 11-33.

VASCONCELLOS, A. A. Dissertação de Mestrado: Infraestrutura Verde Aplicada ao Planejamento da Ocupação Urbana na Bacia Ambiental do Córrego D'Antas, Nova Friburgo - RJ. PUC-Rio. Rio de Janeiro/RJ. 2011.

VEYRET, Y. 2007. Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente - São Paulo: Contexto. 1ª Edição, 1ª Reimpressão. 320 p.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. Meteorologia Básica e Aplicações. Viçosa: ed. UFV, 2000, 449p.

VIDE, Javier Martín; CANTOS, Jorge Olcina. Tiempos y Climas Mundiales. Barcelona - España: Oikos-tau, 1996, 308 p.

VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F.; and FILHO, O. A.; Shallow landslide prediction in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. 2010. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1829–1837, 2010. doi:10.5194/nhess-10-1829-2010.

VIEIRA, R.M.S.P.; ALVALÁ, R.C.S.; PONZONI, F.J.; FERRAZ-NETO, S.; CANAVESI, V. Mapeamento dos usos da Terra e da Cobertura Vegetal do Estado de São Paulo. 2010. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.22.12.32>. Acesso em: 18 out. 2012.

VILELLA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

VILLAGRA, M. M.; BACCHI, O. O. S.; TUON, R. L.; REICHARDT, K. Difficulties of estimating evapotranspiration from the water balance equation. *Agriculture and Forest Meteorology*, v. 72, p. 317- 325, 1995.

VITOUSEK, P. M. & SANFORD, J.R. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review Ecology Science* 17: 137-167.

WANG, X.; YIN, Y. -Z. A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales. *Journal of Hydrology*, v.210, p. 221-241, 1998.

WILCHES-CHAUX, Gustavo. La Vulnerabilidad Global. In: MASKREY, Andrew. Los Desastres No Son Naturales. Bogotá: La Red, 1993, p.11-44.

WILSON, J.P., GALLANT, J.C., 2000. Digital terrain analysis. In: Wilson, J.P., Gallant, J.C. (Eds.), Terrain Analysis: Principles and Applications. John Wiley & Sons, New York. 1-27.

YAMIN, F., RAHMAN, A., & HUQ, S. (2005). Vulnerability, adaptation and climate disasters: a conceptual overview. IDS Bulletin, 36(4), 1-14.

ZÊZERE J. L. (2007). Predição probabilística de movimentos de vertente na escala regional. Actes de les Jornades sobre Terrasses i Prevenci  de Riscos Naturals. Departement de Medi Ambient, Consell de Mallorca: 17-30.



## **Anexo A**

---

**Informações meteorológicas do Município de Nova Friburgo/RJ,  
com ênfase em chuvas para os primeiros quinze dias de janeiro de 2011.**

Cachoeira Paulista, 25 de Maio de 2012.

Assunto: Informações meteorológicas da cidade de Nova Friburgo/RJ, com ênfase em chuva para os primeiros quinze dias de janeiro de 2011.

Os dados a seguir referem-se às observações registradas na plataforma de Coleta de Dados – PCD nº 86889, localizada na cidade de Nova Friburgo/RJ, latitude 22.30 Sul e longitude 42.70 Oeste, sob a responsabilidade do Instituto Nacional de meteorologia – INMET. Foram utilizadas também imagens de satélite “GOES-12 IR”, sobre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

Os horários apresentados neste documento referem-se ao “Greenwich Mean Time – GMT”, ou seja, horário internacional de coleta de dados. Sendo assim, como a localidade estava sob o regime de horário de verão, existe uma defasagem de 02:00 horas, em relação a localidade de estudo.

Conforme a solicitação, fez-se o levantamento dos dados observados disponíveis para o período de 01 a 15/01/2011. Na tabela 1, mostra-se um resumo com a descrição das variáveis escolhidas, enfatizando os episódios de chuva. Já na tabelas 2, apresentam-se juntamente com estas variáveis os seus respectivos valores disponibilizados a cada hora. A notação “N.D.”, significa que os dados e/ou horários não foram reportados para a requerida data. Em complemento a esta solicitação, mostram-se na figura (1), imagens de satélite sobre o estado do Rio de Janeiro, com ênfase para os quatro (4) principais horários, nos quais ocorreram os picos de chuva, nos dias 11 e 12/01/2011. Nas imagens de satélite as manchas brancas correspondem à presença de nuvens e o colorido, ou seja o realce, sobre a imagem estima a temperatura do topo das nuvens. Conforme a escala de cores abaixo de cada imagem, identifica-se o valor da temperatura, sendo o limite inferior -30°C (cor vermelha) e o superior



-80°C (cor rosa), sendo assim, quanto mais frio o topo da nuvem, maior será o desenvolvimento vertical de nuvens o que aumenta as chances de chuvas mais intensas.

Tabela 1 – Sigla, descrição e unidade de medida das variáveis utilizadas neste estudo.

Nome	Descrição
<b>d</b>	Direção do vento (graus)
<b>f</b>	Velocidade do vento (m/s)
<b>gu</b>	Rajada de vento (m/s)
<b>T</b>	Temperatura do ar (°C)
<b>Td</b>	Temperatura do ponto de orvalho (°C)
<b>UR</b>	Umidade relativa do ar (%)
<b>Tn</b>	Temperatura mínima (°C)
<b>Tx</b>	Temperatura máxima (°C)
<b>R</b>	Precipitação (mm)

Tabela 2 – Valores das variáveis (conforme a tabela 1), registradas na plataforma de coleta de dados nº 86889, tabelas diárias com valores horários para o período de 1 a 15/01/2011, com destaque para os valores de chuva.

