



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS NO BRASIL E SUAS RELAÇÕES COM
ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS**

VERÔNICA MOREIRA RAMOS

Brasília - DF
Agosto/2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS NO BRASIL E SUAS RELAÇÕES COM
ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS**

VERÔNICA MOREIRA RAMOS

Orientador: Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães

Tese de Doutorado

Brasília - DF
Agosto/2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS NO BRASIL E SUAS RELAÇÕES COM ASPECTOS
SOCIOECONÔMICOS**

VERÔNICA MOREIRA RAMOS

Tese de Doutorado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, opção Acadêmica.

Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães
Universidade de Brasília - Departamento de Geografia
(Orientador)

Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos
Universidade Federal do Paraná - Departamento de Geografia
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Junior
Universidade de Brasília - Departamento de Geografia
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes
Universidade de Brasília - Departamento de Geografia
(Examinador Interno)

Brasília – DF, Agosto/2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

RAMOS, VERÔNICA MOREIRA

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS NO BRASIL E SUAS RELAÇÕES COM ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS. *XXIV* 156p (UnB/IH/GEA, Doutorado, Gestão Ambiental e Territorial, 2017).

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Instituto de Humanas, Departamento de Geografia.

1. Escorregamentos, 2. Modelagem Matemática, 3. SHALSTAB, 4. Aspectos Socioeconômicos

I. UnB/IH/GEA

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Verônica Moreira Ramos

Brasília, Agosto/2017

Dedico este trabalho às vítimas dos movimentos de massa que ocorrem anualmente no Brasil, em especial àquelas atingidas pelos escorregamentos que ocorreram na região serrana do Rio de Janeiro, no ano de 2011. À defesa civil e ao corpo de bombeiros que incansavelmente trabalharam para minimizar a perda e a dor dessas vítimas.

AGRADECIMENTOS

Fazer uma tese não é uma tarefa simples, não se resume a escolher um tema, definir objetivos, metodologias, fazer leituras e chegar a resultados. Fazer uma tese exige sim, bastante dedicação, disciplina, concentração, sacrifícios, isolamentos. Passa-se por inúmeras fases: a do medo, dos questionamentos, da tristeza, angústia, da decepção, mas também de coragem, de luta, satisfação, de muito aprendizado e de muitas alegrias. É um processo que, apesar de individualista, está longe de ser solitário. Quem trilha o caminho de um doutorado sabe que, do início ao fim, precisará do apoio e compreensão de seus familiares e amigos. A essas pessoas quero, neste momento, dedicar algumas palavras de carinho e de agradecimento. Sei que, sem algumas delas, esta tese não teria se tornado uma realidade!

Com muito amor e saudade agradeço aos meus pais, João e Adusinda (em memória). Nossos pais, nossa segurança, fortaleza, proteção, amor..., queremos sempre por perto! Mas, o momento de partir chega e temos que nos separar...! Ficará para sempre os exemplos de vida, de honestidade, de força e determinação, o carinho recebido. Obrigada por toda dedicação, proteção, ensinamentos e amor. Esta conquista é nossa!

Ao meu orientador, professor Renato Fontes Guimarães, eu acredito não existir palavras no mundo que consigam expressar a minha gratidão e admiração por ele. Tive a oportunidade e o privilégio de ser aluna, de conviver e conhecer o seu trabalho como pesquisador no LSIE. Mas, minha maior felicidade foi tê-lo na condição de orientador (por duas vezes!), função que deve ter exigido dele muita paciência e compreensão (reconheço!). A você Renato, todo o meu carinho, respeito, reconhecimento e gratidão! Você é, realmente, uma pessoa incrível e especial. Espero e desejo que nossa parceria não termine aqui e que você possa continuar perpetuando seu excelente trabalho por muitos anos. Muito, muito, muito, muito obrigada!

Aos meus familiares pelo amor, carinho, compreensão e dedicação sem fim. Agradeço, especialmente, aos meus irmãos Santana, Anita, Dudu, Daniel, Maristela, Moreira e aos meus lindos e amados sobrinhos, Núbia Regina, Laíse, Diogo, Kelry Ellis, Jaqueline, Raquel e Danilo, por me apoiarem e, de uma forma ou de outra, me incentivarem sempre.

Ao Fernando, agradeço por tudo! Mas, principalmente, por todo o seu carinho e paciência. Muito obrigada por me trazer paz nos meus vários momentos de desespero e por ter me dado

forças quando as minhas já tinham se perdido. Se não fosse pelo seu encorajamento e apoio, eu não teria conseguido!

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade de Brasília, a todos os professores que contribuíram para o meu aprendizado e aos funcionários da Secretaria de Pós-graduação, por me atenderem sempre de forma tão atenciosa.

Aos professores Roberto Gomes e Osmar Abílio, pela ajuda, discussões, carinho, apoio e incentivos dados ao longo desses anos. A você Osmar, eu agradeço por toda sua dedicação ao Programa de Pós-graduação, por sempre está disposto a ajudar todos os alunos e, especialmente, pela sua alegria, você nos faz acreditar, que no final tudo dará certo.

Aos amigos que fiz no LSIE, em especial a Miriam, ao Níckolas, Cristiane, Nathalia, Anesmar, Saika, Douglas, Sandro e ao Marcos, compartilhamos do mesmo desespero! A todos vocês, obrigada pelo carinho e compreensão nos momentos difíceis, pelas valiosas contribuições e, principalmente, pela amizade e pelas horas de descontração e de alegrias, necessárias e indispensáveis, durante o desenvolvimento deste trabalho. Ao Wátila, obrigada pelo carinho, interesse e colaboração ao longo desses anos. Ao Jorge, que gentilmente cedeu às fotos de Nova Friburgo, obrigada. Vou levar vocês no meu coração por toda a minha vida.

Ao IBAMA pelos cinco meses de liberação, em especial à Mariana Graciosa e à Fabíola que muito contribuíram para que essa liberação se tornasse uma realidade. Agradeço também pelas palavras de carinho, compreensão e amizade demonstrada ao longo desses anos.

Agradeço a todos os colegas e amigos da COPAH. Imensamente à Andrea, Bárbara, Gabriel, Guilherme, Fernanda, Janaina, Liana, Nelson e ao Thiago, pelo apoio e carinho nos momentos em que precisei. Agradeço especialmente à Virgínia e à Renata pelas palavras de incentivo, por estarem sempre disposta a me ajudar, ouvir minhas angústias, enfim, pelos gestos de amizade sincera e carinho. Obrigada por me incentivarem a chegar ao final desta jornada!

À Flávia, Ana Portugal, Juliana Baretta, Marianinha e Nájla, amigas que fiz no IBAMA e que vou levar para sempre no meu coração. Obrigada pela gentileza, carinho e amizade de vocês.

À Jurema Ribeiro, pela amizade, carinho e por sempre ter me recebido tão bem em sua casa, mesmo em momentos difíceis.

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e torceram por mim, que me deram força para continuar, meu eterno agradecimento.

*"Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim
decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar..."*

Cora Carolina

RESUMO

Os movimentos de massa, em especial os escorregamentos rasos, se constituem em uns dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, estando diretamente associados à topografia, entre outros fatores. O modelo SHALSTAB, o qual combina um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encostas, foi utilizado com o intuito de determinar as áreas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos rasos em todo o território brasileiro. Objetivou-se avaliar a relação entre a ocorrência desses eventos e os aspectos socioeconômicos, sobretudo para aqueles setores urbanos identificados, a partir de estatística zonal, com as maiores áreas de susceptibilidade. Definir, com base na análise de cicatrizes e de precipitações, o dia em que ocorreu cada escorregamento mapeado na região serrana do Rio de Janeiro, para o período de janeiro de 2011. Além disso, realizar análise de escalas de mapeamentos. Entre outros procedimentos metodológicos, foram realizados: (i) composição e análise dos dados de entrada do modelo SHALSTAB, tanto para o Brasil (DEM/SRTM), quanto para a região serrana do Rio de Janeiro (MDT de detalhe); (ii) análises estatísticas (a partir do uso da função *Zonal Statistics do ArcMap*); (iii) mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos, na região serrana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011; (iv) elaboração e análise de mapas de precipitações; (v) levantamento e análises das características populacionais e de variáveis referentes à infraestrutura básica, de setores urbanos e/ou municípios identificados com o maior quantitativo de áreas de susceptibilidade aos escorregamentos. Os resultados obtidos indicaram que o estado do Rio de Janeiro é o que, proporcionalmente, concentra os maiores quantitativos de áreas urbanas com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, com destaque para os municípios de Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo e Rio de Janeiro. Para esses municípios, constatou-se que, de um modo geral, os domicílios mais diretamente afetados, ou seja, que estão localizados em setores urbanos com maior susceptibilidade tem menos acesso aos serviços básicos de infraestruturas, como: coleta de lixo direta e esgotamento sanitário, além de menor rendimento; quando comparado com domicílios que estão localizados em setores que não apresentam susceptibilidade à ocorrência desse tipo de evento. Foi observada a forte influência da precipitação na detonação dos escorregamentos ocorridos, na região serrana do Rio de Janeiro, nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Pôde-se inferir que a maioria deles ocorreu no dia 12 de janeiro, quando a precipitação foi mais intensa. Por fim, foi possível verificar que a escala é um fator preponderante para este tipo de mapeamento, as áreas de susceptibilidade a escorregamentos obtidas a partir do uso do MDT de detalhe foram melhor delimitadas quando comparadas com aquelas obtidas a partir do MDE/SRTM.

ABSTRACT

Mass movements, especially shallow landslides, are one of the most recurrent natural disasters in Brazil, they are directly associated to topography, among other factors. The SHALSTAB model, which combines a hydrological model with a slope stability model, was used in order to determine the areas susceptible to the occurrence of shallow landslides throughout the Brazilian territory. The objective was to evaluate the relationship between the occurrence of these events and the socioeconomic aspects, especially for those urban sectors identified, based on zonal statistics, with the highest areas of susceptibility; define, based on the analysis of scars and precipitations, the day on which each sliding occurred in the mountainous region of Rio de Janeiro, for the period of January 2011. In addition, perform analysis of scales of mappings. The methodological procedures were: (i) composition and analysis of the SHALSTAB model input data, both for Brazil (DEM/SRTM) and for the mountainous region of Rio de Janeiro (detailed DTM); (ii) statistical analysis (from the use of the Zonal Statistics function of ArcMap); (iii) mapping of the scars of the landslides that occurred in the mountain region of Rio de Janeiro, in January 2011; (iv) preparation and analysis of precipitation maps; (v) survey and analysis of the population and variable characteristics related to the basic infrastructure of urban sectors and/or municipalities identified with the highest number of areas susceptible to landslides. The results indicate that the state of Rio de Janeiro is the one that, proportionally, concentrates the highest numbers of urban areas with susceptibility to landslides, especially in the cities of Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo and Rio de Janeiro. For these municipalities, it was found that, in general, the households most directly affected, that are located in urban areas with greater susceptibility, have less access to basic infrastructure services, such as: direct garbage collection and sanitary sewage, in addition to lower yield; when compared to households that are located in sectors that are not susceptible to the occurrence of this type of event. It was observed the strong influence of the precipitation in the detonation of the landslides occurred, in the mountain region of Rio de Janeiro, on January 11 and 12, 2011. It was possible to infer that most of them occurred on January 12, when precipitation was more intense. Finally, it was possible to verify that the scale is a preponderant factor for this type of mapping; the areas of susceptibility to landslides obtained from the use of the detail DTM were better delimited when compared to those obtained from the DEM/SRTM.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE TABELAS E QUADROS	xxi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xxiv
CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO GERAL	1
1.1- INTRODUÇÃO	1
1.2 – OBJETIVOS.....	5
1.2.1 - Objetivos gerais.....	5
1.2.2 - Objetivos específicos.....	5
1.3 - ORGANIZAÇÃO DA TESE	6
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA: TIPOLOGIAS E FATORES CONDICIONANTES.....	9
2.2- PREVISÕES DE ÁREAS DE INSTABILIDADE NAS ENCOSTAS	15
2.2.1 - Modelo de estabilidade de encosta.....	16
2.2.2 - Modelo hidrológico	18
2.2.3 – Modelo SHALSTAB	22
CAPÍTULO 3 – APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SRTM PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS NO BRASIL.....	23
3. 1 – BRASIL: CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DOS ESCORREGAMENTOS.....	26
3.2 - METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO BRASIL.....	32
3.2.1 – Aquisição e processamento do modelo digital de elevação (SRTM).....	33
3.2.2 - Obtenção dos mapas de área de contribuição e declividade.	34

3.2.3 – Definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos, a partir do Modelo SHALSTAB.	38
3.2.4 – Definição e quantificação das áreas urbanas do Brasil que apresentam susceptibilidade a escorregamentos rasos.	38
3. 3. ESCORREGAMENTOS NO BRASIL: RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
3.3.1. Classes de susceptibilidade a escorregamentos rasos, definidos para o território brasileiro.	39
3.3.2. Áreas urbanas do Brasil identificadas como suscetíveis a escorregamentos rasos	42
CAPÍTULO 4 - LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE INDICADORES SOCIOECONÔMICOS DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO QUE APRESENTARAM OS MAIORES QUANTITATIVOS DE ÁREAS URBANAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS.....	53
4. 1 – MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE INSTABILIDADE	55
4.2 – ANÁLISE DE INDICADORES SOCIOECONÔMICOS: RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.2.1 - Petrópolis.....	56
4.2.2 - Teresópolis	68
4.2.3 – Nova Friburgo	79
4.2.4 - Rio de Janeiro.....	88
4.2.5 – Análise da relação entre a susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos e as variáveis renda, esgotamento sanitário e de coleta de lixo.....	101
CAPÍTULO 5 – EMPREGO DO MODELO SHALSTAB, A PARTIR DO USO DE UM MODELO DIGITAL DE TERRENO DE DETALHE, PARA DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE INSTABILIDADES NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO.	104
5.1 - ÁREA DE ESTUDO.....	105
5.2 - METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE AOS ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO.....	113
5.2.1 - Aquisição e tratamento dos dados pluviométricos da área de estudo	113
5.2.2 - Mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em janeiro de 2011	113
5.2.3 - Confecção do modelo digital de terreno – MDT.....	117

5.2.4 – Definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos para a região serrana do Rio de Janeiro e aplicação de estatística zonal, considerando as cicatrizes mapeadas e os dados da precipitação ocorrida nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011.....	121
5.2.5 – Análise das escalas de mapeamentos: áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas a partir do MDE/SRTM e do MDT de detalhe.	122
5.3 – ESCORREGAMENTOS DA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO: RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	123
5.3.1 – Análise das escalas de mapeamentos: áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas a partir do MDE/SRTM e do MDT de detalhe.	123
5.3.2 – Análise da influência espaço temporal da precipitação no desencadeamento dos escorregamentos a partir das de instabilidade do modelo.	137
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 - Fluxograma de estruturação da tese.....	8
Figura 2.1- Fotos ilustrativas de escorregamentos e corridas de massa ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro em 2010 (Foto A) e em 2011 (Foto B)..	11
Figura 2.2 - Imagem da região serrana do Rio de Janeiro, com destaque para os municípios de Petrópolis, Nova Friburgo e Teresópolis. As fotos A, B e C mostram as cicatrizes dos escorregamentos de terra ocorridos nos respectivos municípios, em janeiro de 2011.....	14
Figura 2. 3 - Representação hipotética de um talude infinito.....	17
Figura 2. 4 - Forças atuantes em uma encosta, onde θ é a declividade, P é o peso do material, z é a espessura do solo, h é a altura da coluna d'água no subsolo e μ é a poro-pressão..	18
Figura 2. 5 - Esquema com os parâmetros do modelo hidrológico desenvolvido por O'Loughlin (1996).....	20
Figura 3.1 - Danos e prejuízos materiais causados por escorregamentos durante chuvas intensas. Rodovia interditada em Ouro Preto, MG (A); cicatrizes e áreas atingidas em Xerém, Duque de Caxias, RJ (B), Teresópolis, RJ (C); Blumenau, SC (D) Nova Friburgo, RJ (E) e Salvador, BA (F)..	24
Figura 3.2 - Distribuição por região do número de ocorrência de desastres provocados por escorregamentos ocorridos no Brasil no período de 1990 a 2010.....	25
Figura 3.3 - Unidades Federativas do Brasil.	26
Figura 3.4- Escorregamentos ocorridos em 2008 Blumenau/SC (A) e Morro do Baú-Ilhota/SC (B)..	28
Figura 3. 5- Prejuízos decorrentes de escorregamentos de terra ocorridos em Santo André/SP, janeiro de 2010 (A) e em Petrópolis/RJ, janeiro de 2011 (B)..	29
Figura 3. 6- Ocorrência mensal de movimento de massa por região.	30
Figura 3.7 - Modelo Digital de Elevação do Brasil - SRTM.....	36
Figura 3.8 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos rasos no Brasil	39
Figura 3.9 - Estados brasileiros com maior susceptibilidade a ocorrência de escorregamento.	41
Figura 3.10 - Caso hipotético mostrando os pixels referentes aos setores urbanos em azul (Matriz A) são sobrepostas na matriz B, sendo identificado o menor valor (maior instabilidade), que determinará o valor de instabilidade para cada cicatriz (Matriz C).	42

Figura 3. 11 – Classes de estabilidades definidas para o total de áreas urbanizadas no Brasil, obtidas a partir da estatística zonal mínima.....	42
Figura 3.12 – Porcentagem de áreas urbanizadas susceptíveis a escorregamentos definidas, para cada região do Brasil, com base na estatística zonal mínima.....	43
Figura 3.13 - Estados brasileiros com as manchas urbanas definidas, pela estatística zonal mínima, como as mais susceptíveis aos escorregamentos rasos.	44
Figura 3. 14 – Conjunto de fotos mostrando a ocupação irregular, em encostas íngremes (A, B, C, D, E e F), além de cicatrizes de escorregamentos ocorridos na área (A, B, C, E e F)....	45
Figura 3.15 – Estimativa de mortes causadas por eventos de escorregamentos de terra no Brasil, ao longo das últimas décadas.	46
Figura 3.16 – Quantitativo de áreas urbanizadas susceptíveis a escorregamentos definidas, para cada estado do Brasil, com base na estatística zonal mínima.....	47
Figura 3. 17 - Municípios do Sudeste identificados como susceptíveis aos escorregamentos rasos, com suas respectivas classes de susceptibilidade.....	48
Figura 3.18 – Destaque para as áreas urbanas do Estado de São Paulo com maior susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.	49
Figura 3.19 - Destaque para as áreas urbanas do Estado do Rio de Janeiro com maior susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.	50
Figura 3. 20 - Municípios da região Sul identificados como susceptíveis aos escorregamentos rasos, com suas respectivas classes de susceptibilidade.....	52
Figura 4.1- Domicílios particulares ocupados existentes em aglomerados subnormais, por classes de tamanho da população dos municípios, segundo as Regiões Metropolitanas.	54
Figura 4.2 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos do município de Petrópolis/RJ, obtidas a partir do modelo SHALSTAB.	57
Figura 4. 3 – Evolução do IDHM do município de Petrópolis/RJ, do Rio de Janeiro e do Brasil, no período de 1991 a 2010.....	58
Figura 4.4 - Município de Petrópolis/RJ e seus respectivos distritos e setores censitários.....	59
Figura 4.5 - Distribuição dos domicílios pelos setores censitários urbanos de Petrópolis/RJ..	60
Figura 4. 6 - Porcentagem de domicílios, por distritos urbanos.....	60
Figura 4.7 - População urbana de Petrópolis/RJ, residente em domicílio particular permanente.....	61

Figura 4.8 - População urbana total de Petrópolis, residente em domicílio particular permanente, por distrito.....	62
Figura 4.9 – Exemplos de ocupação de encosta, onde é possível observar que os domicílios não contam com coleta de lixo realizado pelo serviço de limpeza direta, entre outros aspectos.	64
Figura 4.10 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário urbano de Petrópolis.	67
Figura 4.11 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos do município de Teresópolis/RJ, obtidas a partir do uso do modelo SHALSTAB.....	68
Figura 4.12 – Evolução do IDHM do município de Teresópolis/RJ, no período de 1991 a 2010.....	69
Figura 4.13 – Município de Teresópolis/RJ e seus respectivos distritos e setores censitários.	70
Figura 4.14– Distribuição dos domicílios pelos setores censitários urbanos de Teresópolis/RJ.	71
Figura 4.15 – Porcentagem de domicílios, por distritos urbanos.	71
Figura 4.16 - População urbana de Teresópolis/RJ, residente em domicílio particular permanente.....	72
Figura 4.17 - População urbana total de Teresópolis/RJ, residente em domicílio particular permanente, por distrito.....	73
Figura 4.18 – Exemplos de danos materiais e à infraestrutura urbana decorrentes dos escorregamentos ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro, em 2011.....	73
Figura 4.19 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário urbano de Teresópolis.....	78
Figura 4.20 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos de Nova Friburgo/RJ, obtidas a partir do modelo SHALTAB.	79
Figura 4.21 - Evolução do IDHM do município de Nova Friburgo/RJ, no período de 1991 a 2010.....	80
Figura 4.22 - Município de Nova Friburgo/RJ e seus respectivos distritos e setores censitários.	81
Figura 4.23 - Distribuição dos domicílios pelos setores censitários urbanos de Nova Friburgo/RJ.....	82
Figura 4.24 - Número de domicílios, por distrito.....	82

Figura 4.25 - Exemplos de ocupações de área de encosta em comunidades/assentamentos localizados no bairro Córrego D'Antas. Além da ocupação irregular de encosta (A, B, C, D) é possível constatar a presença de lixo (C e D) e as cicatrizes deixadas pelos escorregamentos ocorridos na área (A, B, C, D).....	83
Figura 4.26 - População urbana residente em domicílio particular permanente de Nova Friburgo/RJ.....	84
Figura 4.27 - População urbana total de Nova Friburgo/RJ residente em domicílio particular permanente, por distrito.....	85
Figura 4.28 – Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário urbano e distrito de Nova Friburgo.....	87
Figura 4.29 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos do município do Rio de Janeiro/RJ, obtidas a partir do modelo SHALSTAB.....	88
Figura 4.30 - Rio de Janeiro/RJ e seus respectivos distritos, bairro e setores censitários.....	89
Figura 4.31 - Distribuição dos domicílios particulares permanentes pelos setores censitários e respectivos distritos.	90
Figura 4.32 - Número de domicílios particulares permanentes - DPP, por distrito.	90
Figura 4.33 - Registro fotográfico de escorregamentos ocorridos no município do Rio de Janeiro nos anos de 1988 e de 2010. Foto A – cicatriz de um escorregamento de terra ocorrido na estrada Dom Joaquim Mamede, distrito de Santa Teresa, onde é possível perceber os danos provocados na área. Foto B – cicatriz de escorregamento ocorrido na Comunidade Morro dos Prazeres, também no distrito de Santa Teresa. Foto C – cicatriz de escorregamento e danos causados na Comunidade Parque Licurgo, distrito de Madureira. Foto D – cicatriz de escorregamento e danos causados na Comunidade Morro do Borel, distrito da Tijuca.....	92
Figura 4.34 - Distribuição da população residente em domicílio particular permanente, município do Rio de Janeiro/RJ.	93
Figura 4.35- População urbana total, residente em domicílio particular permanente, por distrito.....	93
Figura 4.36 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário do Rio de Janeiro.	100
Figura 4.37 – Relação entre a susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos e rendas médias dos domicílios de setores urbanos dos municípios de Petrópolis (A), Teresópolis (B), Nova Friburgo (C) e Rio de Janeiro (D).....	102

Figura 4 38 – Relação entre a susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos e o número de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto de setores urbanos dos municípios de Petrópolis (A), Teresópolis (B), Nova Friburgo (C) e Rio de Janeiro (D)	102
Figura 4.39 – Relação entre a susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos e o número de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta de setores urbanos dos municípios de Petrópolis (A), Teresópolis (B), Nova Friburgo (C) e Rio de Janeiro (D)	103
Figura 5. 1- Localização da área de estudo delimitada para esta etapa da pesquisa.	105
Figura 5.2 - Registro da precipitação ocorrida no dia 12 de janeiro de 2011, por estação pluviométrica.	106
Figura 5. 3- Unidades de relevo existentes na área de estudo.	107
Figura 5.4 - Unidades litológicas existentes na área de estudo.	108
Figura 5. 5- Tipos de solos existentes na área de estudo delimitada para esta etapa da pesquisa.	109
Figura 5. 6 - Uso e ocupação do solo da área de estudo.....	110
Figura 5. 7- Conjunto de fotos mostrando a situação da área um dia após o evento de janeiro de 2011 (Foto A), bem como a situação da área em maio de 2015 (Fotos B, C, D e E).....	112
Figura 5. 8- Mapa com as cicatrizes dos escorregamentos ocorridos na área de estudo, em janeiro de 2011.	115
Figura 5. 9 - Conjunto de fotografias, mostrando algumas cicatrizes de escorregamentos ocorridos na área de estudo.	116
Figura 5. 10 - Nuvens de pontos utilizados como referência de edições do MDT.....	118
Figura 5.11- Relevo sombreado do MDS, sem tratamento do ruído (A) e do MDT, com tratamento do ruído (B), Superfície hipsométrica e relevo sombreado do MDS (C) e MDT (D).....	120
Figura 5.12 - Perfis topográficos mostrando a situação do modelo antes (A) e após (B) a correção de lagos.	120
Figura 5.13 - MDT utilizado como dado de entrada para definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos da área de estudo delimitada para esta etapa da pesquisa.	121
Figura 5.14 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos da área de estudo, delimitadas a partir do emprego do modelo SHALTAB tendo como dado de entrada o MDT de detalhe (A) e o DEM/SRTM (B).	123

Figura 5.15 - Total de área susceptível a escorregamentos, definida por classes de susceptibilidades, obtida a partir do MDT de detalhe	124
Figura 5.16 - Distribuição espacial da cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em 2011 ..	125
Figura 5.17 – Número de cicatrizes de escorregamentos mapeadas na área de estudo, delimitadas em função das classes de susceptibilidade obtidas em função do MDT de detalhe (A) e em função do DEM/SRTM (B).....	126
Figura 5. 18 - Número de setores urbanos mapeados com e sem nenhum grau de susceptibilidade, obtido a partir do MDT de detalhe (A) e do MDE/SRTM (B).....	127
Figura 5. 19– Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito de Muri (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM) e de Campo Coelho (B1 – MDT e B2 – DEM/SRTM).....	128
Figura 5. 20 – Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito de Riograndina (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM) e Amparo (B1 – MDT e B2 – DEM/SRTM).....	130
Figura 5. 21– Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito de Conselheiro Paulino (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM).....	132
Figura 5.22– Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito Sede (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM).	134
Figura 5.23 – Relação entre as áreas de susceptibilidade a escorregamentos obtidas a partir das duas escalas de análise, onde é possível constar a tendência de correlação positiva entre as variáveis.....	137
Figura 5. 24 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas que, segundo o modelo, necessitam de 0 a 50 mm/dia de chuva.....	139
Figura 5. 25 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas que, segundo o modelo, necessitam de 50 a 100 mm/dia de chuva.....	139
Figura 5. 26 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas mapeadas em áreas, que, segundo o modelo, necessitam de 100 a 200 mm/dia de chuva para que os escorregamentos ocorram.	140

Figura 5. 27 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas que, segundo o modelo, necessitam de 200 a 400 mm/dia de chuva. 141

INDICE DE TABELAS E QUADROS

Quadro 2. 1 - Tipologias de movimentos de massa associados às encostas e suas características.....	11
Tabela 3.1 - Relação entre a quantidade de chuva necessária para causar os escorregamentos e o valor do <i>pixel</i> em cada classe de estabilidade.....	33
Quadro 3.1 – Localização das regiões hidrográficas do Brasil	37
Tabela 4. 1 - Indicadores censitários calculados para cada município considerado nesta etapa do trabalho.	55
Tabela 4. 2 - Municípios do estado do Rio de Janeiro que apresentaram grande quantitativo de áreas urbanas com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.....	56
Tabela 4. 3 - Quantificação dos distritos urbanos de Petrópolis/RJ quanto ao rendimento médio dos domicílios, à porcentagem de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta, e com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial.....	63
Tabela 4.4 - Número de domicílios e população residente em setores censitário de Petrópolis/RJ, classificados como aglomerados subnormais.	63
Tabela 4.5 - Número de setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas.....	64
Tabela 4.6 - Número de domicílios ocupados em setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas.....	64
Tabela 4.7 – Setores Censitários de Petrópolis/RJ, classificados ou não em aglomerados subnormais e características dos domicílios quanto às condições de saneamento básico e outras características.....	66
Tabela 4.8- Quantificação dos distritos de Teresópolis/RJ quanto ao rendimento médio dos domicílios, à porcentagem de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto.	74
Tabela 4.9 - Número de domicílios e população residente em setores censitário de Teresópolis/RJ, classificados como aglomerados subnormais.....	74
Tabela 4.10 - Número de setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas.....	75
Tabela 4.11 - Número de domicílios ocupados em setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas.....	75

Tabela 4.12 - Setores Censitários de Teresópolis/RJ, classificados ou não em aglomerados subnormais e características dos domicílios quanto às condições de saneamento básico e outras características.....	77
Tabela 4.13 - Quantificação dos distritos de Nova Friburgo/RJ quanto às áreas de susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos, ao número de domicílios, rendimento médio dos domicílios, ao número de domicílios com coleta de lixo direta, e com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial.	86
Tabela 4.14 - Setores censitários do Rio de Janeiro/RJ, em aglomerados subnormais.....	95
Tabela 4. 15 - Número de setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas.....	96
Tabela 4. 16 - Número de domicílios ocupados em setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas.....	97
Tabela 4. 17 - Setores censitários do Rio de Janeiro/RJ, classificados ou não em aglomerados subnormais e características dos domicílios quanto às condições de saneamento básico.....	99
Tabela 5.1 – Áreas de susceptibilidade a escorregamentos obtidas a partir do emprego do modelo SHALSTAB com o MDT de detalhe e o MDE/SRTM, quantificadas por distrito e/ou setor urbano de Nova Friburgo/RJ.	127
Tabela 5.2 – Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Muri, Nova Friburgo/RJ.....	129
Tabela 5.3 – Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Campo do Coelho, Nova Friburgo/RJ.....	129
Tabela 5.4 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Riograndina, Nova Friburgo/RJ.	130
Tabela 5.5 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Amparo, Nova Friburgo/RJ.	131
Tabela 5.6 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Conselheiro Paulino, Nova Friburgo/RJ.....	133

Tabela 5.7 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito Sede. 135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

LSIE - Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais

MMA - Ministério do Meio Ambiente

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO GERAL

1.1- INTRODUÇÃO

Atualmente um dos principais impactos decorrentes das mudanças ambientais globais é o aumento da frequência e intensidade dos desastres provocados por fenômenos naturais. Estes se constituem em uma das maiores inquietações dos estudiosos em todo o mundo nas últimas décadas, visto que existe a necessidade de se entender as causas, mecanismos envolvidos e, sobretudo, de se buscar formas mais seguras e economicamente viáveis para a sua prevenção e/ou redução de seus impactos sobre a sociedade e a economia.

Cabe enfatizar que, embora os desastres provocados por fenômenos naturais sejam associados, num primeiro momento, a eventos mais globais como terremotos, tsunamis, erupções vulcânicas e furacões, eles podem ocorrer também em função de processos e fenômenos mais localizados, como inundações, seca/estiagem, movimentos de massa, entre outros, que podem ocorrer naturalmente ou estarem associados ou serem induzidos pelas atividades humanas (TOMINAGA et al, 2009).

Especificamente em relação aos movimentos de massa, tem-se registro de sua ocorrência por várias regiões do planeta. Além disso, observa-se que esses eventos têm tido uma recorrência cada vez maior e, que quando atingem áreas ocupadas pelo homem, têm causado danos e perdas expressivas, de caráter social, ambiental e econômica, tanto para as comunidades diretamente afetadas quanto para o poder público.

No Brasil, de uma forma geral, são expressivos os registros de acidentes relacionados aos movimentos de massa, que acarretam prejuízos e perdas significativas, inclusive de vidas humanas. Dentre os movimentos de massa que ocorrem com frequência no Brasil, os escorregamentos têm se destacado, visto que são uns dos maiores responsáveis pelas mortes decorrentes de causas naturais.

É importante destacar que apesar do atual estágio de desenvolvimento tecnológico, as populações, sobretudo aquelas de baixa renda que residem em áreas de risco e sem infraestrutura adequada, são bastante vulneráveis aos desastres associados aos movimentos de massa nas encostas. Além disso, esses eventos são sempre caracterizados como problemas locais, entretanto seus efeitos e custos quase sempre ultrapassam as fronteiras municipais,

tornando-se problemas estaduais e muitas vezes nacionais (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Para a efetiva redução dos desastres associados aos escorregamentos, torna-se cada vez mais necessária a adoção de medidas adequadas. Neste sentido, diversas técnicas e métodos vêm sendo utilizados. O mapeamento de áreas susceptíveis a esse tipo de movimento de massa, a partir do uso da modelagem matemática associada às técnicas de geoprocessamento, destaca-se por sua vasta aplicabilidade e baixo custo. Estas metodologias têm se consolidado como ferramenta de análise dos processos de evolução do relevo, sendo capaz de prevê a distribuição espacial e temporal dos escorregamentos de terra.

Ressalta-se que tais metodologias, conforme já observado por inúmeros estudiosos (GUIMARÃES et al, 2003; DHAKAL & SIDLE, 2004; RAMOS et al, 2007; CASTRO, 2006; GOMES, 2006; SILVA, 2006; VESTENA, 2010; LISTO & VIEIRA, 2012; MACHADO, 2011; TRAVELLETTI et al, 2014; entre outros), podem ser utilizadas como suporte nas tomadas de decisões realizadas pelos administradores públicos. Ademais, em função do seu baixo custo, podem servir para subsidiar ações relativas ao planejamento do uso e ocupação da terra, de traçados de rodovias e ferrovias, a projetos socioambientais, bem como na elaboração dos programas e planos de redução de riscos e de evacuação.

No contexto da modelagem matemática, destacam-se os modelos que utilizam bases físicas, ou seja, que geram os mapas de susceptibilidades, a partir de equações que simulam os mecanismos e fatores envolvidos no processo de deflagração dos eventos de movimentação de massa. O dSLAM (*distributed, physically based slope stability model*), o qual foi testado por Wu & Sidle (1997) e considera a influência desempenhada pela resistência de raízes e os efeitos do desmatamento para definição de áreas de instabilidades; o SINMAP (*Stability Index MAPping*), o qual se baseia na teoria do Talude Infinito e em parâmetros hidrológicos para prevê áreas de instabilidades (PACK et al, 1998) e o modelo TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration And Grid-Based Regional Slope Stability*) que calcula a estabilidade das encostas em diferentes espessuras do solo, sob condições hidrológicas transientes (IVERSON, 2000; BAUM et al., 2002; BAUM et al, 2008).

Dentre esses modelos de predição, destaca-se o SHALSTAB (*Shallow Landslide Stability Analysis*), que foi proposto e adaptado para ambiente SIG a partir das pesquisas desenvolvidas por Dietrich et al. (1993), Montgomery & Dietrich (1994). O modelo SHALSTAB foi utilizado inicialmente para avaliar a susceptibilidade a escorregamentos em

regiões de clima temperado (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994). Posteriormente, este modelo teve seu desempenho avaliado na previsão de susceptibilidade a escorregamentos em regiões de clima tropical (GUIMARÃES, 2000), considerando diferentes escalas cartográficas de análise (GOMES et al, 2005), chegando a resultados satisfatórios em todos os mapeamentos realizados.

Mais recentemente, vários pesquisadores, objetivando avaliar sua eficácia de acordo com cenários locais e, assim, contribuir com mapas de planejamento urbano e de uso e ocupação da terra, têm aplicado esse modelo em várias partes do Brasil (SILVA, 2006; RAMOS et al, 2007; GOMES et al, 2010; MACHADO, 2011; LISTO & VIEIRA, 2012; SILVA et al, 2013; GOMES et al, 2013; SBROGLIA, et al, 2016; entre outros). De um modo geral, os trabalhos que utilizam o modelo SHALSTAB dão ênfase à análise de desempenho verificada a partir do grau de acerto entre as porções do relevo previstas como susceptíveis aos escorregamentos, com mapeamentos realizados a partir das cicatrizes de eventos que já ocorreram em época passadas (GUIMARÃES et al, 2003; TEIXEIRA, 2012; MACHADO, 2011).

Em relação ao desempenho desse modelo, é importante salientar ainda que, conforme observado por Gomes et al. (2005), esse melhora muito quando são utilizados modelos digitais de terreno (MDTs) de maior detalhe, visto que os MDTs constituem a base para a análise do relevo e, no caso do modelo SHALSTAB, a topografia é o elemento preponderante na definição das áreas de instabilidade, segundo Guimarães et al (2003).

Com o intuito de obter predições mais fidedignas e de entender a dinâmica espacial e temporal dos escorregamentos e, deste modo, melhorar ainda mais os mapeamentos de susceptibilidade, novas pesquisas vem buscando evidenciar a relação entre este tipo de movimento de massa com eventos de chuva (GUIMARÃES et al, 2009; MINDER et al, 2009; BELLUGI et al, 2011; COELHO NETTO *et al*, 2011; LANNI et al, 2012; ZIZIOLLE et al, 2013; PINHO *et al*, 2013; GONÇALVES, 2013; OLIVEIRA, 2014; TRAVELLETTI et al, 2014; MENDES & FILHO, 2015). Como ressaltado por Azevedo (2011), a determinação das relações entre chuvas e os escorregamentos permitirá a produção de critérios fortemente fundamentados que poderão servir para aumentar a precisão dos sistemas de alerta quanto à ocorrência de acidentes.

A definição de limites críticos de precipitação, associada às previsões de chuvas e monitoramentos em tempo real, já vem sendo utilizada como uma parte constituinte dos

sistemas de previsão e alerta de riscos, os quais se configuram como ferramentas fundamentais para a prevenção de desastres naturais (AZEVEDO, 2011). Alguns estudiosos, por exemplo, estão incorporando dados de precipitação à modelo de previsão para a prevenção de movimentos de massa em tempo real (LIAO et al, 2010, MONTRASIO, et al, 2011, entre outros). Entretanto, até este momento, nenhum desses estudiosos utilizou o modelo SHALSTAB.

Portanto, tendo como base esse contexto, buscou-se, inicialmente, aplicar o modelo SHALSTAB no Brasil, com o intuito de identificar os setores censitários urbanos mais susceptíveis à ocorrência de escorregamentos de terra em escala regional. A partir deste resultado, a porção norte do município de Nova Friburgo (RJ), que foi palco da deflagração de diversos movimentos de massa nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, foi definida como área prioritária para realização da mesma análise em escala de detalhe. Nesta área foram utilizados dados pluviométricos para analisar o resultado do modelo de acordo com os eventos de precipitações ocorridos em 48 horas.

Os resultados obtidos poderão subsidiar a identificação de áreas impróprias à ocupação e, portanto, o planejamento urbano. Além disso, poderão servir de base para definição de áreas prioritárias para implantação de sistema de alerta em tempo real.

É importante destacar que esta proposta de trabalho condiz com a atual ação governamental de prevenção aos desastres naturais provocados por fenômenos climáticos, que teve início com a implantação, em 2003, do Sistema de Informações Hidrometeorológicas para Prevenção e Mitigação de Eventos e Desastres Naturais, pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Entre outras iniciativas, recentes, destacam-se aquelas voltadas ao mapeamento de áreas de risco de movimentação de massa, a exemplo do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários do Ministério das Cidades, o qual conta com ações específicas de apoio aos municípios na implantação de planos e programas de prevenção e redução de riscos a escorregamentos em encostas. O Programa de Monitoramento a Desastres Naturais implantado, em alguns municípios brasileiros, pelo Centro de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN), o qual foi criado, em 2011, com o objetivo de elaborar alertas de desastres naturais relevantes para ações de proteção e de defesa civil no território nacional, desenvolver e implantar sistemas de observação e modelos computacionais para o monitoramento de desastres naturais, entre outros.

Destaca-se, ainda, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, instituída recentemente, no âmbito da **Lei nº 12.608, de 10/04/2012**, que tem como intuito a redução dos riscos de desastres, bem como a produção de alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência desses desastres. Esta política visa abranger ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltada à proteção e defesa civil.

Entende-se, portanto, que esta pesquisa é de fundamental importância, enquadrando-se dentro da perspectiva da PNPDEC, visto que busca, a partir do uso de uma metodologia de mapeamento de baixo custo e eficaz, identificar efetivamente as áreas de risco à população.

1.2 – OBJETIVOS

Deste modo, considerando o cenário apresentado anteriormente, o presente trabalho de pesquisa teve como:

1.2.1 - Objetivos gerais

- ❖ Mapear, a partir da aplicação do Modelo SHALSTAB, as áreas de susceptibilidade a escorregamentos de terra no Brasil, analisando os setores urbanos e/ou municípios com os maiores quantitativos de áreas susceptíveis;
- ❖ Identificar, a partir de mapeamento de detalhe, as áreas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos na região serrana do Rio de Janeiro (município de Nova Friburgo), identificando e quantificando também as áreas susceptíveis dos setores urbanos.
- ❖ Análise dos resultados do modelo SHALSTAB em Nova Friburgo, levando-se em conta as chuvas que caíram na região nos dias 11 e 12 de Janeiro de 2011.

1.2.2 - Objetivos específicos

- ❖ Quantificar, a partir do método de estatística zonal mínima, as áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos de cada setor censitário urbano do Brasil;
- ❖ Avaliar, com base nos dados do Censo demográfico de 2010, as condições de infraestruturas básicas dos setores urbanos/domicílios localizados nos municípios identificados como mais susceptíveis à ocorrência de escorregamentos;

- ❖ Obter, com base na restituição de fotografias aéreas, um Modelo Digital de Terreno (MDT) de detalhe para a região serrana do Rio de Janeiro (sobretudo Nova Friburgo e Bom Jardim);
- ❖ Mapear as cicatrizes dos escorregamentos ocorridos, em 2011, na região serrana do Rio de Janeiro;
- ❖ Avaliar o comportamento do modelo SHALSTAB, considerando às chuvas ocorridas nos dias 11 e 12 de Janeiro de 2011, na porção norte do município de Nova Friburgo.
- ❖ Analisar a influência da escala de mapeamento para definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, relacionando-se com os setores urbanos.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DA TESE

Conforme pode ser visualizado no fluxograma apresentado na Figura 1.1, a presente Tese de Doutorado está estruturada em seis capítulos. Nos Capítulos 1 e 2, são apresentados os objetivos da pesquisa, a problemática dos movimentos de massa no Brasil, tipos de movimentos e fatores condicionantes; além de um detalhamento do modelo de previsão de áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos (SHALSTAB). Nos capítulos 3, 4 e 5, os quais seguem o fluxo dos objetivos específicos anteriormente elencados, são identificadas e analisadas as áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos de terra em todo o território brasileiro e, de forma detalhada, na região serrana do Rio de Janeiro (mais precisamente na porção norte do município de Nova Friburgo).

Assim, no Capítulo 3, utilizando o MDE/SRTM como dado de entrada do referido modelo, foram definidas as classes de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos rasos para todo o território brasileiro. Neste capítulo, tendo como base o método de estatística zonal foram identificados, para todo o território brasileiro, os setores urbanos mais susceptíveis à ocorrência de escorregamentos.

No Capítulo 4, além da quantificação das áreas de susceptibilidade dos municípios da Região Sudeste, definidos como mais susceptíveis, foram analisados, também, indicadores sociais e/ou variáveis da infraestrutura básica desses municípios. Considerou-se que esses indicadores e/ou variáveis contribuem para intensificar a ocorrência desses eventos nas encostas, bem como dos danos associados. Nesta etapa, deu-se ênfase aos municípios do

estado do Rio de Janeiro mapeados com os maiores quantitativos de áreas urbanas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos e com históricos de desastres relacionados a esses eventos, como: Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo e Rio de Janeiro.

No Capítulo 5, a partir de restituição de fotografias aéreas foi produzido um MDT de detalhe para a região serrana do Rio de Janeiro (mais precisamente a porção norte do município de Nova Friburgo), o qual foi utilizado para mapear as áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos nesta região.

Neste capítulo, também foi avaliada a influência da precipitação para o desencadeamento desses processos de movimentação de massa, onde foram considerados, sobretudo, os eventos ocorridos nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. A eficácia do modelo foi avaliada a partir das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos nesses dias. Adicionalmente, foi realizada análise da influência da escala de mapeamento para definição de áreas de susceptibilidade aos escorregamentos, considerando os resultados da aplicação do modelo a partir do uso do MDT de detalhe e do DEM/SRTM.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as considerações finais e recomendações acerca da pesquisa realizada.

É importante destacar que esta pesquisa contou com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto intitulado "**Aplicação de um modelo de predição de escorregamentos rasos utilizando dados de precipitação em tempo real para subsidiar na identificação dos sistemas de alerta que necessitam ser acionados, bem como sugerir locais para implantação de outros sistemas**". Entre os principais colaboradores do projeto encontram-se pesquisadores do Laboratório de Sistemas de Informação Espacial (LSIE) do Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, além de pesquisadores da University of Washington (EUA).

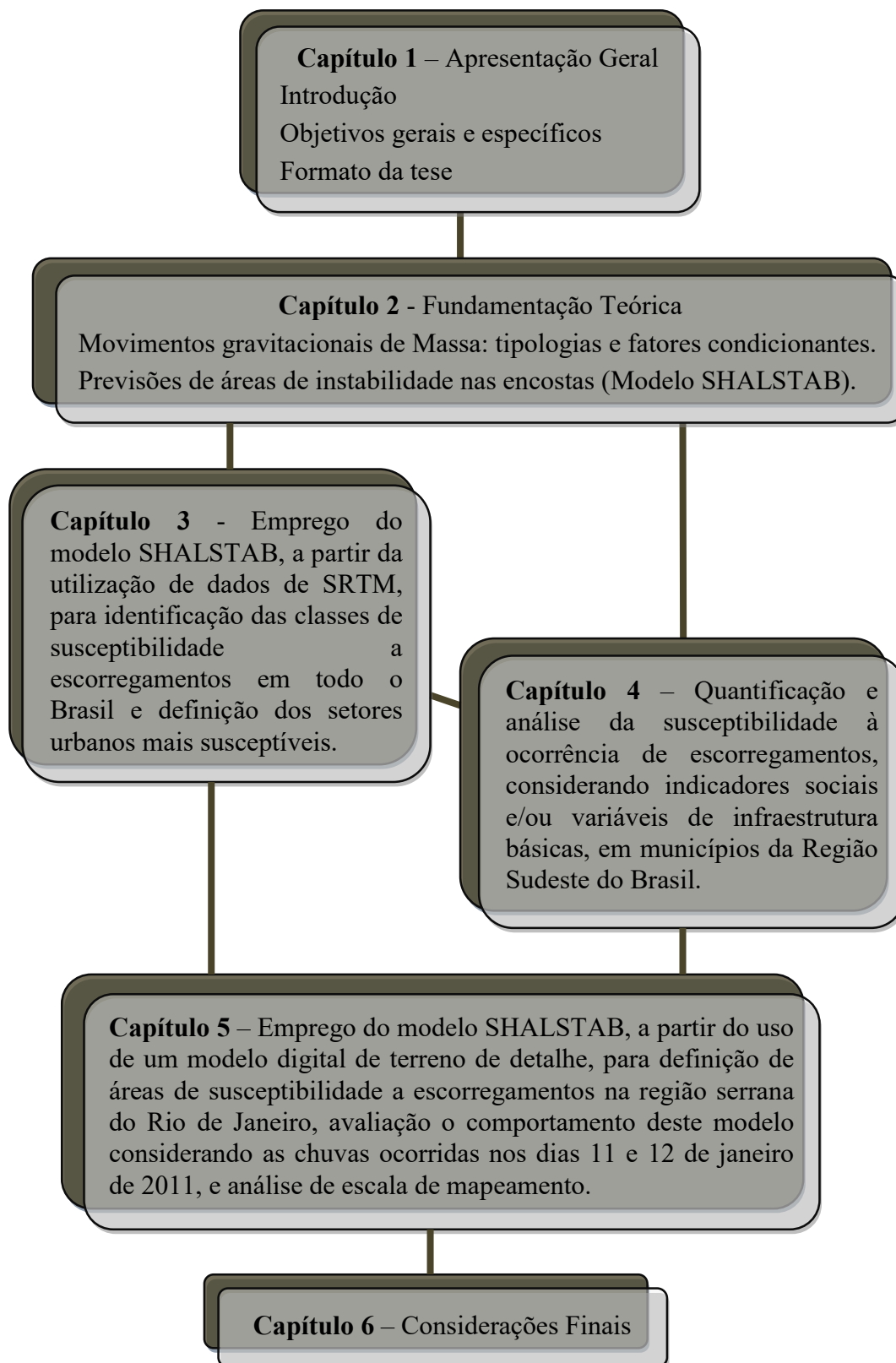


Figura 1.1 - Fluxograma de estruturação da tese.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA: TIPOLOGIAS E FATORES CONDICIONANTES

Os movimentos gravitacionais de massa são processos naturais que ocorrem em regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos. Esses processos envolvem uma massa ou um volume de solo e/ou rocha que se deslocam conjuntamente e, desta forma, atua na dinâmica das vertentes, sendo responsável pela evolução do revelo (ZARUBA & MENCL, 1976; GUIDICINI & NIEBLE, 1984; TOMINAGA et al, 2009, entre outros).

Nas últimas décadas, devido aos grandes impactos negativos que tem causado ao homem, esses movimentos têm se constituído em objeto de interesse para pesquisadores e planejadores, os quais vêm tentando entender os processos e fatores envolvidos e, a partir daí, vêm buscando medidas com o intuito de prevê a ocorrência antecipada desses movimentos e, assim, diminuir os impactos deles decorrentes.