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
01-01-2011	0000	4.00	1.70	3.30	17.80	16.80	94.00	17.70	18.00	0.20
01-01-2011	0100	342.00	1.90	3.30	17.80	16.90	95.00	17.50	17.80	0.40
01-01-2011	0200	7.00	1.60	4.30	17.70	16.80	94.00	17.70	18.10	0.40
01-01-2011	0300	93.00	1.00	3.30	17.50	17.00	97.00	17.50	17.70	0.00
01-01-2011	0400	30.00	1.40	3.50	17.60	17.00	96.00	17.50	17.80	2.20
01-01-2011	0500	67.00	2.10	7.20	17.70	16.90	95.00	17.60	17.90	4.20
01-01-2011	0600	51.00	2.70	6.00	17.70	16.80	95.00	17.50	17.70	2.00
01-01-2011	0700	59.00	2.90	8.40	17.70	16.70	94.00	17.60	17.80	1.00
01-01-2011	0800	59.00	2.90	8.20	17.80	16.80	94.00	17.70	17.90	0.20
01-01-2011	0900	45.00	4.10	8.40	17.80	16.40	92.00	17.70	17.80	1.00
01-01-2011	1000	38.00	3.90	8.20	17.80	16.00	90.00	17.50	17.80	1.60
01-01-2011	1100	22.00	4.90	10.70	18.20	16.00	87.00	17.60	18.30	0.20
01-01-2011	1200	45.00	2.30	9.90	17.90	16.70	93.00	17.80	18.30	0.60
01-01-2011	1300	55.00	2.90	7.60	18.50	17.30	93.00	17.90	18.50	1.00
01-01-2011	1400	61.00	3.10	9.90	19.00	17.80	92.00	18.40	19.30	1.00
01-01-2011	1500	56.00	2.90	8.70	19.70	17.50	93.00	18.40	19.10	4.80
01-01-2011	1600	56.00	3.70	9.10	18.90	17.50	92.00	18.70	19.30	2.40
01-01-2011	1700	55.00	3.90	9.10	18.60	17.30	92.00	18.60	18.90	2.60
01-01-2011	1800	59.00	4.10	11.10	18.80	16.50	86.00	18.50	18.90	0.60
01-01-2011	1900	54.00	3.50	11.10	18.20	16.70	91.00	18.20	18.80	0.40
01-01-2011	2000	33.00	3.10	8.00	18.30	16.80	91.00	18.10	18.40	0.40
01-01-2011	2100	64.00	1.90	7.60	18.20	17.20	93.00	18.20	18.60	0.00
01-01-2011	2200	61.00	2.30	7.00	18.30	17.00	92.00	18.20	18.40	0.20
01-01-2011	2300	53.00	2.70	8.00	18.00	17.10	95.00	17.90	18.40	2.40
										Acumulado: 29.8



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
02-01-2011	0000	59.00	2.90	8.00	17.90	16.90	94.00	17.90	18.40	1.40
02-01-2011	0100	49.00	3.30	8.00	18.10	16.70	91.00	17.80	18.20	1.00
02-01-2011	0200	46.00	3.90	8.20	17.90	16.50	91.00	17.70	18.10	1.60
02-01-2011	0300	47.00	3.90	10.90	18.10	16.40	90.00	17.90	18.40	0.20
02-01-2011	0400	36.00	3.10	9.50	18.00	16.30	90.00	18.00	18.20	0.00
02-01-2011	0500	66.00	2.50	7.20	17.90	16.40	81.00	17.80	18.10	0.00
02-01-2011	0600	57.00	3.30	7.60	18.00	16.30	90.00	17.70	18.10	0.00
02-01-2011	0700	50.00	3.70	8.60	18.00	16.50	91.00	17.90	18.10	0.20
02-01-2011	0800	53.00	4.30	11.10	18.20	16.60	90.00	17.90	18.20	0.40
02-01-2011	0900	48.00	4.70	11.10	18.00	16.70	92.00	17.90	18.20	0.80
02-01-2011	1000	46.00	4.90	10.90	18.40	16.60	90.00	17.90	18.50	0.60
02-01-2011	1100	50.00	3.70	10.90	18.50	16.60	89.00	18.20	18.60	0.00
02-01-2011	1200	40.00	5.20	10.90	19.00	16.40	85.00	18.30	19.00	0.00
02-01-2011	1300	27.00	4.70	10.10	19.60	16.60	83.00	19.00	19.60	0.00
02-01-2011	1400	53.00	4.50	9.90	19.80	17.10	84.00	19.10	19.80	0.20
02-01-2011	1500	61.00	3.90	10.50	20.60	17.90	85.00	19.40	20.60	0.00
02-01-2011	1600	47.00	4.50	11.30	20.90	17.60	81.00	19.60	21.20	0.00
02-01-2011	1700	56.00	3.70	11.50	20.90	18.10	84.00	20.70	21.20	0.00
02-01-2011	1800	47.00	4.30	11.10	20.50	17.90	85.00	20.20	21.10	0.20
02-01-2011	1900	45.00	4.90	12.60	21.10	17.30	79.00	20.50	21.30	0.00
02-01-2011	2000	52.00	3.30	12.60	20.60	17.30	81.00	20.60	21.10	0.00
02-01-2011	2100	31.00	3.50	8.40	20.20	17.20	83.00	20.10	20.70	0.00
02-01-2011	2200	49.00	2.30	7.60	19.60	17.60	89.00	19.60	20.30	0.00
02-01-2011	2300	64.00	1.70	6.60	19.10	17.90	93.00	19.10	19.70	0.60
										Acumulado: 7.2