De maneira geral, pode se afirmar que os movimentos gravitacionais de massa que ocorrem nas encostas são desencadeados ou condicionados por uma série de fatores e condicionantes naturais que, na maioria das vezes, estão associadas à própria história geológica e geomorfológica da rocha, além da própria ação humana (CLAESSENS et al, 2005; MARTINI *et al*, 2006; AVANZI et al, 2009; ARNONE et al, 2011; LI *et al*, 2011; MICHEL et al, 2011; PADILHA, 2011; DOURADO et al, 2012; KIRSCHBAUM *et al*, 2012; LARSEN & MONTGOMERY, 2012; 2013; ALVIOLI et al, 2014; SAN, 2014; KANSOER & KITE, 2014; BORGOMEIO *et al*, 2014; JEONG et al, 2014; MA et al, 2014; MICHEL et al, 2014; MEINHARDT et al, 2015).

Dentre esses fatores naturais, podem ser destacados os geológicos, os climáticos e os geomorfológicos. Os geomorfológicos, visto que englobam parâmetros como declividade, forma da encosta, orientação das vertentes (aspecto), elevação, comprimento da encosta e área de contribuição (área drenada a montante de um ponto específico da bacia), assumem grande importância no desencadeamento desses movimentos de massa (GOMES, 2006).

Guidicini & Nieble (1984), ao discutirem os fatores e condicionantes dos movimentos de massa utilizaram os termos: *agentes predisponentes e agentes efetivos*. O

primeiro se refere ao conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área onde se desenvolve o movimento de massa, ou seja, às condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem. O segundo engloba o conjunto de fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, incluindo-se a ação humana.

De acordo com Guidicini & Nieble (1984), os *agentes efetivos* se dividem em *efetivos preparatórios*, representados pela pluviosidade, erosão pela água ou vento, oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático, ação do homem, entre outros; e *efetivos imediatos*, estes representados pelas chuvas intensas, erosão, terremotos, ondas, vento, ação antrópica acelerada, entre outros.

Fernandes & Amaral (1996), bem como Tominaga et al. (2009) ressaltam que os movimentos de massa contemplam a combinação de critérios básicos como direção, velocidade e recorrência dos deslocamentos, geometria das massas movimentadas, conteúdo de água, modalidade de deformação do movimento e tipo do material mobilizado. Ressaltam ainda, que a classificação desses movimentos é importante para o planejamento e definição de estratégias de ações apropriadas que minimizem o risco de perdas.

Já Augusto Filho & Virgili, (1998) destacam a importância da classificação para o entendimento dos processos e mecanismos envolvidos nos movimentos e, conseqüentemente, como base teórica para desenvolvimento de modelos de previsão.

Existem diversas propostas de classificação de movimentos gravitacionais de massa em todo o mundo (CARSON & KIRKBY, 1972; VARNES, 1978; MORGAN, 1995; entre outras). No Brasil, entre as mais utilizadas pode-se destacar a que foi elaborada por Guidicini & Nieble (1984), que de forma simplificada, dividem os movimentos de massa em escoamentos, escorregamentos, subsidências e movimentos complexos.

Sestini (1999), assim como outros estudiosos, evidencia que muitas das classificações propostas se baseiam, principalmente, na cinemática do movimento (relação entre massa de material mobilizado e material estável, velocidade e direção de deslocamento), no tipo de material (estrutura, textura e conteúdo de água) e na geometria (tamanho e forma de material mobilizado). Nesse sentido, o Quadro 2.1 mostra as diversas tipologias de movimentos.

Quadro 2. 1 - Tipologias de movimentos de massa associados às encostas e suas características.

Tipologias		Características
Rastejo ou <i>creep</i>		Movimento lento ocorre com declive acima de 35°, deslocando a porção superior do solo, atinge baixa profundidade. Possui gradiente vertical de velocidade (maior próximo à superfície).
Escorregamentos ou <i>slides</i>	Deslizamentos	Envolvem participação de água. Ocorrem em relevo de elevada amplitude, com presença de manto de regolito, causados por elevada pluviosidade e antropismo. Envolvem fragmentos de rochas e solos.
Corrida de massa (<i>flow</i>)		Participação intensa de água, forte caráter hidrodinâmico. O transporte é feito por suspensão ou saltação. A separação entre água e carga sólida é dificultada.
Quedas de blocos ou <i>falls</i>		Movimentos desenvolvidos em declives com ângulos próximos a 90°. Queda livre de material (rochas, solos). Ação maior da gravidade, sem água como agente mobilizador.

Fonte: Sestini, 1999.

Conforme observado por Gomes (2006), em função dessa diversidade de tipologias e características associadas, existe uma grande dificuldade de se identificar corretamente qual o tipo de movimentação que ocorreu em um determinado lugar, visto que muitas vezes esses movimentos de massa se confundem, tornando difícil o entendimento dos mecanismos que os influenciaram e, deste modo, a sua definição. Como exemplo disso pode-se destacar, entre outros, os escorregamentos, os quais muitas vezes evoluem e assumem a forma de corrida de massa (Figura 2.1). Sestini (1999), ao discutir essa problemática, destaca a dificuldade que existe na separação desses dois tipos de movimento a partir de dados de sensoriamento remoto, por esses produzirem cicatrizes com características semelhantes.

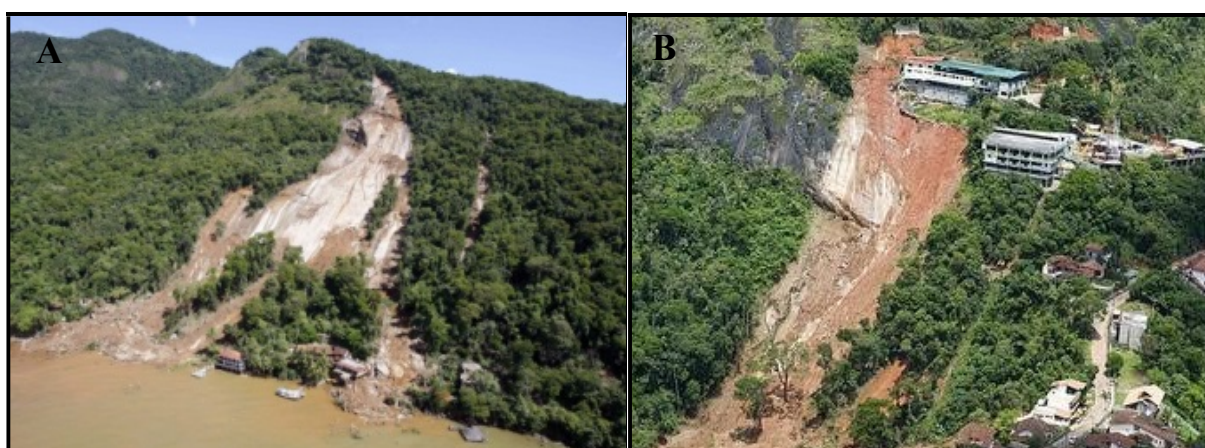


Figura 2.1- Fotos ilustrativas de escorregamentos e corridas de massa ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro em 2010 (Foto A) e em 2011 (Foto B). Fonte: Foto A - notícias.terra.com.br; Foto B - jn.pt/mundo.

Os escorregamentos, em particular, foram definidos por Guidicini & Nieble (1984) como um movimento descendente e veloz de material procedente de áreas de declividade acentuada, que ocorrem preferencialmente confinados ao longo de falhas bem definidas em zonas de cisalhamento e que provoca o acréscimo de grandes torrentes de sedimentos ao fluxo pré-existente. Highland & Bobrowsky (2008) definiram escorregamentos, como um movimento de uma massa de solo ou rocha, em declive, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou sobre zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento.

De acordo com Fernandes & Amaral (1996), os escorregamentos constituem-se na forma mais frequente entre todos os tipos de movimentos de massa, podendo ser definido em função da forma e do tamanho, bem como pelo tipo de material movimentado.

Guidicini e Nieble (1984), por exemplo, consideraram a forma do plano de ruptura e dividiram os escorregamentos em movimentos do tipo rotacional ou translacional. De acordo com esses autores, os escorregamentos rotacionais possuem uma curva na qual o material sofre movimentação côncava para cima e estão associados a um ambiente de solos profundos. Enquanto que os translacionais são caracterizados por possuírem um plano de ruptura abrupto, planar, bem definido e por ser um movimento de curta duração, que ocorre durante chuvas intensas.

Outros estudiosos também têm demonstrado que os escorregamentos, sobretudo os translacionais, são fortemente controlados pelas altas precipitações, características morfológicas da encosta e pelas propriedades hidráulicas dos materiais envolvidos, entre outros fatores.

Guidicini e Iwasa (1976), por exemplo, a partir da análise do registro pluviométrico de áreas que apresentavam episódios catastróficos por ocasião de chuvas intensas, estabeleceram uma correlação entre pluviosidade e escorregamentos. Fernandes & Amaral (1996) salientaram que os escorregamentos translacionais possuem superfície de ruptura com forma planar, a qual acompanha, de modo geral, as discontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no interior do material.

Lacerda et al. (1997) discutiram os efeitos da ação da água proveniente de precipitações pluviométricas e subterrâneas sobre a estabilidade de talude formado por solos residuais. Concluíram que ocorrem deformações volumétricas de expansão durante a elevação do nível de água no talude e que a ruptura pode ser provocada pelas variações cíclicas sazonais do nível da água no solo. Lindaura Luiz e Fernandes (2001), a partir de medidas de

sucções e poro-pressões positivas, analisaram o comportamento da dinâmica hidrológica de uma encosta e sua relação com a ruptura de solos e os consequentes escorregamentos.

Fernandes et al. (2001) evidenciaram o importante papel desempenhado pela morfologia do terreno no condicionamento desses movimentos de massa, observaram que a área de contribuição é um parâmetro morfológico essencial, que deve ser incorporado às metodologias voltadas para a previsão de áreas de risco a escorregamentos. De acordo com esses autores, uma melhor investigação dos parâmetros morfológicos, com destaque para a forma da encosta e para a área de contribuição, levará a uma maior compreensão dos mecanismos de ruptura envolvidos e, conseqüentemente, a uma previsão mais efetiva desses fenômenos. Silva (2006) destacou que os escorregamentos são mecanismos de movimentação condicionados pela permeabilidade relativa do material subjacente e pela conseqüente elevação do grau de saturação da camada instável.

Augusto Filho e Wolle (1996) quantificaram os diferentes graus de susceptibilidade dos terrenos a partir da análise da frequência dos agentes condicionantes, tipologia e dinâmica dos escorregamentos.

Seguindo a linha de pesquisa da cartografia geotécnica (BARROSO & BARROSO, 1996), destacaram a importância do mapeamento geológico-geotécnico como instrumentos de orientação ao planejamento urbano, mostrando que esse mapeamento pode ser usado para definição de áreas de susceptibilidade a escorregamentos no Brasil. De acordo com Christofolletti (1998) os estudos e mapeamentos geotécnicos oferecem informações e documentos valiosos para o entendimento da dinâmica geomorfológica em áreas urbanizadas.

Além disso, outros estudos têm demonstrado, ainda, que as características morfológicas associadas às fortes precipitações fazem com que a escarpa da Serra do Mar se constitua no principal palco de escorregamentos em encostas no Brasil (PRANDINI et al, 1980; TATIZANA et al, 1987b, WOLLE & CARVALHO, 1989; LOPES, 2006; SILVA, 2006; ROSA FILHO & CORTEZ, 2010; LISTO, 2011; MACHADO, 2011; entre outros).

Especialmente na região serrana do Rio de Janeiro (Figura 2.2), esses movimentos são bastante recorrentes e têm causado perdas de vidas humanas e grandes prejuízos à população local e exige que o poder público tenha que programar ações para a resolução imediata do problema, o que na maioria das vezes acaba resultando em maiores investimentos. Particularmente, no período do verão, devido à falta de planejamento urbano,

as chuvas intensas colaboram para formação de um quadro caótico, fazendo com que os municípios dessa região entrem em estado de alerta.



Figura 2.2 - Imagem da região serrana do Rio de Janeiro, com destaque para os municípios de Petrópolis, Nova Friburgo e Teresópolis. As fotos A, B e C mostram as cicatrizes dos escorregamentos de terra ocorridos nos respectivos municípios, em janeiro de 2011. Fonte: Imagem Google Earth, g1 globo.com e notícias r7.com.

Tendo em vista este contexto, nas últimas décadas vêm sendo desenvolvidas metodologias que possibilitam o mapeamento das áreas de ocorrência desses fenômenos. Além da caracterização dos inúmeros fatores que ocasionam os movimentos de massa a partir de mapeamento e instrumentações de campo, observa-se o surgimento de modelos matemáticos que, como será mostrado a seguir, estão sendo utilizados para a identificação e/ou previsões de áreas de instabilidade nas encostas. (RAMOS et al, 2007; GUIMARÃES et al 2009; ZAIDAN & FERNANDES, 2009; VIEIRA et al, 2010; MACHADO, 2011; LISTO & VIEIRA, 2012; SILVA et al, 2013; GOMES et al, 2013; entre outros). Estas previsões são essenciais, visto que possibilitam a priorização de políticas públicas voltadas à prevenção, ou seja, favorecem a adoção de medidas que podem antecipar à ocorrência dos desastres oriundos de eventos de escorregamentos e, conseqüentemente, à minimização dos seus danos.

2.2- PREVISÕES DE ÁREAS DE INSTABILIDADE NAS ENCOSTAS

De acordo com Fernandes et al. (2001) dentre os procedimentos mais utilizados para previsão de áreas de susceptibilidade a escorregamentos destacam-se aqueles realizados a partir de inventário, por meio de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos, e os realizados a partir de abordagens estatísticas e de abordagens determinísticas.

Conforme ressaltado por esses autores, na abordagem determinística são utilizados modelos matemáticos desenvolvidos em bases físicas, ou seja, tais modelos tentam simular os processos e leis físicas que controlam os sistemas ambientais. Gomes (2006) salienta que os sistemas ambientais considerados por estes modelos representam entidades organizadas na superfície terrestre e, portanto, a espacialidade se torna uma das suas características peculiar.

Observa-se que esses modelos matemáticos estão cada vez mais sendo utilizados em estudos ambientais, visto que possibilitam a compreensão das mudanças ocorridas nos sistemas ambientais decorrentes do processo de ocupação e ordenamento do solo. Além disso, esses modelos possibilitam a redução dos efeitos dos escorregamentos, tanto em termos de prejuízos econômicos quanto em termos de perdas de vidas humanas.

Metodologias que utilizam a modelagem matemática baseada em parâmetros físicos foram inicialmente propostas por Beven e Kirkby (1979). Com o objetivo de delimitar áreas que apresentam solos saturados depois de certa quantidade de chuvas, esses autores desenvolveram modelos matemáticos baseados em dados físicos, pelos quais evidenciaram a importância da topografia na análise de áreas de instabilidades, especialmente no que se refere à área de contribuição e declividade do terreno.

Posteriormente, O'Loughlin (1986) objetivando também a definição de áreas de saturação na paisagem para uma determinada chuva, desenvolveu um modelo hidrológico (TOPOG) a partir da análise da área de contribuição a montante, da transmissividade do solo e da declividade local.

Montgomery & Dietrich (1994), aprimoraram esses modelos utilizando-os como base para estudos de previsão de zonas de saturação em áreas que apresentam susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos rasos e desenvolveram, assim, o modelo SHALSTAB. Este modelo de predição de escorregamentos que combina, portanto, um modelo hidrológico com outro de estabilidade de encosta dentro de ambiente de Sistema de Informação Geográfica

(SIG) vem ganhando, cada vez mais, destaque em estudos realizados no Brasil e, conforme enfatizado anteriormente, tem alcançado níveis de precisão elevados para as áreas estudadas.

O modelo SHALSTAB utiliza uma grade (*grid*) regular, e calcula para cada célula (*pixel*) dessa grade o grau de susceptibilidade a escorregamento. Objetivando uma melhor compreensão desta metodologia, será mostrado, a seguir, o embasamento teórico do modelo de estabilidade de encosta, bem como do modelo hidrológico, além do próprio modelo de predição de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos (SHALSTAB).

2.2.1 - Modelo de estabilidade de encosta

Do ponto de vista teórico, um talude se apresenta como uma massa de solo submetida a um conjunto de tensões ou forças que atuam devido ao peso dos materiais, à percolação da água e à resistência ao cisalhamento. Esta age no sentido de impedir a movimentação da massa, enquanto que as outras duas se somam e tendem a movimentar a massa de solo encosta abaixo. Neste sentido, no estudo da estabilidade de um talude deve-se levar em conta o equilíbrio entre essas forças.

De acordo com Selby, 1993, a coesão e o atrito são propriedades inerentes dos materiais e constituem a sua resistência ao cisalhamento. Assim, quando a tensão de cisalhamento ultrapassa a resistência dos materiais ou esta resistência diminui, ocorrem movimentos de massa, visto que os materiais perdem sua estabilidade.

A estabilidade de uma encosta pode ser representada com base na análise da teoria do talude infinito desenvolvida por Mohr-Coulomb, onde a análise é considerada em relação a um plano infinito de solo sobre um plano inclinado, desprezando-se os efeitos causados pelo atrito nas laterais e nas extremidades (CARSON E KIRKBY, 1972). Essa teoria define que a componente do peso do solo que cai na direção do plano de ruptura, ou seja, a tensão cisalhante τ é igual à força de resistência causada pela coesão C' mais a força de resistência devido à tensão normal σ que ocorre no plano de ruptura (Equação 2.1).

$$\tau = C' + (\sigma - u) \tan\phi \quad (2.1)$$

Em que τ é a tensão tangencial ou tensão cisalhante (kg/m.s^2), responsável pela desestabilização da encosta, σ é a tensão normal (kg/m.s^2) responsável pela sustentação do material da encosta, u representa a poro-pressão (kg/m.s^2), C' representa a coesão efetiva (kpa) e ϕ é o ângulo de atrito interno (graus). Este modelo de estabilidade se adequa a

escorregamento translacional raso de contato abrupto solo-rocha (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994).

Na Figura 2.3, que corresponde a uma representação hipotética de um talude infinito, tem-se as componentes da força peso relacionadas com as tensões que atuam no caso de um escorregamento translacional, onde **L** representa o comprimento do bloco, **P** representa seu peso, **θ** a declividade, **e** a espessura do solo perpendicular à superfície e **z** a espessura vertical do bloco.

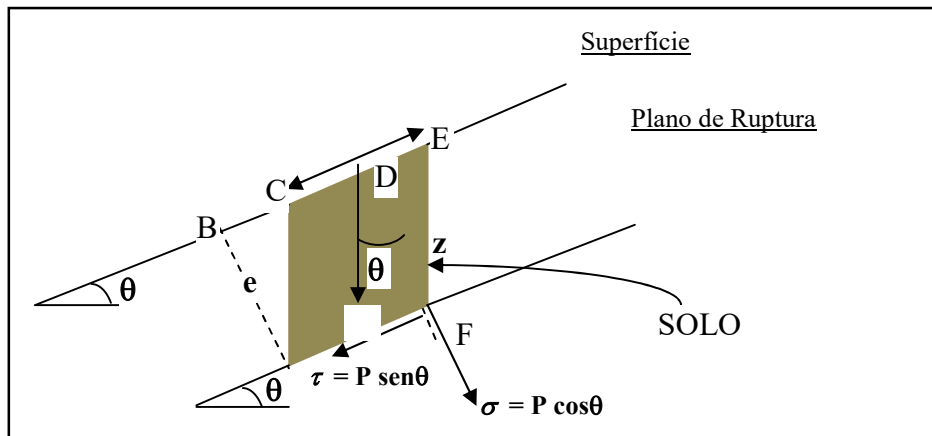


Figura 2.3 - Representação hipotética de um talude infinito. Adaptado de Guimarães, 2000.

Considerando a Figura 2.3, pode-se expressar a tensão tangencial (τ) e a tensão normal (σ) a partir da substituição do valor de P , o qual pode ser representado por meio da Equação 2.2, e eliminação de L , por se tratar de um talude infinito (Equação 2.3 e 2.4), sendo que ρ_s representa a densidade do solo, L o comprimento do bloco e g a aceleração da gravidade.

$$P = L\rho_s gz \cos \theta \quad (2.2)$$

$$\tau = \rho_s gz \cos \theta \sin \theta \quad (2.3)$$

$$\sigma = \rho_s gz \cos^2 \theta \quad (2.4)$$

A poro-pressão (μ), apresentada na Figura 2.4, é uma das componentes das tensões e pode ser expressa por meio da Equação 2.5, onde ρ_w é a densidade da água e h é a altura da coluna d'água no subsolo, acima do plano de ruptura.

$$\mu = \rho_w gh \cos^2 \theta \quad (2.5)$$

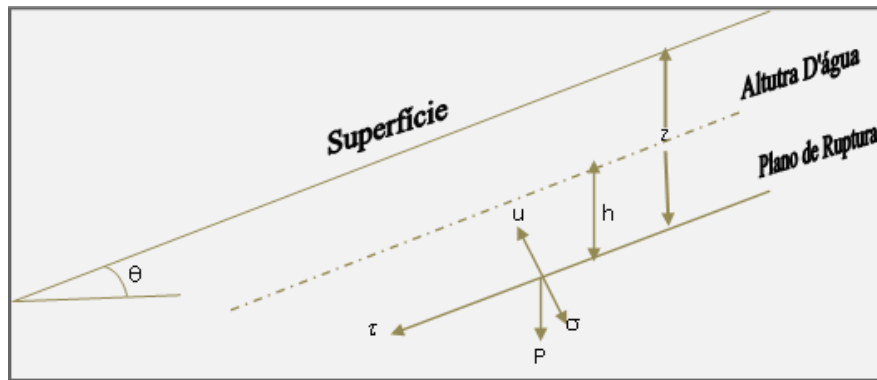


Figura 2. 4 - Forças atuantes em uma encosta, onde θ é a declividade, P é o peso do material, z é a espessura do solo, h é a altura da coluna d'água no subsolo e μ é a poro-pressão. Adaptado de Guimarães, 2000.

Montgomery & Dietrich (1994) ao substituírem os valores de τ e σ na equação de Mohr-Coulomb (Equação 2.1) obtiveram a equação 2.6, representada abaixo.

$$\rho_s g z \cos \theta \sin \theta = C' + (\rho_s g z \cos^2 \theta - \rho_w g h \cos^2 \theta) \tan \phi \quad (2.6)$$

Montgomery & Dietrich (1994) resolveram a Equação 2.6 em função da razão h/z , que corresponde à proporção da coluna de solo que é saturada na instabilidade, e assim obtiveram o modelo de estabilidade de encosta, representado conforme a Equação 2.7. Além disso, esses autores elaboraram um modelo simples, também muito utilizado, quando desconsideraram a coesão do solo (C), e representaram a relação h/z também em função da Equação 2.8.

$$\frac{h}{z} = \frac{C'}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (2.7)$$

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (2.8)$$

2.2.2 - Modelo hidrológico

Um modelo hidrológico é uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre uma determinada parte da superfície e/ou subsuperfície do solo (O'LOUGHLIN, 1986). Sob o ponto de vista hidrológico, o solo pode ser considerado como um reservatório, cujo volume de água armazenado varia sensivelmente ao longo do tempo e

depende de fatores como precipitação, cobertura vegetal, bem como da topografia (RENNÓ & SOARES, 2000).

Ainda sob o ponto de vista hidrológico, o solo é compreendido por uma zona não saturada, que corresponde à área acima do nível do lençol freático, e uma zona saturada que se estende desde o nível do lençol freático até a rocha. Na verdade, sabe-se que essa divisão é dinâmica e que, portanto, uma zona não saturada pode ficar temporariamente saturada, uma vez que o nível do lençol freático tende a ser alterado ao longo do tempo em decorrência de mudanças no regime de precipitação, além de outros fatores.

De um modo geral, os modelos hidrológicos são usados para determinar o balanço hídrico do solo. Estes modelos descrevem a distribuição espacial da precipitação, as perdas por evapotranspiração, o movimento da água no solo causado pela infiltração, percolação e o escoamento tanto superficial quanto subsuperficial, bem como nos canais de escoamento (Montgomery & Dietrich, 1994).

Beven e Kirkby (1979), por exemplo, objetivando a determinação de zonas potenciais de saturação no solo, desenvolveram um modelo hidrológico baseado em dados físicos que é amplamente utilizado na previsão de escoamento. Esse modelo se baseia na teoria de contribuição variável para a formação do escoamento, estimando a deficiência de água no solo e a área de contribuição a montante, ou área fonte saturada, a partir de características topográficas e do solo. De acordo com esses autores, o padrão de saturação está diretamente relacionado com a razão $(a/b)/M$, ou seja, com a área drenada que passa por uma unidade de comprimento de contorno a/b dividida pela declividade M .

O'Loughlin (1986), com base nesse princípio, desenvolveu um modelo hidrológico que mapeia o padrão espacial de saturação do solo a partir da análise da área de contribuição a montante, da transmissividade do solo e da declividade local, considerando que a direção do fluxo subsuperficial é determinada pela topografia local.

Nesse modelo, para que haja o desenvolvimento local de zona de saturação é necessário que o fluxo acumulado em certo ponto, isto é, o produto entre a área drenada a montante (a) e a precipitação (Q) que passa por um elemento de contorno de comprimento (b), exceda o produto da transmissividade do solo (T) e o seno da declividade local (θ) (Equação 2.9).

$$a.Q/b \geq T.\text{sen}\theta \tag{2.9}$$

Conforme observado por O'Loughlin (1986), essa relação também pode ser expressa em função de um índice de umidade (**W**), quando a condição de saturação se apresentar em estado de equilíbrio, ou seja, quando não ocorrer mais variação (Equação 2.10).

$$W = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \text{sen} \theta} \quad (2.10)$$

A Figura 2.5 mostra de forma esquemática a proposta de O'Loughlin (1996), em que a representação da topografia é feita por meio de polígonos irregulares determinados a partir da interseção das curvas de nível com as linhas de gradiente máximo, onde a área sombreada representa a área de contribuição (a) para uma determinada célula, ou seja, a área drenada acumulada a montante que passa através do comprimento de contorno unitário (b).

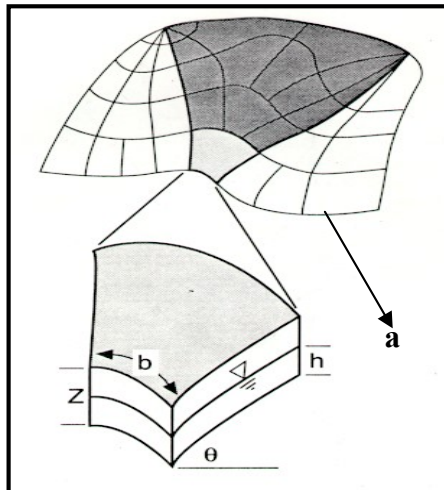


Figura 2.5 - Esquema com os parâmetros do modelo hidrológico desenvolvido por O'Loughlin (1996). Fonte: Adaptado de Montgomery e Dietrich, 1994.

Montgomery & Dietrich (1994), partiram da lei de Darcy, que relaciona a condutividade hidráulica saturada (**Ksat**) com o gradiente hidráulico (**i**), para representar o modelo hidrológico desenvolvido por O'Loughlin (1986) em função da razão **h/z**. De acordo com esses autores, conforme expresso pela Equação 2.11, o fluxo de água (**q**) representa o produto entre a velocidade do fluxo (**v**) e área da seção transversal (**S**).

$$q = v \cdot S \quad (2.11)$$

Com base na lei de Darcy, Montgomery & Dietrich (1994) puderam expressar a velocidade do fluxo como o produto entre a condutividade hidráulica saturada (**ksat**) e o seno

da declividade (θ) (Equação 2.12), e a área da seção transversal (S) em função da projeção da altura do nível de água (h), como mostra a Equação 2.13.

$$v = K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \quad (2.12)$$

$$S = h \cdot \text{cos} \theta \quad (2.13)$$

Assim, o fluxo de água (q) pôde ser reescrito a partir da substituição das Equações 2.12 e 2.13 na Equação 2.11, conforme mostra a Equação 2.14.

$$q = K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \cdot h \cdot \text{cos} \theta \quad (2.14)$$

Assumindo que o fluxo superficial e o fluxo no afloramento rochoso são desprezíveis em vales não canalizados, esse autores determinaram que a precipitação efetiva (Q) multiplicada pela área de contribuição (a) será a quantidade de *runoff* que ocorre através de uma determinada célula da grade de comprimento (b) sob condições de equilíbrio (Equação 2.15).

$$Q \cdot a = K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \cdot h \cdot \text{cos} \theta \cdot b \quad (2.15)$$

Montgomery & Dietrich (1994) consideram, ainda, que a transmissividade do solo (T), descrita na Equação 2.10, pode ser expressa em função do produto entre a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), a espessura do solo (z) e a declividade ($\text{cos} \theta$) (Equação 2.16). Assim, representaram o denominador da Equação 2.10 conforme Equação 2.17.

$$T = K_{sat} \cdot z \cdot \text{cos} \theta \quad (2.16)$$

$$T \cdot b \cdot \text{sen} \theta = K_{sat} \cdot z \cdot \text{cos} \theta \cdot \text{sen} \theta \cdot b \quad (2.17)$$

Além disso, substituíram as Equações 2.15 e 2.17 na Equação 2.10 e obtiveram a Equação 2.18 e a partir desta obtiveram a Equação 2.19, a qual representa o modelo hidrológico em função da razão h/z .

$$W = \frac{K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \cdot h \cdot \text{cos} \theta \cdot b}{K_{sat} \cdot z \cdot \text{cos} \theta \cdot \text{sen} \theta \cdot b} = \frac{h}{z} \quad (2.18)$$

$$\frac{h}{z} = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \text{sen} \theta} \quad (2.19)$$

2.2.3 – Modelo SHALSTAB

Dietrich e Montgomery (1998) automatizaram a metodologia desenvolvida por Montgomery e Dietrich (1994) para identificar na paisagem os locais susceptíveis a ocorrência de escorregamentos, a partir de uma rotina denominada SHALSTAB escrita em AML, *Arcinfo Macro Language* (ESRI, 1993). Esse modelo prevê que as zonas íngremes convergentes, não canalizadas, necessitam de pequenas quantidades de chuvas para desestabilização da encosta, ao contrário das zonas íngremes divergentes, próximas aos divisores de água, que necessitam de grandes quantidades de chuva para produzir tal efeito.

O modelo SHALSTAB, como já foi colocado, resulta da combinação de um modelo de estabilidade de encosta com um modelo hidrológico e determina as zonas susceptíveis a escorregamentos rasos para cada célula da grade. O seu desempenho depende basicamente da resolução e confiabilidade dos dados de entrada e da qualidade dos dados relativos aos parâmetros físicos do solo. A combinação do modelo de estabilidade de encosta (Equação 2.8) com o modelo hidrológico (2.19) resulta na Equação 2.20:

$$\frac{Qa}{bT \text{sen } \theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (2.20)$$

A Equação 2.20 foi reorganizada em função da quantidade de chuva, em estado de equilíbrio, necessária para causar o escorregamento. Deste modo, o modelo foi desenvolvido em dois aspectos: considerando ou não a coesão dos solos (Equação 2.21a e Equação 2.21b, respectivamente).

$$Q = \frac{T}{a/b} \text{sen } \theta \frac{C'}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (2.21a)$$

$$Q = \frac{T}{(a/b)} \text{sen } \theta \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (2.21b)$$

As variáveis topográficas, área de contribuição (**a**), comprimento de contorno unitário (**b**) e o ângulo da encosta (**θ**), são obtidas numericamente, para cada célula da grade, a partir de um MDE/MDT. Já a densidade (**ρ_s**), o ângulo de atrito (**φ**) e a transmissividade (**T**), que são parâmetros de propriedades do solo devem ser determinados, juntamente com a precipitação (**Q**), na aplicação do modelo.

CAPÍTULO 3 – APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SRTM PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS NO BRASIL.

O Brasil registra, ao longo de sua história, inúmeras ocorrências de desastres associadas aos escorregamentos, especialmente nas áreas urbanas, onde se concentra grande parte da população brasileira. O crescimento indiscriminado da ocupação urbana em áreas desfavoráveis, sem o devido planejamento, está propagando cada vez mais a ocorrência de acidentes associados a esses eventos, sobretudo durante períodos de chuvas intensas, que muitas vezes atingem dimensões de desastres, causando perdas de vidas e danos à economia, principalmente da região diretamente afetada. (FERNANDES & AMARAL, 1996; VALDÉS, 2006; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; TOMINAGA et al, 2009).

No Brasil, destacam-se, entre outros desastres associados à ocorrência de escorregamentos, aqueles ocorridos em 1967 na Serra das Araras (RJ), onde, de acordo com Rosa Filho & Cortez (2010), morreram 1700 pessoas. Além daqueles ocorridos em janeiro de 2011, também na região serrana do Rio de Janeiro, que causou a morte de mais de 900 pessoas, além de vários danos e prejuízos materiais. Em decorrência das mortes e prejuízos causados, este último evento se configurou no marco das políticas de gestão de riscos e desastres no Brasil (BANCO MUNDIAL, 2012). A Figura 3.1 mostra os danos e prejuízos materiais causados por escorregamentos ocorridos em algumas regiões do país, após um intenso período de chuvas.

Em recente pesquisa realizada pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC) em parceria com a Secretaria Nacional de Defesa Civil, para o período de 1991 a 2010, foi constatado que esse tipo de desastre é característico da região Sudeste, que concentrou aproximadamente 82% dos registros, no período analisado. A região Sul teve um registro em torno de 12% de ocorrência, e nas regiões Norte e Nordeste as ocorrências ficaram em torno de 1,10% e 4,90%, respectivamente. Na região Centro Oeste não houve registro desse tipo de desastre para o período analisado (Figura 3.2).

Ressalta-se que essa pesquisa foi realizada a partir de levantamento registros de documentos oficiais produzidos pelos estados e municípios brasileiros e culminou na

elaboração do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991 a 2010: Volume Brasil (CEPED/UFSC, 2012).



Figura 3.1 - Danos e prejuízos materiais causados por escorregamentos durante chuvas intensas. Rodovia interditada em Ouro Preto, MG (A); cicatrizes e áreas atingidas em Xerém, Duque de Caxias, RJ (B), Teresópolis, RJ (C); Blumenau, SC (D) Nova Friburgo, RJ (E) e Salvador, BA (F). Fonte: Fotos A, B, C e D - <http://noticias.uol.com.br/cotidiano>, E - arquivo pessoal e F <http://atarde.uol.com.br/bahia/salvador>.

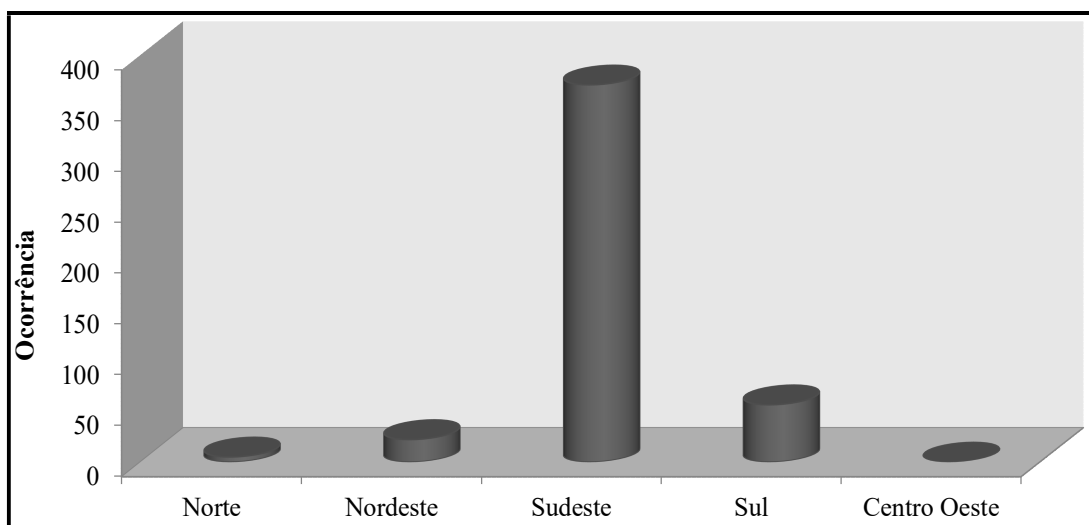


Figura 3.2 - Distribuição por região do número de ocorrência de desastres provocados por escorregamentos ocorridos no Brasil no período de 1990 a 2010. Fonte: CEPED/UFSC (2012).

É importante salientar que, de acordo com os registros já levantados para o Brasil, os estados de Pernambuco, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina são identificados como os mais atingidos por desastres associados a escorregamentos nas encostas.

Contudo, apesar desses registros, ainda não existe um mapeamento que prevê as áreas mais susceptíveis à ocorrência desse tipo de movimento de massa em todo o território brasileiro. Além disso, conforme observado por Brandão & Santo (2009), a grande maioria dos mapeamentos já realizados ainda utiliza informações topográficas existentes nas cartas planimétricas do IBGE, as quais, segundo esses estudiosos, não representam a paisagem atual.

Neste sentido, a recente coleta de dados topográficos por técnicas de sensoriamento remoto, como os da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), tem se constituído como uma alternativa a falta de informações relativas ao relevo. Zeilhofer (2001) e Brandão & Santos (2009) destacam a importância dos dados de SRTM como fonte de informações altimétricas, ressaltando que esses dados podem suprir as necessidades provocadas pela carência de projetos de mapeamento sistemático, bem como pela ausência ou escassez de cartografia, causadas pela dificuldade de acesso, em muitas regiões.

Portanto, neste capítulo, foram utilizadas as imagens SRTM integradas ao modelo matemático de predição de escorregamentos rasos (SHALSTAB) para mapear as áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos em todo o território brasileiro.

3.1 – BRASIL: CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DOS ESCORREGAMENTOS.

O Brasil pertence ao continente Latino Americano e está localizado entre os paralelos 5°16'19"N e 33°45'09"S e entre os meridianos 34°45'54"W e 73°59'32"W. É formado por cinco regiões: Sul, Sudeste, Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Nestas regiões estão distribuídas as 27 Unidades Federativas, sendo 26 Estados e o Distrito Federal (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Unidades Federativas do Brasil.

A **Região Sul**, com uma extensão territorial de 576.410 km², o que representa 6,77% da área total do Brasil, é formada pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Do ponto de vista climático, caracteriza-se pela transição entre climas quentes de baixas latitudes e climas mesotérmicos das latitudes médias (NIMER, 1979).

No que se refere ao ciclo anual de precipitação, Grim (2009) destaca-se uma transição entre os regimes de monções de verão, ao norte, e um regime de latitudes médias. No primeiro caso, predominam os máximos de precipitação em janeiro, já nas latitudes médias as chuvas são mais distribuídas, ocorrendo maior precipitação no período de inverno. Com relação ao regime pluviométrico, segundo Brasil/CENAD (2012), esta região conta com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sendo os meses de dezembro a março o período mais crítico. A pluviosidade média anual varia entre 1250 e 2000 mm em praticamente toda a região, uma exceção é observada no litoral do Paraná e no oeste de Santa Catarina, onde a pluviosidade média supera 2.000 mm.

Geomorfologicamente, esta região é constituída por uma grande variabilidade de unidades de relevo, destacando-se as Planícies Litorâneas, Serras do Leste Catarinense, Serra do Mar; Patamares da Bacia do Rio Paraná, Planalto Paranaense, Planalto Sul-Rio-Grandense, Planalto das Araucárias e Planalto da Bacia do Rio Paraná (IBGE, 2012). De acordo com o IBGE (2012), a maior parte desta região é formada por rochas vulcânicas de composição básica e de composição ácida, rochas metamorfizadas e sedimentos arenosos e argilosos.

Das doze grandes regiões hidrográficas brasileiras, definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (Resolução CNRH nº 32 de 15/10/2003), observa-se que ocorrem na região Sul a Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraná e a do Uruguai.

Verifica-se que esta região historicamente é marcada pela ocorrência de desastres associados a eventos naturais, principalmente atrelados aos processos atmosféricos, como as precipitações pluviométricas. Especificamente em relação aos desastres causados por movimentação de massa, no levantamento realizado pelo CEPED/UFSC (2012) foi constatado que esta região foi a segunda mais afetada no período de 1991 a 2010, ficando atrás apenas da Sudeste, conforme já destacado.

É importante ressaltar que no estado de Santa Catarina, os movimentos de massa são bastante recorrentes e respondem por diversos impactos negativos na região, a exemplo dos escorregamentos ocorridos em novembro de 2008 que afetaram vários municípios localizados

nas Serras do Leste Catarinense e causaram danos sociais de proporções catastróficas, além de terem deixado inúmeras cicatrizes na paisagem (Figura 3.4).

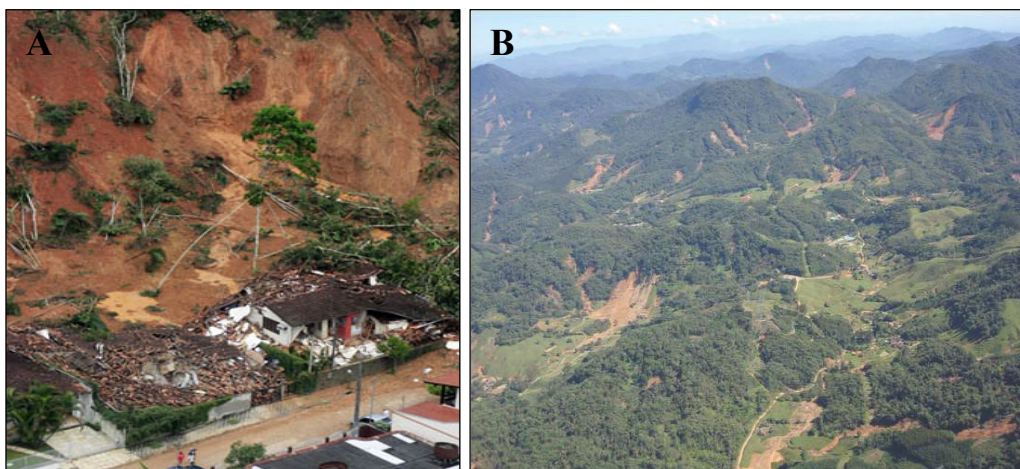


Figura 3.4- Escorregamentos ocorridos em 2008 Blumenau/SC (A) e Morro do Baú- Ilhota/SC (B). Fonte: <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/28/11/26> (A) e Marinho, 2011 (B).

A **Região Sudeste**, com 924.512 km² de área territorial, a qual representa 10,86% do território brasileiro, engloba os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Esta região é marcada pela transição entre climas quentes de baixas latitudes e climas mesotérmicos das latitudes médias (NIMER, 1979). Além disso, possui algumas particularidades que influenciam nas variações temporais e espaciais de temperatura, precipitação e vento (Brasil/CENAD, 2012).

No que se refere à distribuição espacial das precipitações, conforme observado por Brasil/CENAD (2012), esta região pode ser dividida em quatro zonas distintas. A primeira se estende ao longo do litoral paulista, com maior média anual superior a 2.000 mm, podendo chegar até 4.500 mm em algumas áreas. A segunda zona, com totais pluviométricos anuais entre 1.500 a 1.700 mm, vai desde o Rio de Janeiro ao oeste de Minas Gerais e está disposta no sentido SE-NW. A terceira zona registra pluviosidade entre 1.250 e 1.400 mm e abrange o planalto ocidental paulista, o centro-norte mineiro, o norte fluminense e o Espírito Santo. A quarta e última zona apresenta os menores índices pluviométricos anuais desta região, inferiores a 1.000 mm, e compreende o extremo norte do Espírito Santo e noroeste de Minas Gerais.

Quanto à distribuição temporal dessas precipitações, observa-se um período de estiagem, concentrado nos meses de junho a setembro e muitas chuvas ao longo dos meses de novembro a março, com pico em dezembro e janeiro (CEPED/UFSC, 2012).

O relevo é bastante complexo, sendo constituído pelos compartimentos geomorfológicos da Serra do Mar; Serra da Mantiqueira, Serra da Canastra, Serra do Espinhaço e Chapada Diamantina; Planalto da Bacia do Paraná; Planalto Paulistano; Planalto Centro-Sul Mineiro; Planalto dos Geraizinhos; Chapadas do Rio São Francisco; Depressão Paulista; Depressão Sertaneja/São Francisco; Planícies Interiores e Planícies Litorâneas (IBGE, 2012). Em relação à geologia, de acordo com IBGE (2012), esta região é formada, em sua grande parte, por rochas do tipo gnáissicas de origem sedimentar e granítica; por sedimentos arenosos e argilo-carbonáticos com muito pouco ou fraco grau metamórfico e por sedimentos argilosos, arenosos e cascalhos. O Sudeste é banhado por cinco das doze regiões hidrográficas brasileiras, sendo elas: Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, São Francisco e Paraná.

Com relação aos desastres associados aos movimentos de massa, constata-se que no Sudeste eles são bastante recorrentes, sobretudo os escorregamentos e, assim como na região Sul, tem causado vários danos e prejuízos materiais (Figura 3.5), além de perda de vidas humanas. Como ressaltado anteriormente, no levantamento realizado pelo CEPED/UFSC (2012) foi observado que, no período de 1990 a 2010, os desastres provocados por movimentos de massa foram característicos da região Sudeste e ocorreram principalmente nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (Figura 3.6). Fato que mostra a influência das precipitações nesse processo, uma vez que esses representam os meses de maior pluviosidade na região.

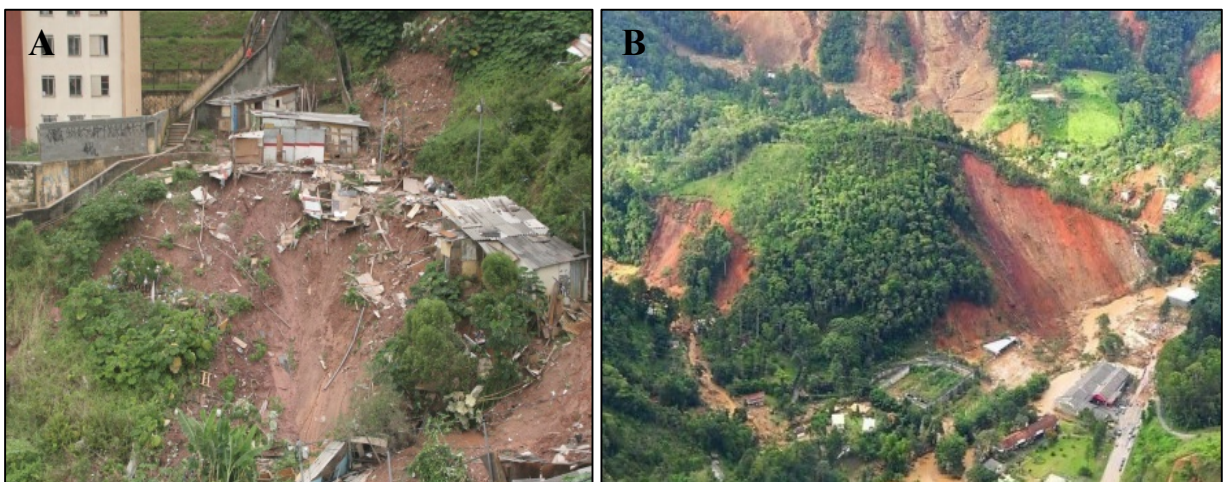


Figura 3. 5- Prejuízos decorrentes de escorregamentos de terra ocorridos em Santo André/SP, janeiro de 2010 (A) e em Petrópolis/RJ, janeiro de 2011 (B). Fonte: <http://noticias.r7.com/> (A) e <http://www.materiaincognita.com.br/> (B).

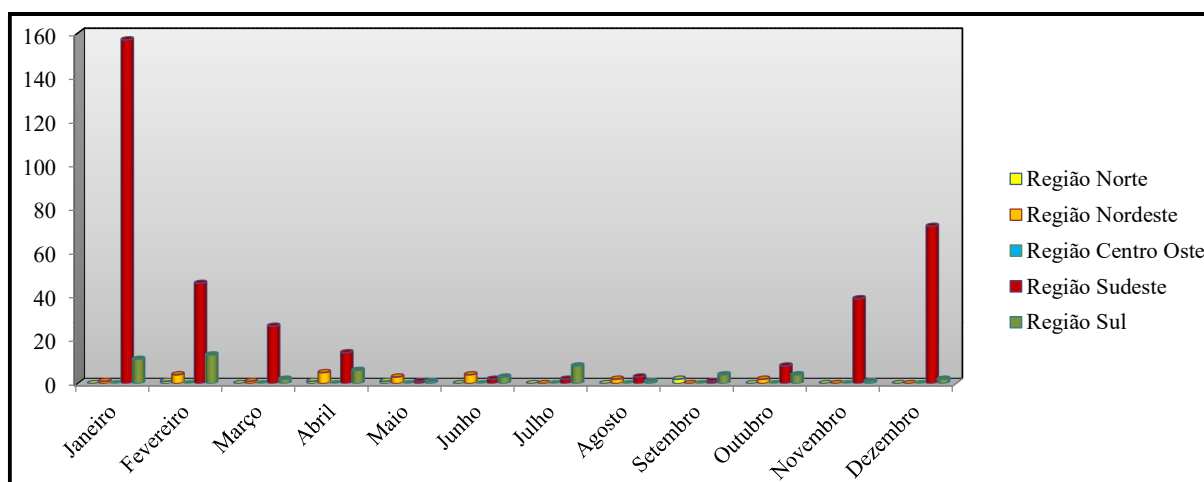


Figura 3. 6- Ocorrência mensal de movimento de massa por região. Fonte: CEPED/UFSC (2012)

A **Região Nordeste** possui uma extensão territorial de 1.809.084 km², o que representa 21,25% do território nacional. É composta pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Conforme destacado por Brasil/CENAD (2012) nesta região predominam três tipos climáticos: o litorâneo úmido, que se estende do litoral da Bahia ao Rio Grande do Norte; o clima tropical, que abrange parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí e, por fim, o clima tropical semiárido, característico de todo o sertão nordestino. A pluviosidade anual média do litoral da Bahia ao do Rio Grande do Norte é de 2000 mm; em parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí fica entre 1000 e 1200 mm; e em todo o sertão nordestino a pluviosidade é inferior a 500 mm.

Do ponto de vista geomorfológico, a região Nordeste caracteriza-se basicamente pela presença de planícies e chapadas, sendo composto pelas unidades Serra do Espinhaço e Chapada Diamantina; Planalto Sertanejo; Planalto da Borborema; Patamares e Colinas Pré-Litorâneas; Chapadas do Rio São Francisco; Chapadas do Meio Norte; Depressão Sertaneja/São Francisco, Depressão do Meio Norte; Tabuleiros Interioranos; Tabuleiros Costeiros e Planícies Interiores (IBGE, 2012). Quanto à geologia, nesta região ocorrem rochas do tipo gnáissicas de origem magmática ou sedimentar e rochas graníticas, sequências metamórficas de origem sedimentar de médio a baixo grau metamórfico, além de sedimentos arenosos e sedimentos argilosos (IBGE, 2012).

Destaca-se que o Nordeste é banhado por seis das doze regiões hidrográficas brasileiras: Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Paraíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste.

Com frequência, porém em menor proporção, esta região é acometida por escorregamentos de terra. De acordo com o levantamento do CEPED/ UFSC (2012) esta é a terceira região em número de registros de movimentos de massa ocorridos no Brasil no período de 1990 a 2010, em torno de 4,8%. Os desastres associados a esse tipo de evento ocorrem principalmente nas áreas metropolitanas, sobretudo do estado da Bahia, Pernambuco e Alagoas. Estando relacionados à ocorrência de chuvas intensas, traz consequências significativas para a população que habita as áreas de risco.

A **Região Norte**, a mais extensa do Brasil, possui uma área de 3.853.328 km², representando 45,25% do território nacional. Engloba os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e caracteriza-se, do ponto de vista climático, pela predominância do clima equatorial chuvoso, praticamente sem estação seca e com o maior total pluviométrico anual do Brasil.

Nesta região, as unidades de relevo são representadas por planaltos, depressões e planícies, ocorrendo às unidades de Planaltos do Sul da Amazônia, Planaltos do Norte da Amazônia, Depressão do Sul da Amazônia, Depressão do Norte da Amazônia, Depressão do Rio Negro/Rio Branco, Depressão do Rio Amazonas, Planícies Interiores e Planícies Litorâneas (IBGE, 2012).

A geologia desta região é composta, basicamente, por sedimentos de aluviões, de sedimentos arenosos e argilosos, rochas de origem vulcânica e plutônica, rochas gnáissicas de origem magmática ou sedimentar, além de rochas graníticas (BRASIL/CENAD, 2012). Destaca-se que esta região é abrangida pelas seguintes regiões hidrográficas: Amazônica, Tocantins-Araguaia e Atlântico Nordeste Ocidental.

Quanto à ocorrência de desastres associados a movimentos de massa, os registros indicam que estes não são característicos desta região, quando comparado com as regiões Sudeste e Sul do país. Conforme levantamento do CEPED/UFSC (2012) foi registrado no período de 1990 a 2010 em torno de 1,10% de ocorrência desse tipo de desastre.

A **Região Centro-Oeste**, com uma extensão territorial de 1.606.372 km², o que corresponde a 18,87% do território nacional, abrange os estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal.

Do ponto de vista climático, esta região caracteriza-se pela ocorrência de três tipos de clima, o subtropical úmido com inverno seco e verão quente, o qual ocorre nas áreas mais altas do estado de Goiás e no sul do Mato Grosso do Sul, apresentando temperaturas

moderadas com verões quentes e chuvosos; o clima tropical com estação seca de inverno, que ocorre em todos os Estados e caracteriza-se por apresentar temperaturas elevadas, chuva no verão e seca no inverno e, por fim, o clima de monção, que ocorre na parte norte do Mato Grosso, tendo temperaturas elevadas com alto índice pluviométrico (CEPED/UFSC, 2012).

No que refere à geomorfologia, esta região é constituída pelas unidades Planalto da Bacia do Paraná, Planalto Central Brasileiro, Planalto e Chapada dos Parecis, Planalto dos Guimarães, Planaltos do Sul da Amazônia, Depressão dos Rios Paraguai/Guaporé, Depressão dos Rios Araguaia/Tocantins/Xingu, Depressão do Sul da Amazônia, Pantanal Mato-Grossense e do Guaporé (IBGE, 2012). A geologia é composta, em sua maioria, por rochas gnáissicas de origem sedimentar e granítica; por rochas vulcânicas de composição ácida, por sedimentos arenosos e argilo-carbonáticos com muito pouco ou fraco grau metamórfico, sedimentos e por sedimentos argilosos, arenosos e cascalhos (IBGE, 2012).

Em relação às regiões hidrográficas, o Centro Oeste do Brasil é abrangido pelas bacias Amazônica, São Francisco, Paraguai, Paraná e Tocantins-Araguaia.

Conforme o levantamento do CEPED/UFSC (2012) não houve registro de desastres associados a movimentos de massa na região Centro-Oeste no período de 1990 a 2010, o que evidencia que esse tipo de desastre não é característico desta região.

3.2 - METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO BRASIL

Neste trabalho, as áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos foram definidas a partir do uso do módulo SHALSTAB, implementado por Gunther (2012) no *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA). O software SAGA se constitui em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre, de código aberto, que vem sendo bastante utilizado em análises geomorfológicas e modelagens, entre outros estudos (CONRAD et al, 2015).

Conforme já destacado, o modelo SHALSTAB determina a quantidade de chuva (Q) necessária para causar os escorregamentos em uma região, para cada célula (*pixel*). A Tabela 3.1 mostra a relação entre a quantidade de chuva necessária para causar os escorregamentos e o valor do *pixel* em cada classe de estabilidade.

Tabela 3.1 - Relação entre a quantidade de chuva necessária para causar os escorregamentos e o valor do *pixel* em cada classe de estabilidade.

Q (mm/dia)	Valor do <i>pixel</i> correspondente em cada classe de estabilidade
Incondicionalmente Instável	1
0 a 50	2
50 a 100	3
100 a 200	4
200 a 400	5
>400	6
Incondicionalmente Estável	7

A seguir são apresentados os procedimentos realizados para aplicação do modelo SHALSTAB, e consequente obtenção das classes de susceptibilidade aos escorregamentos rasos no território brasileiro, bem como para aplicação da função *Zonal Statistics* e consequente obtenção dos valores de susceptibilidade aos escorregamentos, em cada setor urbano do Brasil.

3.2.1 – Aquisição e processamento do modelo digital de elevação (SRTM)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é componente fundamental do modelo de predição de áreas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos rasos (SHALSTAB), uma vez que constitui a base para a determinação dos fatores topográficos declividade (θ) e área de contribuição (a), essenciais para determinação das zonas de instabilidade nas encostas, (FERNANDES et al, 2001; FERNANDES et al, 2004; GOMES et al, 2005; RAMOS et al, 2007; GUIMARÃES, et al, 2009; ZAIDIN & FERNANDES, 2009; ARONICA et al ,2012; GOMES et al, 2013; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; ZIZIOLI et al, 2013; CAMARINHA et al, 2014).

Neste sentido, o mapeamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos do Brasil foi realizado utilizando como dado de entrada o MDE da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esta missão, a qual é resultante de uma ação conjunta entre agências espaciais americanas e europeias, foi lançada em fevereiro de 2000 com o objetivo de realizar o imageamento e obter dados topográficos da superfície terrestre. Tal missão possibilitou a obtenção de dados topográficos a partir de um único sobrevoo que abrangeu 80% da

superfície da terra em apenas 11 dias, entre as latitudes 60° Norte e 56° Sul, e trouxe, portanto, um grande avanço para as pesquisas nessa área (REUTER et al., 2007).

Como produto, foram gerados modelos tridimensionais de alta qualidade e com duas resoluções espaciais de 1 e 3 arco de segundo, respectivamente 30 e 90 metros; com *datum* WGS84 horizontal e WGS84/EGM96 vertical, cuja precisão é da ordem de 5 metros (SMITH & SANDWELL, 2003). Conforme observado por Rabus et al (2003) e Smith & Sandwell (2003) o sistema de aquisição de dados contínuo desse radar (dia e noite, e sem cobertura de nuvens) garantiu a obtenção homogênea de informações de todo o globo, e fez com que os modelos resultantes dessa missão se constituíssem em uma ferramenta importante para estudos da superfície terrestre.

O MDE usado neste trabalho, que corresponde à versão 4 do modelo resultante dessa missão (SRTM versão 4), foi obtido do sítio do CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). É importante destacar que, conforme salientado por Jarvis et al. (2008), os MDEs disponibilizados pelo CGIAR-CSI foram submetidos a uma série de procedimentos metodológicos, como preenchimentos e interpolações, que tiveram o propósito de resolver o problema da falta de informação existentes nos dados SRTM originais, entre outros, que dificultam a correta obtenção das propriedades hidrológicas. Jarvis et al. (2008) destaca que os procedimentos aplicados possibilitaram uma melhoria significativa desses dados, especialmente para aplicação em modelos hidrológicos que necessitam de superfícies de fluxo contínuo.

Objetivando obter dados contínuos para elaboração da área de contribuição, o MDE foi convertido para projeção *Lambert Conformal Conic*, *datum* horizontal SAD 69, mantendo-se a resolução espacial de 90 metros.

3.2.2 - Obtenção dos mapas de área de contribuição e declividade.

As redes de drenagem são feições topográficas onde se concentra o volume de água escoado pela superfície, comportando o fluxo de escoamento e o acumulado. Assim, é possível determinar as direções de escoamento do fluxo de drenagem e, conseqüentemente, as áreas de contribuição com base na topografia (SOILLE & GRATIN, 1994).

A área de contribuição, a qual é calculada para cada célula da grade (*grid*), é definida como o valor da área correspondente à bacia a montante de cada *célula* específica (MOORE et al, 1991). Existem vários métodos para determinação da direção do fluxo de drenagem e

consequente determinação de áreas de contribuição. Contudo, o método de fluxo de direção única (*Single flow direction*) e os de fluxo de direções múltiplas (*Multi flow directions*) são os mais utilizados.

No método de direção única, todo fluxo de drenagem é direcionado para uma única célula com menor valor de elevação. Assim, a área de contribuição é definida com base na transferência do fluxo existente à montante para uma única célula à jusante (DESMET, & GOVERS, 1996; MILDE et al,1999). Já nos métodos de direções múltiplas (QUINN et al., 1991 e TARBOTAN,1997) o fluxo de uma célula é dividido de forma proporcional, considerando a diferença de elevação, entre as suas células vizinhas. Estas devem possuir menor valor de elevação que a célula de onde o fluxo está partindo.

Na abordagem proposta por Quinn et al (1991), por exemplo, a fração do fluxo transferida para cada célula à jusante da célula central é proporcional ao produto da distância medida e a um fator de peso geométrico, que depende da direção. Deste modo, essa metodologia efetua o cálculo de área de contribuição distribuindo proporcionalmente o fluxo entre as células localizadas à jusante, de acordo com a declividade local. Essa abordagem representou um grande avanço no âmbito da modelagem hidrológica, obtida a partir de MDEs, sendo utilizada neste trabalho para obtenção das áreas de contribuição. Tendo em vista a extensão territorial do Brasil e os processamentos a serem realizados, optou-se por dividir a área em regiões hidrográficas.

Inicialmente, portanto, foram obtidos, a partir do sítio da Agência Nacional de Águas (www.ana.gov.br/), os vetores (*shapefile*) das 12 regiões hidrográficas brasileiras, definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Para preservar os divisores de água foi gerado um *buffer* de 5 km em cada vetor das regiões hidrográficas. Este *buffer* é necessário para que seja identificado o divisor de águas de cada bacia. Com bases nesses vetores foi realizado o recorte do MDE/SRTM do Brasil (Figura 3.7), obtendo-se, assim, 12 MDEs para a área de estudo. O Quadro 3.1 mostra a localização das 12 regiões hidrográficas brasileiras, bem como as unidades da federação por elas englobadas.

Desta forma, foram gerados os *grids* de área de contribuição para cada região hidrográfica. Para a determinação dessas áreas, foi utilizado um algoritmo, implementado no *software* SAGA GIS (CONRAD, 2001), que tem como base a metodologia de fluxo de direções múltiplas, proposta por Quinn et al (1991).

Em relação à declividade, ressalta-se que esta também foi estimada para cada região hidrográfica a partir dos MDEs obtidos. Para tanto, foi utilizada a rotina *Slope* implementada no *software* SAGA GIS (CONRAD, 2001). Esta rotina usa o MDE para calcular o declive para cada célula do *grid*, estimando-o como uma média geométrica das direções que a declividade pode assumir a partir de uma determinada célula, usando as oito células circunvizinhas.

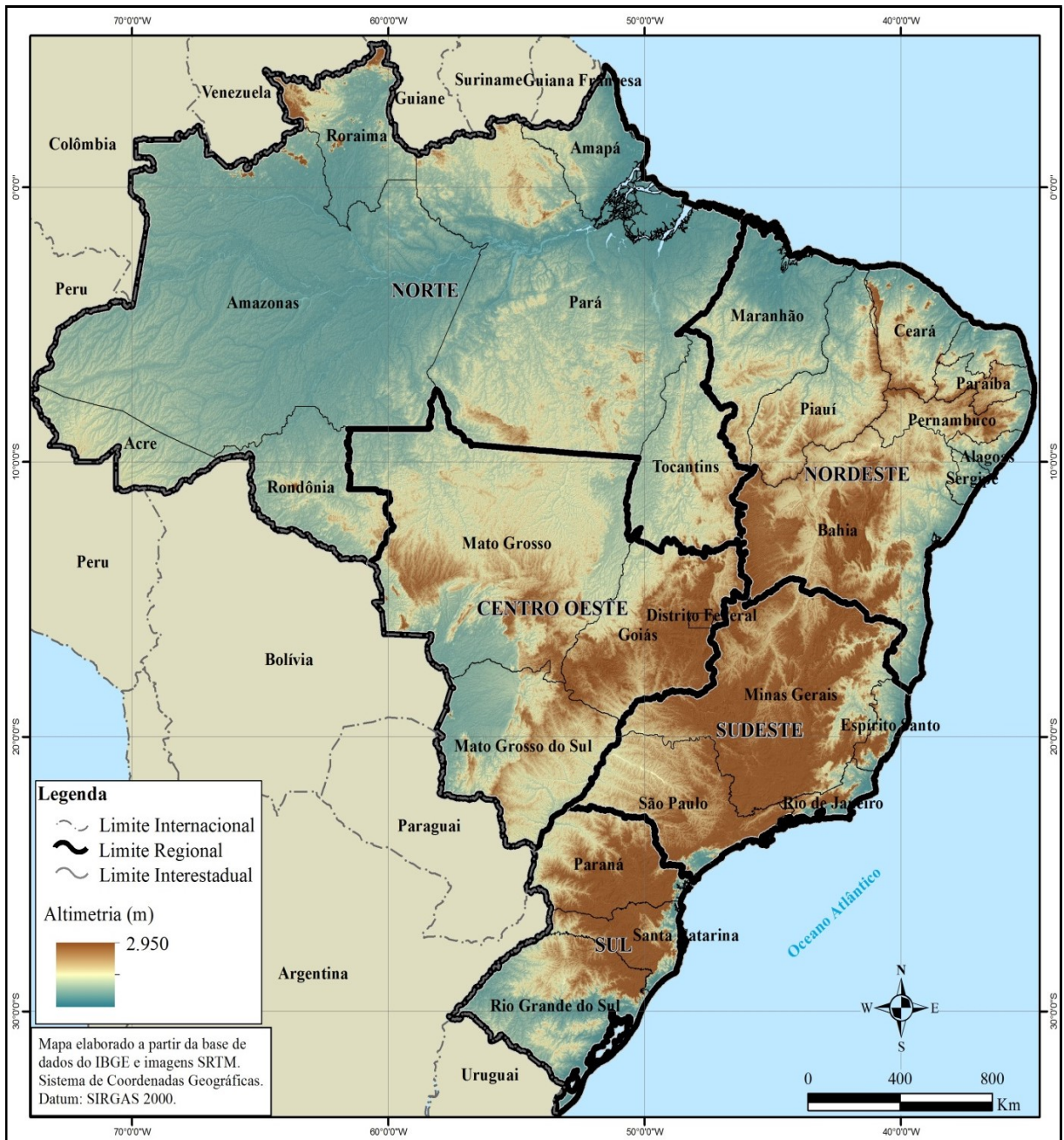














Figura 3.7 - Modelo Digital de Elevação do Brasil - SRTM

Quadro 3.1 – Localização das regiões hidrográficas do Brasil

Região Hidrográfica	Unidades da Federação Abrangidas	Localização
Amazônica	Acre, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Pará e Amapá.	
Tocantins-Araguaia	Goiás, Mato Grosso, Distrito Federal, Tocantins, Maranhão e Pará.	
Atlântico Nordeste Ocidental	Maranhão e Pará.	
Parnaíba	Piauí, Maranhão e Ceará.	
Atlântico Nordeste Oriental	Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas.	
São Francisco	Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe.	
Atlântico Leste	Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia e Sergipe.	
Atlântico Sudeste	Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná	
Paraná	Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Santa Catarina.	
Paraguai	Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.	
Uruguai	Santa Catarina e Rio Grande do Sul.	
Atlântico Sul	São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.	

3.2.3 – Definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos, a partir do Modelo SHALSTAB.

A quantidade de chuva necessária para deflagração dos escorregamentos, em cada região hidrográfica foi calculada a partir do SAGA GIS, conforme já destacado. Os valores de declividade e área de contribuição foram fornecidos ao modelo segundo seu valor relativo a cada célula do *grid*.

Quanto aos parâmetros do solo (ângulo de atrito, densidade do solo e condutividade hidráulica) componentes do modelo, seus valores foram considerados constantes para toda a área de estudo. Sendo utilizados valores de ângulo de atrito, densidade e condutividade iguais a 45° a 2,0 g/cm³ e a 2.7 m/hr, respectivamente. O valor de b, considerado constante para toda a área, foi estimado em 90 metros. Deste modo, foi possível hierarquizar as regiões hidrográficas em termos de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.

Após as etapas acima descritas, foi realizada, no *Arcmap*, a junção (mosaico) dos *grids*, referentes ao resultado da equação Q, gerados para cada região hidrográfica, obtendo-se assim para todo o Brasil, as áreas com suas respectivas classes de susceptibilidade.

3.2.4 – Definição e quantificação das áreas urbanas do Brasil que apresentam susceptibilidade a escorregamentos rasos.

Com o intuito de identificar as áreas urbanas, de cada município, com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos no Brasil e, conseqüentemente, prioritárias para monitoramento e/ou implantação de sistemas de alerta à população, foi aplicada, sobre o *grid* das classes de susceptibilidade a escorregamentos do Brasil, a função *Zonal Statistics* (Estatística por zona). Esta função calcula os tipos de estatísticas (mínima, média, mediana, máxima, desvio padrão, entre outras) sobre os valores de uma imagem (*grid*) tendo como base as zonas de outro conjunto de dados.

Com este objetivo, foi utilizado um arquivo *shapefile* (obtido a partir da base de dados do IBGE) contendo os polígonos dos setores censitários urbanos (unidade territorial criada para fins de controle cadastral da coleta, segundo IBGE- Censo Demográfico, 2010) de todo o Brasil, como o conjunto de dados para definir as zonas de susceptibilidade a escorregamentos, a partir da estatística mínima. Este procedimento possibilitou, portanto, a obtenção dos valores mínimos de susceptibilidade a escorregamento, em cada setor censitário urbano delimitado.

3. 3. ESCORREGAMENTOS NO BRASIL: RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1. Classes de susceptibilidade a escorregamentos rasos, definidos para o território brasileiro.

Com base na metodologia aplicada foi possível, inicialmente, gerar um mapa, para o território brasileiro, com as diferentes classes de susceptibilidade a escorregamentos rasos (Figura 3.8). Estas classes de susceptibilidade, conforme já indicado, foram definidas em função da quantidade de chuva necessária para causar os escorregamentos.



Figura 3.8 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos rasos no Brasil

As cores vermelhas (melhor visualizada na Figura 3.9) e cinzas representam as áreas consideradas incondicionalmente instáveis e incondicionalmente estáveis, respectivamente. As áreas incondicionalmente instáveis correspondem àquelas que, do ponto de vista da topografia, se caracterizam por apresentarem altas declividades, em que os escorregamentos rasos podem acontecer independentemente da ocorrência de eventos de chuva. Já as consideradas estáveis, as quais se caracterizam pela presença de áreas mais planas, não apresentam susceptibilidade aos escorregamentos rasos, mesmo no caso de eventos de chuva de grande magnitude. As demais cores correspondem às áreas com algum grau de instabilidade, isto é, que apresentam susceptibilidades à ocorrência desses fenômenos, de acordo com a intensidade diária de chuva.

No que se refere à distribuição espacial das áreas previstas pelo modelo como susceptível aos escorregamentos, observa-se que estas estão localizadas essencialmente nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste. Ocorrendo em maior proporção nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Santa Catarina, sobretudo, nas porções do relevo correspondentes às Serras do Mar e da Mantiqueira (Figura 3.9), que são as regiões de maior ocorrência de escorregamento conforme levantamento realizado pelo CEPED/UFSC (2012).

Em relação à região Norte observa-se, também, áreas onde existe susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, porém em menor proporção. Essas estão localizadas principalmente no extremo norte dos estados do Amazonas e Roraima, além do extremo norte e da porção sudeste do estado do Pará, onde o relevo é mais acidentado e as declividades são mais acentuadas. Por fim, no que se refere à região Centro Oeste, também foram identificadas áreas susceptíveis aos escorregamentos rasos. As áreas com maior susceptibilidade são observadas em maior proporção na porção nordeste do estado de Goiás e sul de Mato Grosso, onde também se observa que as declividades são mais acentuadas. Todas estas áreas não são habitadas, sendo, portanto, descartada a análise de previsão.

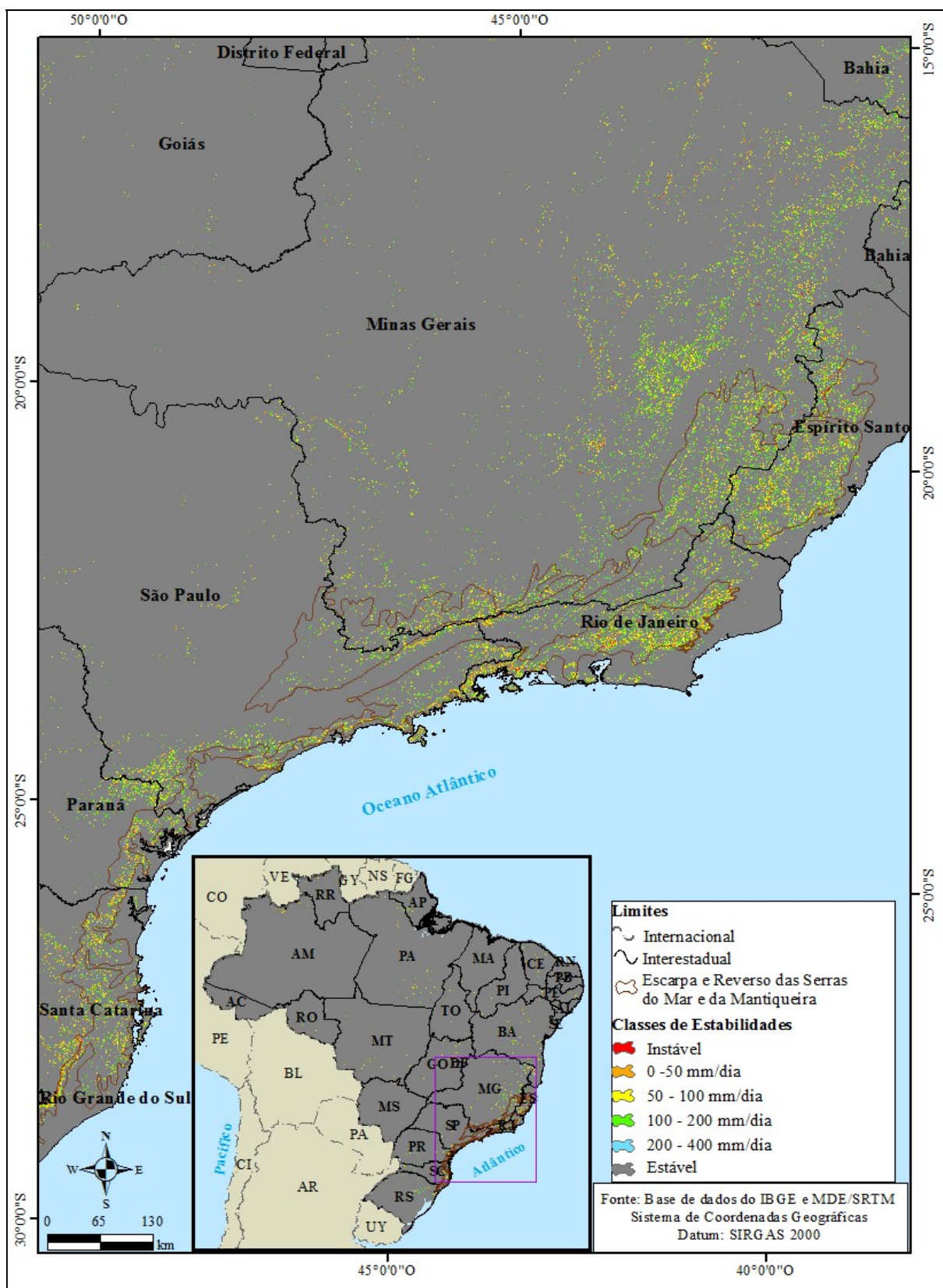


Figura 3.9 - Estados brasileiros com maior susceptibilidade a ocorrência de escorregamento.

3.3.2. Áreas urbanas do Brasil identificadas como suscetíveis a escorregamentos rasos

As classes de instabilidades, mostradas nos mapas anteriores, foram renomeadas com valores de 1 a 6, do *pixel* instável ao estável. Sendo assim, foi definido, com base na identificação do *pixel* mais instável dentro de cada setor censitário (estatística zonal mínima) o grau de susceptibilidade de todos os setores urbanos do território nacional. A Figura 3.10 mostra um caso hipotético, classificando os setores urbanos de acordo com seu *pixel* mais instáveis. Do total de 8.515.767,049 km² da área total do Brasil, a área urbanizada de aproximadamente 84.418,95 Km², corresponde a cerca de 0,99% do território nacional. A Figura 3.11 mostra o grau de susceptibilidade aos escorregamentos rasos definidos, para os setores urbanos do Brasil, de acordo com a metodologia aplicada.

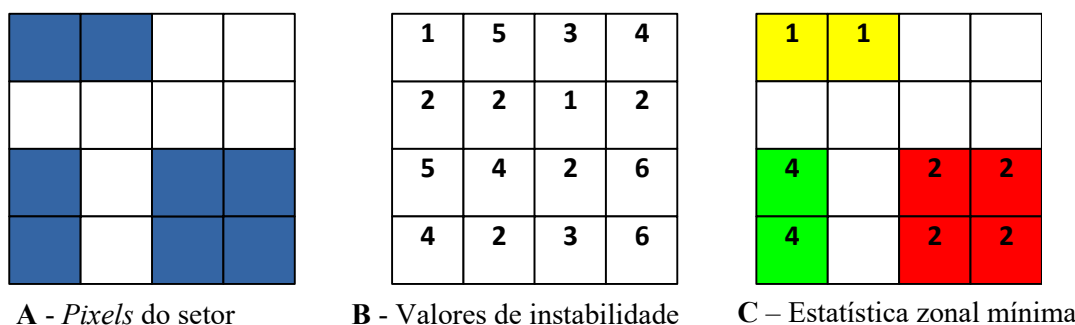


Figura 3.10 - Caso hipotético mostrando os pixels referentes aos setores urbanos em azul (Matriz A) são sobrepostas na matriz B, sendo identificado o menor valor (maior instabilidade), que determinará o valor de instabilidade para cada cicatriz (Matriz C).

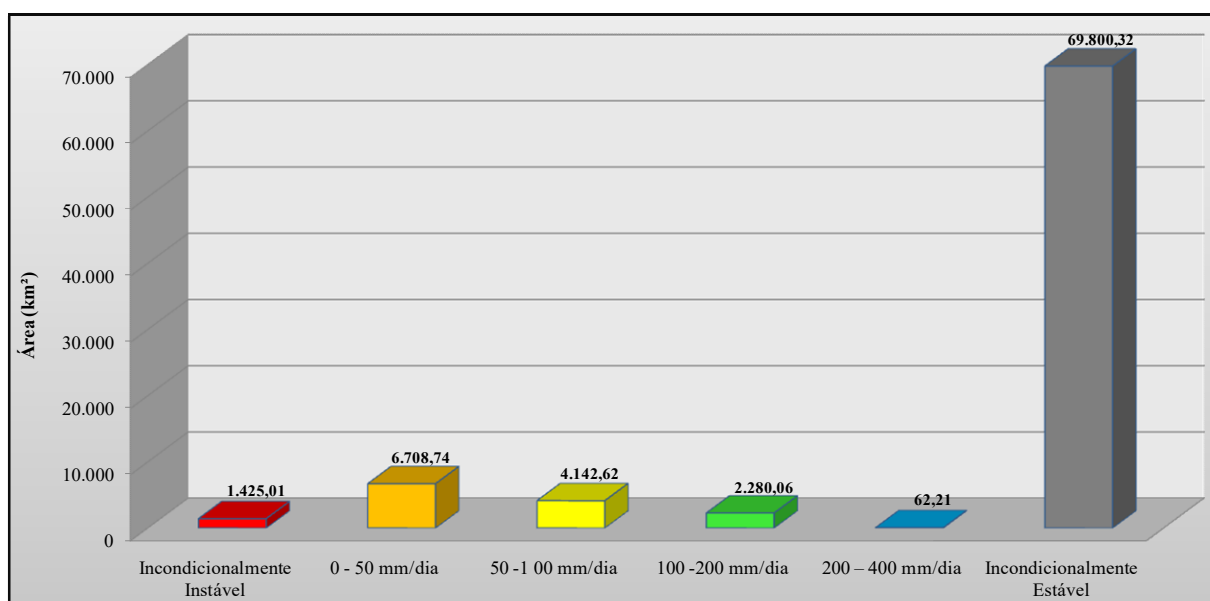


Figura 3.11 – Classes de estabilidades definidas para o total de áreas urbanizadas no Brasil, obtidas a partir da estatística zonal mínima.

Evidencia-se que, para este mapeamento, não foram identificadas áreas que necessitam mais que 400 milímetros de chuva/dia para que os escorregamentos ocorram. A não identificação dessa classe de instabilidade pode ser justificada pela suavização da declividade, ocorrida em função da escala de trabalho aqui utilizada.

Deste modo, somando-se as áreas dos setores censitários urbanos que apresentaram algum grau de susceptibilidade aos escorregamentos rasos no Brasil, constata-se que do total de 84.418,95 Km² de áreas urbanizadas, 14.618,63 km², isto é, 17,32%, são consideradas, em maior ou menor proporção, como áreas de risco à permanência da população e que, portanto, necessitam de uma atenção especial, por parte das autoridades gestoras, em relação ao uso e ocupação da terra. Esta área é superestimada devido à metodologia utilizada, no qual a partir da identificação de um *pixel* instável em uma mancha urbana, toda a área será considerada como sendo instável.

Em relação à distribuição espacial desses setores, observa-se sua ocorrência em todas as regiões do Brasil. Contudo, constata-se que essas se concentram nas regiões Sudeste (74,68%) e Sul (14,61%) (Figura 3.12). Especialmente, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figuras 3.13). Nesses estados estão concentrados os municípios mais urbanizados do país, onde a ocupação desordenada, bem como a falta de ações preventivas faz com que grande parte da população habite em áreas consideradas de risco, como encostas íngremes (Figura 3.14) e, portanto, fiquem sujeitas aos desastres associados a eventos de movimentação de massa, entre outros. A Figura 3.15 mostra o número de fatalidades ocorridas, desde a década de 1960, na região Sudeste e em Santa Catarina.

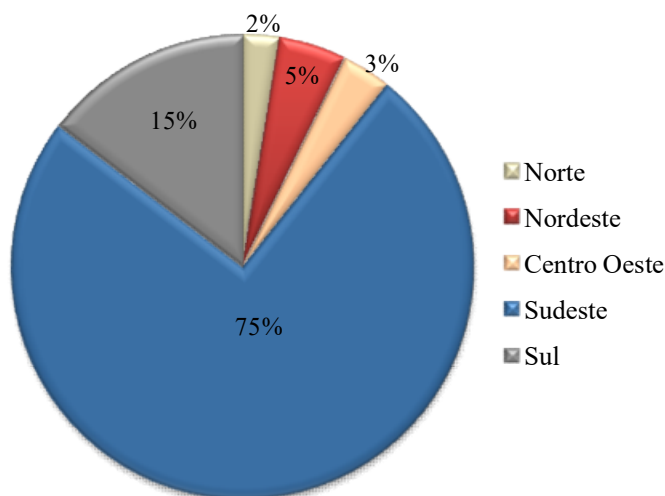


Figura 3.12 – Porcentagem de áreas urbanizadas susceptíveis a escorregamentos definidas, para cada região do Brasil, com base na estatística zonal mínima.

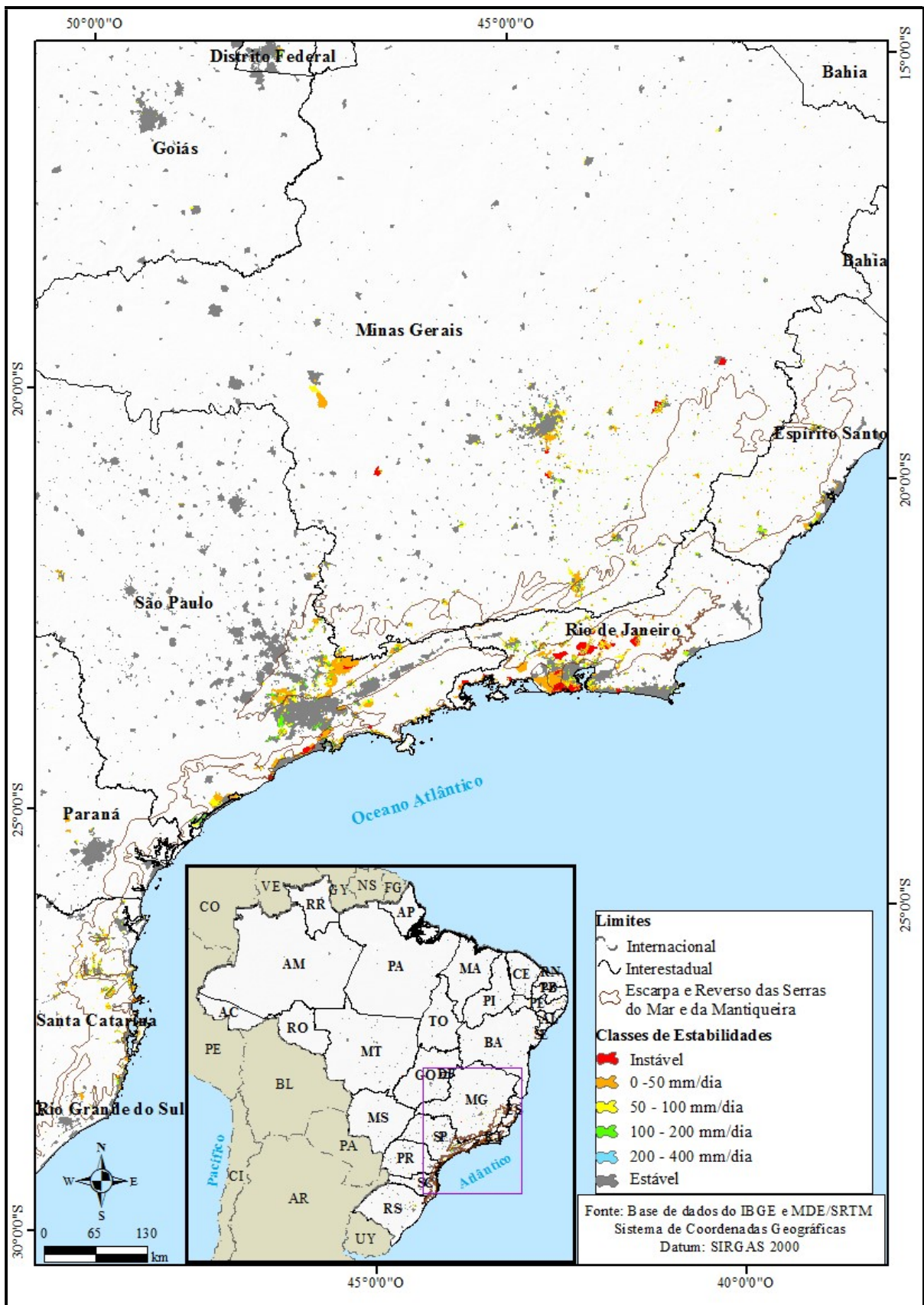


Figura 3.13 - Estados brasileiros com as manchas urbanas definidas, pela estatística zonal mínima, como as mais susceptíveis aos escorregamentos rasos.

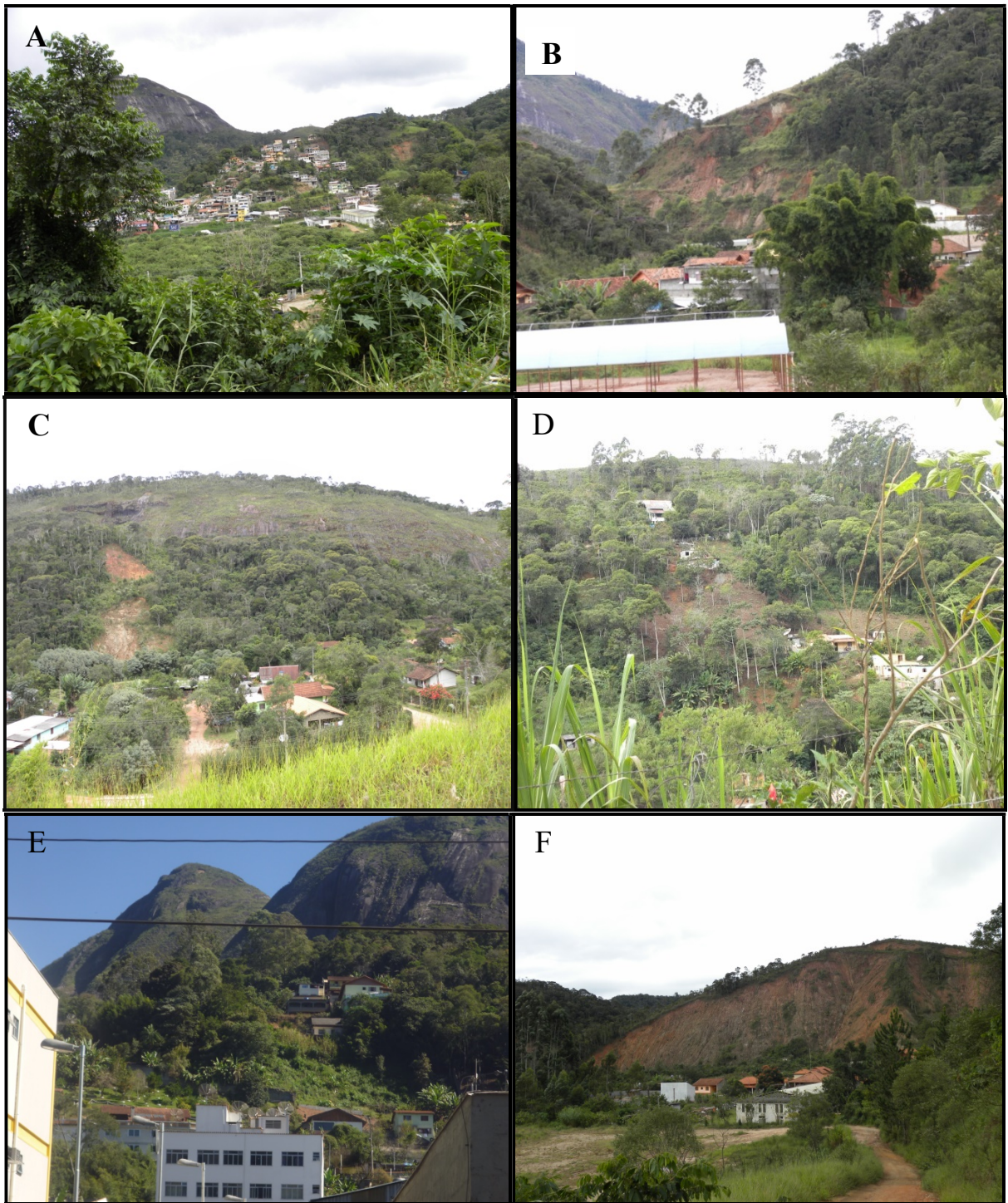


Figura 3. 14 – Conjunto de fotos mostrando a ocupação irregular, em encostas íngremes (A, B, C, D, E e F), além de cicatrizes de escorregamentos ocorridos na área (A, B, C, E e F).

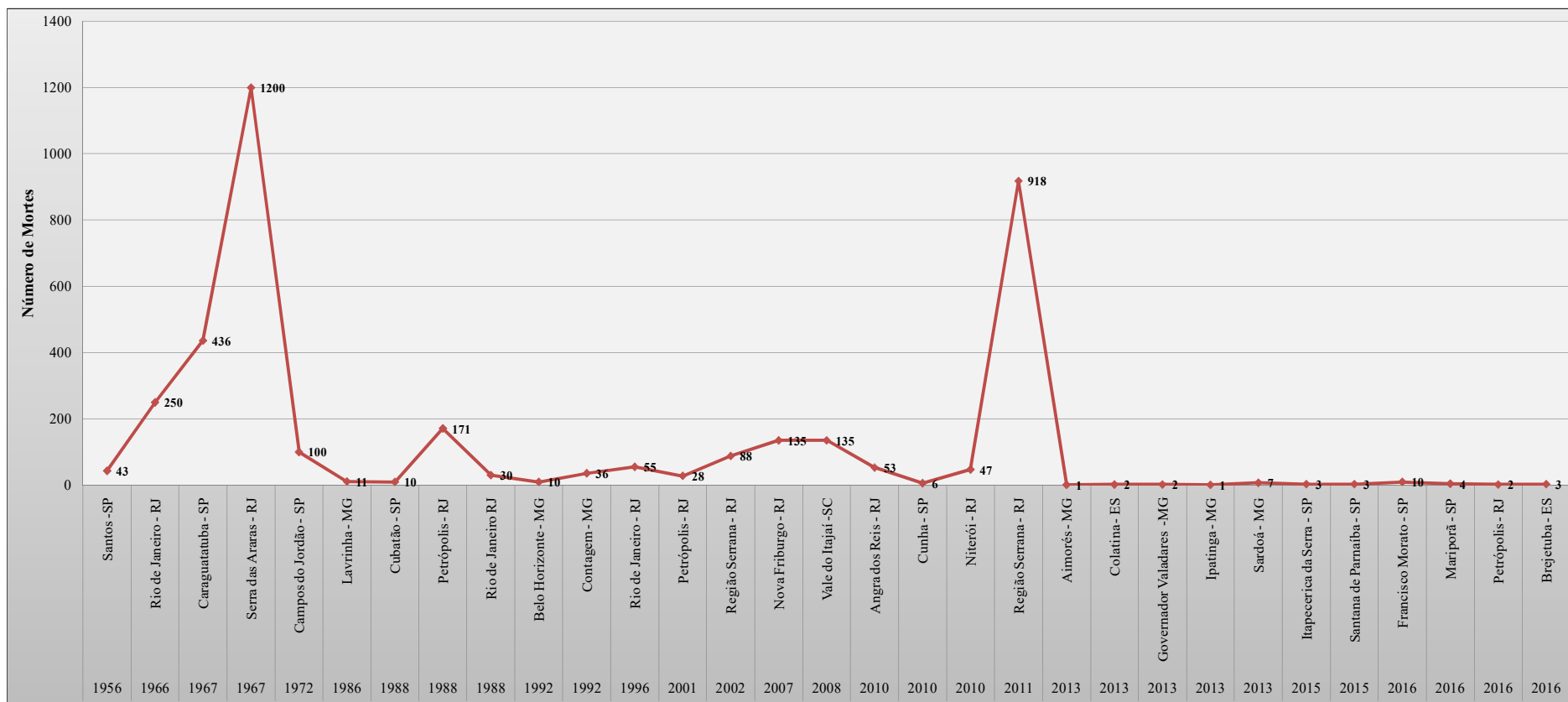


Figura 3.15 – Estimativa de mortes causadas por eventos de escorregamentos de terra no Brasil, ao longo das últimas décadas. Fonte: Brasil - Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil Brasil, 2012 e 2013; Valor Econômico, 2016; Rosa Filho & Cáceres Cortez, 2010.

Conforme evidenciado na Figura 3.16, São Paulo é o estado brasileiro que apresenta maior quantitativo de setores urbanos com grau de susceptibilidade aos escorregamentos, cerca de 3.978 km², ou 1,60% da área total do estado. Essas áreas abrangem a região metropolitana de São Paulo, incluindo os municípios de Francisco Morato, Mairiporã, Itapeverica da Serra e Santana de Parnaíba; bem como os municípios localizados na região serrana e litorânea do estado, a exemplo de Ubatuba, São Sebastião, Ilhabela, Guarujá, Santos, Campos do Jordão, Cubatão, Bertioga, Iguape, Mongaguá e Peruíbe (Figuras 3.17 e 3.18).

O Rio de Janeiro com cerca de 3.712,02 km² ou 8,48% de sua área total, é o segundo maior estado do Brasil com setores urbanos susceptíveis à ocorrência de escorregamentos, como pode ser observado nas Figuras 3.16 e 3.17. É importante observar que, em termos territoriais, o Rio de Janeiro é quase seis vezes menor que o estado de São Paulo. Portanto, proporcionalmente é o estado mais afetado em termos de área.

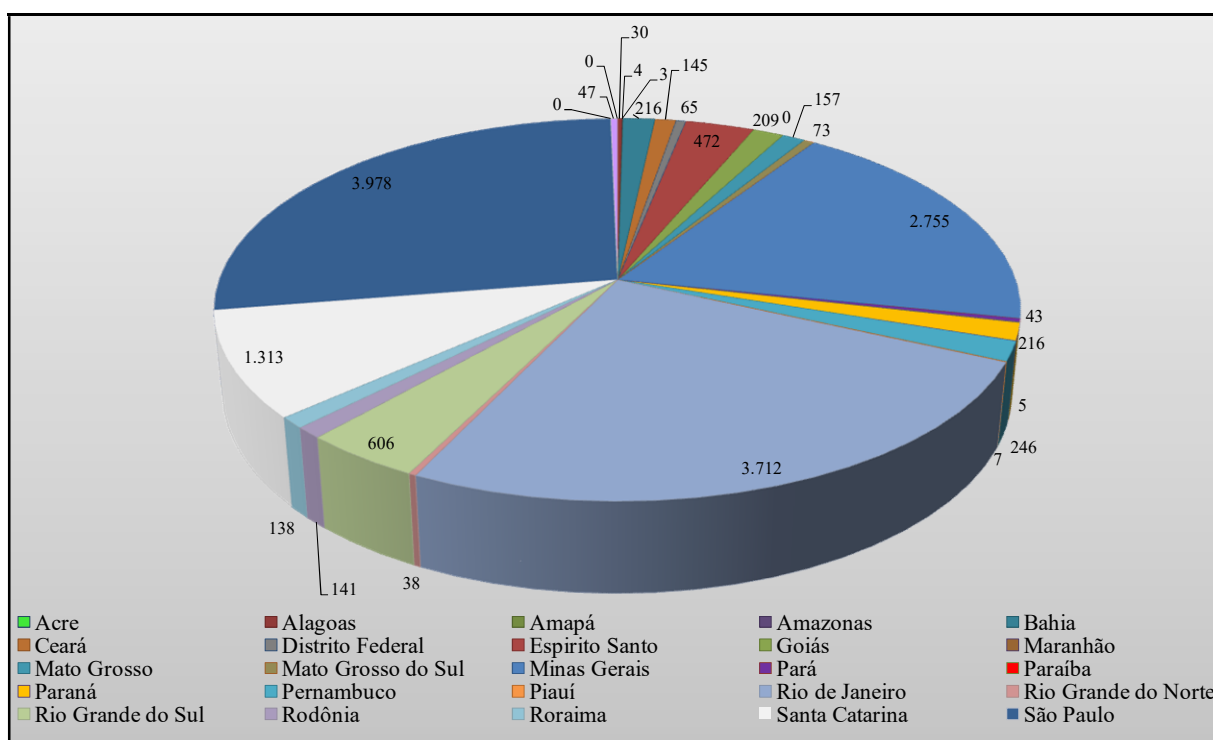


Figura 3.16 – Quantitativo de áreas urbanizadas susceptíveis a escorregamentos definidas, para cada estado do Brasil, com base na estatística zonal mínima.