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
03-01-2011	0000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
03-01-2011	0100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
03-01-2011	0200	28.00	3.90	8.40	19.30	16.00	81.00	19.00	19.40	0.00
03-01-2011	0300	35.00	3.50	7.20	19.20	15.60	79.00	19.00	19.40	0.00
03-01-2011	0400	42.00	2.50	7.20	18.30	16.10	87.00	18.10	19.30	0.60
03-01-2011	0500	47.00	2.50	6.40	18.20	15.90	86.00	18.10	18.60	0.00
03-01-2011	0600	52.00	1.90	6.60	18.00	15.90	87.00	18.00	18.40	0.00
03-01-2011	0700	48.00	3.30	7.40	18.50	15.40	82.00	17.90	18.60	0.00
03-01-2011	0800	50.00	2.90	8.60	18.20	15.30	83.00	18.20	19.00	0.00
03-01-2011	0900	41.00	2.90	7.60	18.10	15.50	85.00	17.80	18.50	0.00
03-01-2011	1000	36.00	3.10	7.80	18.80	16.00	84.00	18.00	18.80	0.00
03-01-2011	1100	44.00	2.90	8.90	19.30	16.60	85.00	18.80	19.30	0.00
03-01-2011	1200	36.00	3.70	9.10	19.60	16.70	83.00	19.20	19.60	0.00
03-01-2011	1300	41.00	4.10	10.30	19.80	16.60	82.00	19.60	20.00	0.00
03-01-2011	1400	49.00	4.30	8.90	19.50	16.50	83.00	19.40	19.90	0.00
03-01-2011	1500	53.00	3.30	8.90	19.30	17.10	87.00	18.90	19.50	0.20
03-01-2011	1600	55.00	3.70	9.10	19.40	17.10	86.00	19.10	19.60	0.20
03-01-2011	1700	45.00	4.10	9.70	19.50	16.90	85.00	19.20	19.60	0.20
03-01-2011	1800	44.00	3.30	9.70	19.60	17.10	86.00	19.40	19.80	0.20
03-01-2011	1900	32.00	3.30	9.30	19.60	17.10	85.00	19.40	19.70	0.20
03-01-2011	2000	25.00	3.70	8.40	19.30	17.10	87.00	19.20	19.70	0.20
03-01-2011	2100	28.00	3.10	8.00	19.40	16.80	85.00	19.10	19.50	0.00
03-01-2011	2200	24.00	3.10	7.20	19.60	16.80	84.00	19.30	19.60	0.00
03-01-2011	2300	29.00	2.70	6.20	19.60	17.20	86.00	19.40	19.80	0.00
										Acumulado: 1.8

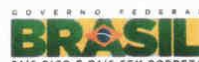
Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
04-01-2011	0000	20.00	4.50	7.60	19.20	17.40	90.00	19.10	19.70	0.60
04-01-2011	0100	20.00	3.70	8.40	19.10	17.20	89.00	18.90	19.30	0.20
04-01-2011	0200	28.00	3.90	8.20	19.00	17.40	91.00	19.00	19.40	0.00
04-01-2011	0300	24.00	3.50	8.20	19.20	17.30	89.00	18.90	19.30	0.40
04-01-2011	0400	35.00	3.90	8.40	19.20	17.40	89.00	19.10	19.40	0.00
04-01-2011	0500	30.00	3.70	7.40	18.80	17.40	91.00	18.50	19.20	1.00
04-01-2011	0600	23.00	3.10	8.00	18.70	17.30	92.00	18.60	18.90	0.00
04-01-2011	0700	42.00	3.50	8.90	18.80	17.40	92.00	18.60	18.90	0.60
04-01-2011	0800	31.00	4.30	8.00	19.00	17.50	91.00	18.70	19.10	0.80
04-01-2011	0900	37.00	2.90	8.00	18.90	17.50	92.00	18.80	19.00	0.60
04-01-2011	1000	35.00	3.70	8.20	18.80	17.30	91.00	18.70	19.00	0.60
04-01-2011	1100	48.00	3.30	8.90	18.90	17.30	90.00	18.70	19.00	0.20
04-01-2011	1200	59.00	2.30	8.90	19.30	17.50	90.00	18.90	19.30	0.00
04-01-2011	1300	61.00	2.70	7.20	19.50	17.60	89.00	19.20	19.50	0.00
04-01-2011	1400	55.00	2.30	7.20	20.00	18.10	89.00	19.50	20.00	0.00
04-01-2011	1500	43.00	3.50	8.60	20.00	18.00	88.00	19.50	20.30	1.00
04-01-2011	1600	48.00	3.70	9.50	20.30	18.40	89.00	19.80	20.90	1.20
04-01-2011	1700	32.00	4.10	9.50	20.40	18.30	88.00	19.90	21.00	1.00
04-01-2011	1800	47.00	3.70	8.60	19.80	18.30	91.00	19.80	20.50	0.60
04-01-2011	1900	41.00	2.50	9.10	20.10	18.00	88.00	19.80	20.20	0.20
04-01-2011	2000	36.00	2.10	5.40	19.70	18.30	92.00	19.50	20.10	1.80
04-01-2011	2100	38.00	2.90	7.20	19.60	18.30	92.00	19.50	20.00	0.20
04-01-2011	2200	26.00	4.90	8.90	19.90	18.00	89.00	19.60	20.00	0.00
04-01-2011	2300	27.00	3.50	9.30	20.00	18.20	89.00	19.80	20.10	0.00
										Acumulado: 11

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
05-01-2011	0000	31.00	4.30	9.50	20.10	18.30	89.00	19.80	20.20	0.20
05-01-2011	0100	45.00	4.10	9.30	19.60	18.00	90.00	19.60	20.20	0.00
05-01-2011	0200	36.00	5.10	11.30	19.80	18.20	90.00	19.50	19.90	1.20
05-01-2011	0300	39.00	5.40	11.50	20.00	18.30	90.00	19.70	20.10	0.40
05-01-2011	0400	44.00	5.20	12.20	19.80	17.70	88.00	19.80	20.10	0.20
05-01-2011	0500	39.00	4.50	11.70	19.30	18.20	93.00	19.20	20.20	2.60
05-01-2011	0600	35.00	3.90	9.50	19.20	17.60	91.00	19.10	19.60	2.40
05-01-2011	0700	53.00	4.30	12.10	18.90	17.70	93.00	18.80	19.30	8.80
05-01-2011	0800	46.00	2.90	9.50	19.20	17.80	92.00	18.60	19.30	3.40
05-01-2011	0900	65.00	2.30	8.40	18.90	18.00	95.00	18.80	19.30	3.00
05-01-2011	1000	57.00	3.10	8.40	18.90	18.00	94.00	18.90	19.30	1.60
05-01-2011	1100	50.00	2.90	7.80	19.00	17.90	94.00	18.90	19.20	1.40
05-01-2011	1200	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
05-01-2011	1300	62.00	3.10	7.40	19.00	17.70	92.00	18.80	19.00	0.40
05-01-2011	1400	53.00	3.70	8.70	19.80	17.90	89.00	18.90	19.80	0.40
05-01-2011	1500	49.00	3.30	9.30	20.50	18.00	86.00	19.80	20.50	0.00
05-01-2011	1600	56.00	2.90	8.20	19.80	18.00	89.00	19.80	20.60	0.00
05-01-2011	1700	64.00	2.50	7.60	19.70	18.00	90.00	19.50	20.00	0.00
05-01-2011	1800	49.00	2.70	8.40	20.70	18.50	87.00	19.60	20.70	0.00
05-01-2011	1900	34.00	2.50	6.60	20.50	17.90	85.00	20.50	20.90	0.00
05-01-2011	2000	53.00	2.30	7.40	20.20	18.00	87.00	20.20	20.50	0.00
05-01-2011	2100	48.00	2.10	5.10	20.20	18.00	87.00	20.10	20.40	0.00
05-01-2011	2200	28.00	2.70	7.00	19.80	18.10	90.00	19.80	20.50	0.00
05-01-2011	2300	14.00	3.70	6.00	20.00	17.90	88.00	19.70	20.00	0.00
										Acumulado: 26