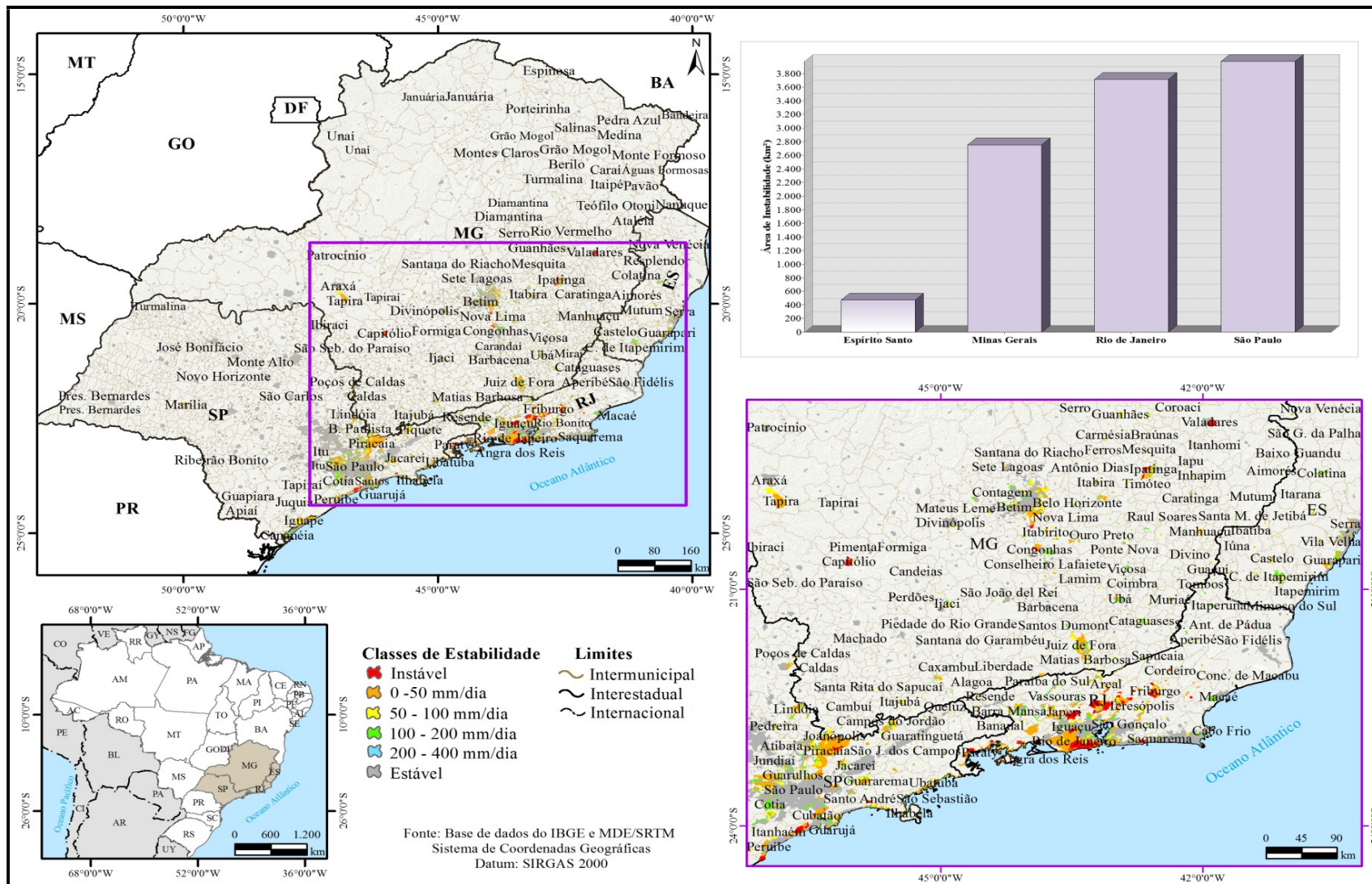


Figura 3. 17 - Municípios do Sudeste identificados como susceptíveis aos escorregamentos rasos, com suas respectivas classes de susceptibilidade.

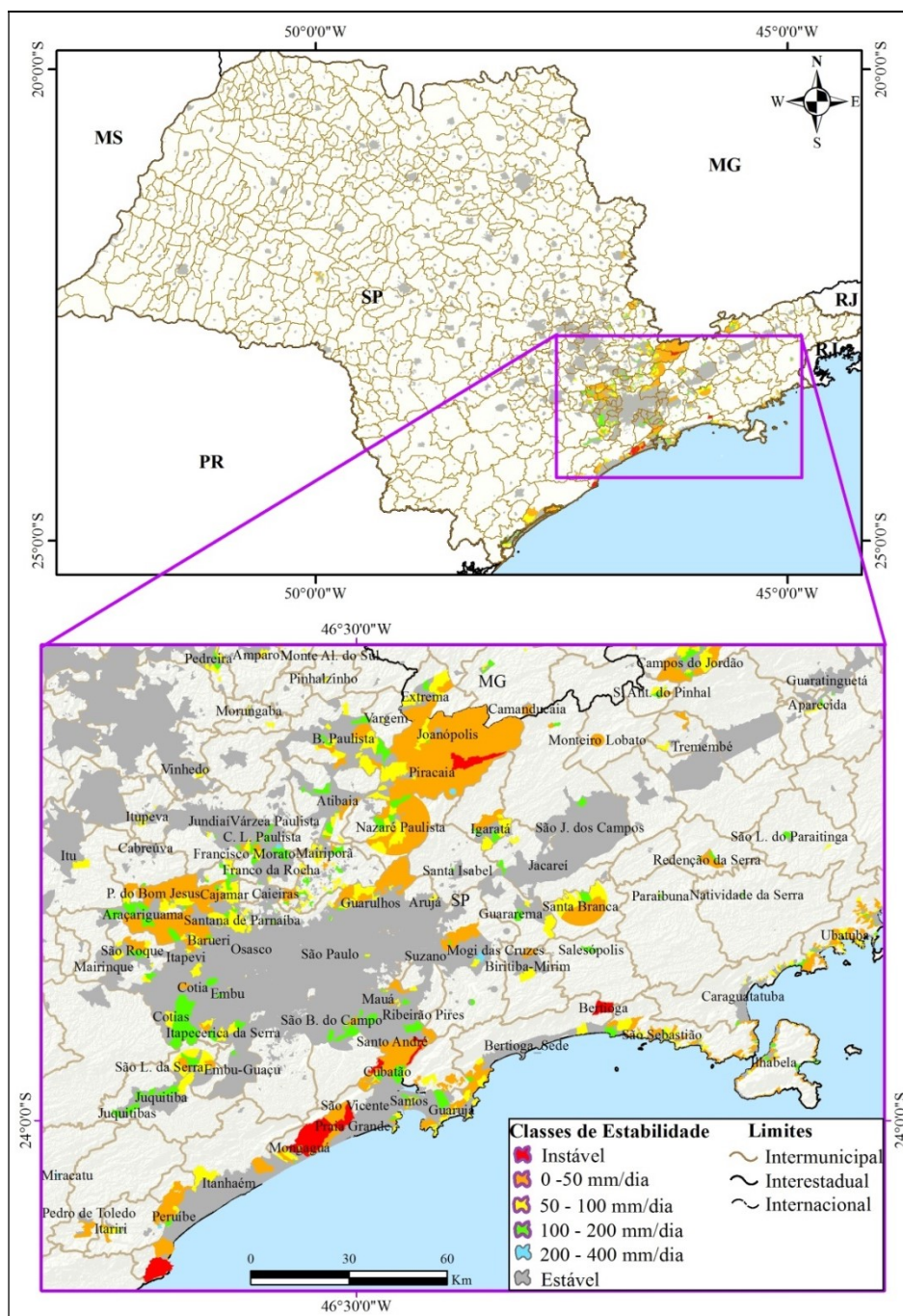


Figura 3.18 – Destaque para as áreas urbanas do Estado de São Paulo com maior susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.

No Rio de Janeiro, assim como em São Paulo, os setores urbanos identificados com algum grau de susceptibilidade também se concentram na região metropolitana e serrana do estado, englobando áreas dos municípios de Duque de Caxias, Guapimirim, Nova Iguaçu, Niterói, São Gonçalo, Magé, Paracambi, Rio de Janeiro, Cachoeira de Macacu, Angra dos Reis, Bom Jardim, Nova Friburgo, Paraty, Petrópolis, Teresópolis, entre outros (Figura 3.19).

Cabe destacar que, nas últimas décadas, ocorreram inúmeros eventos de movimentos de massa neste estado, que causaram, além de um número elevado de perdas de vidas humanas, grandes prejuízos à população e ao poder público. O evento ocorrido na região serrana, nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, por exemplo, é considerado o maior desastre natural já registrado no Brasil e o 8º pior deslizamento de terra da história mundial, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU).

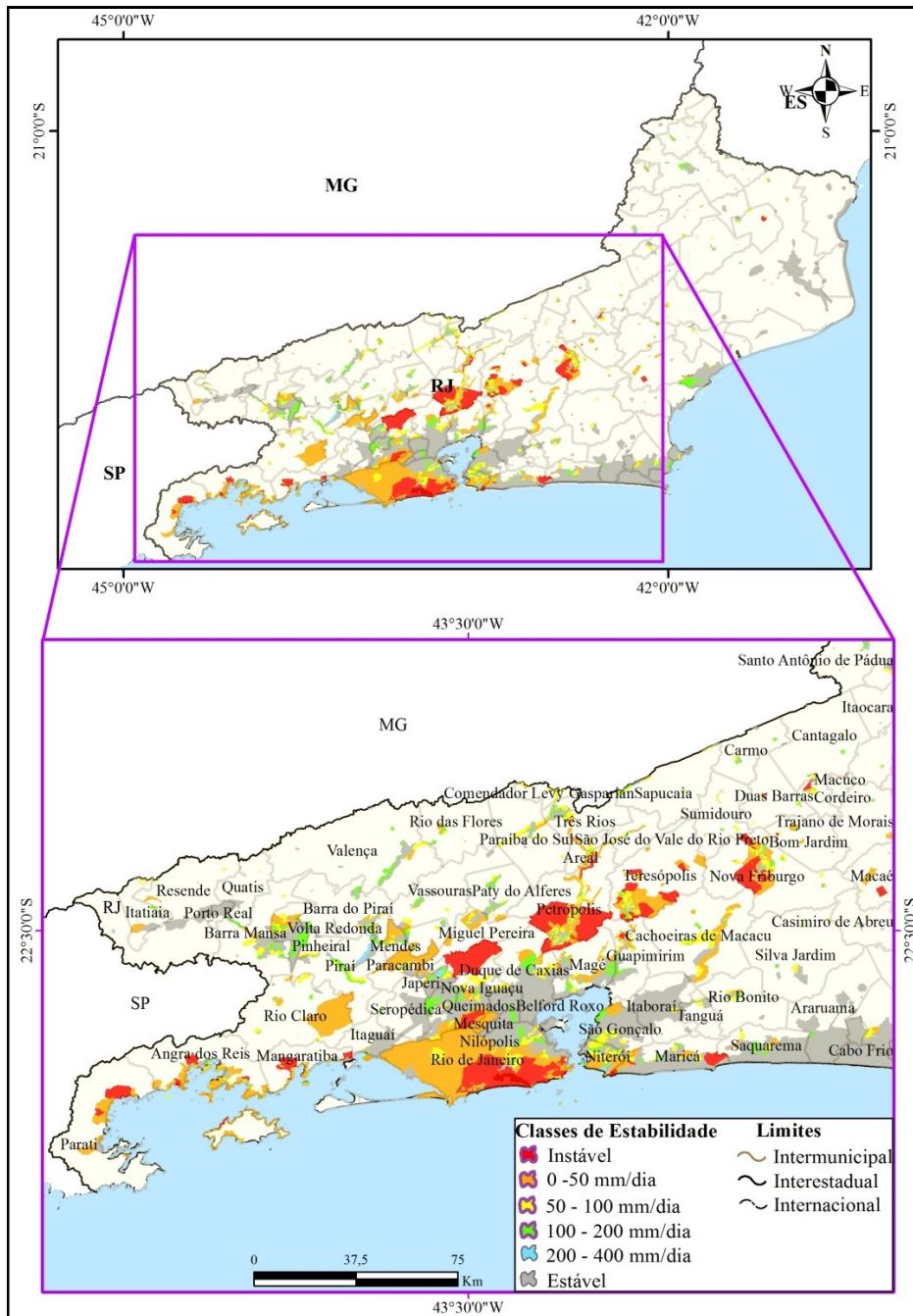


Figura 3.19 - Destaque para as áreas urbanas do Estado do Rio de Janeiro com maior susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.

Quanto ao estado de Minas Gerais, terceiro mais afetado, o quantitativo de setores urbanos que apresentam susceptibilidade aos escorregamentos é de aproximadamente 2.755,02 km², o que representa 0,47% da área total do estado. Os municípios com as maiores áreas de instabilidades se concentram, sobretudo, na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte, incluindo, entre outros, os municípios de Betim, Congonhas, Nova Lima e Ouro Preto; na mesorregião do Vale do Rio Doce (localizada a leste do estado), onde se destacam os municípios de Coronel Frabriciano, Sardoá, Governador Valadares, Ipatinga e Aimoré, esses últimos com registros recentes de perdas de vidas humanas também associadas aos eventos de escorregamentos (Figura 3.17). Juiz de Fora, localizado a sudeste do estado, na mesorregião da Zona da Mata é outro município que apresenta setores urbanos com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos e que também apresenta registro de perdas de vidas humanas.

Espírito Santo é o estado da região Sudeste com menor quantitativo de área urbana susceptível a escorregamentos rasos (472,04 km², ou seja, 1,02% de sua área total). Nesse estado, destacam-se as áreas urbanas dos municípios de Guarapari, Vitória, Cachoeira do Itapemirim, Cariacica e Muniz Freire, como sendo as mais afetadas (Figura 3.17).

No que se refere à região Sul, Santa Catarina, com 1.313,32 km² de área urbana susceptível (1,37% da área total do estado), se destaca entre os estados com o maior quantitativo de área urbana susceptível a escorregamentos, de acordo com a metodologia utilizada (Figura 3.20). As áreas urbanas dos municípios localizados nas Serras do Leste Catarinense e do Mar foram identificadas como as mais susceptíveis e também apresentam registros de desastres associados aos escorregamentos nas encostas. Dentre esses municípios, destaca-se Blumenau, Pomerode, Nova Trento, Rodeio, Gaspar, Ilhota e Itajaí (Figura 3.20).

O Rio Grande do Sul, com uma área de 606,29 km² ou 0,22% da área total do estado, é o segundo mais afetado da região. Os municípios mapeados com os maiores setores urbanos susceptíveis a escorregamentos localizam-se nas porções leste e nordeste do estado, destacando-se, entre outros, Nova Petrópolis, Gramado, Picada Café, Rolante e Santa Maria do Herval (Figura 3.20).

Por fim, no Paraná, estado com menor quantitativo de áreas urbanas susceptíveis aos escorregamentos da região Sul, (216,29 km² ou 0,11% da área total do estado) destaca-se os municípios de Adrianópolis, Biturana, Campo Largo e Guaraqueçaba, entre outros, como os que apresentam as maiores manchas urbanas com alguma susceptibilidade.

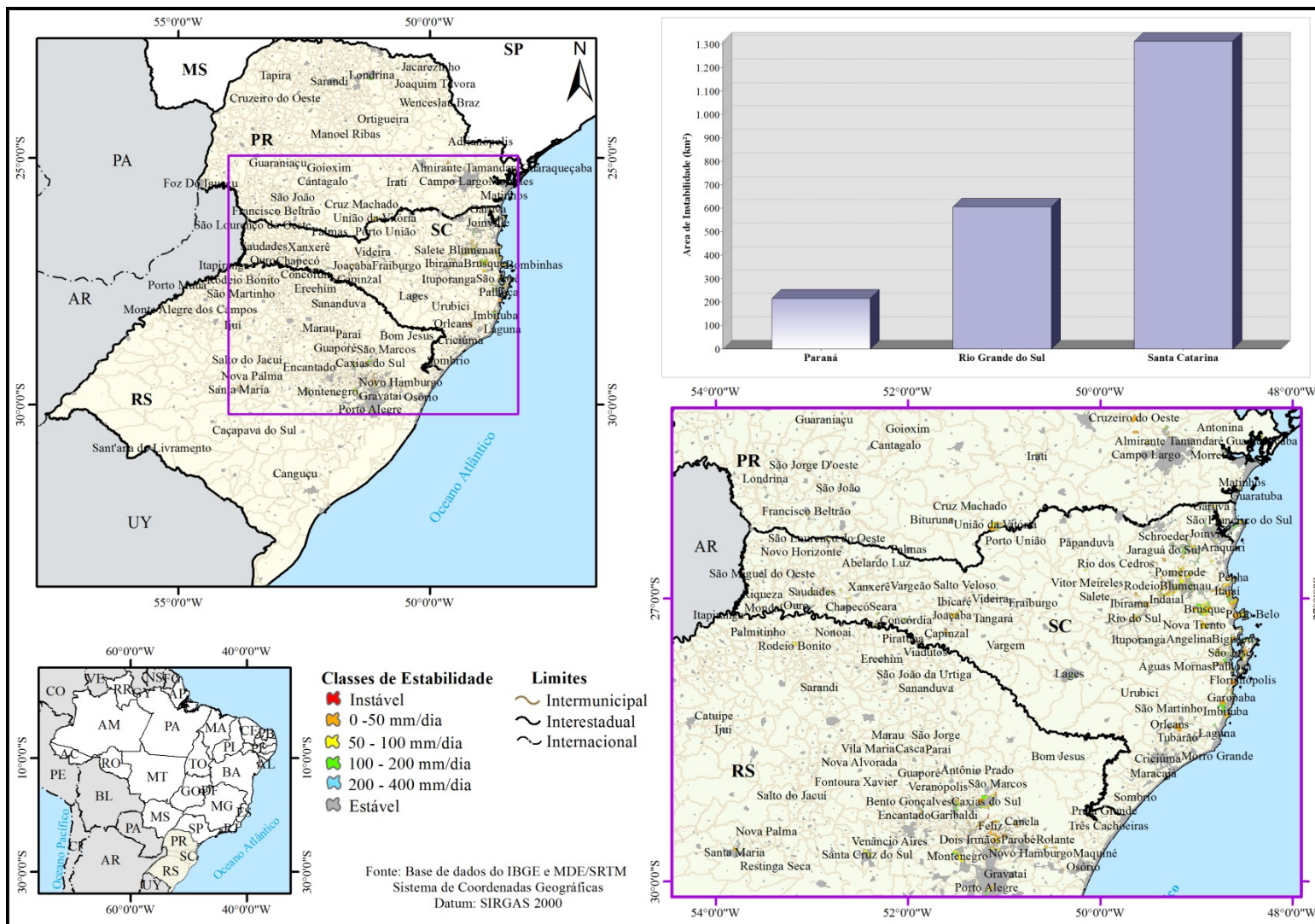


Figura 3. 20 - Municípios da região Sul identificados como susceptíveis aos escorregamentos rasos, com suas respectivas classes de susceptibilidade.

CAPÍTULO 4 - LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE INDICADORES SOCIOECONÔMICOS DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO QUE APRESENTARAM OS MAIORES QUANTITATIVOS DE ÁREAS URBANAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS

Para as situações de risco de escorregamento, embora o processo possua uma relação direta com os condicionantes físicos, tais como relevo, geologia e elevadas precipitações (Fernandes et al, 2001, entre outros), a deflagração desses eventos é consequência, também, da forma de ocupação da terra, conforme já salientado. Sabe-se que, a política habitacional no Brasil contribui para a ocupação de áreas de encostas, principalmente pela população de baixa renda, fato que resulta em risco para a população que reside nessas áreas.

Como observado, a majoração do risco, na maioria dos municípios brasileiros, encontra-se intensamente associada à falta de infraestrutura básica. A ausência de sistema de drenagem de águas pluviais, de esgotamento sanitário e de coleta de lixo, além da execução de cortes e aterros instáveis (sem estruturas de contenção de taludes) e a própria fragilidade das construções, impulsiona a livre atuação dos agentes potencializadores do risco geológico.

De acordo com o IBGE (2010), existem no Brasil cerca de 3.224.529 domicílios em áreas ocupadas irregularmente (aglomerados subnormais), que se caracterizam por limitada oferta de serviços públicos essenciais e irregularidade no padrão urbanístico. Ainda, de acordo com o IBGE (2010), do total de domicílios em aglomerados subnormais, mais de 77% se encontravam em regiões metropolitanas com mais de 2 milhões de habitantes (Figura 4.1).

Neste sentido, é fundamental o conhecimento não só dos condicionantes naturais, mas também das formas de uso e ocupação da terra, bem como da infraestrutura instalada, como forma de subsidiar o processo de gestão e, conseqüentemente, de minimizar os danos associados à ocorrência de eventos de movimentação de massa nas encostas.

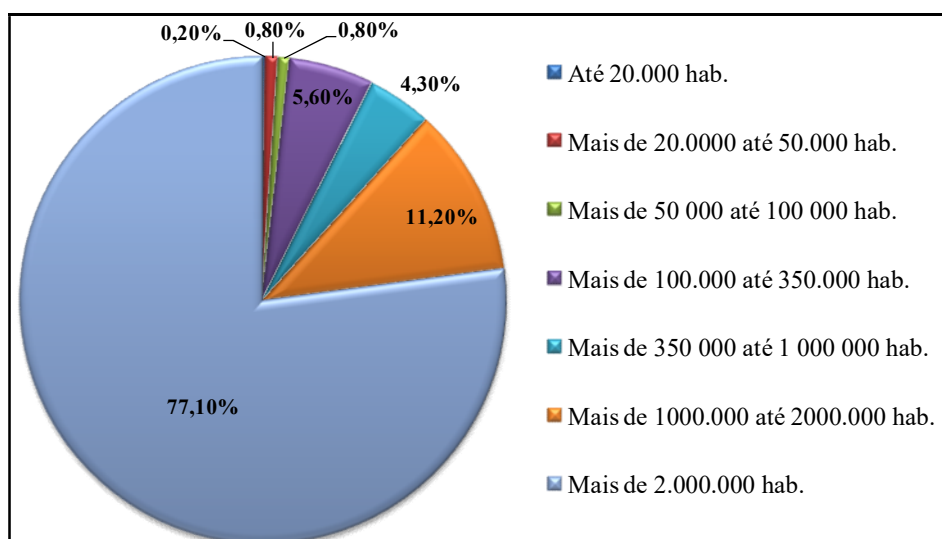


Figura 4.1- Domicílios particulares ocupados existentes em aglomerados subnormais, por classes de tamanho da população dos municípios, segundo as Regiões Metropolitanas. Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010 (adaptado).

Assim, neste capítulo, buscou-se quantificar o número de setores urbanos, bem como a área real total de instabilidade dos municípios do estado do Rio de Janeiro identificados e/ou mapeados como mais susceptíveis à ocorrência de escorregamento, sendo eles: Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo e Rio de Janeiro. Para esses municípios, além de se fazer uma avaliação quanto às características populacionais (renda per capita, índice de desenvolvimento humano – IDH, entre outras), buscou-se avaliar também indicadores de infraestrutura urbana (percentual de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial e com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta) que pudessem influenciar ou majorar os danos decorrentes desse tipo de movimento de massa.

Especificamente em relação ao IDH, cabe destacar que, de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), este é uma medida média das conquistas de desenvolvimento humano básico em um país, sendo constituído por três indicadores, a saúde (uma vida longa e saudável), a educação (acesso ao conhecimento) e a renda (padrão de vida). Ainda, de acordo com o PNUD, esse índice varia entre 0 e 1, sendo que a faixa de desenvolvimento humano municipal, é definida como muito baixa (0 a 0,499), baixa (0,500 a 0,599); média (0,600 a 0,699); alta (0,700 a 0,799) e muito alta (acima de 0,800).

4.1 – MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE INSTABILIDADE

Tendo em vista o mapeamento anteriormente realizado, foi calculada a área total real de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, tanto para os setores urbanos, quanto considerando a área total do município. A partir da ferramenta *Extract by Mask* do ArcGis, foi realizada a extração e contagem das células (*pixel*) definidas com algum grau de susceptibilidade. Neste procedimento, foram utilizados os polígonos relativos às manchas urbanas e os polígonos relativos à área total dos municípios analisados. Adicionalmente, foi realizada a somatória e conversão para valor de área, do número de células obtidas para cada polígono.

Posteriormente, foram levantadas e analisadas informações relativas às características populacionais, bem como de infraestrutura básica. As variáveis levantadas foram organizadas em tabelas e vinculadas à camada da malha dos setores censitários urbanos, a partir da camada correspondente ao arquivo vetorial (*shapefile*) que contém os setores censitários do estado do Rio de Janeiro. Para as análises, foram considerados os totais de Domicílios Particulares Permanentes – DPP (V001), além da população residente em cada setor censitário. Adicionalmente, uma vez que as variáveis do censo se referem ao total de ocorrência da respectiva variável no setor censitário, para o cálculo dos indicadores de renda, de coleta de lixo direta e de esgotamento sanitário foi realizada a normalização dessas variáveis pelo total do universo do respectivo setor censitário. Neste caso, foi considerado como universo os totais de domicílios existentes em cada setor censitário.

A Tabela 4.1 apresenta os indicadores censitários calculados para os municípios do estado do Rio de Janeiro, considerados neste capítulo, e que apresentaram um grande quantitativo de áreas urbanas com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, de acordo com a metodologia utilizada.

Tabela 4.1 - Indicadores censitários calculados para cada município considerado nesta etapa do trabalho. Fonte: Censo, 2010

INDICADORES	CÁLCULO
Porcentagem de domicílios particular permanente - DPP com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial.	$(V017 / V001) * 100$
Porcentagem de domicílios particular permanente - DPP com lixo coletado por serviço de limpeza direta.	$(V036 / V001) * 100$
Rendimento nominal mensal dos DPP (em reais).	$(V003 / V001)$

4.2 – ANÁLISE DE INDICADORES SOCIOECONÔMICOS: RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4.2 mostra, entre outras informações, o percentual de população urbana, renda per capita, número de setores urbanos afetados, bem como o quantitativo de áreas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos dos municípios do estado do Rio de Janeiro mapeados com grande quantitativos de áreas e setores urbanos com susceptibilidade a esse tipo de movimento de massa.

Tabela 4. 2 - Municípios do estado do Rio de Janeiro que apresentaram grande quantitativo de áreas urbanas com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos. Fonte: IBGE, Censo 2010.

INDICADORES	MUNICÍPIOS			
	Nova Friburgo	Petrópolis	Teresópolis	Rio de Janeiro
Área Total (Km ²)	933,42	795,80	770,60	1.200,18
População Total - 2010	182.082	295.917	163.746	6.320.446
Densidade Demográfica - 2010 (hab/km ²)	195	372	212	5.266
População Urbana (%)	87	95	89	100
IDHM - 2010	0,745	0,745	0,730	0,799
Renda Per cápita Média (R\$) - 2010	894,75	922,49	859,79	1.492,63
Área Total do Município com Susceptibilidade (Km ²)	235,14	252,83	211,96	117,63
Área Urbana com Susceptibilidade (Km ²)	43,80	125,12	52,07	117,63
Total de Setores Urbanos	268	431	197	10.504
Total de Setores Urbanos com Susceptibilidade	169	284	109	465
Total de Setores Urbanos com Susceptibilidade (%)	63,06	65,89	55,33	4,43

4.2.1 - Petrópolis

Especificamente para o estado do Rio de Janeiro, Petrópolis se destaca, visto que é o município com maior área urbana afetada (126,24 km²) e uma área total de susceptibilidade a escorregamentos de aproximadamente 252,83 km². Além disso, observa-se que do total de setores urbanos existentes neste município, 65,89% possuem áreas com algum grau de instabilidade (Figura 4.2 e Tabela 4.2).

Com uma área territorial de aproximadamente 795,80 km², o município de Petrópolis se caracterizava, em 2010, por apresentar uma população de 295.917 hab. e densidade demográfica de 371,85 hab/km². Também possuía uma população predominantemente urbana (95%), sendo o mais populoso da região serrana do Rio de Janeiro.

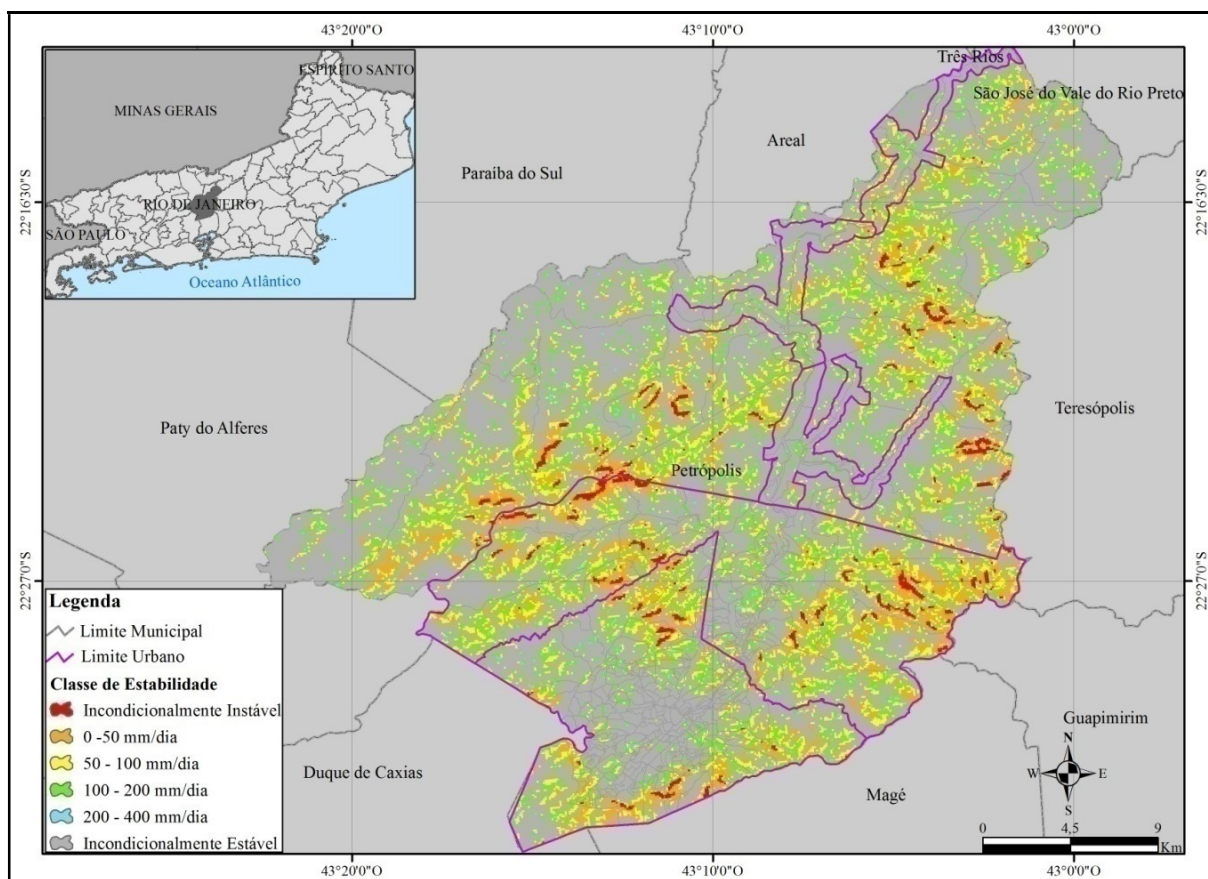


Figura 4.2 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos do município de Petrópolis/RJ, obtidas a partir do modelo SHALSTAB.

Em relação ao IDH do município de Petrópolis (Figura 4.3), observa-se que houve uma evolução nas últimas décadas, passando de 0,552, em 1991, para 0,745, em 2010. Enquanto que o Rio de Janeiro e o Brasil passaram, respectivamente, de 0,573, em 1991, para 0,761 em 2010, e de 0,493, em 1991, para 0,727, em 2010. Essa evolução implicou em uma taxa de crescimento, do município de 34,96% e em uma taxa de 56,92% de redução da desigualdade de desenvolvimento humano para o município. Segundo o IBGE (2010), a dimensão cujo índice mais cresceu em termos absoluto foi a educação, que teve um crescimento de 0,295 nesse período. Conforme pode ser observado na Tabela 4.2, a renda per capita média deste município, em 2010, era de R\$ 922,49.

Considerando a classificação de desenvolvimento humano estabelecida pelo PNUD, o município de Petrópolis está inserido na faixa de alto índice de desenvolvimento, ocupando a 7ª posição no critério do IDH estadual.

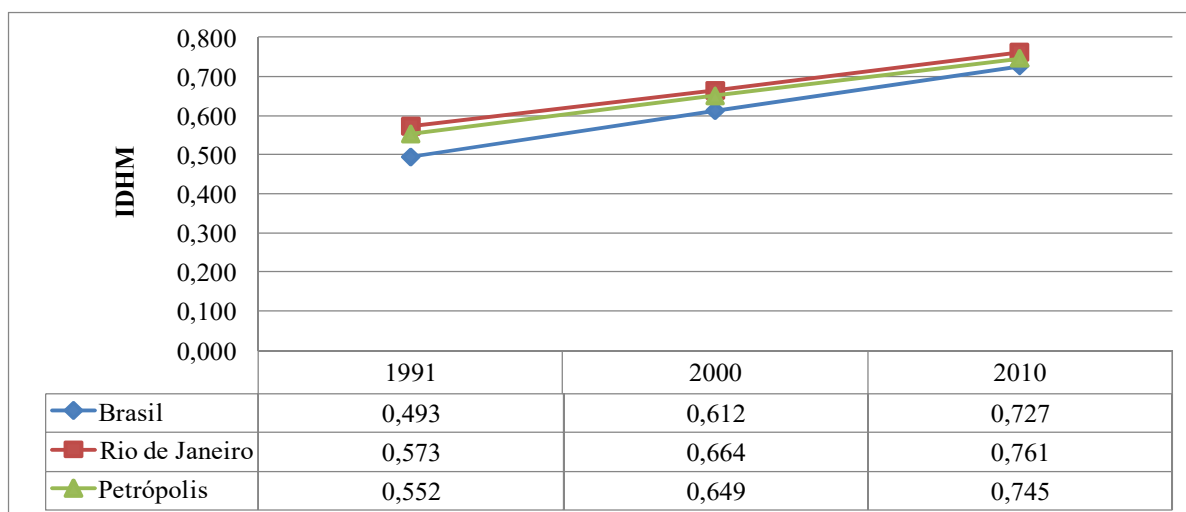


Figura 4. 3 – Evolução do IDHM do município de Petrópolis/RJ, do Rio de Janeiro e do Brasil, no período de 1991 a 2010. Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil, 2010 (adaptado).

Este município, atualmente, é constituído por 5 distritos, sendo eles: Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse, além do distrito Sede (Figura 4.4). É importante salientar que toda a extensão territorial do distrito Sede e também do distrito de Cascatinha é considerada urbana, sendo estas em torno de 133,3 km² e 181,4 km², respectivamente. Os distritos de Itaipava, Pedro do Rio e Posse, os quais são englobados por áreas rurais e urbanas, tem em torno de 23,8 km², 21,3 km² e 14,1km² de áreas urbanas, respectivamente. Deste modo, somando-se estas áreas, tem-se um total de aproximadamente 374 km² de extensão territorial urbana nesse município, sendo 33,75% susceptível à ocorrência de escorregamentos, conforme a metodologia aplicada.

No que se refere aos setores censitários deste município, cabe ressaltar que, do total de 463, 431 estão localizados em áreas consideradas urbanas, sendo 107 no distrito de Cascatinha, 24 no distrito de Itaipava, 12 em Pedro do Rio, 9 no distrito de Posse e os 279 restantes localizam-se no distrito Sede (Figura 4.4).

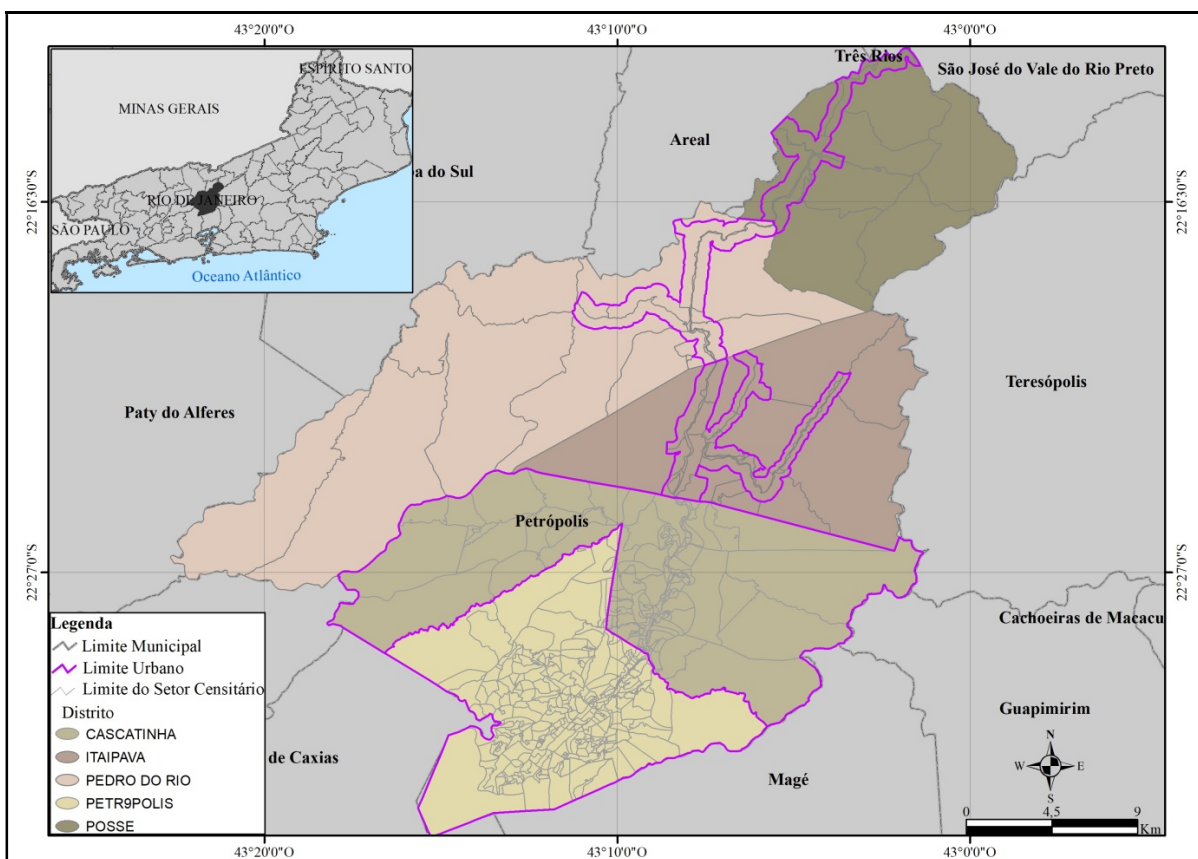


Figura 4.4 - Município de Petrópolis/RJ e seus respectivos distritos e setores censitários. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

Considerando a distribuição espacial dos domicílios pelos setores censitários e respectivos distritos, constata-se que, do total de 91.755, havia uma concentração desses domicílios no distrito Sede. Este, em 2010, possuía em torno de 67% do número total de domicílios urbanos do município. O distrito de Cascatinha possuía, nesse mesmo ano em torno de 23% do total de domicílios urbanos do município. O distrito de Posse foi o que apresentou o menor quantitativo de domicílios urbanos do município (Figuras 4.5, 4.6).

Observa-se que, em média, existiam 219,71 domicílios por setor. No distrito Sede, os setores com menor e maior quantitativos tinham 25 e 770 domicílios, respectivamente, sendo de 219,82 a média de domicílios por setor censitário nesse distrito. Em Cascatinha, a média de domicílios por setor era de aproximadamente 194, sendo que os setores com menor e maior quantitativos tinham 20 e 448 domicílios, respectivamente.

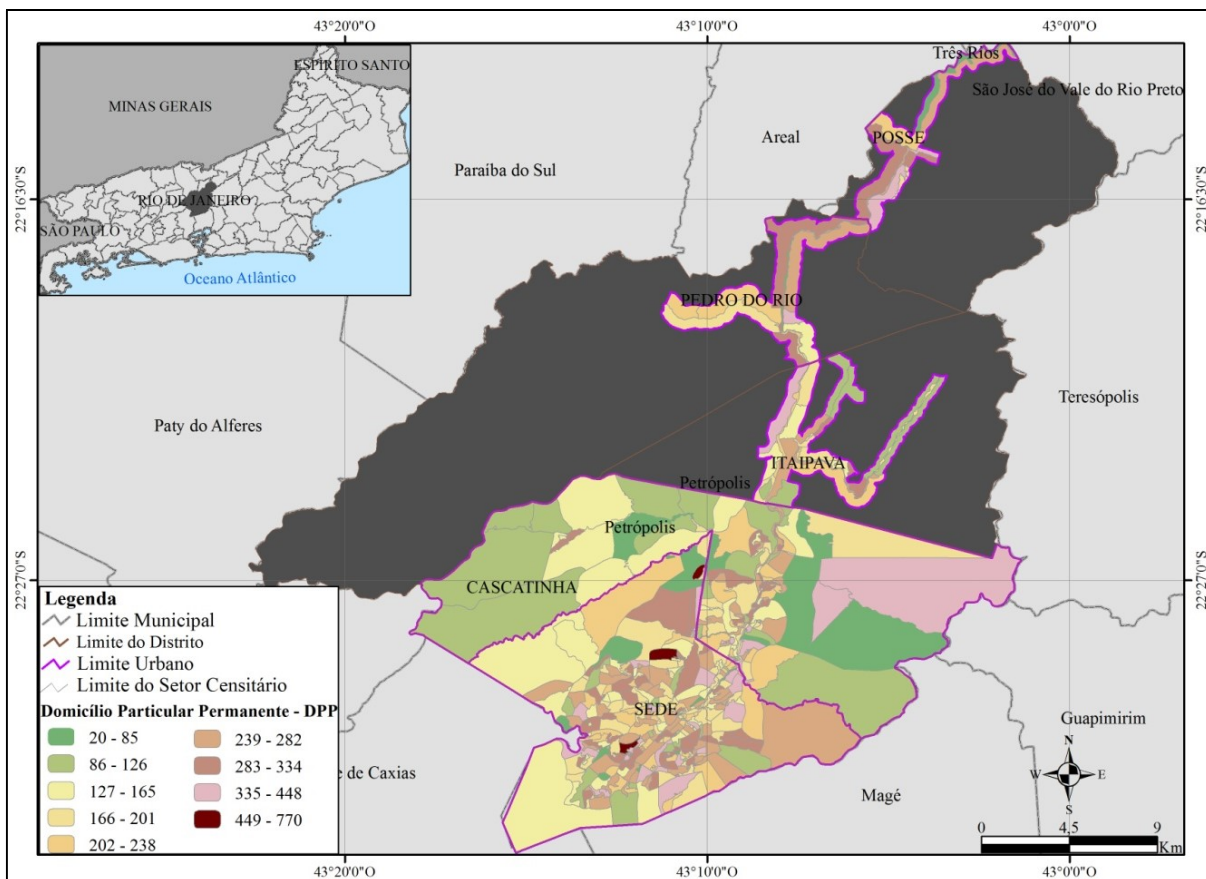


Figura 4.5 - Distribuição dos domicílios pelos setores censitários urbanos de Petrópolis/RJ. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

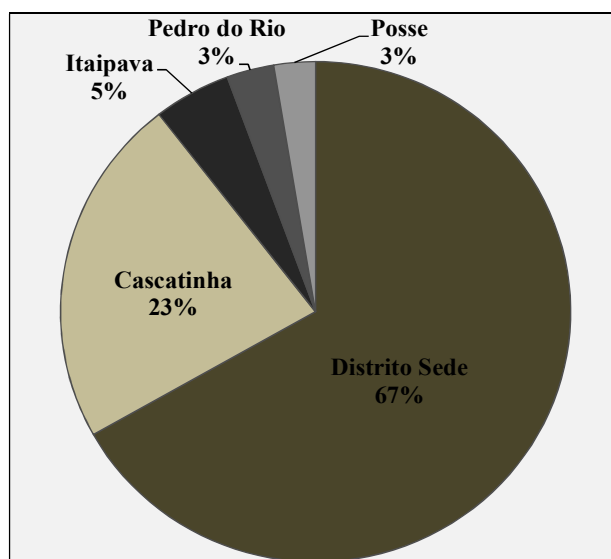


Figura 4.6 - Porcentagem de domicílios, por distritos urbanos. Fonte: IBGE, Censo – 2010.

Quanto à população urbana do município de Petrópolis (Figura 4.7 e 4.8), observa-se a mesma tendência de distribuição em relação ao número de distrito, ou seja, esta acompanha a mesma distribuição percentual dos domicílios, havendo uma predominância absoluta da população no distrito Sede, que, em 2010, atingiu um montante maior do que a soma dos demais distritos (185.240 hab. ou 66,11% da população urbana do município).

O distrito de Cascatinha, que assume o segundo lugar em termos de população urbana, tem aproximadamente 64.575 hab. ou 23,05% dessa população. Esta posição em relação aos demais distritos pode ser explicada, tanto pela sua extensão, quanto pela proximidade com o distrito Sede, principal centro de empregos e, conseqüentemente de atração da população.

Contudo, já se constata uma descentralização populacional, em direção aos distritos de Itaipava, Pedro do Rio e Posse, que juntos totalizavam em torno de 30.382 ou 10,84% da população urbana total do município.

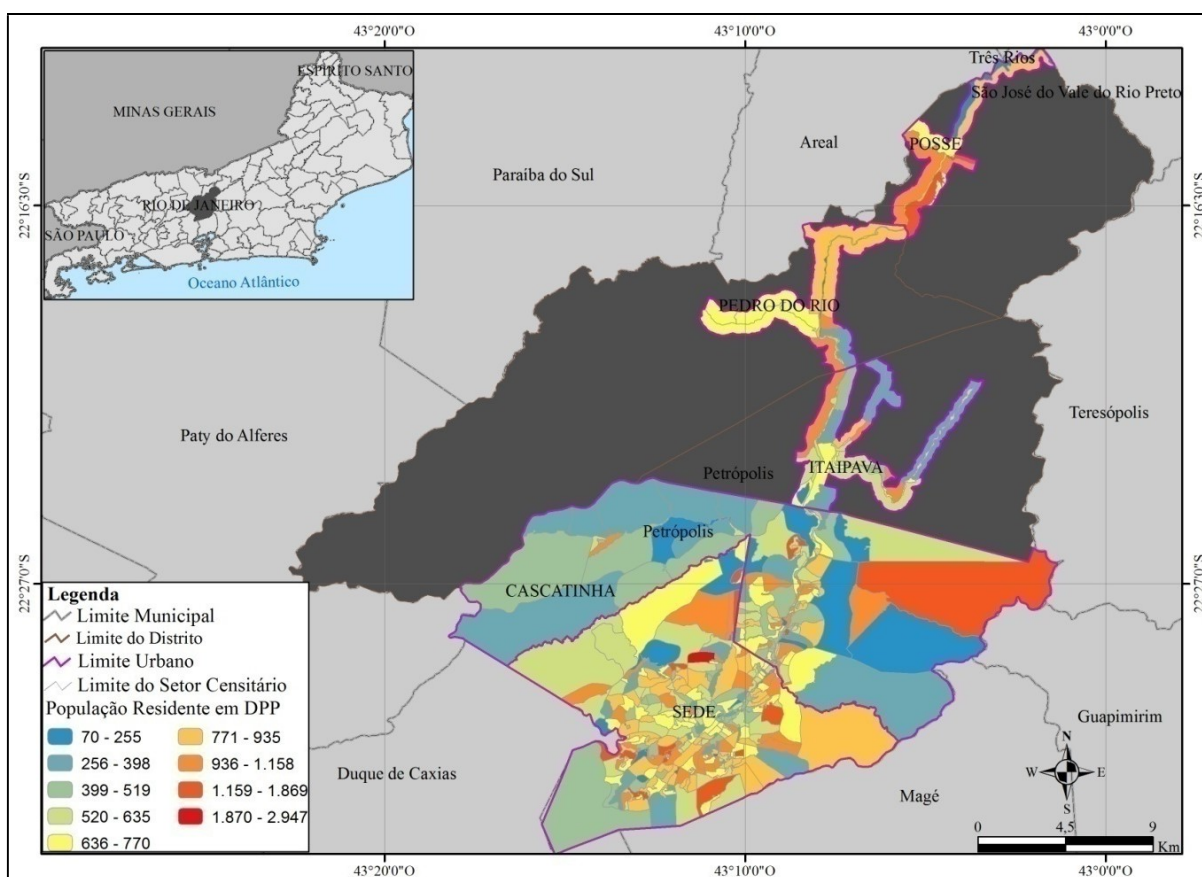


Figura 4.7 - População urbana de Petrópolis/RJ, residente em domicílio particular permanente. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

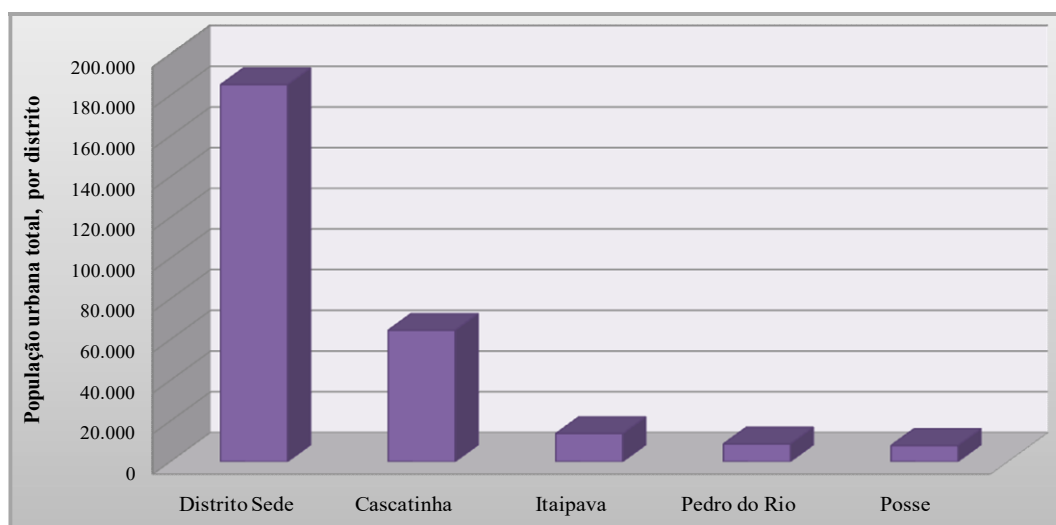


Figura 4.8 - População urbana total de Petrópolis, residente em domicílio particular permanente, por distrito. Fonte: IBGE, Censo – 2010.