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
06-01-2011	0000	33.00	3.10	7.80	19.80	18.00	89.00	19.70	20.20	0.00
06-01-2011	0100	28.00	2.90	7.80	19.40	17.90	91.00	19.40	19.90	0.00
06-01-2011	0200	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	0300	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	0400	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	0500	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	0600	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	0700	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	0800	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	0900	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	1000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	1100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	1200	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
06-01-2011	1300	33.00	2.50	5.20	20.50	18.80	90.00	19.60	21.10	0.40
06-01-2011	1400	1.00	2.30	5.60	21.40	18.70	85.00	20.50	21.40	0.20
06-01-2011	1500	21.00	2.90	5.60	21.50	18.70	84.00	20.20	22.30	0.20
06-01-2011	1600	358.00	2.30	5.60	21.50	18.90	85.00	20.40	21.60	0.20
06-01-2011	1700	11.00	1.90	4.70	21.20	18.60	85.00	21.10	21.70	0.00
06-01-2011	1800	10.00	3.70	6.80	20.90	18.00	83.00	20.50	21.30	0.20
06-01-2011	1900	13.00	3.10	6.40	21.50	17.80	80.00	20.40	21.50	0.00
06-01-2011	2000	15.00	1.90	5.20	20.30	17.10	82.00	20.30	22.40	0.00
06-01-2011	2100	3.00	2.70	4.70	19.80	17.10	85.00	19.80	20.80	0.00
06-01-2011	2200	1.00	2.30	4.70	19.20	17.00	87.00	18.90	20.00	0.00
06-01-2011	2300	2.00	2.90	5.20	19.60	16.40	82.00	19.20	19.80	0.00

Acumulado: 1.2

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
07-01-2011	0000	9.00	3.10	6.60	19.00	16.40	85.00	18.80	19.80	0.00
07-01-2011	0100	12.00	3.10	6.60	18.70	16.20	85.00	18.50	19.20	0.00
07-01-2011	0200	28.00	2.30	5.40	18.30	16.20	87.00	18.30	19.80	0.00
07-01-2011	0300	9.00	3.70	6.60	18.00	14.90	82.00	17.90	18.60	0.00
07-01-2011	0400	26.00	2.90	6.80	18.00	14.50	80.00	17.80	18.20	0.00
07-01-2011	0500	7.00	2.90	5.40	17.80	14.80	83.00	17.60	18.00	0.00
07-01-2011	0600	38.00	1.70	5.10	17.60	15.10	85.00	17.50	17.90	0.00
07-01-2011	0700	25.00	2.70	5.40	17.80	15.50	87.00	17.40	18.00	0.00
07-01-2011	0800	32.00	1.90	5.40	17.70	16.00	90.00	17.60	17.80	0.00
07-01-2011	0900	73.00	1.00	3.70	17.50	16.20	92.00	17.50	17.70	0.00
07-01-2011	1000	24.00	1.70	3.90	18.30	16.90	91.00	17.50	18.30	0.00
07-01-2011	1100	56.00	2.90	5.40	18.90	17.10	89.00	18.30	19.00	0.00
07-01-2011	1200	79.00	3.30	5.40	20.10	17.40	85.00	18.80	20.40	0.00
07-01-2011	1300	58.00	2.80	6.20	20.90	17.40	80.00	20.10	20.90	0.00
07-01-2011	1400	63.00	2.70	5.80	22.80	18.10	75.00	20.90	22.80	0.00
07-01-2011	1500	55.00	2.90	5.80	24.10	16.70	63.00	22.60	24.40	0.00
07-01-2011	1600	61.00	3.30	6.40	23.70	16.10	62.00	22.50	24.70	0.00
07-01-2011	1700	50.00	2.90	6.60	24.00	16.90	64.00	23.60	24.70	0.00
07-01-2011	1800	43.00	2.90	6.40	25.10	16.70	60.00	24.00	25.20	0.00
07-01-2011	1900	17.00	2.70	6.20	23.30	17.00	68.00	23.20	25.10	0.00
07-01-2011	2000	21.00	2.50	5.60	22.80	16.50	68.00	22.80	24.20	0.00
07-01-2011	2100	26.00	1.40	4.90	21.00	16.20	74.00	20.60	22.80	0.00
07-01-2011	2200	356.00	2.10	4.10	18.70	16.40	86.00	18.30	21.00	0.00
07-01-2011	2300	3.00	2.90	6.00	19.00	16.40	85.00	18.30	19.60	0.00