Apesar do município de Petrópolis estar inserido na faixa de alto índice de desenvolvimento humano, segundo a classificação do PNUD, observa-se que os indicadores de renda familiar mostravam que, em 2010, em torno de 40% dos domicílios urbanos tinham renda menor que 3 salários mínimos mensais, ou seja, apontava um quadro de pobreza ainda caótico, mesmo com as melhorias ocorridas nas últimas décadas. Observa-se, ainda, que nem todos os domicílios contavam com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto e pluvial, tampouco com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta (Tabela 4.3).

No distrito sede, por exemplo, do total de domicílios existentes em 2010, aproximadamente 83% contavam com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto e pluvial e, somente, 47% contavam com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta. No distrito de Posse, nenhum desses serviços chegava a 40% dos domicílios urbanos. Cabe destacar que esse distrito apresenta, aproximadamente, 26,65% do seu território com susceptibilidade a escorregamentos (Tabela 4.3).

É importante ressaltar que, quando se observa as áreas de maior susceptibilidade a escorregamentos, constata-se que há uma tendência de ocupação dessas áreas por parte da população de baixa renda. Esta população contribui para a alteração da paisagem e, deste modo, para o aumento dos riscos naturais oriundos desses eventos. Muitas dessas áreas, classificadas como aglomerados subnormais (IBGE: Censo Demográfico, 2010), se caracterizam por apresentar limitada oferta de serviços públicos essenciais, como coleta de lixo, saneamento, entre outros.

Tabela 4.3 - Quantificação dos distritos urbanos de Petrópolis/RJ quanto ao rendimento médio dos domicílios, à porcentagem de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta, e com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Distrito	Número de domicílios	Renda média (RS)	Coleta de lixo (%)	Esgotamento sanitário (%)	Área Total (km ²)	Área de susceptibilidade (km ²)	Áreas de susceptibilidade (%)
Sede	61.330	2.436	47	83	133,28	40,48	30,37
Cascatinha	20.764	2.012	56	69	181,43	73	40,24
Itaipava	4.505	2.856	65	25	23,83	3,82	16,01
Pedro do Rio	2.734	1.640	37	22	21,33	5,18	24,3
Posse	2.422	1.356	37	37	14,11	3,76	26,65

Com base na Tabela 4.4, é possível perceber que o município de Petrópolis, em 2010, contava com um total de 30 setores censitários classificados como aglomerados subnormais, sendo 23 desses localizados no distrito Sede. Esses 23 setores contavam com 5.600 domicílios e uma população de 19.445 hab. ou 6,94% da população urbana total do município. Nesse mesmo período, o estado do Rio de Janeiro contava com 3.317 setores censitários classificados como aglomerados subnormais e com uma população residente, nesses aglomerados, de cerca de 2.023.744 hab. Portanto, a população total do município de Petrópolis residente em aglomerados subnormais representava 1,24% da população total do estado, residente nesse tipo de ambiente.

Tabela 4.4 - Número de domicílios e população residente em setores censitário de Petrópolis/RJ, classificados como aglomerados subnormais. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010 (adaptada).

Estado/Município/ Distritos	Total	Número de Domicílios Particulares Ocupados	População Residente em Domicílios Particulares	Área (km ²)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Densidade de Domicílios Particulares Ocupados (dom/km ²)
Rio de Janeiro	3.317	617.466	2.023.744	273,97	7.387	2.254
Petrópolis	30	7.268	25.117	11,5	2.193	635
Cascatinha	6	1.457	4.890	0,7	6.626	1.974
Itaipava	-	-	-	-	-	-
Pedro do Rio	1	211	782	0,2	3.286	887
Sede	23	5.600	19.445	10,5	1.856	535
Posse	-	-	-	-	-	-

Considerando as características topográficas, constata-se que dos 30 setores censitários em aglomerados subnormais, 24 deles estavam em áreas de relevo acentuado e 5 em áreas de relevo moderado (Tabela 4.5). Constata-se, ainda, que todos os 23 setores censitários em aglomerados subnormais do distrito Sede estavam localizados em áreas com relevo acentuado ou moderado, o que também é observado para os setores existentes no distrito de Cascatinha. No que tange aos domicílios permanentes particulares, existentes nos

aglomerados subnormais, observa-se que 85,80% do total desses domicílios, estavam localizados nas áreas de declividades acentuadas, sendo 76,64% apenas no distrito sede de Petrópolis, conforme classificação do IBGE (Tabela 4.6).

Tabela 4.5 - Número de setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas. Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010 (adaptada).

Município/Distritos	Plano	Declive Moderado	Declive Acentuado
Petrópolis	1	5	24
Cascatinha	-	-	6
Itaipava	-	-	-
Pedro do Rio	1	-	-
Sede	-	5	18
Posse	-	-	-

Tabela 4.6 - Número de domicílios ocupados em setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas. Fonte: IBGE - Censo Demográfico 2010 (adaptada).

Município/Distritos	Plano	Declive Moderado	Declive Acentuado
Petrópolis	211	821	6.236
Cascatinha	-	-	1.457
Itaipava	-	-	-
Pedro do Rio	211	-	-
Petrópolis	-	821	4.779
Posse	-	-	-

Observa-se, portanto, que a maior parte da população (24.335 hab.) que vivia nesses setores, residia em áreas com declividades acentuadas, como encostas. Estas áreas apresentam, em maior ou menor grau, susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, conforme mapeamento realizado. Além disso, são áreas onde muitas vezes a população tem menos acesso aos serviços de infraestrutura básica (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Exemplos de ocupação de encosta, onde é possível observar que os domicílios não contam com coleta de lixo realizado pelo serviço de limpeza direta, entre outros aspectos. Fonte: arquivo pessoal.

Entre os setores urbanos de Petrópolis que apresentaram susceptibilidade a escorregamentos de terra, definidos ou não como aglomerados subnormais, foram selecionados 22 (que aparentemente apresentaram as maiores áreas de susceptibilidade aos escorregamentos, conforme mapeamento realizado) para avaliar a situação dos seus domicílios quanto às formas de destinação do lixo, esgotamento sanitário e a renda média mensal (Tabela 4.7 e Figura 4.10). Esses 22 setores totalizam uma área de aproximadamente 131,5 km² de extensão e uma área de susceptibilidade a escorregamento de 61,7 km².

Dentre esses setores, Cantinho da Esperança, localizado na porção centro norte do distrito Sede (Figura 4.11), foi o que, proporcionalmente, apresentou a maior área de susceptibilidade, 66% de sua área territorial. Este setor, com uma área territorial total de 0,65 km², concentrava o maior número de domicílios e, também, a maior parte da população de Petrópolis, além de ter uma renda média domiciliar de apenas dois salários mínimos. Quanto ao acesso aos serviços de esgotamento sanitário e destinação de lixo, constata-se que a grande maioria dos domicílios (98,18%) contava com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto. Já em relação à destinação do lixo, foi possível constatar que apenas aproximadamente 17,53% dos domicílios contavam com serviço de limpeza direta.

O setor Comunidade de São Francisco foi o que, proporcionalmente, apresentou a menor área de susceptibilidade à ocorrência de escorregamento (Tabela 4.7 e Figura 4.10). Este setor que apresenta aproximadamente 19% de sua área com susceptibilidade, em 2010, contava com um total de 124 domicílios e uma população de aproximadamente 390 hab. Em relação às condições dos seus domicílios, estes na sua maioria contavam com esgotamento sanitário pela rede geral de esgoto (54,84%). Porém, apenas 21,77% e 25,81% contavam com coleta de lixo pelo serviço de limpeza direta.

Os resultados indicaram que, de maneira geral, os setores urbanos, do município de Petrópolis, mapeados como mais susceptíveis à ocorrência de escorregamentos de terra, concentravam 95% da população e 95% dos domicílios com renda inferior a média do município. Além disso, foi possível observar, também, que muitos desses setores apresentam déficit de saneamento básico, principalmente em relação à coleta do lixo realizada pelo serviço de limpeza direta, que em muitos casos pode ser explicado pela dificuldade de acesso. Esses aspectos agravam as condições de vida dessa população, que, em muitos casos, fica mais sujeita aos riscos associados aos escorregamentos nas encostas, entre outros aspectos.

Tabela 4.7 – Setores Censitários de Petrópolis/RJ, classificados ou não em aglomerados subnormais e características dos domicílios quanto às condições de saneamento básico e outras características. Fonte: IBGE – Censo Demográfico, 2010.

Setor	Distrito	Número de domicílios	Número de pessoas	Renda média dos domicílios (R\$)	Número de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto	Porcentagem de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto	Número de domicílios com coleta de lixo pelo serviço de limpeza direta	Porcentagem de domicílios com coleta de lixo pelo serviço de limpeza direta	Área total (km²)	Área de susceptibilidade a escorregamentos (km²)	Área de susceptibilidade a escorregamentos (%)
Alto da Independência	Sede	1.450	4.860	1.154	1216	83,86	350	24,14	0,68	0,16	23,53
Araras	Cascatinha	330	1.037	2.125	32	9,70	159	48,18	11,91	5,37	45,09
Bonfim	Cascatinha	478	1.546	2.617	93	19,46	231	48,33	31,65	18,18	57,44
C. São Francisco	Sede	124	390	1.786	68	54,84	32	25,81	1,93	0,36	18,65
C. São João Batista	Sede	276	1.019	1.371	257	93,12	3	1,09	1,29	0,53	41,09
C. do Morin	Sede	278	900	1.626	215	77,34	21	7,55	1,56	0,83	53,21
Corrêas	Cascatinha	395	1.225	1.586	149	37,72	66	16,71	16,98	7,83	46,11
Duques	Sede	488	1.653	1.428	428	87,70	43	8,81	1,34	0,83	61,94
C. Esperança	Sede	770	2.947	1.150	756	98,18	135	17,53	0,65	0,43	66,15
Independência	Sede	103	290	3.350	50	48,54	72	69,90	2,05	0,98	47,8
Itamarati	Cascatinha	235	757	965	179	76,17	12	5,11	2,99	1,46	48,83
Morro da Glória	Cascatinha	1.291	4.367	1.220	779	60,34	374	28,97	0,74	0,35	47,3
Morro do Neylor	Sede	659	2.216	1.176	494	74,96	21	3,19	1,05	0,45	42,86
C. do Retiro	Sede	313	945	2.497	128	40,89	100	31,95	4,36	2,66	61,01
Moura Brasil	Sede	205	701	1.656	74	36,10	34	16,59	8,39	3,73	44,46
Pedra do Retiro	Sede	189	586	4.469	106	56,08	64	33,86	3,17	1,93	60,88
São Sebastião	Sede	158	549	1.241	1	0,63	2	1,27	1,78	0,8	44,94
Bonsucesso	Cascatinha	150	463	3.031	7	4,67	57	38,00	3,86	2,07	53,63
Caxambu	Cascatinha	126	395	1.875	9	7,14	6	4,76	17,23	6,2	35,98
Veridiano Felix	Sede	589	2.076	1.118	506	85,91	290	49,24	0,94	0,35	37,23
Vila São Francisco	Sede	611	2.167	1.144	96	15,71	32	5,24	2,7	1,47	54,44
Vila São Luis	Sede	135	423	1.107	1	0,74	106	78,52	14,2	4,74	33,38

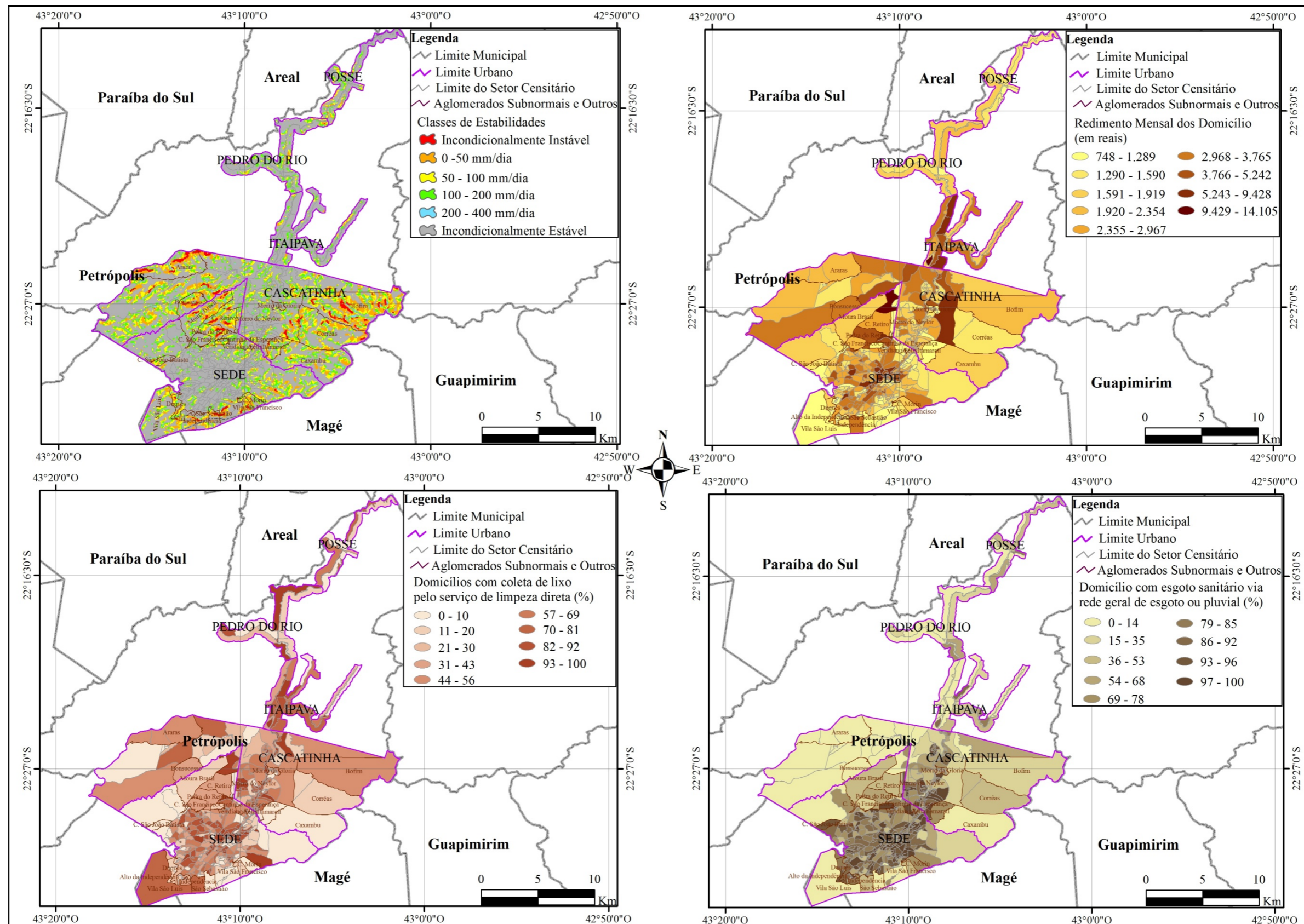


Figura 4.10 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário urbano de Petrópolis. Fonte: IBGE, Censo – 2010 e Imagens SRTM

4.2.2 - Teresópolis

Este município tem uma extensão territorial de cerca de 770,90 km² e, em 2010, sua população e densidade demográfica eram de 163.746 hab. e 212,49 hab./km², respectivamente (Tabela 4.2). É um município que também tem uma população eminentemente urbana (89%) e, de acordo com a metodologia aplicada, apresenta uma área total de susceptibilidade a escorregamentos de aproximadamente 212, 20 km², sendo 52,40 km² em área urbana (Tabela 4.2 e Figura 4.11).

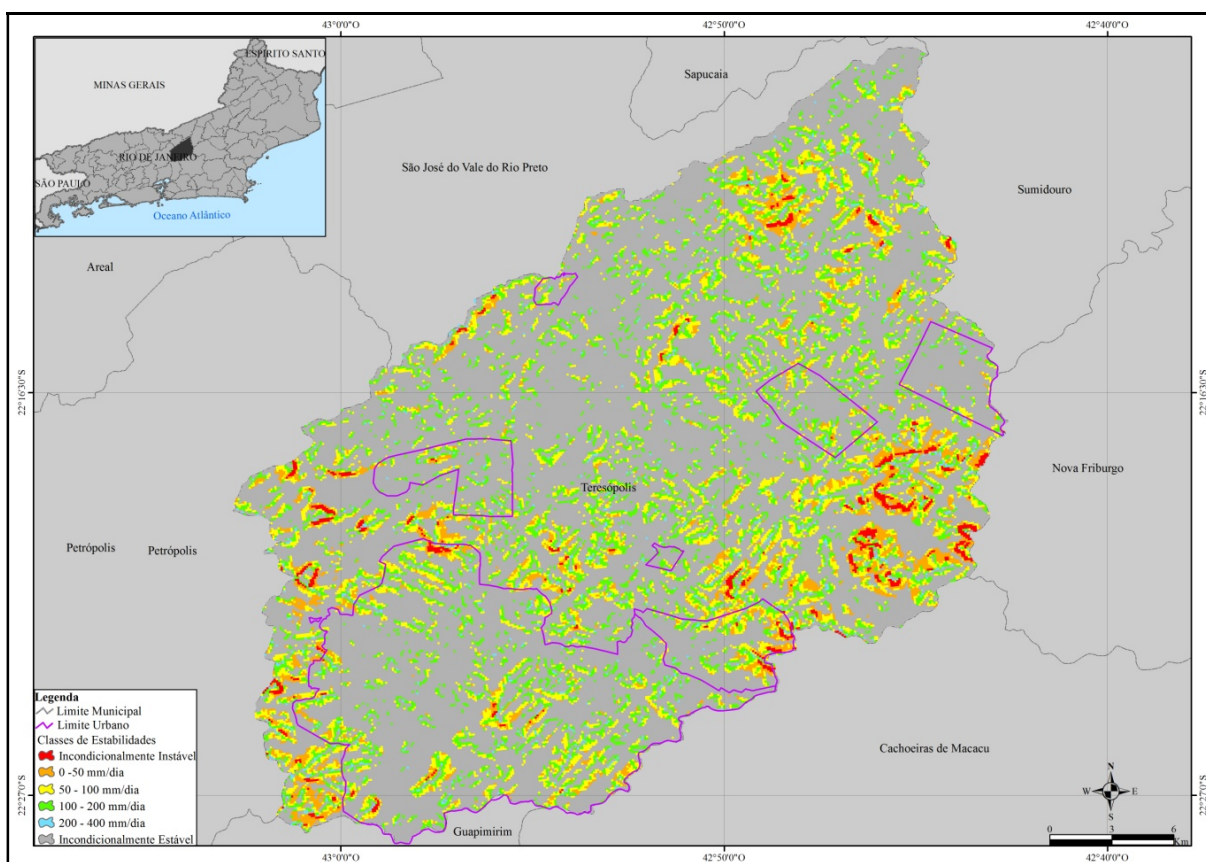


Figura 4.11 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos do município de Teresópolis/RJ, obtidas a partir do uso do modelo SHALSTAB. Fonte: base de dados do IBGE e Imagens SRTM.

O município de Teresópolis, em 2010, assim como o de Petrópolis, também estava inserido na faixa de alto índice de desenvolvimento humano, com IDHM igual a 0,730 (Tabela 4.2). Segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil, a longevidade foi à dimensão que mais contribuiu para a elevação do IDH deste município, com índice de 0,855.

Conforme pode ser observado na Figura 4.12, neste município também houve uma evolução do IDHM no período de 1991 a 2010, que implicou em uma taxa de crescimento do

desenvolvimento humano de 45,42%. Conforme já ressaltado, a taxa de crescimento humano para o estado do Rio de Janeiro e para o Brasil, nesse mesmo período, foi de 32,81% e de 47,46%, respectivamente. Em relação à renda per capita média do município, observa-se que, em 2010, esta era de R\$ 859,79 (Tabela 4.2), ou seja, era um pouco maior que o salário mínimo da época.

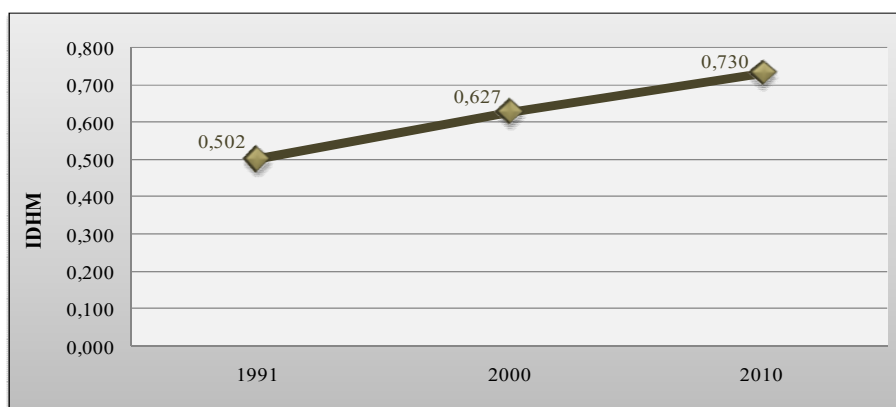


Figura 4.12 – Evolução do IDHM do município de Teresópolis/RJ, no período de 1991 a 2010. Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil, 2010 (adaptado).

O território de Teresópolis é constituído pelo distrito Sede (o qual possui uma área urbana e rural de aproximadamente 161,69 km² e 54,14 km², respectivamente), bem como pelos distritos Vale do Paquequer (que possui uma área total de 267,34 km², sendo 46,22 km² ou 17,29% considerada urbana) e Vale do Bonsucesso, com uma área rural e urbana de 270,66 km² e 17,07 km², respectivamente (Figura 4.13). Ou seja, totaliza uma área de 770,90 km², conforme indicado anteriormente (Tabela 4.2).

Destaca-se que 23,29% da área urbana total desse município, que é de cerca de 224,98 km², foram mapeadas como susceptíveis à ocorrência de escorregamentos e, portanto, também merecem atenção especial por parte do poder público. Como destacado por Marcelino et al (2006), o mapeamento de áreas de risco constitui-se em um dos instrumentos mais eficiente para a elaboração de medidas preventivas, bem como para o estabelecimento de ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o objetivo de promover a defesa permanente contra os desastres naturais.

É importante observar que a área urbana do município de Teresópolis está subdividida em 196 setores censitários, sendo a maior parte deles (182) localizados no distrito Sede (Figura 4.13), o qual, assim como o distrito Sede de Petrópolis, concentrava, em 2010, a

maior parte dos domicílios particulares permanentes (Figura 4.14) e, conseqüentemente, a maior população do município.

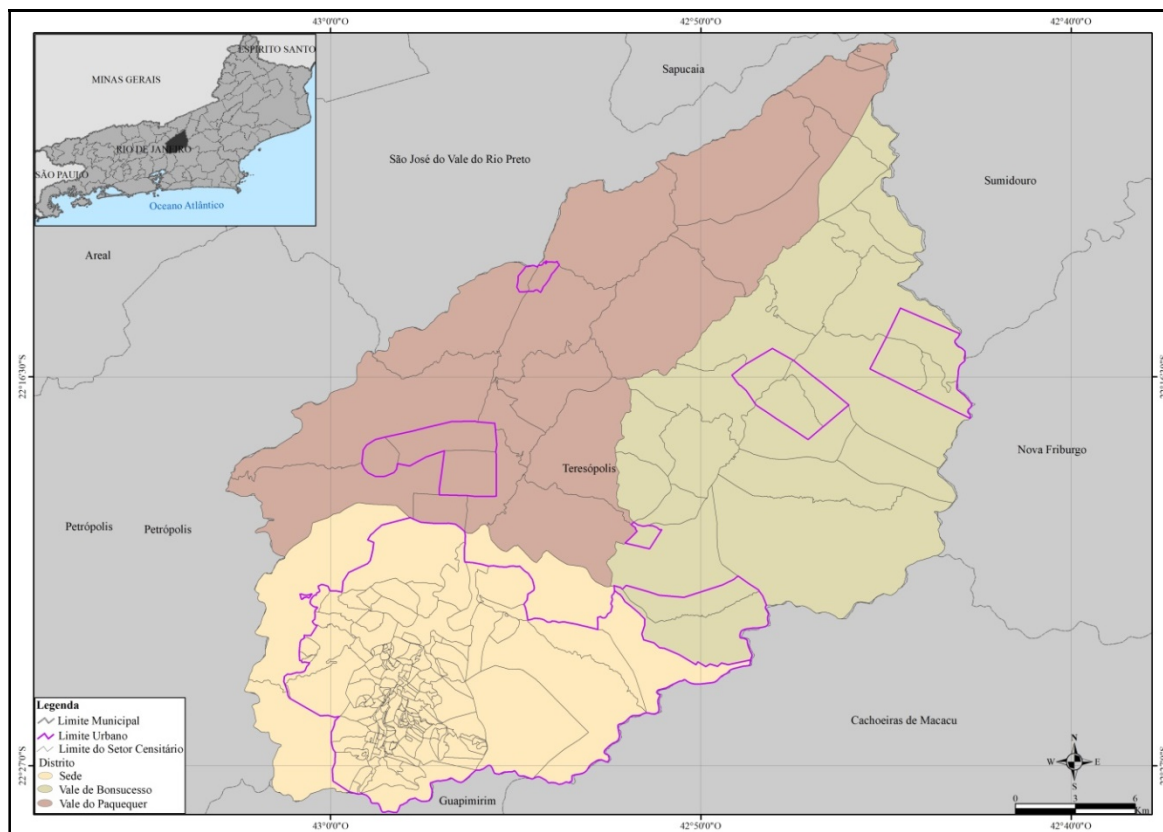


Figura 4.13 – Município de Teresópolis/RJ e seus respectivos distritos e setores censitários. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

Com base nas Figuras 4.14 e 4.15, verifica-se que no distrito Sede havia um total de 44.991 domicílios, o que correspondia a 92,66% do total de domicílios urbanos desse município, distribuídos pelos vários setores. Vale do Bonsucesso, o segundo distrito com o maior número de domicílios, nessa mesma época, tinha um total de 2.539 domicílios urbanos. Em média, no distrito Sede existiam 245 domicílios por setor, sendo o setor Granja Florestal, o qual se localiza na porção noroeste deste distrito (Figura 4.14), o que possuía o maior número de domicílios. Este setor tem uma área de aproximadamente 0,61 km², sendo 20% susceptível à ocorrência de escorregamento, de acordo com a metodologia aplicada.

Já no Vale do Bonsucesso, com um total de nove setores censitários, a média de domicílios por setor era de 282. No vale do Paquequer (2º distrito) essa média era de 205. É importante salientar que este distrito foi bastante afetado pelos escorregamentos de terra que

ocorreram em janeiro de 2011 na região serrana do estado e que contabilizou 324 mortes, somente no município de Teresópolis, além de prejuízos materiais.

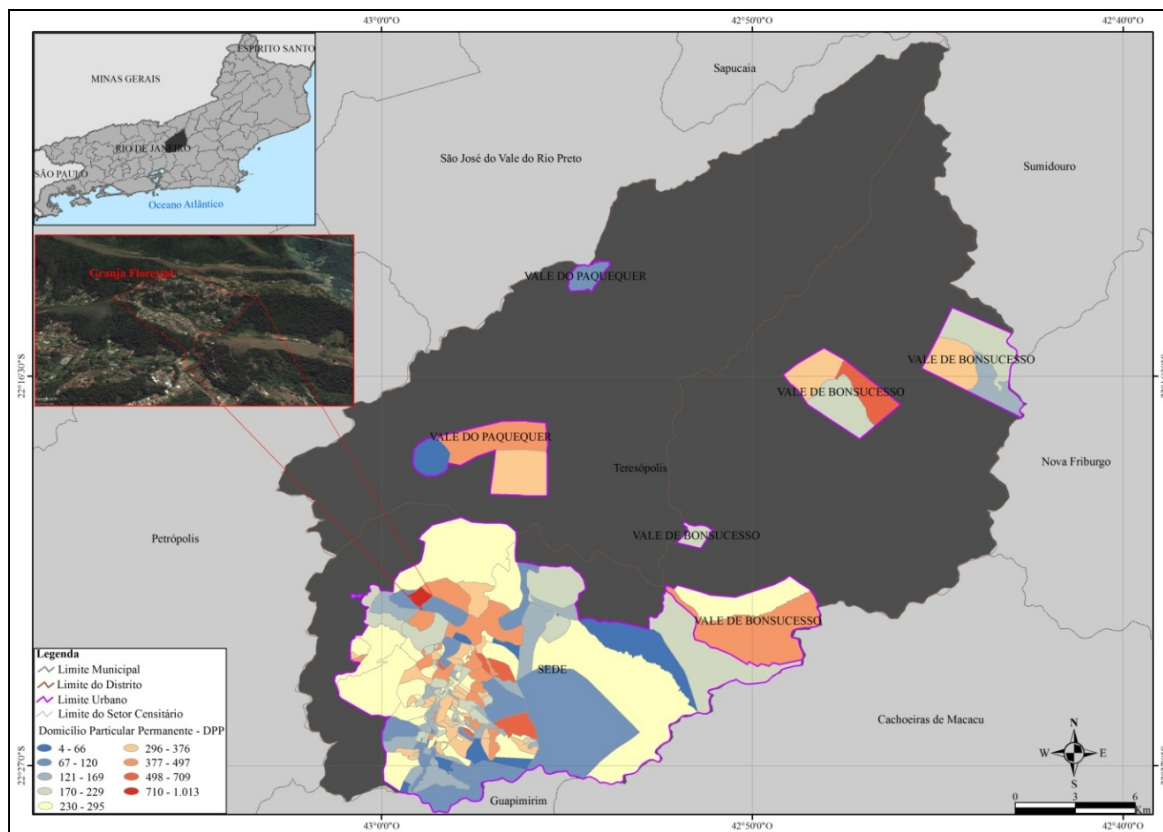


Figura 4 14– Distribuição dos domicílios pelos setores censitários urbanos de Teresópolis/RJ. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

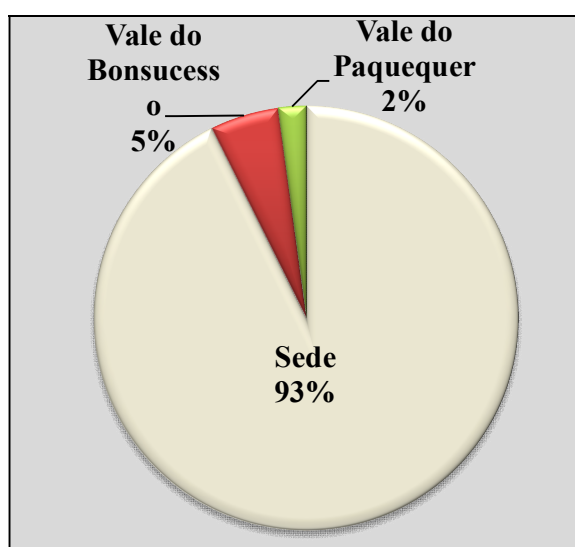


Figura 4.15 – Porcentagem de domicílios, por distritos urbanos. Fonte: IBGE, Censo – 2010.

Como já salientado, em 2010 a população total de Teresópolis era de 163.746 pessoas, correspondente a 34,03% do contingente populacional da Região Serrana do Rio de Janeiro. Segundo dados do IBGE (2010), entre os anos de 2000 e 2010, a população desse município teve uma taxa média de crescimento anual de 1,73%, enquanto que no estado do Rio de Janeiro, nesse mesmo período, a taxa de crescimento populacional foi de 1,01%.

É importante evidenciar que o crescimento populacional e, conseqüentemente, o processo de urbanização desse município, o qual, segundo SEA (2014), ocorreu sem um adequado planejamento urbano, contribuiu para aumentar a vulnerabilidade dessa população em relação aos escorregamentos de terra que ocorrem no município.

As Figuras 4.16 e 4.17 mostram a distribuição da população urbana, de acordo com o distrito e respectivos setores censitários, para o ano de 2010 (IBGE – Censo Demográfico, 2010). É possível verificar que o distrito Sede concentrava a maior parte dessa população, em torno de 135.129 pessoas ou 92,22% do total da população urbana do município.

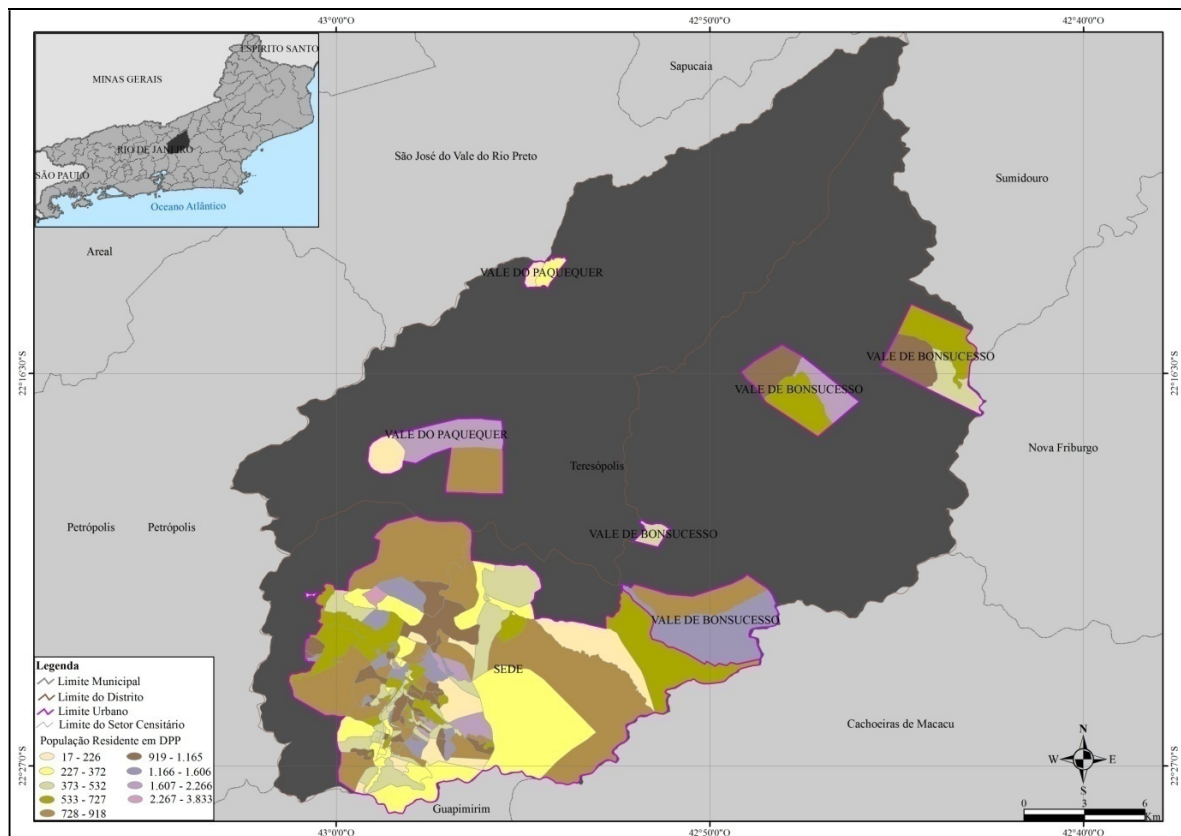


Figura 4.16 - População urbana de Teresópolis/RJ, residente em domicílio particular permanente. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

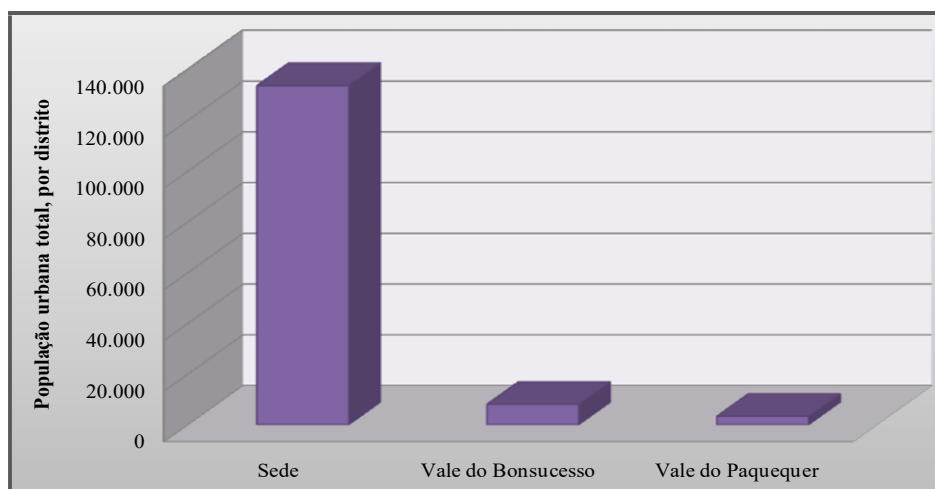


Figura 4.17 - População urbana total de Teresópolis/RJ, residente em domicílio particular permanente, por distrito. Fonte: IBGE, Censo – 2010.

Conforme destacado anteriormente, era na comunidade Granja Florestal que se concentrava o maior número de domicílios e da população do distrito Sede. Como já salientado, cerca de 20% da área total desta comunidade apresenta susceptibilidade a escorregamento. Portanto, considerando o total de área de susceptibilidade, bem como o contingente populacional deste setor é fundamental uma melhor gestão quanto ao uso e ocupação da terra, além da implantação de sistema de alerta à população, para evitar perdas de vidas e minimizar possíveis danos materiais e à infraestrutura urbana, em caso de ocorrência de eventos de escorregamentos, a exemplo do que ocorreu em janeiro de 2011 (Figura 4.18).



Figura 4.18 – Exemplos de danos materiais e à infraestrutura urbana decorrentes dos escorregamentos ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro, em 2011. Fonte: fotos cedidas por moradores da área.

É importante evidenciar que, em 2010, o município de Teresópolis, também possuía domicílios que não contavam com serviços de saneamento básico, como esgotamento

sanitário via rede geral de esgoto e pluvial e coleta de lixo pelo serviço de limpeza direta. No distrito Sede o serviço de esgotamento sanitário era o que apresentava menor cobertura, com apenas 39,81% dos domicílios atendidos, sendo baixo, também, nos domicílios dos demais distritos deste município (Tabela 4.8).

Tabela 4.8- Quantificação dos distritos de Teresópolis/RJ quanto ao rendimento médio dos domicílios, à porcentagem de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Distrito	Número de domicílios	Renda média (R\$)	Coleta de lixo (%)	Esgotamento sanitário (%)	Área total (km²)	Área de susceptibilidade (km²)	Áreas de susceptibilidade (%)
Distrito Sede	44.991	2.286	78,96	39,81	161,69	42,24	26,12
Vale do Paquequer	1.024	1.030	86,23	10,45	17,07	3,31	19,39
Vale do Bonsucesso	2.539	1.393	77,79	7,76	46,22	6,84	14,8

Assim como no município de Petrópolis, em Teresópolis também foram identificados e mapeados pelo IBGE (Censo, 2010) setores classificados como aglomerados subnormais, ou seja, neste município a urbanização de alguns setores se deu fora dos padrões vigentes, refletido por vias de circulação estreitas e de alinhamento irregular, lotes de tamanhos e formas desiguais e construções não regularizadas por órgãos públicos, além de apresentarem precariedade de serviços públicos essenciais, como a destinação do lixo (SEA, 2014).

Em 2010 existiam um total de 44 setores em aglomerados subnormais neste município, sendo 43 localizados no distrito Sede e 1 no Vale do Paquequer. Nesses setores havia um total de 12.588 domicílios e uma população de 41.809 (Tabela 4.9). Portanto, pode-se inferir que, em 2010, 25,53% da população do município de Teresópolis residiam em aglomerados subnormais. É importante observar que a densidade demográfica nesses aglomerados era de 4.930 hab./km² (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 - Número de domicílios e população residente em setores censitários de Teresópolis/RJ, classificados como aglomerados subnormais. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010 (adaptada).

Município/Distrito	Total	Número de Domicílios Particulares Ocupados	População Residente em Domicílios Particulares	Área (km²)	Densidade Demográfica (hab/km²)	Densidade de Domicílios Particulares Ocupados (dom/km²)
Rio de Janeiro	3.317	617.466	2.023.744	273,97	7.387	2.254
Teresópolis	44	12.588	41.809	8,5	4.930	1.484
Distrito Sede	43	12.441	41.316	7,6	5.417	1.631
Vale de Bonsucesso	-	-	-	-	-	-
Vale do Paquequer	1	147	493	0,9	577	172

Do ponto de vista das características topográficas verifica-se que, do total de setores em aglomerado subnormais, 36 estavam em áreas com declividade moderada ou acentuada, sendo 29 no distrito Sede e 1 no vale do Paquequer (Tabela 4.10). Em relação à distribuição dos domicílios por esses setores, constata-se que 1.505 estavam nas áreas de relevo moderado e 8.692 em áreas de relevo acentuado, segundo a classificação do IBGE (Tabela 4.11). Ou seja, do total de domicílios localizados em setores considerados subnormais, 81,01% estavam em áreas com alguma susceptibilidade natural à ocorrência de escorregamento, conforme pode ser observado na Tabela 4.8, no distrito Sede 26,12% do seu território apresenta susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.

Tabela 4.10 - Número de setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas. Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010 (adaptada).

Município/Distrito	Plano	Declive Moderado	Declive Acentuado
Teresópolis	8	6	30
Distrito Sede	8	6	29
Vale de Bonsucesso	-	-	-
Vale do Paquequer	-	-	1

Tabela 4.11 - Número de domicílios ocupados em setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas. Fonte: IBGE - Censo Demográfico 2010 (adaptada).

Município/Distrito	Plano	Declive Moderado	Declive Acentuado
Teresópolis	2.391	1.505	8.692
Distrito Sede	2.391	1.505	8.545
Vale de Bonsucesso	-	-	-
Vale do Paquequer	-	-	147

A Tabela 4.12 mostra os setores urbanos de Teresópolis mapeados com as maiores áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, além do quantitativo de domicílios, para cada setor, com acesso à coleta de lixo, esgotamento sanitário, entre outras informações.

Dos setores destacados, verifica-se que Caleme, localizado na porção oeste do distrito Sede (Figura 4.19), é o que, proporcionalmente, apresenta a maior área de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, em torno de 88,74% de sua área total. Em 2010, este setor possuía 1.005 domicílios e uma população de 3.353 hab. Em relação aos indicadores de saneamento, observa-se que 14,83% contavam com esgotamento via rede geral

ou pluvial e 85,97% contavam com coleta de lixo por serviço de limpeza direta. A renda média dos domicílios deste setor ficava em torno de dois salários mínimo.

Albuquerque, outro setor também localizado do distrito Sede, tinha um rendimento médio por domicílio de R\$ 7.802,00, representando o melhor rendimento entre os setores analisados. Com uma área total de aproximadamente 4,40 km², sendo 27,46% susceptível a ocorrência de escorregamentos, este setor tinha, em 2010, um total de 178 domicílios e uma população de 406 hab. Neste setor, 171 domicílios (96,07% do total), tinham coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta. Porém, apenas 3,93% tinham esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial (Tabela 4.12 e Figura 4.19).

As Comunidades de Vale das Pedras e de Vargem Grande formam dois setores de Vale do Bonsucesso que também apresentaram um quantitativo considerável de áreas com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos de terra, cerca de 39,80% e 32,15 % de suas áreas totais, respectivamente. Nestes dois setores a renda média dos domicílios ficava em torno de três salários mínimos, por domicílios. No setor de Vale das Pedras existia um total de 244 domicílios e 764 pessoas residentes, em 2010. Os indicadores de saneamento mostram que do total de domicílios existentes apenas 1,23% tinham esgotamento sanitário e 55,33% eram assistidos pela coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta (Figura 4.19).

Observa-se, portanto, que um grande contingente populacional de Teresópolis vive em áreas consideradas de risco natural à ocorrência de escorregamentos. Aspecto que pode ser agravado pelo ineficiente acesso da população aos serviços de saneamento básico. Neste sentido, ações preventivas de acidentes, como os que ocorreram em 2011, fazem-se necessárias. Uma solução cabível seria um melhor ordenamento do solo e retirada da população daquelas áreas consideradas de alto risco. A implantação de sistema de alerta, por meio de veiculação pública, pode possibilitar a remoção de população de áreas consideradas de alto risco, mediante alerta de chuvas intensas, sendo, deste modo, uma solução possível para evitar acidentes associados a eventos de movimentação de massa. O Sistema Alerta Rio tem esse objetivo, sendo efetivado por meio da constante medição e análise dos dados pluviométricos das estações que integram o sistema.

Tabela 4.12 - Setores Censitários de Teresópolis/RJ, classificados ou não em aglomerados subnormais e características dos domicílios quanto às condições de saneamento básico e outras características. Fonte: IBGE – Censo Demográfico, 2010.

Setor	Distrito	Número de domicílios	Número de Pessoas	Renda média dos domicílios (R\$)	Número de domicílio com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto	Porcentagem de domicílio com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto	Número de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta	Porcentagem de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta	Área total (km²)	Área de suscetibilidade a escorregamentos (km²)	Área de suscetibilidade a escorregamentos (%)
Albuquerque	Sede	178	406	7.802	7	3,93	171	96,07	4,4	1,21	27,5
Barroso	Sede	402	1.789	1.823	241	59,95	142	35,32	0,87	0,29	33,33
Caleme	Sede	1.005	3.353	1.215	149	14,83	864	85,97	0,87	0,78	89,66
Cascata dos Amores	Sede	85	244	3.328	26	30,59	85	100	1,43	0,56	39,16
Granja Florestal	Sede	1.013	3.833	1.956	4	0,39	178	17,57	0,61	0,13	21,31
Granja Florestal	Sede	83	252	1.317	1	1,20	9	10,84	1,6	0,36	22,5
Jardim Meudon	Sede	811	2.633	1.501	112	13,81	463	57,09	0,74	0,45	60,81
São Pedro	Sede	1.357	5.041	988	1.169	86,15	367	27,04	0,49	0,18	36,73
Granja Guarani	Sede	408	1.257	1.326	139	34,07	260	63,73	2,45	0,92	37,55
Vale do Paraíso	Sede	302	851	2.839	115	38,08	302	100	0,39	0,14	35,9
C. do Córrego do Peixe	Sede	289	870	1.189	2	0,69	288	99,65	12,99	5,09	39,18
Canoas	Sede	101	336	1.529	8	7,92	88	87,13	19,33	6,85	35,44
C. Vale das Pedras	Vale do Bonsucesso	244	764	1.475	3	1,23	135	55,33	6,51	2,59	39,78
C. Vargem Grande	Vale do Bonsucesso	447	1.457	1.718	16	3,58	397	88,81	12,42	3,99	32,13

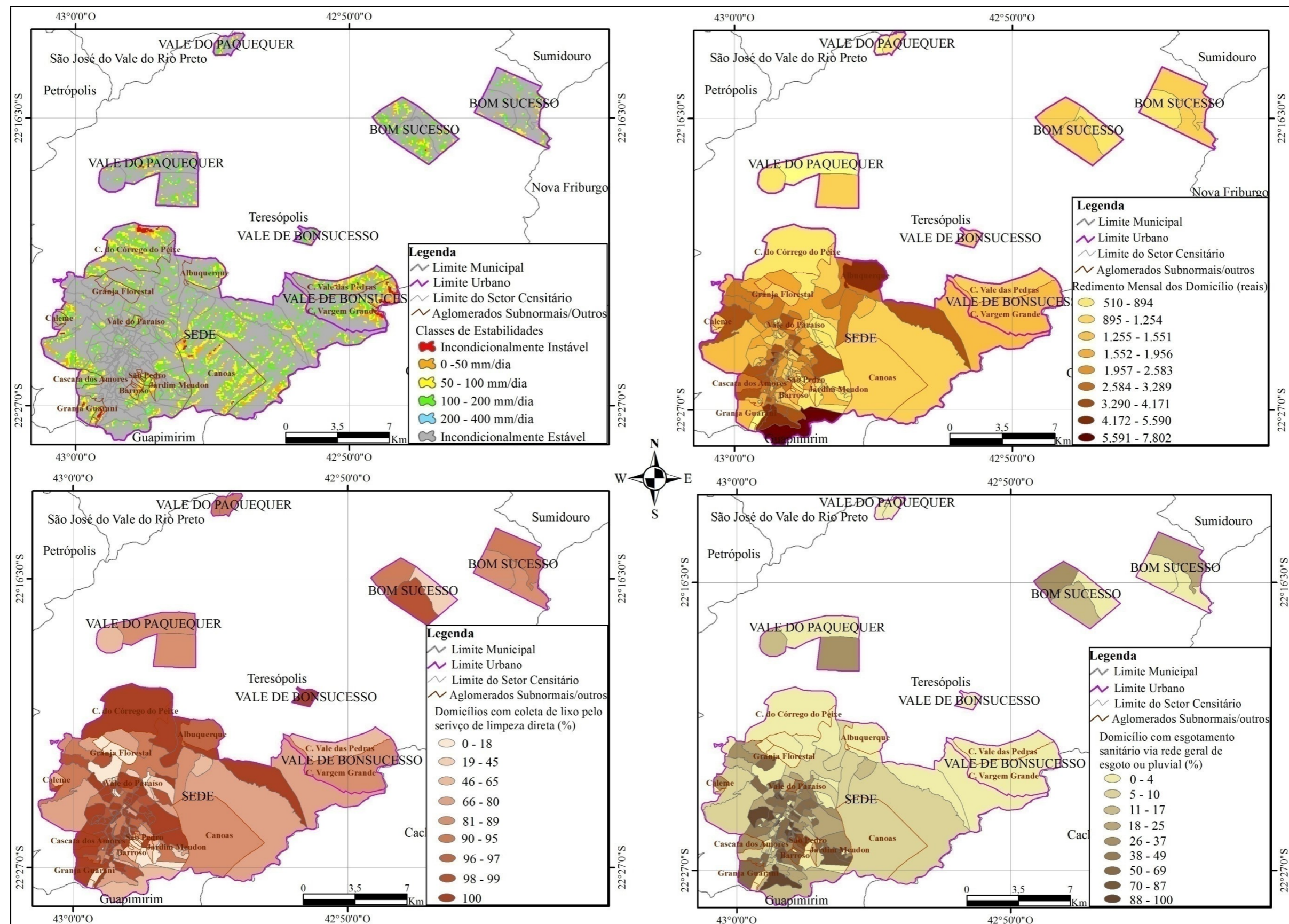


Figura 4.19 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário urbano de Teresópolis. Fonte: IBGE, Censo – 2010 e Imagens SRTM

4.2.3 – Nova Friburgo

Também localizado na região serrana do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, foi outro município que apresentou grande quantitativo de áreas com susceptibilidade a escorregamentos de terra, aproximadamente 235,14 km², ou seja, 21,95% de sua extensão territorial. Vale destacar que do total de áreas de susceptibilidade a escorregamentos do município, cerca de 43,80 km² ocorrem na zona urbana do município. Do total de setores urbanos deste município, 63,06% apresentam áreas com susceptibilidade natural à ocorrência desses eventos (Tabela 4.2 e Figura 4.20).