Acumulado: 0.0

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
08-01-2011	0000	4.00	2.30	5.00	19.00	16.90	87.00	18.60	19.50	0.00
08-01-2011	0100	9.00	2.70	4.90	19.20	17.00	87.00	18.60	19.40	0.00
08-01-2011	0200	6.00	2.50	5.10	19.20	16.90	87.00	19.10	19.50	0.00
08-01-2011	0300	7.00	2.10	4.70	18.70	16.60	87.00	18.70	19.30	0.00
08-01-2011	0400	357.00	3.30	5.20	18.40	15.60	83.00	18.30	18.90	0.00
08-01-2011	0500	8.00	2.50	5.20	17.70	15.30	86.00	17.30	18.60	0.00
08-01-2011	0600	3.00	2.10	4.90	17.70	15.50	87.00	17.30	18.00	0.00
08-01-2011	0700	34.00	1.20	3.90	17.10	15.70	91.00	16.80	17.70	0.00
08-01-2011	0800	11.00	1.60	2.90	17.40	16.00	92.00	17.10	17.50	0.00
08-01-2011	0900	51.00	1.20	2.90	17.90	16.60	92.00	17.40	17.90	0.00
08-01-2011	1000	65.00	1.70	4.10	19.60	16.90	84.00	17.90	19.60	0.00
08-01-2011	1100	71.00	2.90	5.80	20.80	15.70	73.00	19.60	21.10	0.00
08-01-2011	1200	62.00	3.30	8.80	21.50	15.60	69.00	20.80	22.40	0.00
08-01-2011	1300	52.00	2.50	7.40	22.70	15.50	64.00	21.30	23.30	0.00
08-01-2011	1400	36.00	3.30	7.40	24.00	14.90	57.00	22.10	24.30	0.00
08-01-2011	1500	63.00	3.10	7.80	24.50	15.80	58.00	23.40	24.80	0.00
08-01-2011	1600	30.00	3.10	7.40	24.90	13.80	50.00	23.90	25.40	0.00
08-01-2011	1700	56.00	3.90	8.00	25.00	12.40	45.00	24.70	25.50	0.00
08-01-2011	1800	17.00	3.50	8.00	25.30	10.20	39.00	24.60	25.60	0.00
08-01-2011	1900	55.00	2.90	6.80	25.00	11.60	43.00	24.80	25.90	0.00
08-01-2011	2000	32.00	2.50	5.60	23.90	13.40	52.00	23.80	25.00	0.00
08-01-2011	2100	3.00	1.90	5.20	21.10	15.40	70.00	21.10	23.90	0.00
08-01-2011	2200	21.00	1.40	3.10	19.30	15.40	78.00	18.40	21.10	0.00
08-01-2011	2300	280.00	0.40	2.10	16.60	15.30	92.00	16.40	19.30	0.00
										Acumulado: 0.0

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
09-01-2011	0000	58.00	1.00	1.90	16.00	15.10	95.00	15.60	16.60	0.00
09-01-2011	0100	248.00	0.40	2.10	15.20	14.80	96.00	15.00	16.10	0.00
09-01-2011	0200	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
09-01-2011	0300	50.00	0.80	1.90	14.90	14.40	97.00	14.70	15.30	0.00
09-01-2011	0400	43.00	1.40	2.30	14.80	14.40	97.00	14.10	15.00	0.00
09-01-2011	0500	73.00	0.60	2.50	14.30	13.90	97.00	14.20	14.80	0.00
09-01-2011	0600	22.00	1.70	2.90	15.20	14.90	98.00	14.10	15.20	0.00
09-01-2011	0700	19.00	1.40	3.10	16.20	15.80	97.00	15.00	16.20	0.00
09-01-2011	0800	60.00	1.00	2.30	17.00	16.40	96.00	16.00	17.00	0.00
09-01-2011	0900	65.00	1.40	3.50	18.10	17.30	95.00	16.90	18.10	0.00
09-01-2011	1000	77.00	2.70	5.40	19.00	17.70	92.00	18.10	19.00	0.00
09-01-2011	1100	76.00	3.90	7.40	20.90	17.00	79.00	18.80	20.90	0.00
09-01-2011	1200	65.00	3.70	7.60	21.60	16.40	72.00	20.80	22.50	0.00
09-01-2011	1300	76.00	3.90	7.40	23.70	17.10	66.00	21.40	23.70	0.00
09-01-2011	1400	78.00	4.30	8.70	23.60	16.60	65.00	22.40	24.90	0.00
09-01-2011	1500	70.00	4.30	8.90	24.20	16.20	61.00	22.40	24.40	0.00
09-01-2011	1600	59.00	3.50	7.80	25.30	16.40	58.00	23.70	25.50	0.00
09-01-2011	1700	63.00	3.10	7.00	25.30	15.10	53.00	24.20	25.50	0.00
09-01-2011	1800	62.00	3.50	7.40	25.40	14.70	51.00	24.90	25.60	0.00
09-01-2011	1900	79.00	2.30	6.20	25.50	14.70	51.00	25.00	25.70	0.00
09-01-2011	2000	50.00	1.90	5.20	24.10	15.00	57.00	24.10	25.50	0.00
09-01-2011	2100	360.00	1.70	4.70	20.50	16.20	76.00	20.40	24.40	0.00
09-01-2011	2200	346.00	1.60	3.50	18.70	16.10	85.00	18.60	20.50	0.00
09-01-2011	2300	337.00	1.00	3.50	16.70	15.20	91.00	16.70	19.10	0.00
										Acumulado: 0.0

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
10-01-2011	0000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10-01-2011	0100	17.00	1.00	3.30	15.00	13.90	93.00	15.00	16.70	0.00
10-01-2011	0200	54.00	0.80	2.90	15.10	14.20	94.00	14.90	16.30	0.00
10-01-2011	0300	358.00	1.90	2.90	14.90	14.10	94.00	14.40	15.50	0.00
10-01-2011	0400	2.00	1.90	3.10	14.70	14.00	96.00	14.70	15.60	0.00
10-01-2011	0500	36.00	2.10	3.30	16.20	15.80	98.00	14.50	16.20	0.00
10-01-2011	0600	360.00	1.60	3.30	15.40	14.90	97.00	14.90	16.20	0.00
10-01-2011	0700	343.00	2.10	3.90	16.80	16.10	96.00	15.10	17.20	0.20
10-01-2011	0800	37.00	1.70	3.90	16.00	15.20	95.00	15.70	17.30	0.00
10-01-2011	0900	12.00	2.30	3.50	17.90	16.40	91.00	15.70	18.10	0.00
10-01-2011	1000	84.00	3.70	6.80	20.60	16.30	76.00	17.90	20.60	0.00
10-01-2011	1100	70.00	3.90	8.40	22.40	16.30	68.00	20.60	22.40	0.00
10-01-2011	1200	62.00	4.30	8.40	23.60	16.50	65.00	22.30	23.60	0.00
10-01-2011	1300	68.00	4.50	8.40	24.70	16.40	60.00	23.40	24.70	0.00
10-01-2011	1400	69.00	4.10	8.40	25.90	17.00	58.00	24.40	25.90	0.00
10-01-2011	1500	15.00	2.50	7.80	26.90	15.80	51.00	24.90	27.10	0.00
10-01-2011	1600	14.00	3.10	8.00	27.00	15.30	49.00	26.50	27.70	0.00
10-01-2011	1700	344.00	2.90	7.00	27.30	15.20	48.00	25.90	27.80	0.00
10-01-2011	1800	280.00	1.70	7.20	27.90	13.90	42.00	27.00	28.80	0.00
10-01-2011	1900	142.00	1.60	5.40	27.50	15.30	47.00	26.90	28.20	0.00
10-01-2011	2000	182.00	1.90	6.40	22.80	18.10	75.00	22.80	27.50	0.00
10-01-2011	2100	200.00	2.10	5.10	21.80	18.60	82.00	21.80	22.80	0.00
10-01-2011	2200	209.00	1.40	8.20	20.30	18.80	91.00	19.90	21.90	0.80
10-01-2011	2300	22.00	1.00	2.70	19.70	18.90	95.00	19.50	20.30	0.20
										Acumulado: 1.2

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
11-01-2011	0000	92.00	1.60	2.90	20.00	18.90	93.00	19.60	20.10	0.20
11-01-2011	0100	1.00	1.40	4.50	19.10	18.20	95.00	18.90	20.00	0.00
11-01-2011	0200	45.00	4.10	8.00	17.50	16.70	95.00	17.40	19.60	20.20
11-01-2011	0300	132.00	1.70	8.60	17.80	17.00	95.00	17.50	17.90	4.80
11-01-2011	0400	82.00	1.60	4.30	18.20	17.00	93.00	17.80	18.30	3.60
11-01-2011	0500	350.00	1.00	4.30	17.80	16.90	94.00	17.80	18.20	2.00
11-01-2011	0600	9.00	1.20	5.80	18.00	17.20	95.00	17.70	18.10	3.20
11-01-2011	0700	9.00	1.20	4.70	17.80	16.70	94.00	17.80	18.10	2.80
11-01-2011	0800	11.00	2.30	4.90	17.80	17.10	96.00	17.40	17.80	6.80
11-01-2011	0900	291.00	2.30	5.80	18.00	17.40	96.00	17.80	18.20	11.60
11-01-2011	1000	44.00	1.90	5.80	18.10	17.50	97.00	18.00	18.20	23.20
11-01-2011	1100	87.00	1.40	4.90	18.20	17.70	97.00	18.10	18.20	12.20
11-01-2011	1200	72.00	2.50	5.40	18.20	17.60	96.00	18.20	18.40	6.40
11-01-2011	1300	71.00	3.90	7.20	18.20	17.60	96.00	18.10	18.20	12.20
11-01-2011	1400	52.00	4.30	9.70	18.70	17.80	94.00	18.20	18.90	3.80
11-01-2011	1500	62.00	4.70	8.70	19.20	17.70	91.00	18.70	19.30	1.20
11-01-2011	1600	38.00	5.40	13.40	21.10	17.60	81.00	19.20	21.20	0.00
11-01-2011	1700	56.00	4.30	11.90	20.80	17.90	84.00	20.70	21.40	0.00
11-01-2011	1800	56.00	5.10	9.70	22.10	18.60	80.00	20.50	22.10	0.00
11-01-2011	1900	57.00	4.90	9.30	21.90	18.20	80.00	21.80	23.00	0.00
11-01-2011	2000	59.00	4.30	8.60	21.20	18.50	85.00	21.20	22.20	0.00
11-01-2011	2100	73.00	2.30	7.40	19.50	18.60	95.00	19.50	21.30	2.60
11-01-2011	2200	60.00	2.30	5.20	19.80	18.70	94.00	19.50	19.80	0.20
11-01-2011	2300	54.00	2.10	4.90	19.80	18.80	94.00	19.60	19.80	0.20
										Acumulado: 117.2

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
12-01-2011	0000	75.00	1.40	4.10	19.50	18.80	96.00	19.40	19.90	9.60
12-01-2011	0100	266.00	0.60	5.60	19.40	18.80	96.00	19.40	19.60	8.60
12-01-2011	0200	42.00	1.70	5.60	19.90	19.20	96.00	19.40	19.90	8.20
12-01-2011	0300	73.00	2.70	6.20	19.90	18.90	94.00	19.80	20.10	3.40
12-01-2011	0400	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
12-01-2011	0500	358.00	4.90	9.70	16.30	16.00	98.00	16.20	18.00	62.80
12-01-2011	0600	58.00	2.10	N.D.	16.90	16.60	98.00	16.30	16.90	18.20
12-01-2011	0700	19.00	2.50	6.20	18.20	17.80	97.00	16.90	18.30	9.80
12-01-2011	0800	77.00	4.90	10.90	17.90	17.30	97.00	17.60	18.20	6.80
12-01-2011	0900	81.00	3.10	8.90	18.50	17.60	95.00	17.90	18.50	5.00
12-01-2011	1000	73.00	4.90	8.90	19.40	18.00	92.00	18.40	19.40	0.20
12-01-2011	1100	50.00	5.20	10.90	20.70	17.90	94.00	19.40	20.80	0.00
12-01-2011	1200	67.00	4.70	13.20	21.40	17.80	80.00	20.70	21.70	0.00
12-01-2011	1300	77.00	4.10	11.50	21.40	18.00	81.00	21.10	21.40	0.00
12-01-2011	1400	83.00	4.70	10.30	21.30	18.00	81.00	21.30	21.60	0.00
12-01-2011	1500	63.00	3.90	8.70	22.10	18.60	81.00	21.20	22.30	0.00
12-01-2011	1600	68.00	3.10	8.60	22.50	18.70	79.00	21.40	22.50	0.00
12-01-2011	1700	86.00	3.30	6.80	21.90	18.60	82.00	21.30	22.70	0.00
12-01-2011	1800	87.00	3.90	8.60	22.70	19.00	80.00	21.80	22.70	0.00
12-01-2011	1900	82.00	3.30	7.60	24.40	19.60	75.00	22.50	24.40	0.00
12-01-2011	2000	78.00	3.50	7.00	23.60	19.30	77.00	23.60	24.50	0.00
12-01-2011	2100	68.00	2.30	6.80	22.60	19.20	81.00	22.60	23.60	0.00
12-01-2011	2200	33.00	1.70	4.50	21.80	19.20	85.00	21.60	22.60	0.00
12-01-2011	2300	16.00	2.30	3.70	21.30	19.20	88.00	20.80	21.80	0.00