É importante ressaltar que, por causa do desastre ocorrido nessa região em 2011, foram registradas, somente no município de Nova Friburgo, 426 vítimas fatais, inúmeros desaparecidos, além de perdas materiais e econômicas, tendo sido este o município mais afetado, segundo Relatório de Inspeção do Ministério do Meio Ambiente (2011).

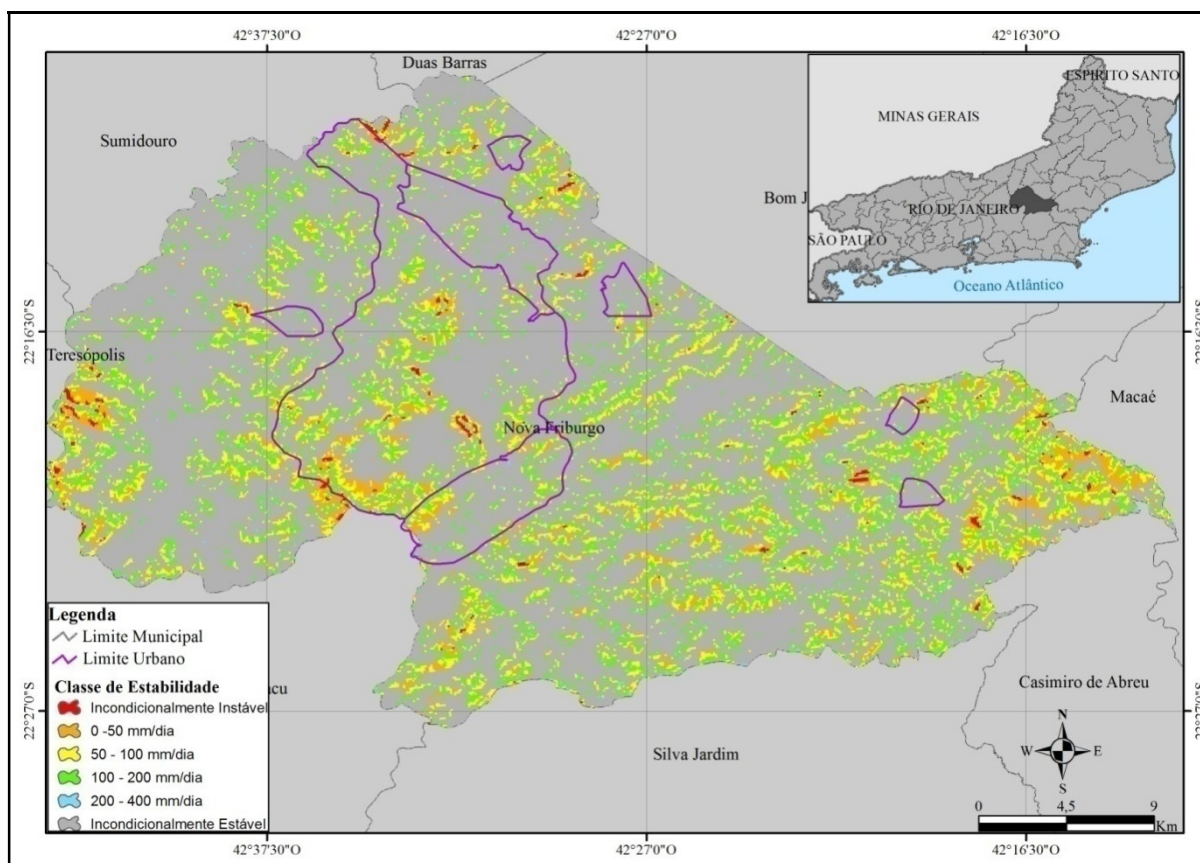


Figura 4.20 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos de Nova Friburgo/RJ, obtidas a partir do modelo SHALTAB. Fonte: base de dados do IBGE e Imagens SRTM.

Este município, assim como os outros dois já analisados, situou-se, em 2010, na faixa de desenvolvimento humano alto, com IDHM de 0,745. De acordo com o Atlas de Desenvolvimento Humano, a Longevidade, com índice de 0,849, é a dimensão que mais contribui para o IDHM do município. Como pode ser verificado na Figura 4.21, neste município, também houve uma evolução do IDHM nas últimas décadas, passando de 0,537, em 1991, para 0,745, em 2010. Esta evolução, implicou em uma taxa de crescimento de 38,73% para o município, sendo a educação a dimensão cujo índice mais cresceu em termos absolutos (com crescimento de 0,315), seguida por Longevidade e pela Renda, segundo o Atlas do Desenvolvimento Humano.

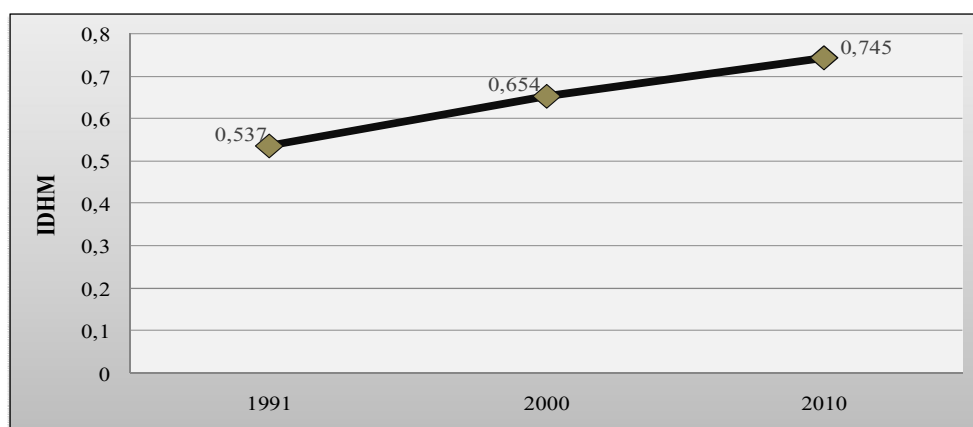


Figura 4.21 - Evolução do IDHM do município de Nova Friburgo/RJ, no período de 1991 a 2010. Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil, 2010 (adaptado).

Nova Friburgo, atualmente, é composto por oito distritos, que juntos totalizam uma área territorial de aproximadamente 933,42 km². Cabe salientar que toda a extensão territorial do distrito Sede (em torno de 141 km²) é considerada urbana. Os demais distritos são formados por trechos urbanos e rurais, sendo os trechos urbanos em pequena extensão. Segundo o PDUE (2015), cada distrito apresenta sua vocação e desenvolvimento econômico de acordo com as características da região.

Em relação aos setores censitários urbanos, observa-se que este município é composto por 268 setores. Deste total, 199 estão localizados no distrito Sede, 44 em Conselheiro Paulino e os 25 restantes estão distribuídos pelos demais distritos do município, sendo 9 em Muri, 5 em Amparo, 3 em Campo do Coelho, Riograndina e Lumiar e 2 em São Pedro da Serra (Figura 4.22).

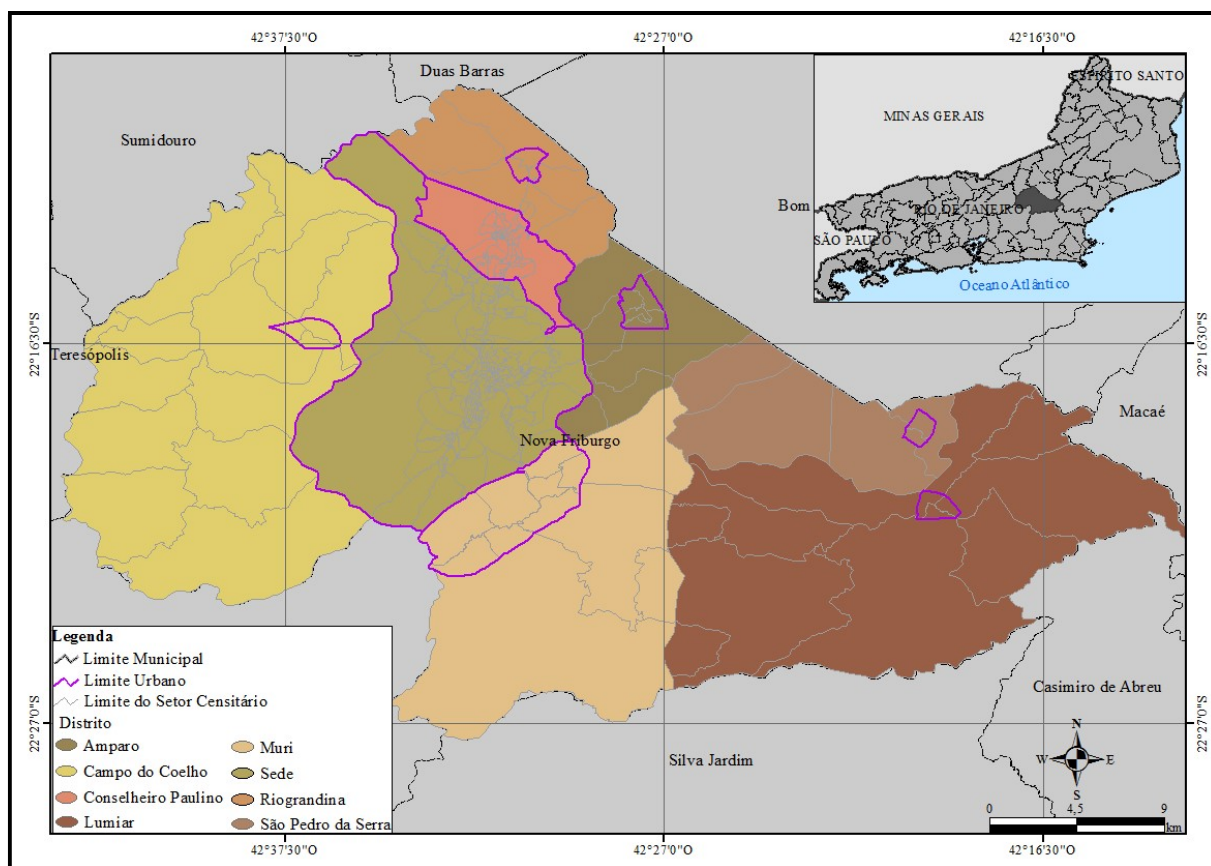


Figura 4.22 - Município de Nova Friburgo/RJ e seus respectivos distritos e setores censitários. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

No que se refere à distribuição dos domicílios pelos setores (Figuras 4.23 e 4.24), observa-se que neste município também havia uma concentração no distrito Sede. Do total de 55.923 domicílios urbanos, 40.262, ou seja, 72% estavam localizados neste distrito, sendo a média de 202 domicílios por setor.

Em Conselheiro Paulino havia 10.968 domicílios, o que representa 19,61% do total de domicílios urbanos existentes no município de Nova Friburgo. Neste distrito, a média de domicílio por setor era de 249 (Figuras 4.23 e 4.24).

Muri, o terceiro com maior número de domicílios urbanos deste município, apresentava um total de 1.551 domicílios ou 2,77% do total de domicílios, com uma média de 172 por setor (Figuras 4.23 e 4.24).

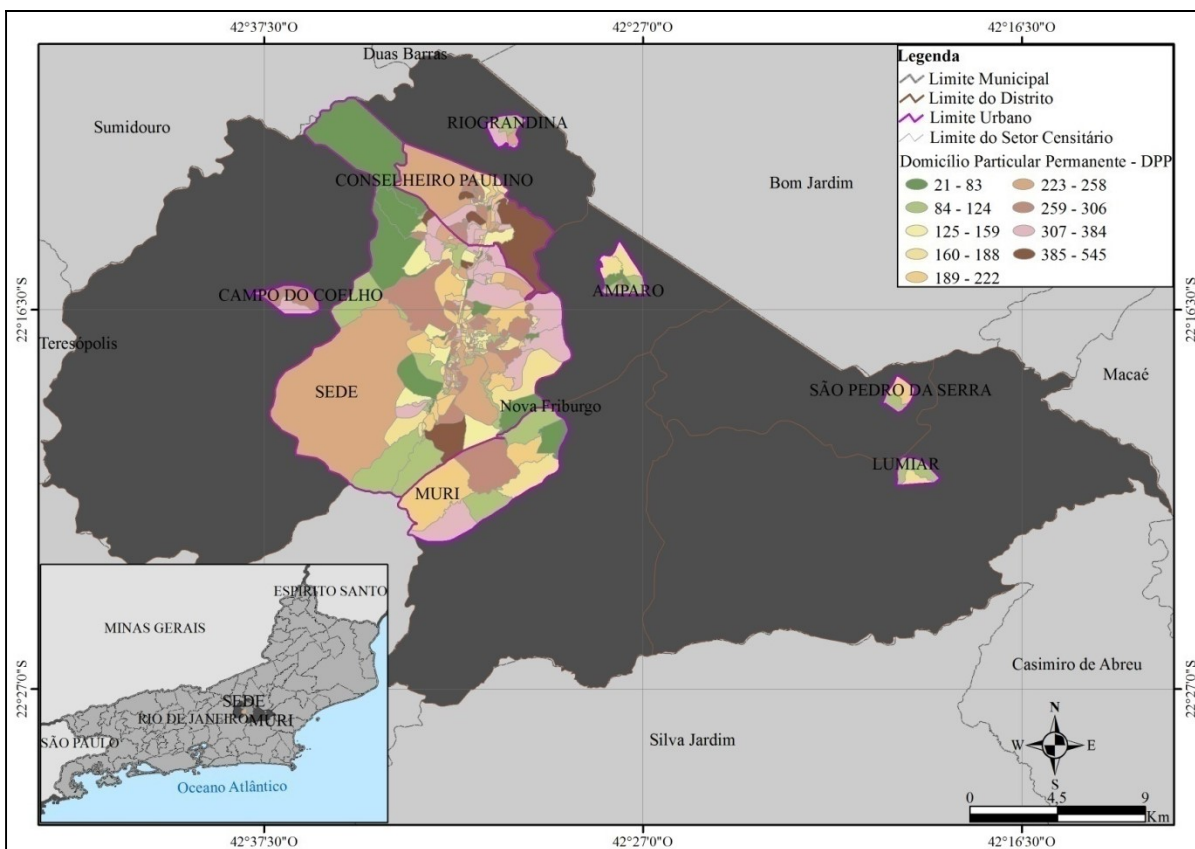


Figura 4.23 - Distribuição dos domicílios pelos setores censitários urbanos de Nova Friburgo/RJ. Fonte: Base de dados do IBGE – Censo Demográfico, 2010.

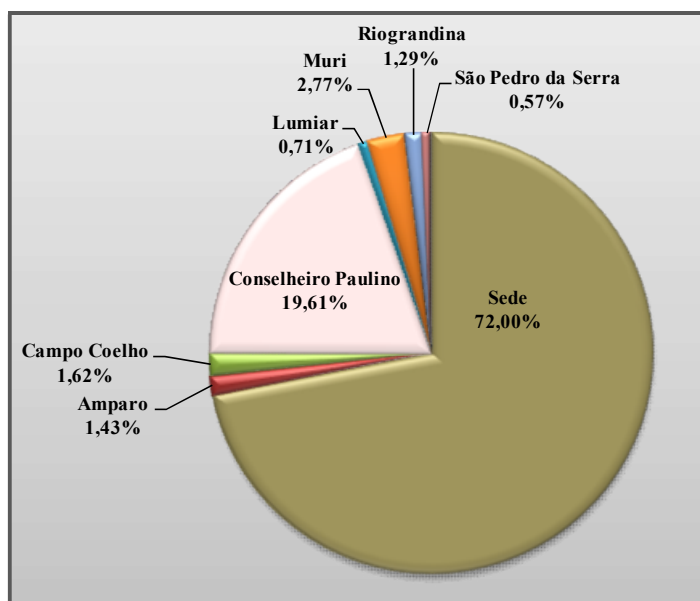


Figura 4.24 - Número de domicílios, por distrito. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Conforme indicado na Tabela 4.2, em 2010 viviam, no município de Nova Friburgo, 182.082 pessoas. De acordo com o Atlas do desenvolvimento Humano, entre os anos de 2000 a 2010 houve m crescimento dessa população a uma taxa média anual de 0,49%. Ainda de acordo com este Atlas, neste período também houve um crescimento da taxa de urbanização do município, que passou de 87,56%, em 2000, para 88,05% em 2010, quando a população urbana ficou em torno de 158.745 hab.

Como observado por Vasconcelos (2011) essa tendência de crescimento foi alavancada a partir da década de 1970, quando houve o incremento de um importante pólo industrial no município, e dificultou o processo de planejamento do uso e ocupação da terra, o qual passou a ocorrer de forma desordenada, com ocupações de áreas de encostas. Além disso, muitos dos assentamentos existentes, atualmente, nessas encostas não contam com serviços de esgotamento sanitário adequado, tampouco com serviço de coleta de lixo. Estes, muitas vezes são lançados e acumulados nas encostas e passam, assim, a ser um fator de risco aos escorregamentos (Figura 4.25).



Figura 4.25 - Exemplos de ocupações de área de encosta em comunidades/assentamentos localizados no bairro Córrego D'Antas. Além da ocupação irregular de encosta (A, B, C, D) é possível constatar a presença de lixo (C e D) e as cicatrizes deixadas pelos escorregamentos ocorridos na área (A, B, C, D). Fonte: A e B fotos de arquivo pessoal, C e D *Google Earth* (15/07/2016).

Portanto, apesar deste município, em 2010, está inserido na faixa de desenvolvimento humano alto, ainda se observa pessoas vivendo em assentamentos e edificações precários, sem acesso aos serviços de infraestruturas básicas e essenciais, além de viverem sujeitas a novos desastres, como aqueles ocorridos em janeiro de 2011.

As Figuras 4.26 e 4.27 mostram, respectivamente, o quantitativo de população pelos respectivos setores e distritos de Nova Friburgo. Assim como Petrópolis e Teresópolis, nesse município também se observou, em 2010, a predominância absoluta da população no distrito Sede, cerca de 112.685 pessoas. É também neste distrito que se concentra os assentamentos ou setores mais precários de Nova Friburgo. Em Conselheiro Paulino, segundo distrito mais populoso, essa população era de 32.435 hab. ou de 20,43% da população urbana e em Muri esse percentual era de 2,77%, ou seja, esses três distritos concentravam 94,18% da população urbana total do município de Nova Friburgo.

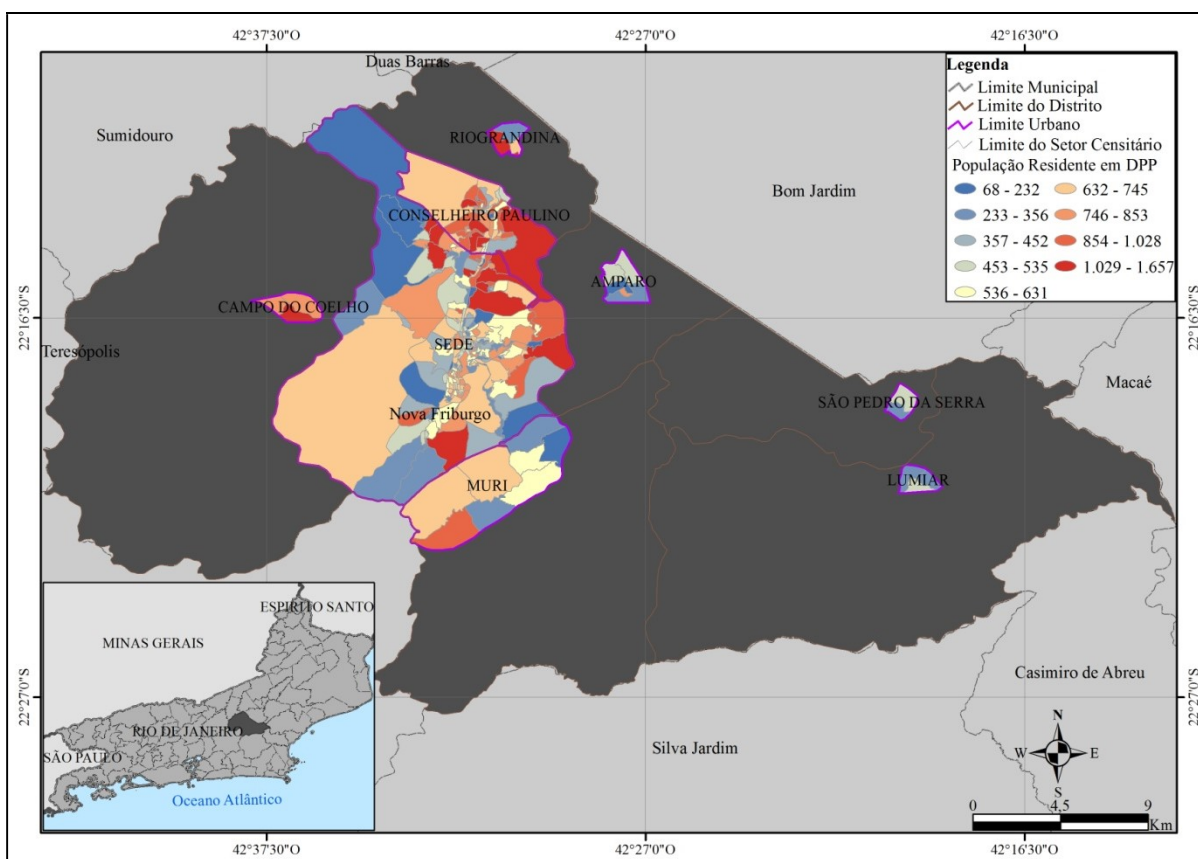


Figura 4.26 - População urbana residente em domicílio particular permanente de Nova Friburgo/RJ. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

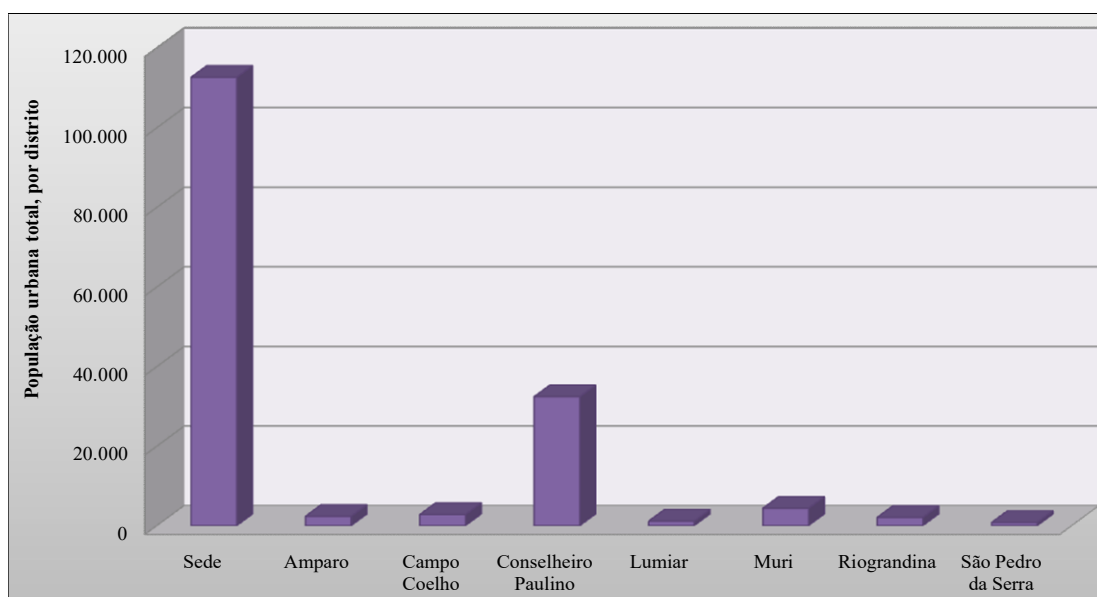


Figura 4.27 - População urbana total de Nova Friburgo/RJ residente em domicílio particular permanente, por distrito. Fonte: IBGE, Censo – 2010.

É importante salientar que no evento de 2011, Nova Friburgo foi o município da região serrana com área urbana mais afetada. Conforme destacado por CEPERJ/CEEP (2015), este município, teve sua economia bastante danificada, visto que houve agravamento das atividades industriais em decorrência dos danos ocorridos em suas instalações fabris. Além disso, após o evento, o município teve dificuldade de recebimento de matéria-prima e escoamento da produção, já que a sua infraestrutura (fornecimento de energia, estradas, entre outros) também ficou bastante comprometida.

A Tabela 4.13 e a Figura 4.28 mostram, respectivamente, o total e a distribuição espacial dos rendimentos médios dos domicílios, e dos domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta, dos totais de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial, além das áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, considerando os distritos de Nova Friburgo.

De um modo geral, percebe-se que grande parte de Nova Friburgo, é atendida por esses serviços, as exceções, sobretudo no que tange à coleta e disposição final do lixo, ocorrem nos setores mais remotos do município, devido principalmente à dificuldade de acesso. Em relação à renda familiar, verifica-se que esta variou de pouco mais que um até pouco mais que doze salários mínimos, com predominância na faixa de dois a três salários mínimos.

Tabela 4.13 - Quantificação dos distritos de Nova Friburgo/RJ quanto às áreas de susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos, ao número de domicílios, rendimento médio dos domicílios, ao número de domicílios com coleta de lixo direta, e com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Distrito	Número de domicílios	Rendimento médio dos domicílios (R\$)	Total de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta	Percentual de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta	Total de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial	Percentual de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial	Área total (km ²)	Área de susceptibilidade a escorregamentos (km)	Área de susceptibilidade a escorregamentos (%)
Sede	40.262	2.427,00	36.191	89,89	31.518	78,28	141,03	34,66	24,58
Amparo	799	1.714,00	769	96,25	161	20,15	4,09	0,32	7,92
Campo do Coelho	905	1.489,00	732	80,88	285	31,49	3,25	0,36	10,97
Conselheiro Paulino	10.968	1.635,00	9.794	89,30	8.559	78,04	23,23	1,97	8,47
Lumiar	399	1.974,00	65	16,29	10	2,51	2,21	0,20	9,16
Muri	1.551	2.498,00	676	43,58	144	9,28	27,62	5,69	20,59
Rio-grandina	723	1.398,00	652	90,18	484	66,94	2,25	0,42	18,72
São Pedro da Serra	316	2.177,00	182	57,59	4	1,27	1,76	0,28	15,65

O distrito sede, maior em área territorial é também o que possui a maior área de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos. Com uma média de 3 pessoas por domicílio, este distrito tinha, em 2010, um rendimento médio por domicílio, de R\$ 2.427,00. Além disso, observa-se que do total de domicílios existentes, 89,89% contavam com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza e 78,28% contavam com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial (Tabela 4.13). Em Conselheiro Paulino, com 8,47% de sua área apresentando susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, 89,30% dos seus domicílios contavam com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta e 78,04% com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial (Tabela 4.13).

Muri, o segundo distrito em área de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, em 2010, tinha uma renda média domiciliar de R\$ 2.498,00. Portanto, o melhor rendimento médio do município, quando se considera a divisão por distrito. Por outro lado, apenas 9,28% dos seus domicílios contavam com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial e 43,58% tinham coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza, demonstrando que esses moradores tinham outras formas de esgotamento sanitário, como fossa séptica, por exemplo.

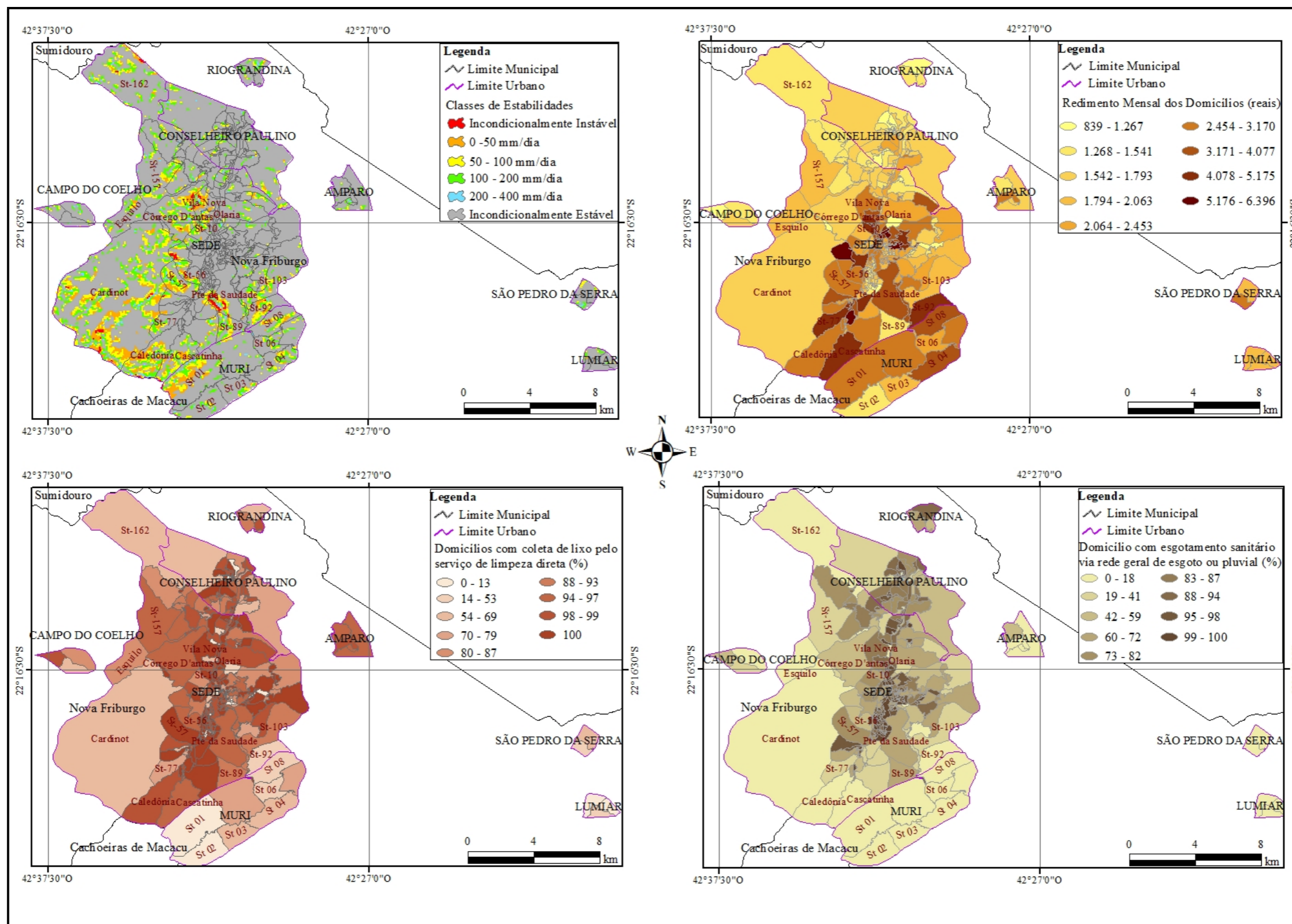


Figura 4.28 – Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário urbano e distrito de Nova Friburgo. Fonte: IBGE, Censo – 2010 e Imagens SRTM

4.2.4 - Rio de Janeiro

O Rio de Janeiro é outro município cujas características topográficas propiciam a ocorrência de escorregamentos de terra e, assim como os municípios da região serrana do estado, também apresenta histórico de desastres associados a esse tipo de movimento de massa. É importante destacar que o evento ocorrido nessa região, em janeiro de 2011, motivou a implantação do Plano de Emergência para chuvas fortes da Cidade do Rio de Janeiro, o qual tem como principal objetivo a proteção comunitária, especialmente dos moradores das áreas de Alto Risco de Escorregamentos (PEM-Rio, 2012).

Com uma área de aproximadamente 1.200,18 km² e uma densidade demográfica de 5.546,8 hab/km², o Rio de Janeiro também está entre os municípios mapeados com maior área urbana de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos de terra (Tabela 4.2 e Figura 4.29), sendo constituído por trinta e três distritos, 160 bairros e 10.505 setores censitários, sendo Campo Grande o distrito com maior número de setores urbanos (Figura 4.30).

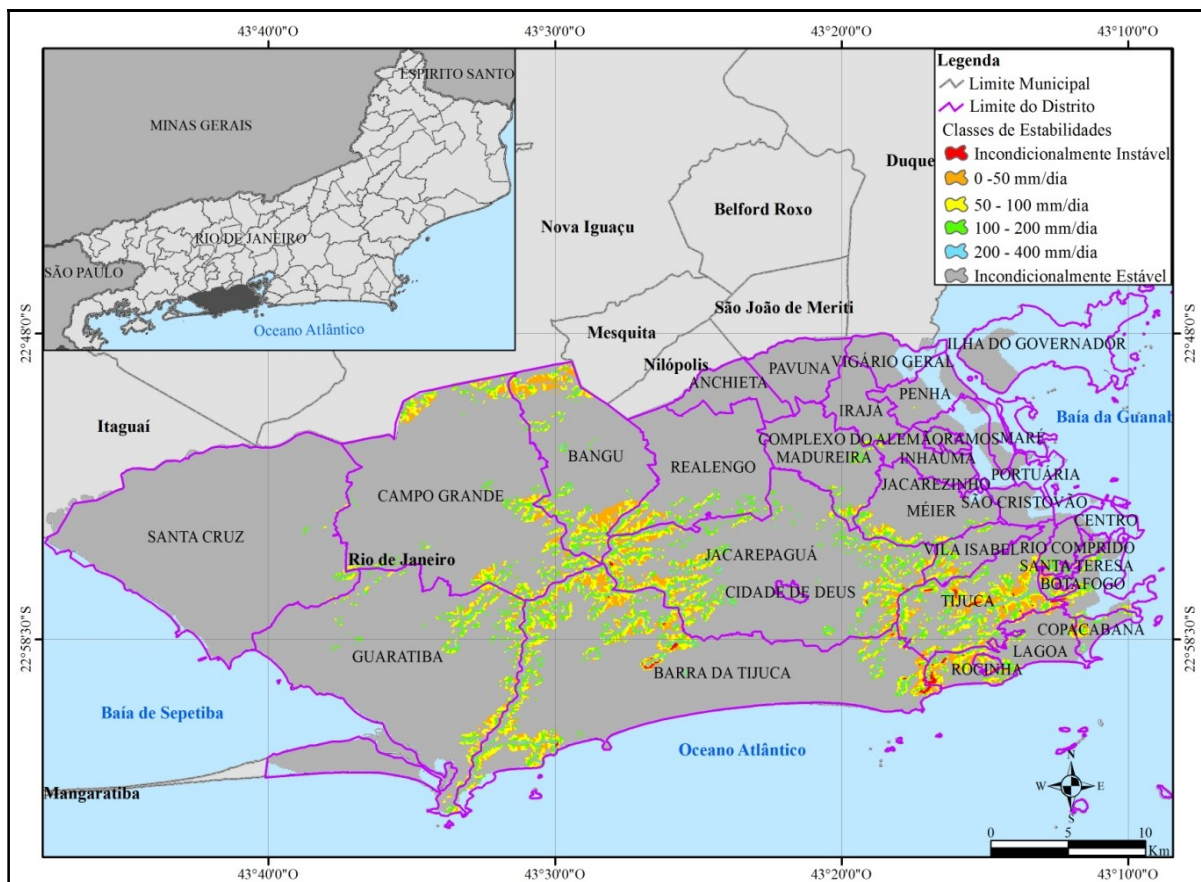


Figura 4.29 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos do município do Rio de Janeiro/RJ, obtidas a partir do modelo SHALSTAB. Fonte: base de dados do IBGE e Imagens SRTM.

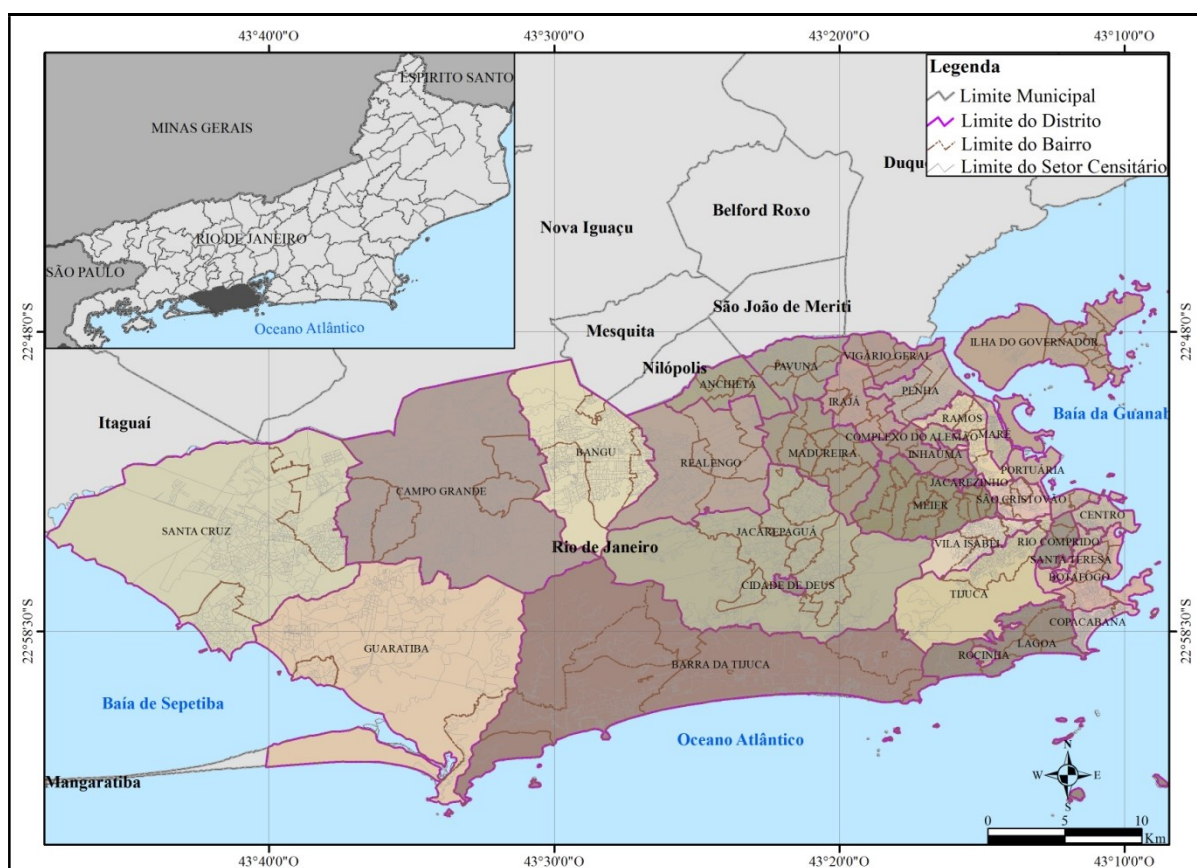


Figura 4.30 - Rio de Janeiro/RJ e seus respectivos distritos, bairro e setores censitários. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

Cabe destacar que toda a área territorial deste município é considerada urbana, contudo observa-se que existem setores onde os aspectos naturais ainda são bem preservados, ou seja, sem nenhum tipo de ocupação. Estes setores, com topografia bem acentuada, compõem os maciços de Gericinó-Mendanha, da Tijuca e de Pedra Branca, localizados ao norte, a leste e oeste do município, respectivamente.

No que se refere à distribuição dos domicílios pelos setores/distritos (Figuras 4.31 e 4.32), observa-se que, em 2010, havia uma maior concentração no distrito de Jacarepaguá, com um total de 191.764 domicílios. Este distrito, com uma área de aproximadamente 125,88 km², contava com 837 setores e uma média de 229 domicílios por setor. Campo Grande, o segundo distrito com maior quantitativo de domicílios em 2010, tinha um total de 171.702. Barra da Tijuca, maior distrito em extensão territorial (em torno de 167,09 km²), tinha aproximadamente 106.113 domicílios ou 4, 95% do total de domicílios do município.

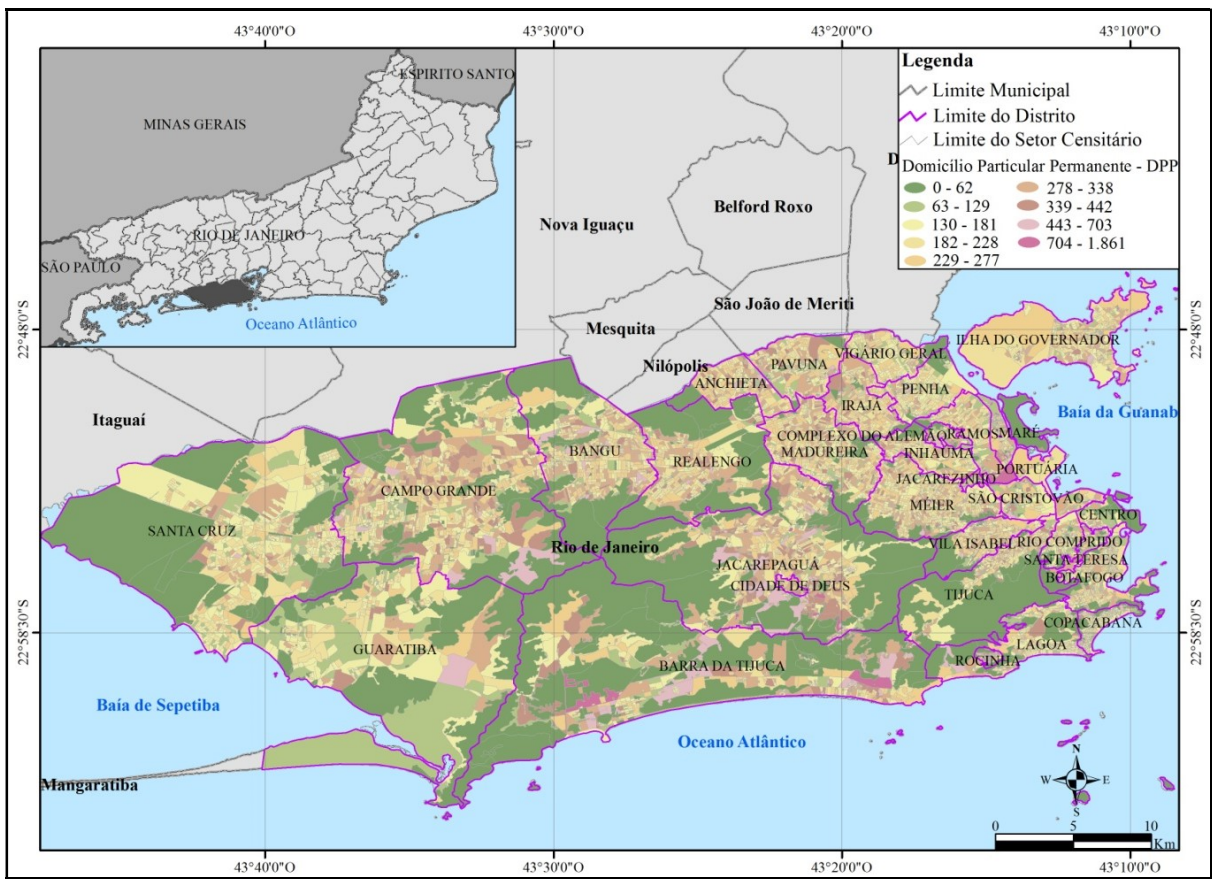


Figura 4.31 - Distribuição dos domicílios particulares permanentes pelos setores censitários e respectivos distritos. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

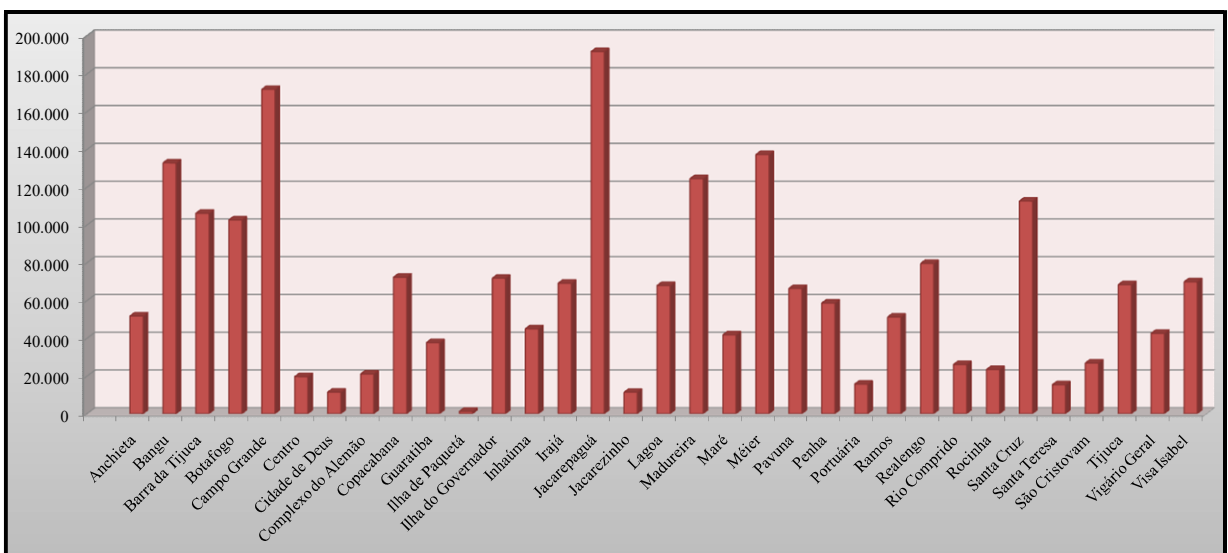


Figura 4.32 - Número de domicílios particulares permanentes - DPP, por distrito. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Além dos distritos já mencionados, merecem destaque, ainda, o distrito do Complexo do Alemão, Rocinha, Copacabana, Botafogo, Guaratiba, Madureira, Santa Teresa, Tijuca e Vila Isabel, visto que além de englobarem setores ou comunidades que apresentam susceptibilidade natural à ocorrência de escorregamentos, guardam registro de ocorrência desse evento no período de 1966 a 2016, com perdas econômicas, materiais e de vidas humanas, conforme levantamento realizado pela Fundação GEO-RIO (2016).

É importante destacar que nesse levantamento foram identificados os 50 maiores acidentes de escorregamentos ocorridos no município do Rio de Janeiro, os quais foram classificados segundo sua severidade e potencial de causar transtornos e impactos para a cidade, em pouco, médio ou muito expressivo.

No distrito de Santa Teresa, por exemplo, a ocorrência desse evento em 1988 (Figura 4.33-A) provocou a morte de 21 pessoas que estavam internadas em uma unidade de saúde, além de ter destruído parte da edificação dessa unidade, tendo sido esse evento classificado como muito expressivo. É importante destacar que, conforme mapeamento aqui realizado, esse distrito possui 27,75% de sua área territorial com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.

Em 2010, vários escorregamentos provocaram a morte de 30 pessoas (Figura 4.33-B) e destruíram inúmeros domicílios existentes na comunidade do Morro dos Prazeres (GEO-RIO, 2016). Há registro de inúmeras mortes e danos materiais provocadas por escorregamentos de terra ocorridos também, no ano de 1988, nos distritos de Madureira (Figura 4.33-C) e Tijuca (Figura 4.33-D), mais precisamente nos morros da Formiga e do Borel, onde os eventos ocorridos foram definidos como de médio a muito expressivos, respectivamente.

Entre os distritos que guarda registro de ocorrência desse tipo de evento em anos recentes, com danos para a população local, a Rocinha se destaca. Este distrito é o menor em área territorial e concentrava, em 2010, um grande quantitativo de domicílio e de população, sendo o distrito com maior densidade demográfica.



Figura 4.33 - Registro fotográfico de escorregamentos ocorridos no município do Rio de Janeiro nos anos de 1988 e de 2010. Foto A – cicatriz de um escorregamento de terra ocorrido na estrada Dom Joaquim Mamede, distrito de Santa Teresa, onde é possível perceber os danos provocados na área. Foto B – cicatriz de escorregamento ocorrido na Comunidade Morro dos Prazeres, também no distrito de Santa Teresa. Foto C – cicatriz de escorregamento e danos causados na Comunidade Parque Licurgo, distrito de Madureira. Foto D – cicatriz de escorregamento e danos causados na Comunidade Morro do Borel, distrito da Tijuca. Fonte das Fotos: Relatório Técnico da Fundação GEO – RIO, 2016.

Segundo o Censo Demográfico de 2010, a população do Rio de Janeiro nesse ano era de 6.283.486 hab. Em relação à distribuição dessa população pelos vários distritos que compõe este município (Figura 4.34 e 4.35), observa-se que havia uma concentração no distrito de Jacarepaguá, o qual registrou um total de 570.233 hab. e uma densidade demográfica de 4.530,06 hab./km². Como já salientado, este distrito também guarda registro de ocorrência de escorregamentos de terra, a exemplo do que ocorreu em fevereiro de 1996

que causou, entre outros danos, a morte de seis pessoas e destruição de várias edificações da área afetada.

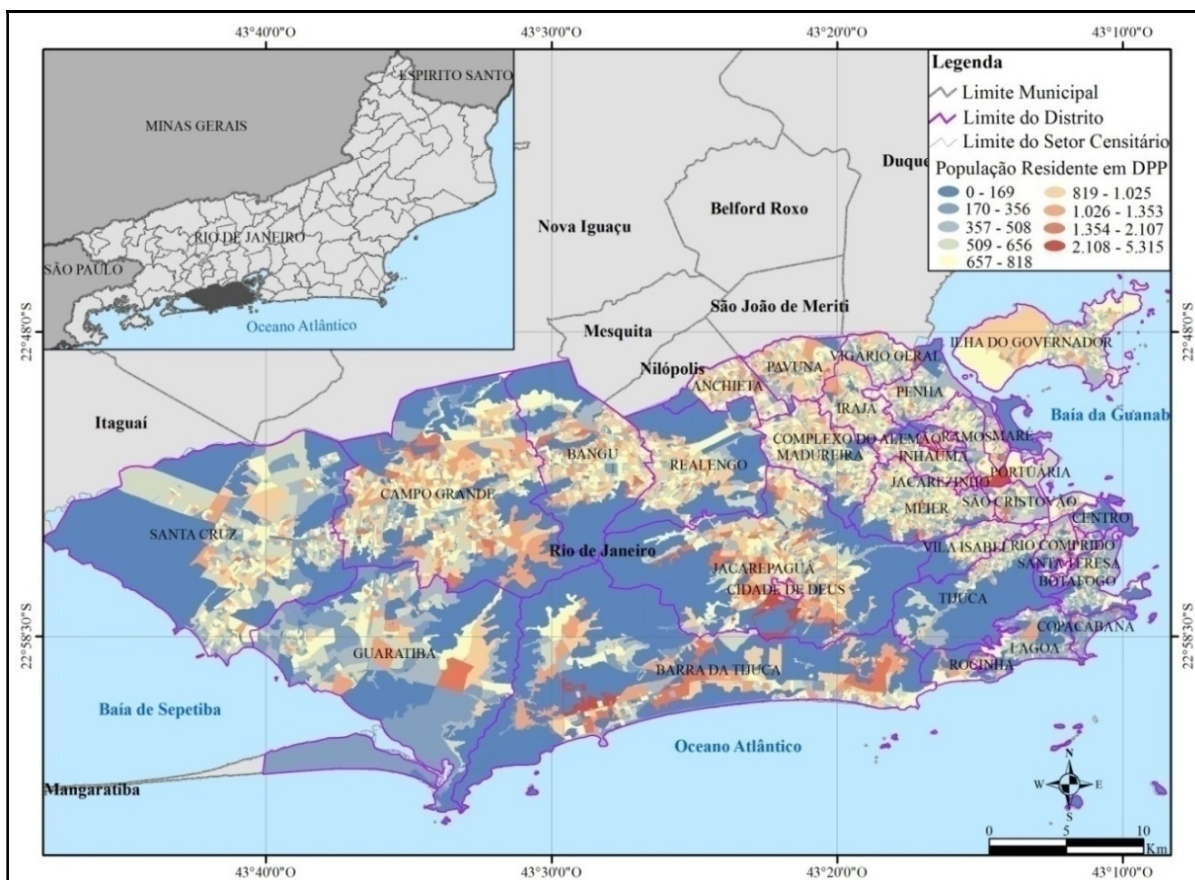


Figura 4.34 - Distribuição da população residente em domicílio particular permanente, município do Rio de Janeiro/RJ. Fonte: Elaborado a partir da base de dados do IBGE – Censo, 2010.

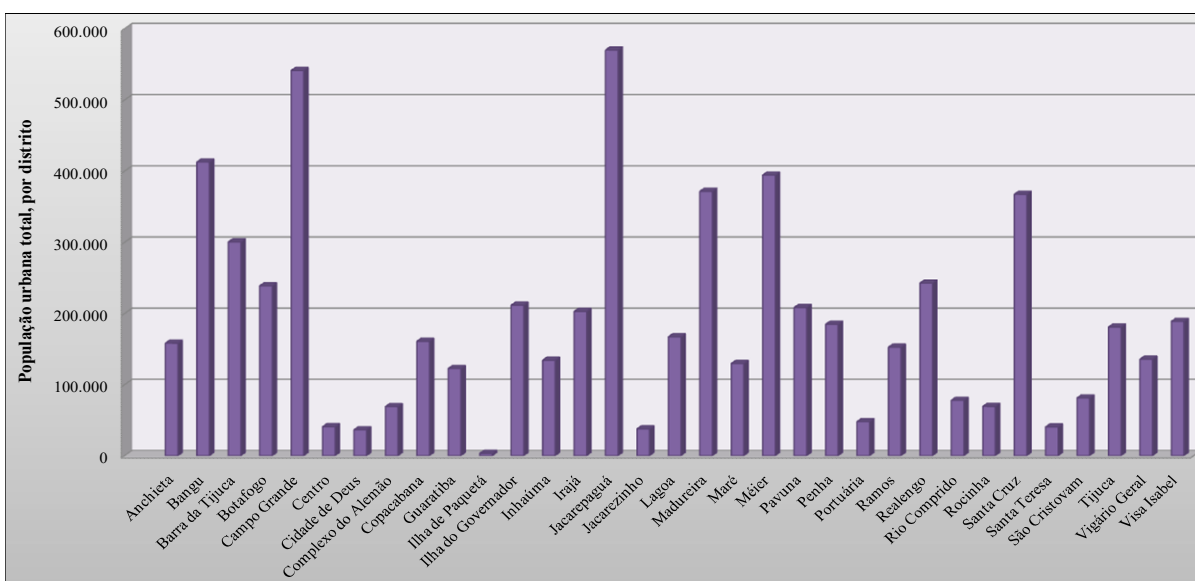


Figura 4.35- População urbana total, residente em domicílio particular permanente, por distrito. Fonte: IBGE, Censo – 2010.

Copacabana é outro distrito que apresenta histórico de ocorrência de escorregamentos e que contém vários setores com susceptibilidade à ocorrência desse tipo de evento. Com uma área de aproximadamente 5,22 km², este distrito, em 2010, tinha uma população de 160.912 hab. e também apresentava uma alta densidade populacional por quilômetro quadrado, em torno de 30.836 hab./km².

Para o município do Rio de Janeiro, foram identificados, pelo IBGE, 2.227 setores considerados ou classificados como aglomerados subnormais. Esses aglomerados estão distribuídos pelos 33 distritos do município e correspondem a 67,14% do total de aglomerados subnormais mapeados no estado. É importante salientar que esses setores englobavam, em 2010, um total de 426.965 domicílios e uma população de 1.393.314, ou 22,17% da população total do município. A Tabela 4.14 mostra o quantitativo de setores em aglomerados subnormais, bem como de domicílios e população de cada setor daqueles distritos mapeados, neste trabalho, com algum quantitativo de área de susceptibilidade a escorregamentos de terra.

Com base nessa tabela é possível verificar que o distrito de Jacarepaguá também concentrava o maior número de setores classificados como aglomerados subnormais, contando com 11,67% do total de setores em aglomerados subnormais do município. Concentrava, ainda, o maior número de domicílios e população residente nesse tipo de aglomerado.

Bangu, com uma área total de aproximadamente 61,87 km², era o segundo maior distrito em números de setores, de domicílios e de população residente nesse tipo de aglomerado. Copacabana é o distrito com menor número de setores em aglomerados subnormais, 12 no total. Entretanto, o quantitativo populacional residente nesses setores é bem maior do que o de Santa Teresa, que tem um quantitativo de 23 setores em aglomerados subnormais. Copacabana tem 6,70% de sua área territorial constituída por esse tipo de setor, comportando 8,91% de sua população total. Já Santa Teresa, tem 0,31 km² ou 6,10% de sua área territorial em setores considerados como aglomerados subnormais, que abarca 26,96% de sua população total ou 0,79% da população do município, residente nesse tipo de setor (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 - Setores censitários do Rio de Janeiro/RJ, em aglomerados subnormais. Fonte: IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Município/Distrito	Total de setores	Número de domicílios ocupados	População Residente em Domicílios Particulares	Área (ha)	Densidade Demográfica (Hab/km ²)	Densidade de Domicílios Particulares Ocupados (dom/ha)
Rio de Janeiro	2.227	426.965	1.393.314	5.421,30	257	78,8
Bangu	146	27.688	89.365	436,7	204,6	63,4
Barra da Tijuca	84	20.131	61.617	180,5	341,4	111,5
Botafogo	21	4.612	15.380	36,6	420,2	126
Campo Grande	145	18.019	60.725	422,6	143,7	42,6
Complexo do Alemão	71	17.514	58.312	220,2	264,8	79,5
Copacabana	12	4.662	14.335	34,9	411,8	133,8
Guaratiba	63	8.468	27.979	263,7	106,1	32,1
Irajá	40	8.090	26.818	89,8	298,7	90,1
Jacarepaguá	260	53.075	163.722	549,9	297,7	96,5
Lagoa	24	5.588	17.350	47,9	362,2	116,6
Madureira	99	15.881	53.770	273,5	196,6	58,1
Méier	61	13.199	46.469	218,5	212,7	60,4
Penha	70	14.553	54.461	120,2	453,1	121,1
Ramos	66	13.708	46.301	221,7	208,9	61,8
Realengo	51	9.902	32.122	138,1	232,6	71,7
Rio Comprido	59	8.576	28.856	89,7	321,8	95,6
Rocinha	80	23.399	69.351	90,3	768,4	259,3
Santa Cruz	103	15.563	53.227	476	111,8	32,7
Santa Teresa	23	3.468	10.938	30,7	356,2	112,9
Tijuca	48	7.601	26.243	119,1	220,3	63,8
Vila Isabel	57	9.151	31.093	107	290,6	85,5

Considerando as características topográficas, é possível verificar que Copacabana e Lagoa são os únicos distritos em que todos os seus setores em aglomerados subnormais estão localizados em áreas que apresentam susceptibilidade natural à ocorrência de eventos de movimentação de massa. Em Copacabana, por exemplo, verifica-se que 10 setores estão inseridos em área de declividade moderada e dois em área de declive acentuada (Tabela 4.15).

A Rocinha, distrito com menor área territorial (1,46 km²), foi mapeada com 80 aglomerados subnormais. Nestes aglomerados estão concentrados todos os domicílios e população deste distrito. Observa-se que do total de setores em aglomerados subnormais abrangidos pelo distrito da Rocinha, 27 estão em área de declive moderado e 45 estão em áreas de declividade acentuada (Tabela 4.16), isto é, em áreas que apresentam susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, sendo o distrito com maior quantitativo de setores e também de domicílios em área de relevo acentuado, conforme classificação do IBGE (Tabela 4.16).

Tabela 4. 15 - Número de setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas. Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010 (adaptada).

Município/Distrito	Plano	Declive Moderado	Declive Acentuado
Rio de Janeiro	243.770	118.522	64.673
Bangu	24.127	2.359	1.202
Barra da Tijuca	16.878	2.877	376
Botafogo	143	1.622	2.847
Campo Grande	14.783	2.511	725
Complexo do Alemão	1.717	15.242	555
Copacabana	-	3.906	756
Guaratiba	7.846	290	332
Irajá	4.778	1.529	1.783
Jacarepaguá	38.450	12.073	2.552
Lagoa	-	1.304	4.284
Madureira	7.471	1.106	7.304
Méier	5.258	3.601	4.340
Penha	7.863	6.440	250
Ramos	11.232	2.158	318
Realengo	7.116	2.786	-
Rio Comprido	75	7.158	1.343
Rocinha	1.942	7.950	13.507
Santa Cruz	15.516	47	-
Santa Teresa	118	133	3.217
Tijuca	298	3.777	3.526
Vila Isabel	108	6.383	2.660

Tabela 4. 16 - Número de domicílios ocupados em setores censitários de aglomerados subnormais, segundo as características topográficas. Fonte: IBGE - Censo Demográfico 2010 (adaptada).

Município/Distrito	Plano	Declive moderado	Declive acentuado
Rio de Janeiro	1.303	617	307
Bangu	128	13	5
Barra da Tijuca	73	10	1
Botafogo	2	8	11
Campo Grande	121	20	4
Complexo do Alemão	4	65	2
Copacabana	-	10	2
Guaratiba	60	2	1
Irajá	20	10	10
Jacarepaguá	176	69	15
Lagoa	-	5	19
Madureira	49	10	40
Méier	24	17	20
Penha	42	27	1
Ramos	52	13	1
Realengo	38	13	-
Rio Comprido	1	47	11
Rocinha	8	27	45
Santa Cruz	102	1	-
Santa Teresa	3	2	18
Tijuca	1	26	21
Vila Isabel	0	42	14

A Tabela 4.17 mostra o quantitativo de áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos de terra desses 21 distritos, os quais, conforme já indicado, foram mapeados com algum grau de susceptibilidade à ocorrência desses eventos. Mostra, também, as características desses distritos quanto às condições de acesso à coleta de lixo e esgotamento sanitário. É possível observar que a renda média para esses distritos variou de dois até vinte e um salários mínimos, sendo o Complexo do Alemão e a Rocinha os distritos que apresentaram a menor renda média, respectivamente R\$ 1.187,00 e 1.209,00. De um modo geral, observa-se que os distritos eram bem providos no que tange aos serviços de esgotamento sanitário via rede geral de esgoto, sendo a coleta do lixo realizada pelo serviço geral ainda incipiente em alguns desses distritos, sobretudo nas áreas de relevo acentuado, onde existe uma maior dificuldade de acesso.

Proporcionalmente, a Rocinha é o distrito com maior área de susceptibilidade natural à ocorrência de escorregamentos de terra, com 39,94% do seu território, como já salientado.

Foi possível constatar que este era o distrito, do município do Rio de Janeiro, com menor percentual de coleta de lixo pelo serviço de limpeza direta, apenas 18,36% dos seus domicílios eram servidos por este tipo de serviço. (Tabela 4.17 e Figura 4.36).

A Tijuca é o segundo maior distrito em área de susceptibilidade à ocorrência desse tipo de movimento de massa, em termos proporcionais, tendo 37,45% de sua área com susceptibilidade. Neste distrito, encontram-se, entre outras, as comunidades Morro do Borel, Morro da Formiga, Morro da Liberdade, todas localizadas em áreas de risco à ocorrência desse evento (Figura 4.36).

Observa-se que a grande maioria dos domicílios da Tijuca, em 2010, tinha acesso às condições básicas de saneamento, esgotamento sanitário (96,41) e coleta de lixo (84,31). Apenas nas comunidades onde estava concentrada a população com menor renda, esse acesso era mais restrito. É importante salientar que neste distrito existem setores com topografia bem acentuada, como maciços e serras, que compõem o Parque Nacional da Tijuca, Unidade de Conservação de Proteção Integral.

O Complexo do Alemão tem 8,51% de sua área total com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos. Nesta área, está também a população que em 2010 possuía os menores rendimentos, além de ser a área onde a população tem menos acesso aos serviços básico de saneamento (Figura 4.36).

Já Copacabana apresenta 20,49% de sua área total com susceptibilidade a esse tipo de evento. Do total de domicílios deste distrito, observa-se que 99,81 contam com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial, e em 83,93 a coleta de lixo é realizada pelo serviço de limpeza direta. Neste distrito, assim como nos demais, apenas os domicílios localizados naqueles setores com topografia muito acentuada não tinham acesso aos serviços de saneamento básico.

Santa Teresa, outro distrito, que conforme já indicado, tem registro de ocorrência de escorregamentos com perdas materiais e de vida, apresenta 27,76% de sua área com susceptibilidade. Neste distrito, também se observava que a coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta, dentre os parâmetros analisados, era o que apresentava menor cobertura, 83,26% dos seus domicílios. Sendo que os domicílios sem este tipo de cobertura localizam-se, na sua maioria, em áreas de topografia acentuada, ou seja, naquelas áreas que possuem susceptibilidade natural para ocorrência de eventos de escorregamentos, onde também se percebe que o acesso é dificultado em função dessa topografia.

Tabela 4. 17 - Setores censitários do Rio de Janeiro/RJ, classificados ou não em aglomerados subnormais e características dos domicílios quanto às condições de saneamento básico. Fonte: IBGE – Censo Demográfico, 2010.

Distrito	Rendimento médio mensal dos domicílios (R\$)	Total de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial	Total de domicílios com coleta de lixo pelo serviço de limpeza direta	Área Total (km²)	Área de Susceptibilidade a escorregamento (km²)	Área de Susceptibilidade a escorregamento (%)
Bangu	1.770	123.344	121.857	61,87	10,41	16,83
Barra da Tijuca	8.102	80.153	84.554	167,09	26,84	16,06
Botafogo	7.142	102.257	89.963	15,2	1,83	12,04
Campo Grande	2.012	141.700	159.830	139,22	11,38	8,17
Complexo do Alemão	1.187	20.028	8.497	2,85	0,24	8,42
Copacabana	6.716	72.135	60.657	5,22	1,07	20,50
Guaratiba	1.570	20.160	35.885	148,68	8,98	6,04
Irajá	2.625	67.796	60.873	15,06	0,22	1,46
Jacarepaguá	3.155	162.318	151.918	125,88	21,72	17,25
Lagoa	10.484	67.642	59.492	24,37	5,7	23,39
Madureira	2.251	115.214	114.118	30,04	1,49	4,96
Méier	3.310	132.879	116.173	29,44	2,52	8,56
Penha	2.249	57.229	45.542	13,93	0,02	0,14
Ramos	2.208	50.110	41.906	11,73	0,05	0,43
Realengo	2.103	71.449	72.279	54,17	4,06	7,49
Rio Comprido	2.548	24.998	18.858	5,81	0,62	10,67
Rocinha	1.209	19.990	4.295	1,46	0,58	39,73
Santa Cruz	1.450	86.138	105.288	161,64	0,74	0,46
Santa Teresa	2.944	15.078	12.758	5,08	1,41	27,76
Tijuca	5.927	65.849	57.585	42,03	15,74	37,45
Vila Isabel	4.949	137.986	116.884	12,91	2,24	17,35

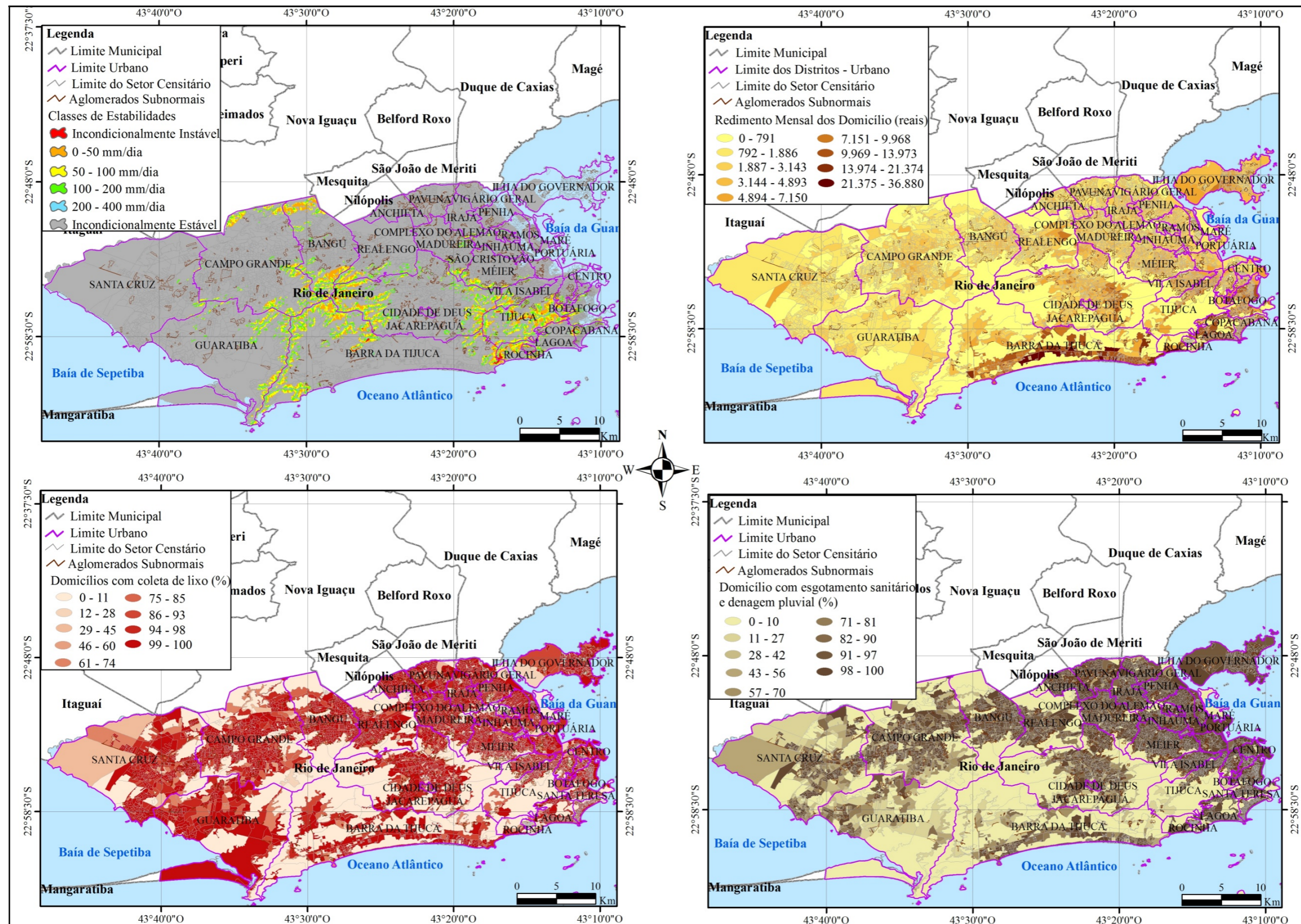


Figura 4. 36 - Classes de susceptibilidade a escorregamentos, renda, coleta de lixo e esgoto sanitário dos domicílios de cada setor censitário do Rio de Janeiro. Fonte: IBGE, Censo – 2010 e Imagens SRT

4.2.5 – Análise da relação entre a susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos e as variáveis renda, esgotamento sanitário e de coleta de lixo

As Figuras 4.37, 4.38 e 4.39 mostram o suposto relacionamento entre a variável renda, a variável de número de domicílio com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto e de número de domicílios com coleta do lixo realizada pelo serviço de limpeza direta e a susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos dos setores urbanos dos municípios de Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo e Rio de Janeiro.

De um modo geral, nota-se que não existe uma tendência de correlação entre as variáveis analisadas e a susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos. Contudo, no caso dos municípios de Petrópolis (Figura 4.37 A), Teresópolis (Figura 4.37 B) e do Rio de Janeiro (Figura 4.37 D), é possível observar que os setores de maior susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos tendem a apresentar menor rendimento médio domiciliar, quando comparado com os setores de menor susceptibilidade. Em Nova Friburgo (Figura 4.37 C) essa tendência não é observada, sendo que a distribuição das variáveis ocorre de forma aleatória. Neste município, é possível observar domicílios com elevado rendimento em setores que apresentam maior quantitativo de áreas de susceptibilidade, assim como domicílios com baixo rendimento em áreas que apresentam baixa susceptibilidade.

No que se refere ao número de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto (Figura 4.38), se observa que existe uma tendência de um maior número de domicílios com acesso a esses serviços em setores que apresentam baixa susceptibilidade. Por outro lado, nos setores com alta susceptibilidade o número de domicílios com acesso a esses serviços é bem menor (Figura 3.38 A, B e C), havendo, portanto, um padrão de distribuição espacial negativa. Este comportamento não é observado nos setores urbanos do município do Rio de Janeiro (Figura 4.38 D), para estes é possível verificar que não há influência da ocorrência de susceptibilidade sobre o acesso aos serviços de esgotamento sanitário. Portanto, tanto os domicílios localizados em setores com alta, quanto àqueles localizados em área com baixa susceptibilidade contam com esses serviços.

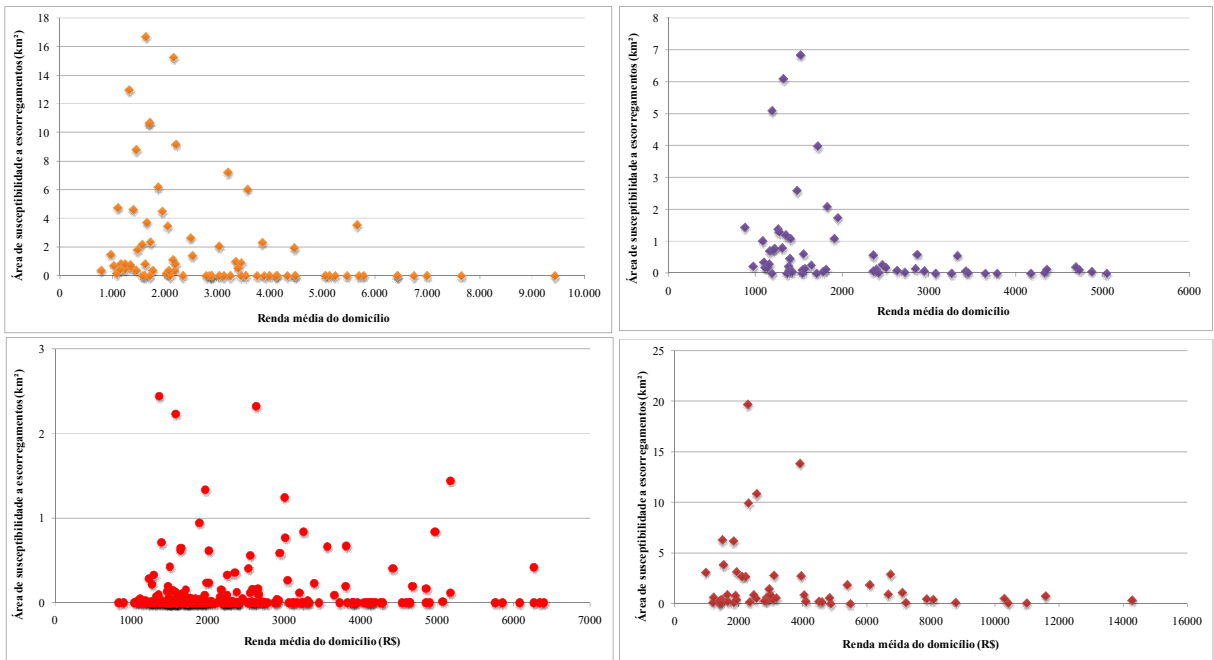


Figura 4.37 – Relação entre a susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos e rendas médias dos domicílios de setores urbanos dos municípios de Petrópolis (A), Teresópolis (B), Nova Friburgo (C) e Rio de Janeiro (D)

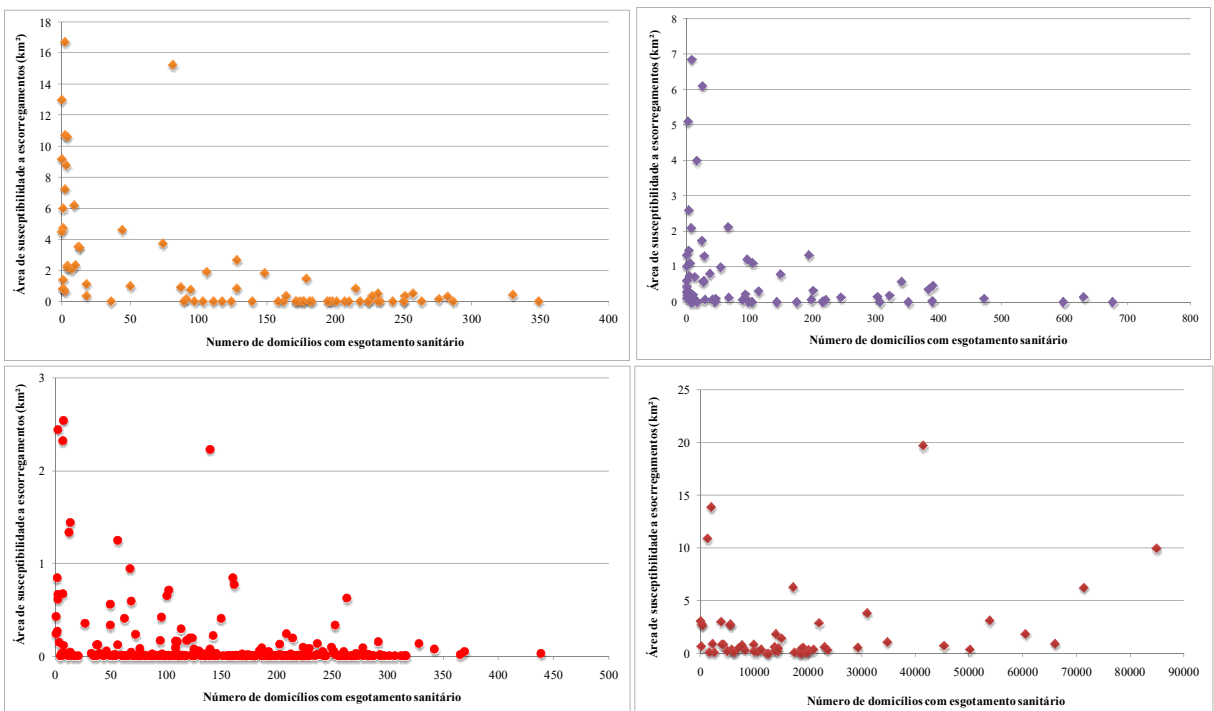


Figura 4 38 – Relação entre a susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos e o número de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto de setores urbanos dos municípios de Petrópolis (A), Teresópolis (B), Nova Friburgo (C) e Rio de Janeiro (D)

Por fim, no que se refere à coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta (Figura 4.39) se verifica, para os setores urbanos analisados, um padrão de distribuição espacial semelhante àquele observado em relação aos serviços de esgotamento sanitário. Isto é, nas áreas urbanas dos municípios de Petrópolis (Figura 4.39 A), Teresópolis (4.39 B) e Nova Friburgo (4.39 C) também existem uma tendência de diminuição do número de domicílios atendidos pelos serviços de coleta de lixo, quando se considera as áreas de susceptibilidade a escorregamentos. Para o município do Rio de Janeiro observa-se uma tendência de distribuição espacial positiva, portanto, o aumento de área de susceptibilidade, em cada setor urbano, não implica necessariamente em diminuição dos números de domicílios com acesso aos serviços de coleta de lixo (Figura 4.39 D).

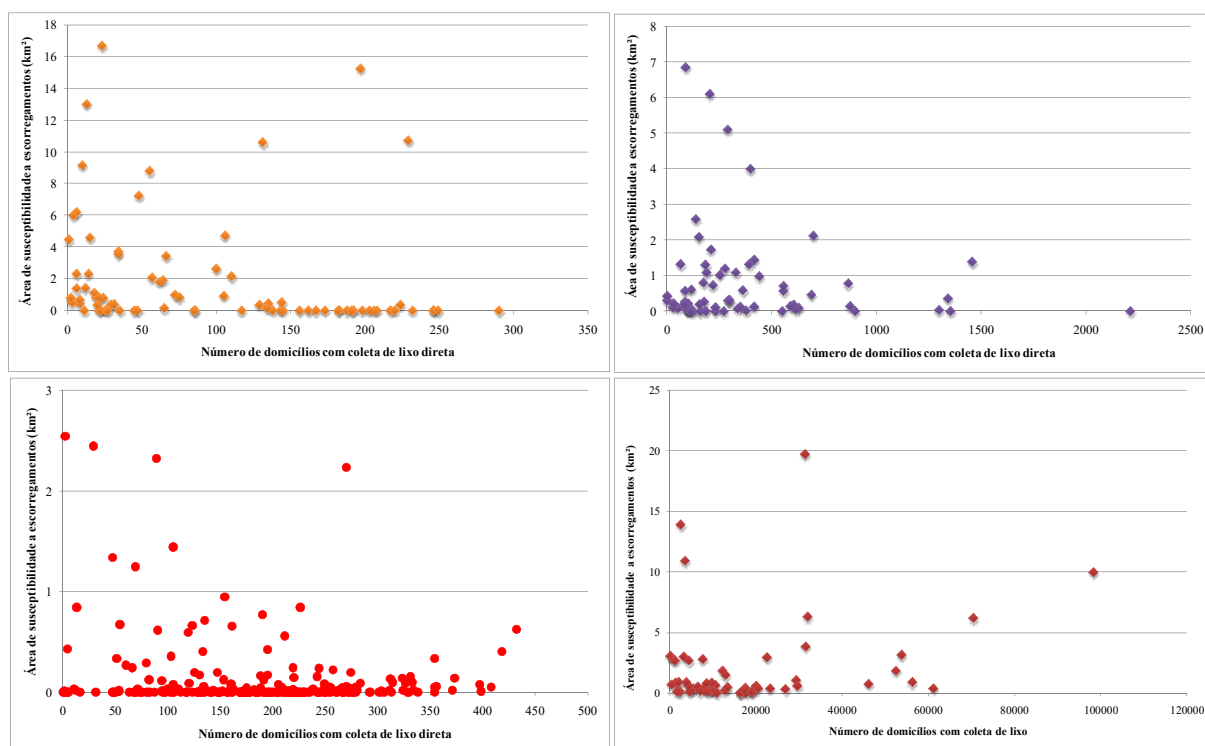


Figura 4.39 – Relação entre a susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos e o número de domicílios com coleta de lixo realizada pelo serviço de limpeza direta de setores urbanos dos municípios de Petrópolis (A), Teresópolis (B), Nova Friburgo (C) e Rio de Janeiro (D)

CAPÍTULO 5 – EMPREGO DO MODELO SHALSTAB, A PARTIR DO USO DE UM MODELO DIGITAL DE TERRENO DE DETALHE, PARA DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE INSTABILIDADES NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2011b), 64% dos desastres registrados no Estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1991 a 2010 estão diretamente relacionados à ocorrência de fortes precipitações (inundações bruscas e movimentos de massa). Considerando-se especificamente os desastres relacionados aos movimentos de massa, cujos registros ficaram restritos ao período de 2001 a 2010, foi constatado um total de 747.372 pessoas afetadas (incluindo desalojadas, desabrigadas, desaparecidas, feridas e mortas). Esses números demonstram a gravidade do problema para a sociedade e para o poder público, ainda mais quando se observa que houve um aumento da densidade populacional nas áreas de risco, nas últimas décadas.

O evento ocorrido na região serrana em janeiro de 2011, por exemplo, deixou cerca de 900 mortos, além de ter gerado danos na infraestrutura dos municípios afetados, paralisação ou desestabilização de atividades produtivas, que trouxeram implicações relevantes sobre a qualidade de vida da população diretamente atingida, bem como para a economia desses municípios (Banco Mundial, 2012).

Esse evento, deflagrado por condições climáticas extremas de precipitação acumulada em 24 horas de 241,8 mm, com pico de 61,8 mm em uma hora, ficou conhecido como o pior desastre natural em termos de danos humanos e perdas econômicas e implicou na necessidade de ação do poder público, tanto de caráter emergencial quanto de reconstrução das áreas atingidas. O total de perdas e danos desse desastre foi estimado em R\$ 4.785 milhões de reais. Os danos humanos também atingiram números excepcionalmente elevados, cerca de 38.937 desabrigados e/ou desalojados e 304.562 afetados, de acordo com o relatório do Banco Mundial (2012).

Portanto, neste capítulo buscou-se avaliar a influência da precipitação, ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011 na região serrana do Rio de Janeiro, para o desencadeamento dos escorregamentos de terra, procurando identificar em qual dia este processo foi mais intenso. Além de avaliar a influência da escala de mapeamento para definição de áreas de susceptibilidade a este tipo de movimento de massa.

região ocorre entre dezembro e fevereiro. De acordo com Avelar et al (2011), nesse período a precipitação média mensal varia entre 340 e 240 mm nas áreas mais elevadas do sul, e entre 240 e 150 mm para o norte, sendo que em Nova Friburgo a média no mês de janeiro fica em torno de 227 mm.

É importante salientar que, em função da precipitação acumulada, as condições climáticas da região já eram bastante instáveis nos dias que antecederam o evento. Além disso, nos dias do evento (11 e 12 de janeiro de 2011) chegou a chover, em alguns locais, mais do que o previsto para todo o mês de janeiro, conforme pode ser observado nos registros das estações pluviométricas existentes na região (Figura 5.2).

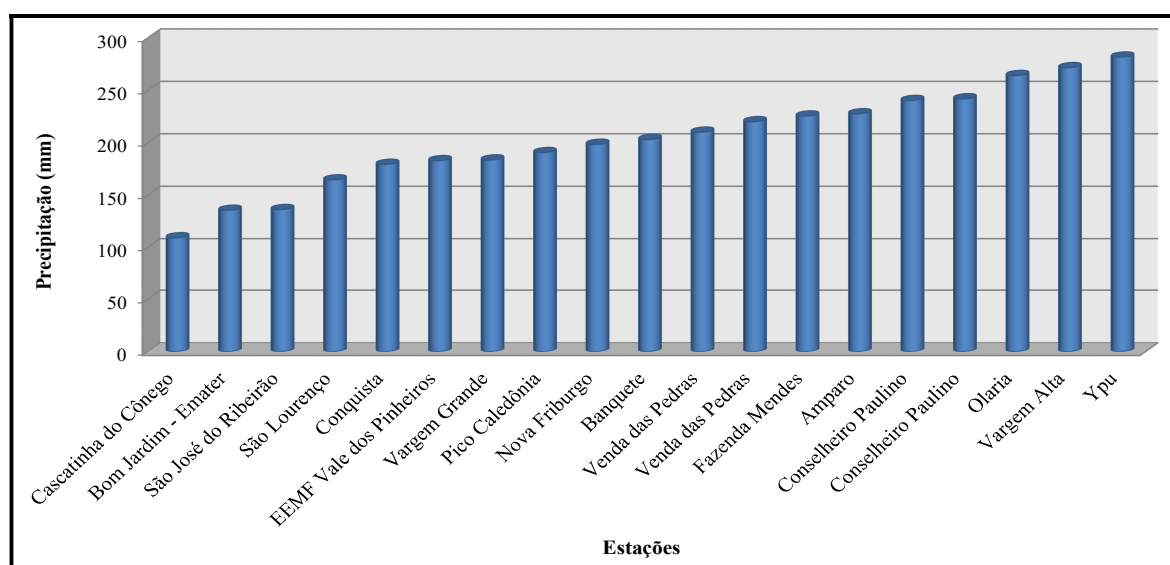


Figura 5.2 - Registro da precipitação ocorrida no dia 12 de janeiro de 2011, por estação pluviométrica. Fonte: <http://hidroweb.ana.gov.br/> e outros.

A área de estudo está inserida sobre o complexo montanhoso da Serra do Mar, que regionalmente é denominado de Serra dos Órgãos. Portanto, no que tange à geomorfologia, se caracteriza por apresentar um relevo predominantemente montanhoso a escarpado, onde se observa a presença de colinas, morros e serras; além das planícies fluviais, que ocorrem de forma estreita e alongada ao longo dos vales fluviais (Figura 5.3). Nessa área, as altitudes variam de 535 m a 1.982 m e a média fica em torno de 1.022,48 m, sendo o desvio padrão de 186,31 m. As vertentes são principalmente retilíneas a côncavas e apresentam topos de cristas alinhadas, aguçadas ou levemente arredondados (RODRIGUES, 2013).

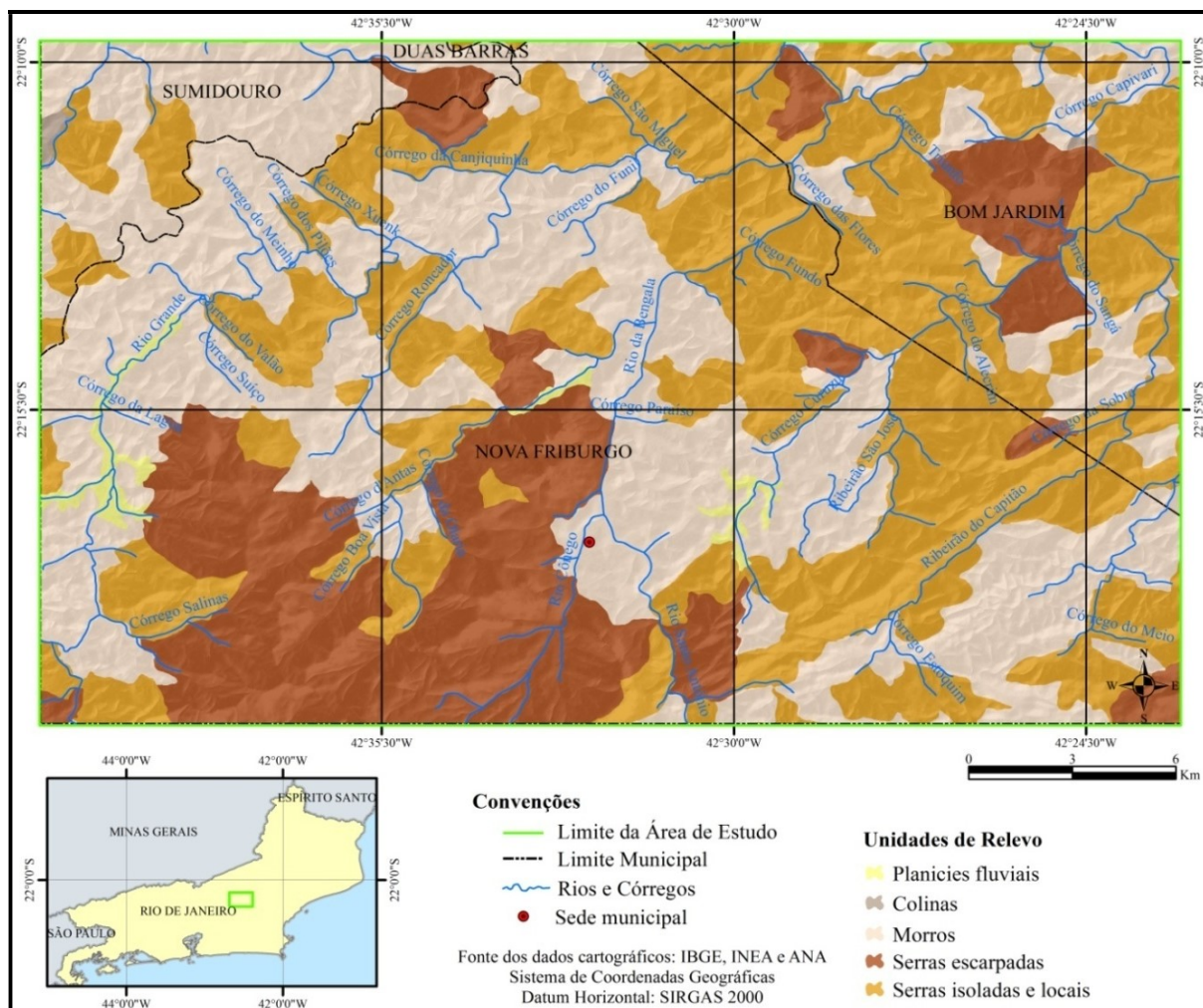


Figura 5. 3- Unidades de relevo existentes na área de estudo.

De acordo com Baptista (2009) em Nova Friburgo há predominância de amplitudes topográficas superiores a 400 m e gradientes de elevados a muito elevados com presença de colúvios e depósitos de tálus, além de solos rasos e afloramentos de rochas. A sede do município se desenvolveu ao longo do vale dos rios Cônegos e da Bengala, que se estende na direção aproximada Norte - Sul. Como observado por Baptista (2009) este vale está cercado por afloramentos rochosos que se alternam a vales de dissecação associados a estruturas geológicas (falhas e fraturas), onde se desenvolvem a urbanização secundária.

No que se refere ao substrato rochoso, a área de estudo é constituída por rochas cristalinas do Proterozóico médio superior e do Cambro-Ordoviciano, tais como: granitos, gnaisses e migmatitos, as quais são cortadas por diques e intrusões básicas do Terciário-Cretáceo (INEA, 2011; TUPINAMBÁ et al., 2012). Os granitos abrangem a maior parte da área, aproximadamente 60,49%, e estão representados pelos Batólitos da Serra dos Órgãos e

Unidades Graníticas de Nova Friburgo e de São José do Ribeirão. Os gnaisses abrangem em torno de 24,77% da área de estudo e estão representados pelas Unidades São Fidélis, Santo Eduardo e Serra Vermelha. Os migmatitos, representados pela Unidade Rio Negro, compreendem a cerca de 14,41% (Figura 5.4). Conforme ressaltado por Tupinambá et al. (2012), essas rochas apresentam diferentes graus de deformação dúctil (dobras) e rúptil (fraturas), onde predominam as direções Noroeste-Sudeste e Nordeste-Sudoeste, e estão revestidas por sedimentos aluvionares e coluvionares do período Quaternário.

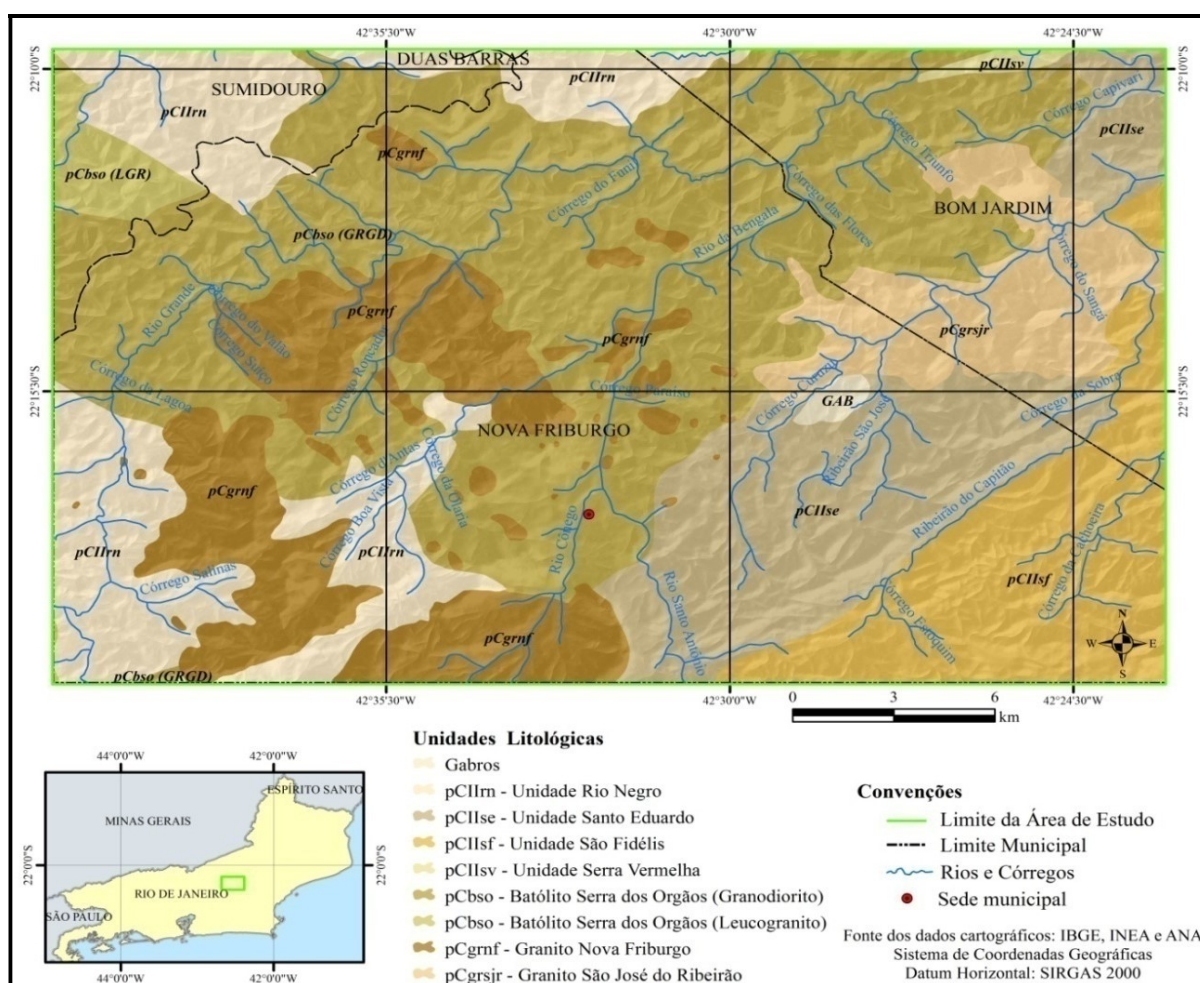


Figura 5.4 - Unidades litológicas existentes na área de estudo.