Acumulado: 132.6

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
13-01-2011	0000	55.00	1.90	4.10	20.60	19.20	91.00	20.30	21.50	0.00
13-01-2011	0100	34.00	1.20	4.50	20.70	19.30	91.00	20.50	20.80	0.00
13-01-2011	0200	48.00	2.10	4.70	21.10	19.10	88.00	20.50	21.80	0.00
13-01-2011	0300	63.00	1.60	3.70	20.50	19.30	93.00	20.50	21.10	1.20
13-01-2011	0400	44.00	3.10	8.60	20.40	19.50	94.00	20.40	21.00	6.60
13-01-2011	0500	74.00	3.10	8.20	20.50	19.20	93.00	20.30	20.60	5.80
13-01-2011	0600	67.00	4.10	8.90	20.40	18.80	90.00	20.40	20.70	0.00
13-01-2011	0700	53.00	2.90	9.10	20.50	17.90	85.00	19.90	20.60	2.80
13-01-2011	0800	39.00	1.00	11.50	19.60	18.00	91.00	19.30	20.70	0.00
13-01-2011	0900	85.00	2.50	5.40	19.90	17.80	88.00	19.00	20.00	0.00
13-01-2011	1000	89.00	3.90	7.60	20.00	18.20	90.00	19.90	20.20	0.00
13-01-2011	1100	70.00	3.90	8.60	20.40	18.60	89.00	19.80	20.40	0.40
13-01-2011	1200	61.00	3.30	9.70	21.10	18.70	86.00	20.40	21.20	0.00
13-01-2011	1300	65.00	3.90	9.90	20.70	18.50	87.00	20.70	21.40	0.00
13-01-2011	1400	61.00	4.90	10.10	20.80	18.30	86.00	20.70	21.10	0.00
13-01-2011	1500	62.00	5.40	11.30	21.40	18.10	82.00	20.60	21.40	0.00
13-01-2011	1600	75.00	4.30	11.10	21.60	18.40	82.00	20.80	21.70	0.20
13-01-2011	1700	75.00	3.90	9.50	21.20	17.60	80.00	21.10	21.60	0.00
13-01-2011	1800	93.00	4.10	8.40	20.60	18.50	88.00	20.60	21.30	0.20
13-01-2011	1900	75.00	3.90	8.70	19.90	18.50	92.00	19.70	20.60	1.40
13-01-2011	2000	72.00	3.10	8.70	20.10	18.60	91.00	19.80	20.30	0.20
13-01-2011	2100	68.00	3.50	8.00	19.80	18.30	91.00	19.70	20.10	0.20
13-01-2011	2200	68.00	3.30	6.60	19.60	18.10	91.00	19.50	19.80	0.00
13-01-2011	2300	80.00	2.90	7.20	19.60	18.00	90.00	19.40	19.70	0.20

Acumulado: 19.2

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação



Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
14-01-2011	0000	13.00	2.50	5.40	19.50	17.90	90.00	19.10	19.60	0.00
14-01-2011	0100	26.00	1.90	4.50	19.10	17.70	91.00	19.10	19.50	0.00
14-01-2011	0200	77.00	2.90	6.40	19.60	17.90	90.00	19.10	19.80	0.00
14-01-2011	0300	77.00	1.90	5.60	19.30	18.10	93.00	19.20	19.60	0.00
14-01-2011	0400	77.00	1.60	4.30	19.50	18.20	92.00	19.20	19.60	0.00
14-01-2011	0500	65.00	2.70	5.80	19.50	18.40	94.00	19.40	19.60	0.20
14-01-2011	0600	56.00	4.30	8.70	19.70	18.40	92.00	19.50	19.70	0.80
14-01-2011	0700	59.00	4.50	10.30	19.70	18.30	92.00	19.60	19.90	1.60
14-01-2011	0800	54.00	4.30	10.30	19.70	18.30	91.00	19.50	19.80	1.20
14-01-2011	0900	59.00	3.70	8.20	19.70	18.30	92.00	19.50	19.80	0.20
14-01-2011	1000	65.00	2.90	6.40	19.50	18.60	95.00	19.30	19.70	1.80
14-01-2011	1100	71.00	3.90	8.60	19.60	18.50	93.00	19.50	20.10	0.20
14-01-2011	1200	75.00	3.10	7.40	20.40	19.20	93.00	19.60	20.40	1.60
14-01-2011	1300	65.00	2.50	7.40	20.80	19.00	89.00	20.20	20.80	1.60
14-01-2011	1400	63.00	2.30	5.40	21.10	19.40	90.00	20.60	21.40	1.20
14-01-2011	1500	89.00	0.80	6.60	23.10	20.40	85.00	21.10	23.10	0.20
14-01-2011	1600	104.00	1.70	3.30	22.60	19.50	83.00	22.60	23.20	0.00
14-01-2011	1700	173.00	1.60	4.30	21.80	19.90	89.00	21.60	22.70	0.20
14-01-2011	1800	196.00	3.30	7.20	21.00	19.10	89.00	20.90	21.90	1.40
14-01-2011	1900	310.00	1.00	6.60	19.00	18.30	95.00	19.00	21.00	13.00
14-01-2011	2000	228.00	1.60	2.70	19.60	18.70	95.00	18.90	19.60	1.80
14-01-2011	2100	205.00	2.70	6.60	20.20	18.70	91.00	19.60	20.30	0.00
14-01-2011	2200	236.00	1.40	4.90	19.40	18.00	91.00	19.40	20.20	0.00
14-01-2011	2300	244.00	1.40	4.10	19.30	18.00	92.00	19.20	19.70	0.00

Acumulado: 27.0

Data	Hora	d	f	gu	T	Td	UR	Tn	Tx	R
15-01-2011	0000	239.00	1.70	3.50	19.40	18.20	93.00	19.00	19.60	0.20
15-01-2011	0100	268.00	0.80	2.90	18.70	17.90	95.00	18.60	19.50	0.80
15-01-2011	0200	302.00	1.60	3.10	18.00	16.80	93.00	18.00	18.70	0.20
15-01-2011	0300	313.00	1.60	2.90	17.40	16.50	94.00	17.30	18.00	0.00
15-01-2011	0400	324.00	1.20	2.90	17.30	16.80	97.00	17.00	17.60	0.00
15-01-2011	0500	348.00	0.80	1.70	16.90	16.50	97.00	16.60	17.30	0.00
15-01-2011	0600	285.00	0.40	2.10	16.90	16.50	98.00	16.60	17.00	0.00
15-01-2011	0700	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
15-01-2011	0800	292.00	0.40	2.10	16.70	16.40	98.00	16.60	16.90	0.00
15-01-2011	0900	224.00	1.40	2.30	17.00	16.60	98.00	16.60	17.00	0.00
15-01-2011	1000	320.00	0.40	2.30	18.00	17.60	98.00	17.00	18.00	0.00
15-01-2011	1100	99.00	0.60	1.70	21.40	20.00	92.00	17.90	21.40	0.00
15-01-2011	1200	74.00	1.70	2.90	22.80	19.60	82.00	20.80	23.20	0.00
15-01-2011	1300	75.00	1.70	3.90	22.70	18.90	79.00	22.50	23.10	0.00
15-01-2011	1400	227.00	3.10	5.40	21.40	19.10	87.00	21.40	23.50	0.60
15-01-2011	1500	215.00	3.50	6.80	20.40	18.60	89.00	20.10	21.40	1.20
15-01-2011	1600	240.00	1.70	5.80	19.90	18.60	92.00	19.90	20.60	1.80
15-01-2011	1700	206.00	1.20	3.90	20.70	19.10	91.00	19.80	20.70	1.00
15-01-2011	1800	214.00	3.50	5.40	20.50	18.90	90.00	20.40	21.10	0.40
15-01-2011	1900	249.00	3.10	6.40	20.20	18.70	91.00	20.20	21.10	0.20
15-01-2011	2000	234.00	2.30	5.40	19.50	18.50	94.00	19.50	20.20	2.00
15-01-2011	2100	253.00	1.70	5.40	19.00	18.20	95.00	18.80	19.50	15.80
15-01-2011	2200	321.00	0.80	5.20	18.60	17.90	96.00	18.50	19.30	4.60
15-01-2011	2300	50.00	1.00	2.10	18.70	18.10	96.00	18.50	18.70	1.40

Acumulado: 30.2

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000

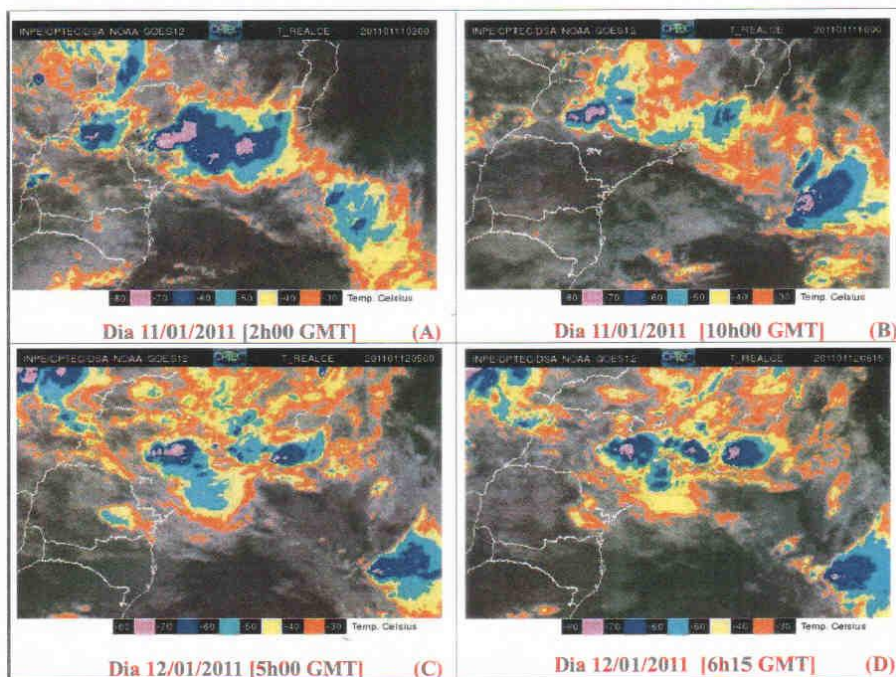


Figura 1 – Imagens do canal infravermelho do satélite Goes-12 IR, com realce de cores mostrando a temperatura do topo das nuvens, em graus Celsius, enfatizando os quatro (4) principais horários, nos quais ocorreram os picos de chuva, dia 11/01/2011 [2h00 (A) e 10h00 (B)] e dia 12/01/2011 [5h00 (C) e 6h15 (D)].

**Fonte: DSA/CPTC/INPE.**

Com base nas informações apresentadas anteriormente, certifico para os devidos fins que os valores totais de precipitação acumulada ao longo de cada um dos dias, na plataforma de Coleta de Dados – PCD nº 86889, localizada na cidade de Nova Friburgo/RJ, do ponto de vista hidrometeorológico, apresentaram a seguinte classificação:

- Para o período de 01 a 10 de Janeiro de 2011; chuvas com intensidade variando de chuveiro a precipitação moderada;
- Para o período de 11 a 12 de Janeiro de 2011; chuvas extremas; e

Sede: Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos (SP) Brasil tel +55-12-32086000



- Para o período de 13 a 15 de Janeiro de 2011; chuvas com intensidade variando de fraca a moderada.

Lembrando que, em meteorologia, o total acumulado diário de chuva é registrado durante 24 horas, sendo, das 12h00 horas [GMT] do dia anterior às 12h00 [GMT] do dia em questão. Porém, neste caso usou-se os valores de precipitação ao longo do próprio dia, uma vez que, o intuito era mostrar os horários com maior volume de chuva.

Do exposto, a elaboração deste documento técnico teve como base a interpretação de dados [figuras e tabelas] disponíveis no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), juntamente com informações de instituições parceiras.

Atenciosamente,



**Meteorologista: Rildo Gonçalves de Moura**

**CREA: 10.215 – visto CREA-SP sob o nº 5063565917**