Conforme pode ser observado na Figura 5.5 na área de estudo há ocorrência de solos do tipo Cambissolos, latossolos, podzólicos e solos litólicos, além de afloramentos de rochas. Os Cambissolos, que abrangem uma parte significativa da área, estão associados ao relevo montanhoso e fortemente ondulado e se caracterizam por serem solos pouco desenvolvidos e pouco profundos. Além disso, uma vez que se sobrepõem a um embasamento cristalino

(granito-gnáissico) impermeável, apresentam alto risco à erosão. Os latossolos, segunda classe de maior representatividade espacial na área de estudo, são encontrados, sobretudo, nos fundos dos vales, sendo compostos por depósitos coluviais, ricos em blocos (LIMA et al, 2006). Como observado por Oliveira Filho (2012), sobre os solos dessa região se desenvolveu uma floresta ombrófila densa, que atualmente encontra-se bastante alterada.

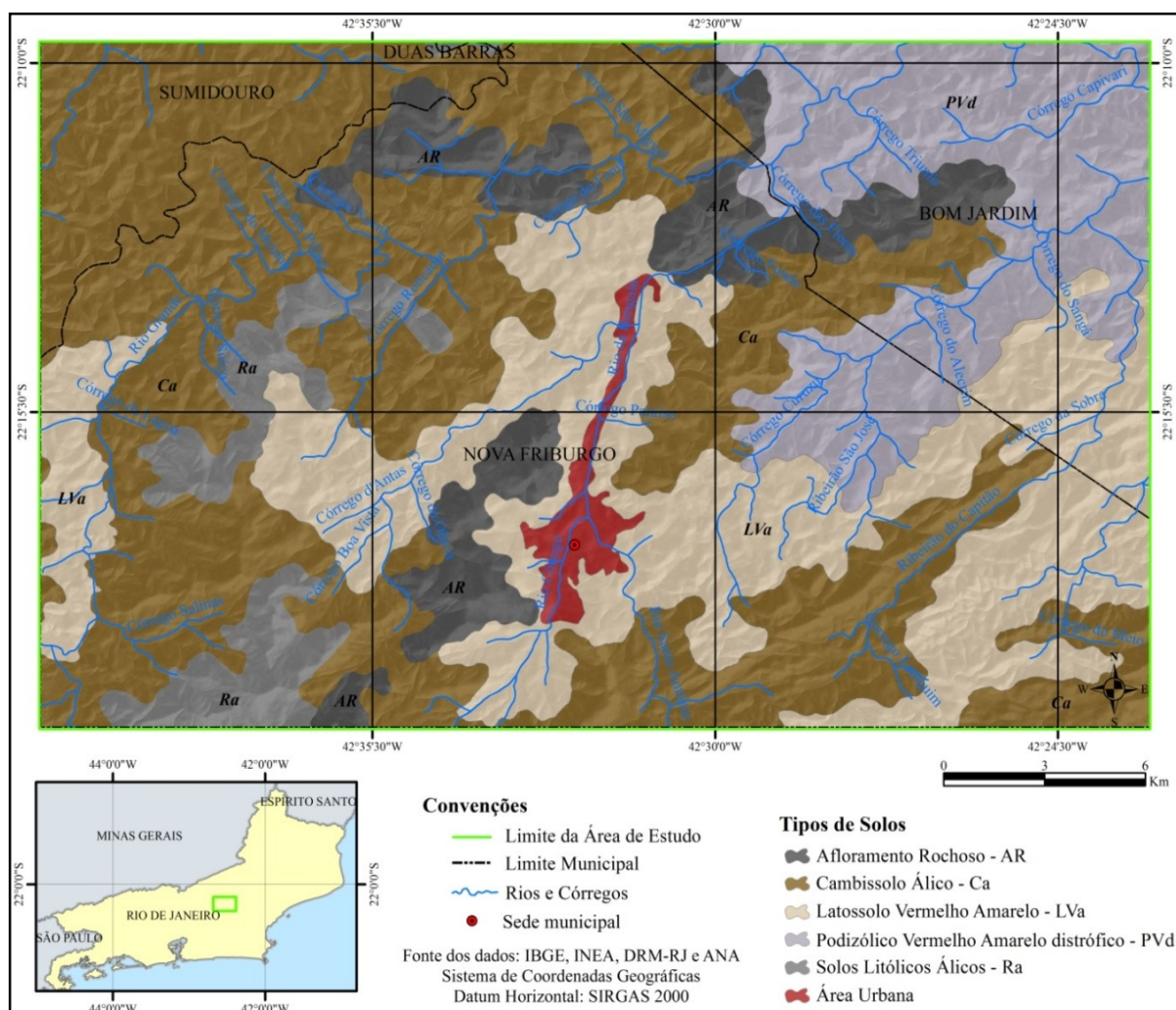


Figura 5.5- Tipos de solos existentes na área de estudo delimitada para esta etapa da pesquisa.

É na zona de desenvolvimento urbano de Nova Friburgo, a qual é compreendida pelas bacias do Rio Bengalas, do Ribeirão de São José, do Ribeirão do Capitão e do Rio Grande, que se observa a maior densidade de uso e ocupação da terra. Constata-se que a vegetação original, constituída pela Mata Atlântica, foi amplamente devastada em função das atividades humanas desenvolvidas, principalmente pastagem (Figura 5.6). Baptista (2009)

ressalta que apenas nos locais de difícil acesso e/ou afastadas dos núcleos urbanos esta vegetação encontra-se inalterada.

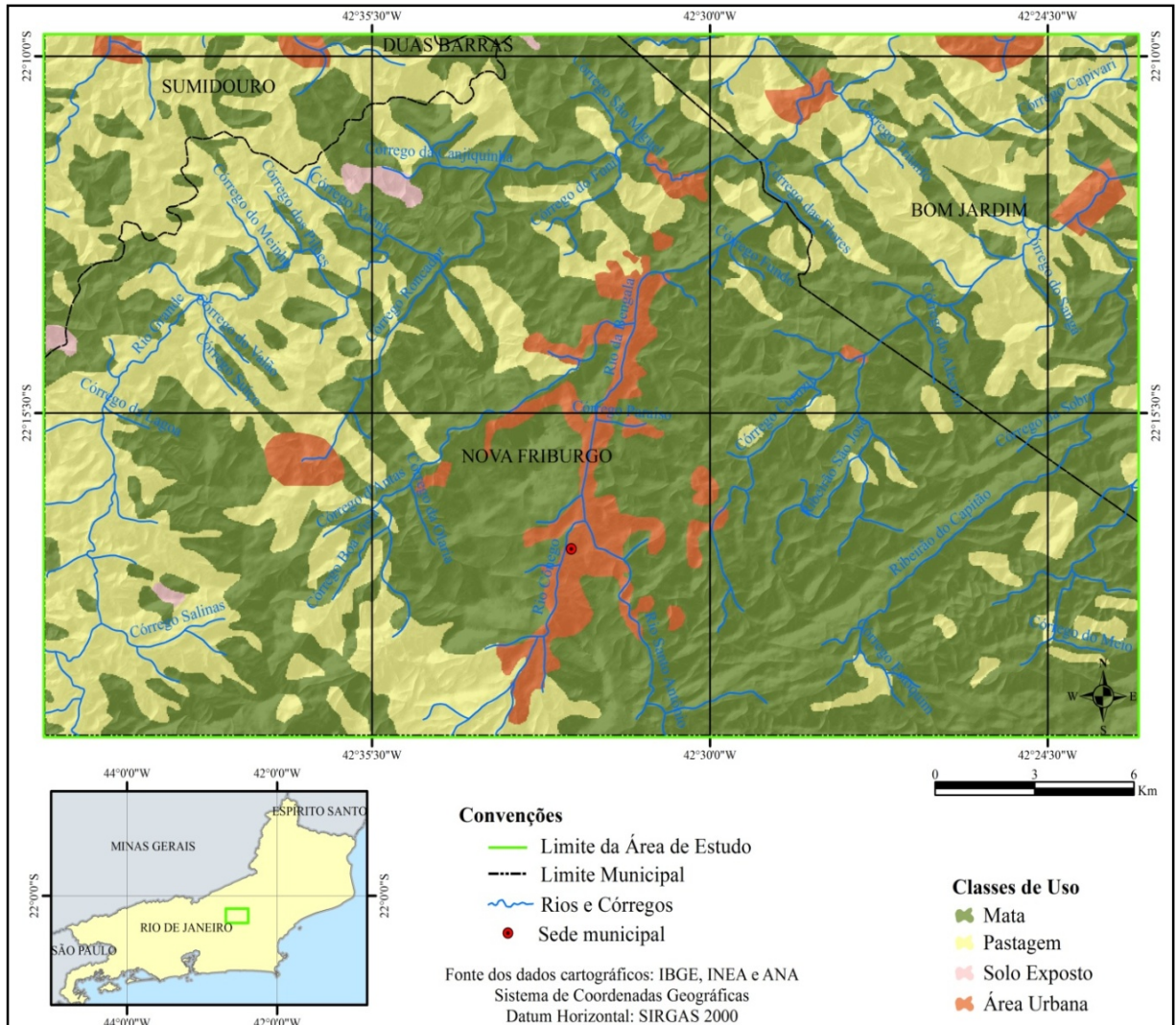


Figura 5. 6 - Uso e ocupação do solo da área de estudo.

De acordo com Baptista (2009), a ocupação urbana de Nova Friburgo ocorreu, inicialmente, ao longo das planícies de inundação do Rio Bengalas e de seus formadores. Nas encostas, esta ocupação ficou restrita, inicialmente, às áreas menos íngremes, havendo poucas intervenções. Esta tendência se manteve até o final da década de 1960. A partir deste período, em função do crescimento populacional impulsionado pelo desenvolvimento industrial, a ocupação do solo passou a ocorrer de forma desordenada, com o surgimento de loteamentos e ocupações em áreas de risco.

Com população estimada, para o ano de 2015, em 184.786 habitantes e uma densidade demográfica de 197,84 hab/km², o município de Nova Friburgo, nas últimas décadas, se destacou por apresentar um grande dinamismo, com uma economia baseada no turismo, na indústria (sobretudo têxtil e metalurgia) e na produção de hortifrutigranjeiros; gerando influência sobre os demais municípios da região serrana (IBGE, 2015). Contudo, é importante salientar que, segundo a CEPERJ/CEEP (2015), a economia desta região foi amplamente afetada pelos escorregamentos de terra e eventos associados que ocorreram em janeiro de 2011, quando houve alteração da produção, bem como na oferta e demanda de mão de obra e acentuação dos problemas ambientais e sociais. A Figura 5.7, representada por um conjunto de fotos, mostra a situação de uma encosta de Nova Friburgo um dia após o evento de janeiro de 2011 (Foto A) e em maio de 2015 (Fotos B, C, D e E), é possível observar as cicatrizes e necessidades de investimentos em infraestruturas, entre outras, deixadas pelo evento, bem como o processo de recuperação/recomposição da área.

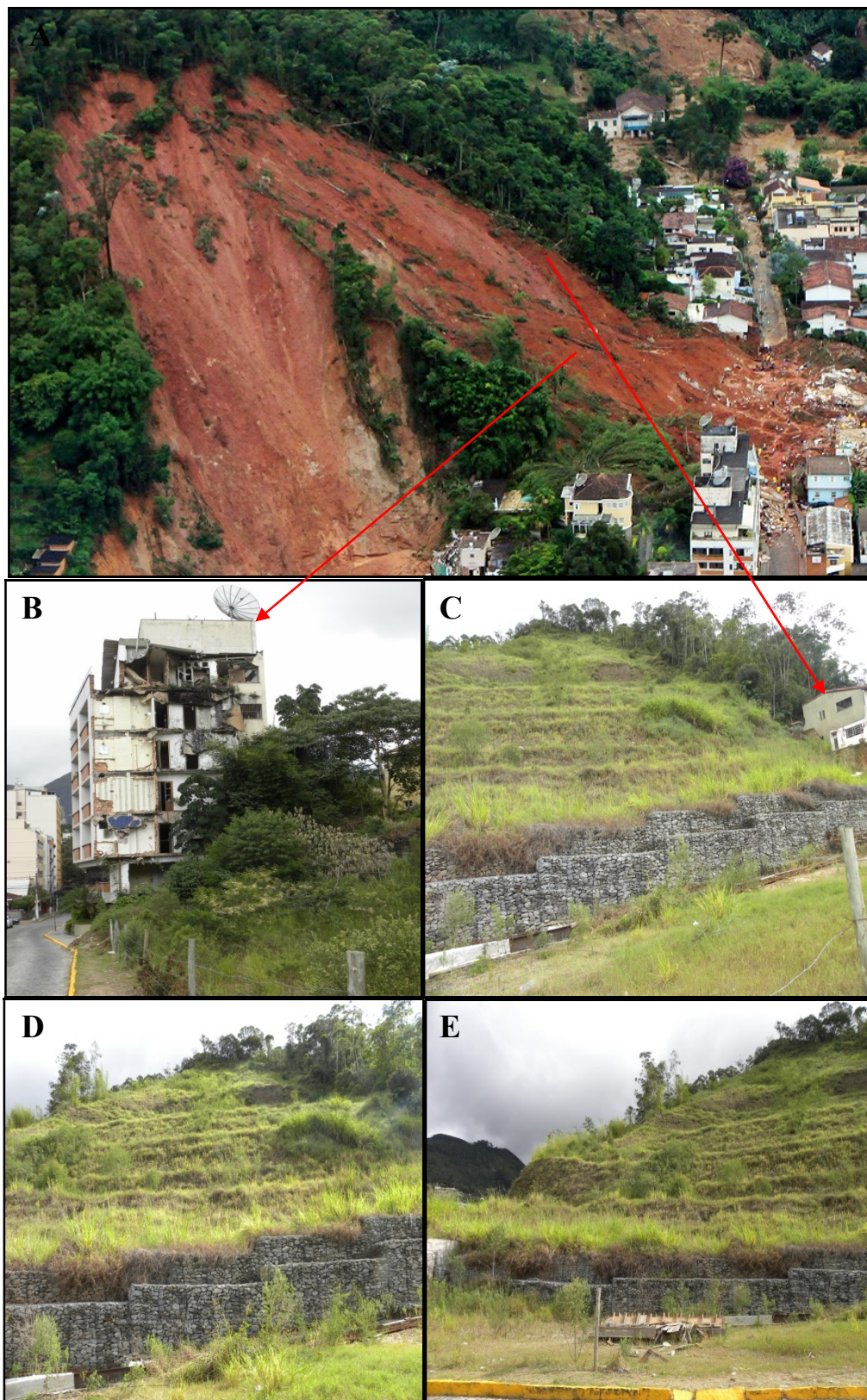


Figura 5. 7- Conjunto de fotos mostrando a situação da área um dia após o evento de janeiro de 2011 (Foto A), bem como a situação da área em maio de 2015 (Fotos B, C, D e E). Fonte: Foto A - <http://ongcea.eco.br/?p=13176>, Fotos B, C, D e E - arquivo pessoal.

5.2 - METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE AOS ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO.

A metodologia adotada neste capítulo consistiu em: (i) aquisição e tratamento dos dados pluviométricos da área de estudo; (ii) mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em janeiro de 2011; (iii) confecção de um modelo digital de terreno de detalhe; (iv) definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos para a região serrana do Rio de Janeiro; (v) aplicação da estatística zonal sobre os dados de precipitação e sobre os polígonos de cicatrizes dos escorregamentos mapeados, considerando as áreas de susceptibilidade a escorregamentos obtidas a partir do MDT de detalhe, bem como do DEM/SRTM e (vi) análises dos resultados.

5.2.1 - Aquisição e tratamento dos dados pluviométricos da área de estudo

Os dados de precipitação foram obtidos a partir das redes de estações pluviométricas existentes na área de estudo. Os dados das estações pluviométricas foram adquiridos, em formato txt, a partir do site <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Adicionalmente, foram utilizados dados de precipitações obtidos a partir do Sistema de Meteorologia do Estado do Rio de Janeiro – SIMERJ.

Os dados em formato txt foram, inicialmente, convertidos para o formato xls e, quando necessário, foi realizado o preenchimento/tratamento desses dados, considerando as informações obtidas a partir do SIMERJ. Após este tratamento, as tabelas foram unidas, a partir da ferramenta *join* do ArcMap, aos *shapefiles* das estações pluviométricas existentes nesta área.

Posteriormente, com base na ferramenta *Topo to raster* do ArcMap foi realizada a interpolação dos valores de precipitação diária, considerando os dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Conforme já salientado, objetivou-se avaliar a influência da precipitação pluviométrica no desencadeamento dos escorregamentos de terra ocorridos nesses dias.

5.2.2 - Mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em janeiro de 2011

As cicatrizes de escorregamentos, as quais se constituem em feições específicas oriundas de processos de movimentação de massa ao longo da vertente e da consequente exposição do solo ou rocha, podem ser mapeadas a partir de levantamentos de campo, de

interpretação de fotografias aéreas e de imagens de sensores orbitais, entre outros métodos. Como observado por Sestini & Florenzano (2004), essas feições possuem geometria definida, sendo formada pela cabeceira, que é o local onde ocorre o início do escorregamento; a parte afetada pela remoção e transporte de material; e a base, onde ocorre a deposição do material transportado.

Martins et al. (2015) ressaltam que o mapeamento de cicatrizes se constitui numa etapa imprescindível de elaboração de inventários, sendo um mecanismo fundamental para compreender a espacialização e alguns fatores condicionantes dos movimentos de massa. Guzzetti et al. (2012) destaca como vantagem desse mapeamento sua possível utilização como ferramenta para validação de produtos da modelagem matemática. Observa-se que inúmeros estudiosos utilizaram o mapeamento de cicatrizes de movimentos de massa com esse propósito (FERNANDES et al., 2001; GUIMARÃES et al., 2003; ZAIDAN & FERNANDES, 2009; MACHADO, 2011; TAROLLI et al., 2011; SILVEIRA et al., 2012; LISTO & VIEIRA, 2012; ZIZIOLI et al., 2013; entre outros).

Neste trabalho, o mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos na área de estudo, em 2011, foi realizado a partir de ortofotos oriundas de um levantamento aerofotogramétrico realizado na região, logo após evento, e que compõem o acervo do INEA. O uso de fotografias aéreas para mapeamento de áreas potencialmente susceptíveis a ocorrências de movimentação de massa e das cicatrizes deixadas pela movimentação do material é bastante difundido. As fotografias aéreas possibilitam o mapeamento dos detalhes, como formas e dimensões, entre outras características da área.

É importante ressaltar que esse aerolevante abrangeu, em sua maior parte, as áreas de vale, ou seja, não recobriu a totalidade da área de estudo. Desta forma, objetivando complementar o mapeamento e, incluir, sobretudo, as áreas de encostas, foram utilizadas, também, imagens do sensor RapidEye Nível 3A, datadas de 04/07/2011. Estas imagens, obtidas a partir do Geo Catálogo MMA/IBAMA, já vem ortoretificadas, com correção radiométrica e contemplam cinco bandas espectrais (azul, verde, vermelho, red-edge e infravermelho próximo), com resolução espacial de 5 metros. Destaca-se que foram utilizadas duas cenas para cobrir a área de estudo.

O mapeamento foi realizado com base na análise visual das feições, adotando-se como critérios para a delimitação de cada feição a sua geometria, ausência de vegetação, análise textural e a posição na encosta, tendo sido mapeadas um total de 1.965 cicatrizes. Conforme observado por Rodrigues (2013) e Martins et al. (2015) as rupturas dos

escorregamentos ocorrem na porção ou terço superior da cicatriz (zona de ruptura) e as demais porções são consideradas zonas de transporte/arraste e de deposição do material. Como destacado por Martins et al. (2015), a posição na encosta é um critério fundamental para delimitação das cicatrizes de movimentos de massa que ocorrem na Serra do Mar.

A Figura 5.8 mostra os polígonos das cicatrizes identificadas nas ortofotos, bem como nas imagens RapidEye. Na Figura 5.9 tem-se um conjunto de fotografias, mostrando algumas das cicatrizes deixadas pelos escorregamentos ocorridos na área de estudo. Na Foto A, é possível observar que o material depositado no sopé da encosta, ou seja, o depósito de *tálus*, já está sendo novamente, afetado por processo de movimentação da massa, o que comprova que o material é instável e pode facilmente ser movimentado. Observa-se que, em muitas áreas urbanas, são frequentes os acidentes com movimentação gravitacional de massa em depósitos de *tálus* instabilizados pela ação humana.

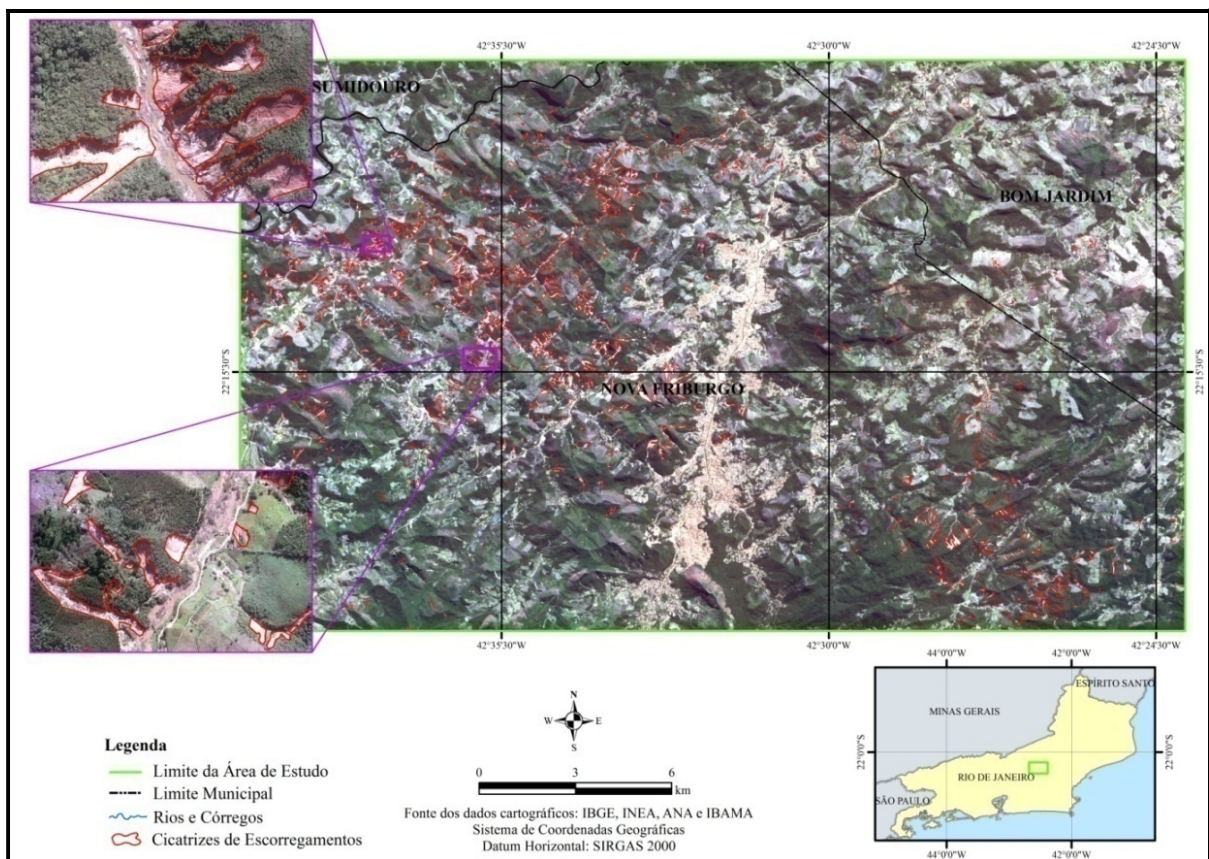


Figura 5. 8- Mapa com as cicatrizes dos escorregamentos ocorridos na área de estudo, em janeiro de 2011.

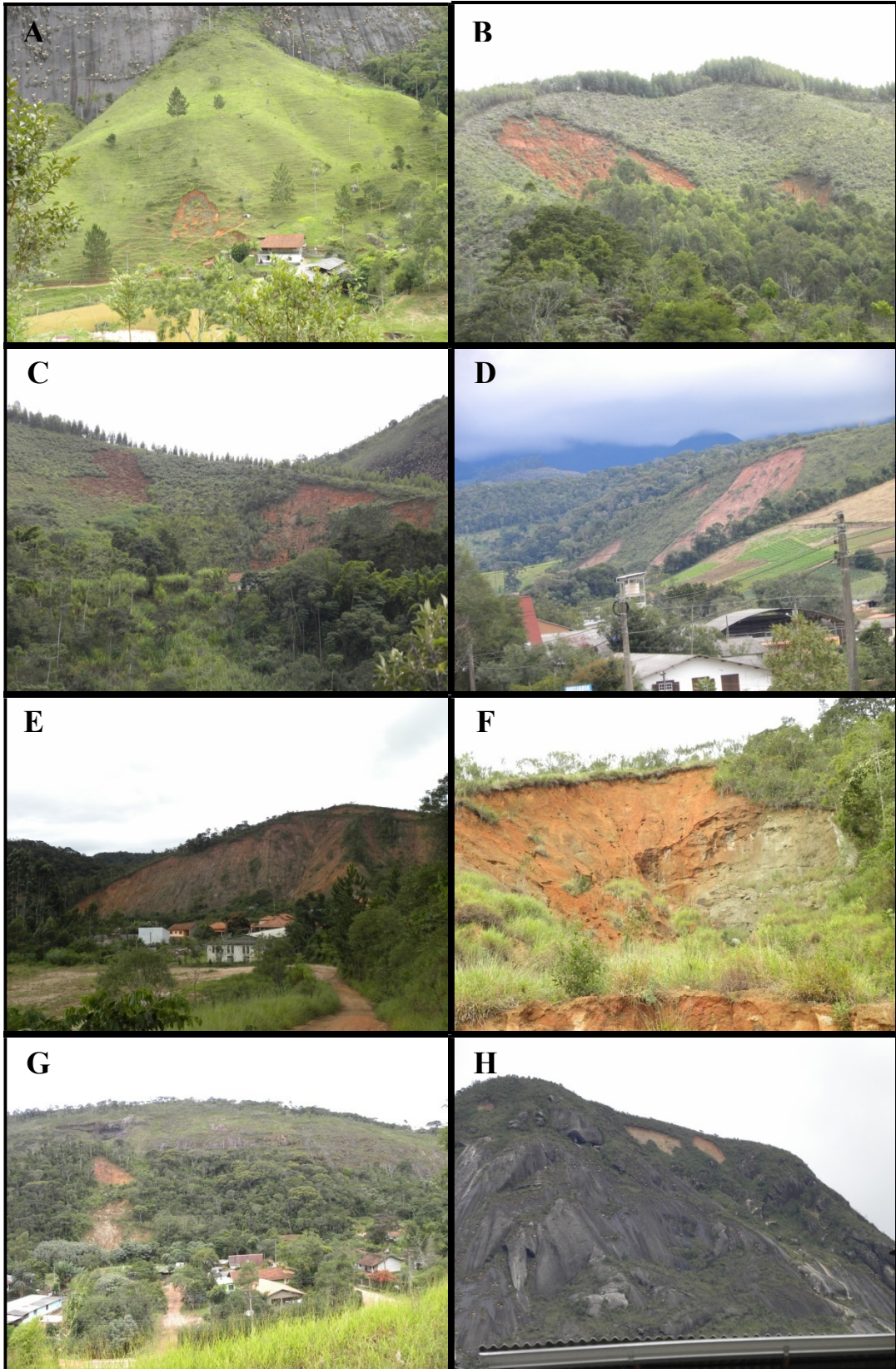


Figura 5.9 - Conjunto de fotografias, mostrando algumas cicatrizes de escorregamentos ocorridos na área de estudo. Fonte: arquivo pessoal

5.2.3 - Confeção do modelo digital de terreno – MDT

Conforme já salientado, anteriormente à definição das áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos faz-se necessária a obtenção dos parâmetros morfométricos (declividade e área de contribuição) e reológicos (ângulo de atrito, densidade, coesão e espessura do solo), os quais se constituem em dados de entrada do modelo SHALSTAB. Os parâmetros morfométricos podem ser obtidos a partir dos Modelos Digitais de Terreno (MDT) e/ou de Superfície (MDS). No MDT, as elevações são medidas a partir da superfície do terreno, sem considerar os níveis de cobertura vegetal e edificações existentes sobre a superfície, já no MDS esses níveis são considerados. É importante salientar que as diferenças nos valores de elevação podem ocasionar distorções na modelagem dos escorregamentos.

Entre as formas de obtenção desses modelos destaca-se o método de extração por imagens de sensores remotos, no qual os dados de elevação são obtidos de forma contínua, ou seja, *pixel a pixel*. Dentre esses sensores, o laser vem sendo amplamente utilizado, visto que emite diversos feixes de onda em alta frequência que ultrapassa a vegetação e atinge a superfície topográfica (JABOYEDOFF et al., 2012).

Destaca-se, também, o emprego de técnicas fotogramétricas sobre as fotografias aéreas de alta resolução espacial, para extração de dados de elevação. O avanço dessas técnicas tem possibilitado a obtenção desses dados de forma rápida e fidedigna. Cabe ressaltar, contudo, que a construção desses modelos digitais necessita de algoritmos, bem como programas específicos que considerem a orientação, inclinação, altitude do voo, entre outros dados referentes a cada foto na hora de sua aquisição.

Para a obtenção do MDT referente a esta área de estudo, foram utilizadas fotografias aéreas analógicas, do projeto RJ-25, relativas ao ano de 2006. Essas fotografias têm recobrimento estereoscópico de 60% no sentido longitudinal e de 30% na lateral e foram fornecidas pelo IBGE.

A elaboração do MDS e MDT foi feita a partir do programa INPHO. Este programa permite extrair a partir de modelos estereoscópicos de fotografias aéreas os valores altimétricos *pixel a pixel*. Este procedimento foi realizado utilizando o módulo MATCH-T DSM do sistema fotogramétrico INPHO. Nesta etapa, os arquivos de metadados relativo a cada fotografia (extensão *.sup), os quais contém informações sobre a câmera utilizada na captura, altitude do voo, dados do sistema inercial e de rotação, entre outras, foram inseridos no núcleo de gerenciamento de projetos do INPHO (*ApplicationMaster*).

Posteriormente, foram realizadas edições e suavizações nas nuvens de pontos do MDS. Objetivou-se, com esse procedimento, manipular as cotas altimétricas relativas aos objetos que se encontravam acima do terreno, como por exemplo, vegetações e edificações e, deste modo, obter informações apenas da topografia do relevo, ou seja, o MDT. Este procedimento foi realizado no módulo DTMaster do INPHO, utilizando técnicas de estereoscopia digital e óculos 3D. O módulo DTMaster apresenta inúmeras ferramentas para a interpolação, correção e manipulação das nuvens de pontos. Como referência para as edições foram utilizados os estereopares e a análise da nuvem de pontos obtida a partir da ferramenta de perfil topográfico (Figura 5.10), a qual exibe o recorte selecionado em um cubo 3D. As interpolações modificam diretamente o relevo representado pelo MDT.

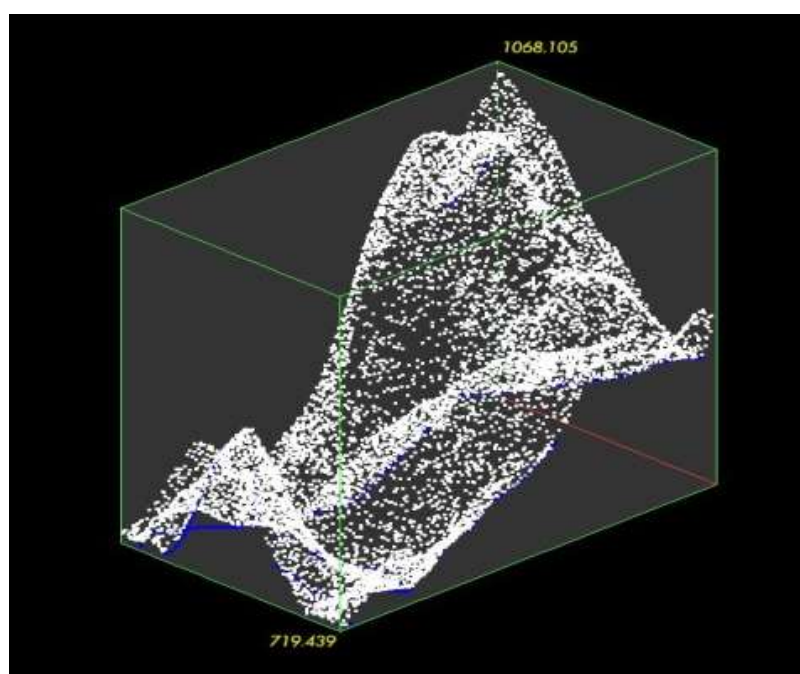


Figura 5. 10 - Nuvens de pontos utilizados como referência de edições do MDT.

Neste processo de edição/suavização, foi dada maior atenção àquelas áreas ruidosas (que apresentavam grande cobertura vegetal ou edificações), visto que esses ruídos estavam interferindo na representação das encostas e linhas de drenagem. Também foram digitalizadas linhas de apoio, com base em visão estereoscópica dos estereopares, para restituição da rede hidrográfica e melhoria das linhas de talvegue, que foram utilizadas para suavização do ruído. A Figura 5.11 mostra o exemplo de uma área antes do processo de suavização dos ruídos (Figura 5.11 A e B), e após esse processo, onde é possível perceber que houve uma melhora

significativa das curvas de nível e, conseqüentemente, uma melhor representação da superfície física do terreno (Figura 5.11 C e D).

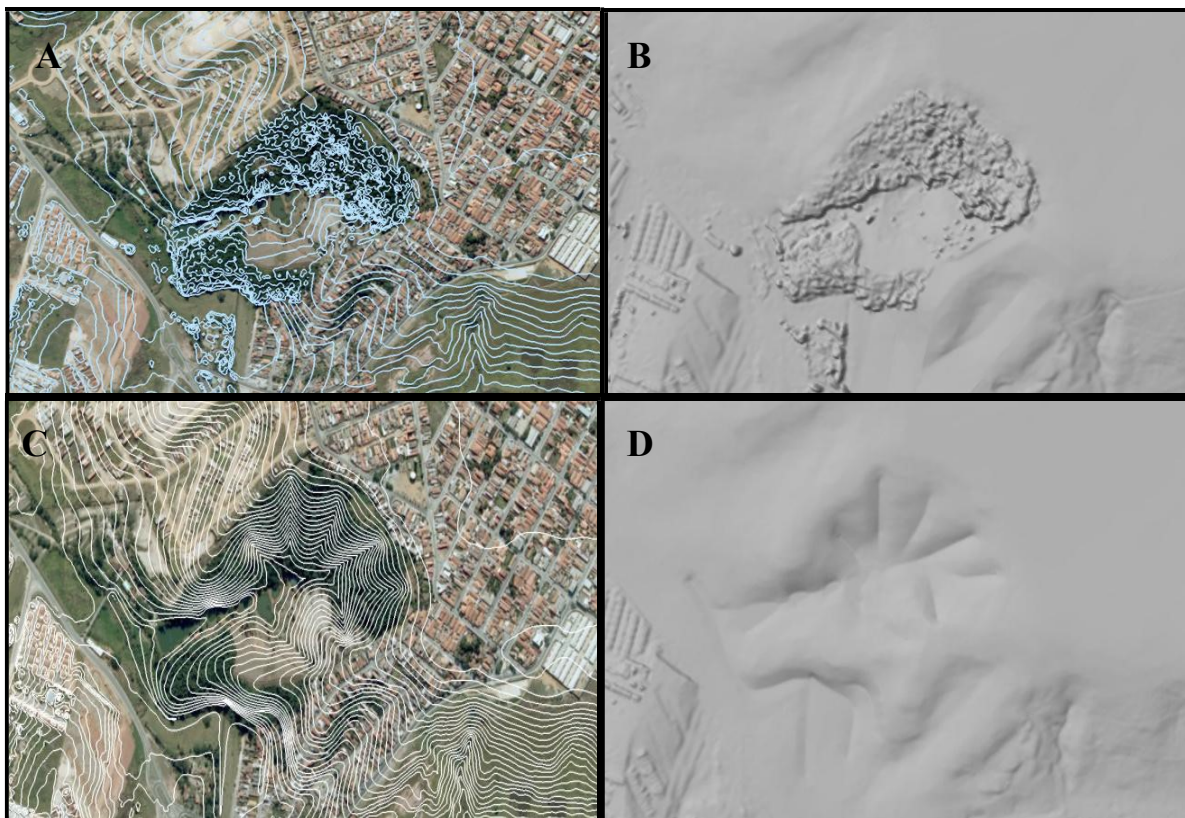


Figura 5.11 - Ortofoto com as curvas de nível (A) e MDS (B), antes da suavização e ortofoto com as curvas de nível (C) e MDT (D) após o processo de suavização. Modificado de Albuquerque (2015).

É importante destacar que esses procedimentos permitiram a interpolação da nuvem de pontos, sem prejudicar a morfologia da encosta. Após a interpolação, a nuvem de pontos foi suavizada e a área editada acompanhou as cotas altimétricas da linha digitalizada. É importante ressaltar que a área em que não há tratamento do ruído (vegetação) apresenta uma superfície mais rugosa, já área editada, ou seja, com tratamento do ruído, apresenta uma superfície mais suavizada e homogênea, demonstrando que a edições realizadas causaram uma grande melhoria no MDT (Figura 5.11).

Por fim, para correção das inconsistências da superfície dos lagos, presentes na área de estudo, foram digitalizados polígonos, em volta de cada lago e, a partir daí, foram definidas cotas altimétricas única para todos os pontos que se encontrava no interior de cada polígono (Figura 5.12).

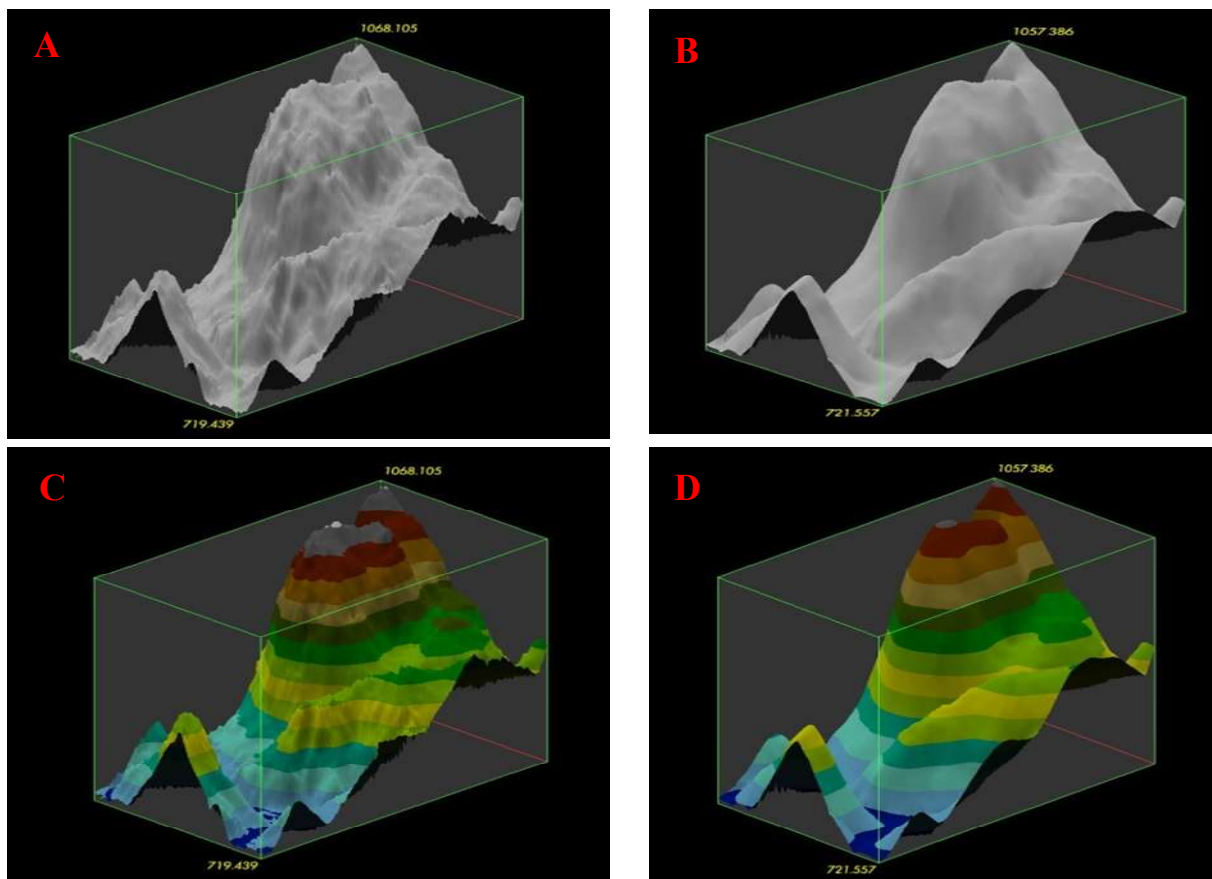


Figura 5.11- Relevo sombreado do MDS, sem tratamento do ruído (A) e do MDT, com tratamento do ruído (B), Superfície hipsométrica e relevo sombreado do MDS (C) e MDT (D).

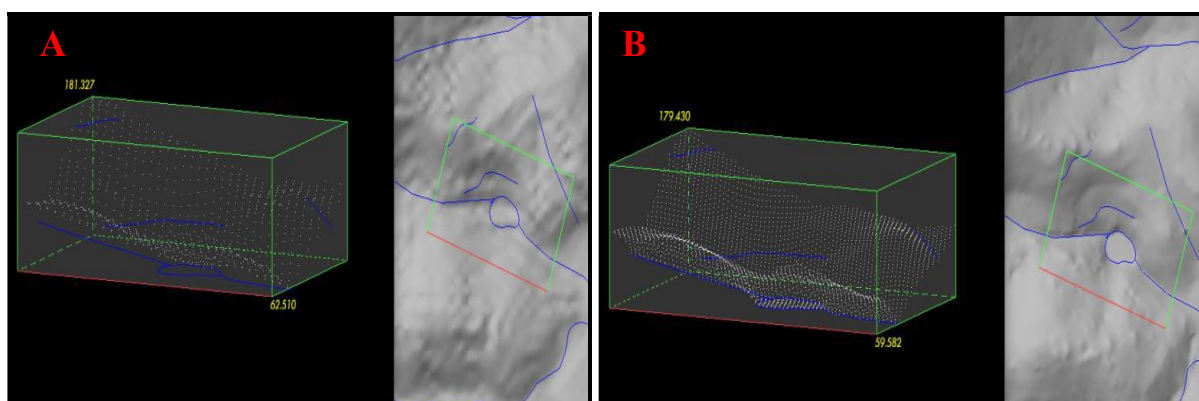


Figura 5.12 - Perfis topográficos mostrando a situação do modelo antes (A) e após (B) a correção de lagos. Modificado de Luiz (2015).

A Figura 5.13 mostra o MDT (com 5 metros de resolução espacial) obtido com base na metodologia aplicada. Este MDT serviu como dado de entrada do modelo SHALSTAB, ou seja, a partir dele foi possível definir as áreas de susceptibilidade a escorregamentos, com um maior detalhamento, para esta área de estudo.

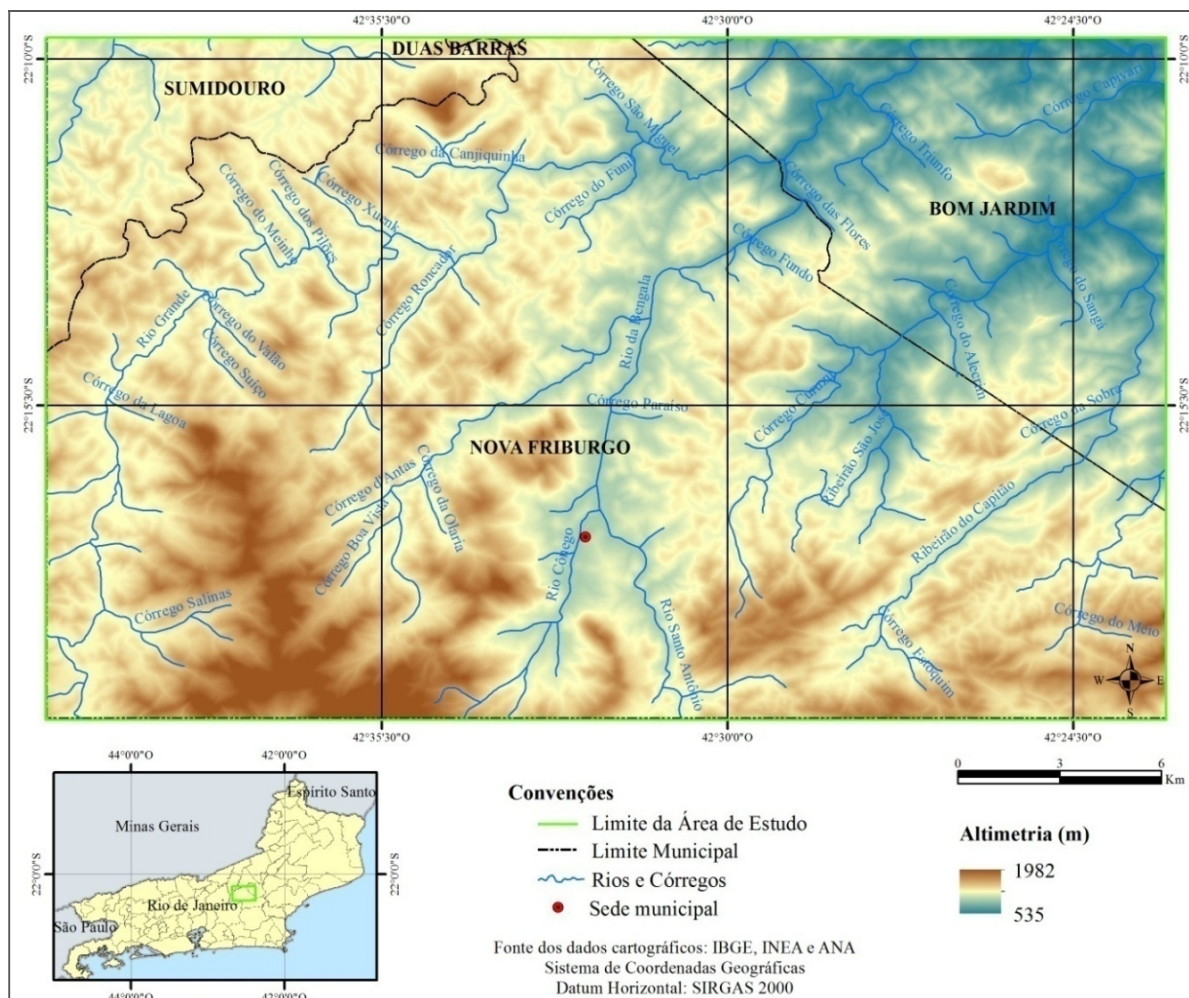


Figura 5.13 - MDT utilizado como dado de entrada para definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos da área de estudo delimitada para esta etapa da pesquisa.

5.2.4 – Definição das áreas de susceptibilidade a escorregamentos para a região serrana do Rio de Janeiro e aplicação de estatística zonal, considerando as cicatrizes mapeadas e os dados da precipitação ocorrida nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011.

As áreas de susceptibilidades à ocorrência de escorregamentos da região serrana do Rio de Janeiro foram definidas, também, a partir da aplicação do modelo SHALSTAB implementado no SAGA GIS. Foi utilizado como dado de entrada do referido modelo o MDT produzido a partir da metodologia descrita anteriormente. Com base neste MDT foram geradas as informações relativas à declividade e área de contribuição para cada célula da grade (*grid*). Os valores do ângulo de atrito, da densidade do solo e da condutividade hidráulica, considerados constantes para toda a área de estudo, foram iguais a 45°, 2,0 g/cm³ e a 2,7 m/hr, respectivamente.

Posteriormente, sobre o resultado obtido, foi utilizada a estatística zonal mínima para identificar qual classe de susceptibilidade, definida pelo modelo, estava associada cada cicatriz de escorregamento mapeada, como forma de avaliar a eficácia do modelo.

Adicionalmente, tendo como base os *grids* das precipitações máxima ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro, foi utilizada a estatística zonal, também, para definir as classes de susceptibilidade a escorregamentos em função dessas precipitações. Para este procedimento, foram retiradas as cicatrizes que caíram em áreas definidas pelo modelo como incondicionalmente instável e incondicionalmente estável. Ou seja, foram utilizadas apenas as cicatrizes que caíram em áreas em que o modelo estabelece como sendo necessário de 0 a mais de 400 mm de chuva para deflagração dos escorregamentos, num total de cinco classes.

5.2.5 – Análise das escalas de mapeamentos: áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas a partir do MDE/SRTM e do MDT de detalhe.

Inúmeros autores destacam a importância da escala na modelagem do relevo e, conseqüentemente, para o mapeamento e definições de áreas de instabilidades nas encostas (ZHANG & MONTGOMERY, 1994; FERNANDES, 1996; GOMES, 2006, entre outros). Zhang & Montgomery (1994), por exemplo, ressaltam que mapeamentos oriundos de modelagem podem apresentar notáveis discrepâncias quando são utilizadas diferentes resoluções para discretização do relevo. Seguindo essa linha, Gomes et al (2005), ao analisarem diferentes níveis de resolução espacial para uma mesma área, observaram que, quanto menor for esta resolução, maior será a suavização do terreno e, conseqüentemente, menor a convergência topográfica e discretização das encostas.

Gomes (2006), também, observou que a baixa resolução espacial acaba dificultando as análises de modelagem de previsão, visto que o relevo, sendo pouco discretizado em escalas cartográficas pequenas, pode desprezar processos importantes para este tipo de modelagem.

Neste sentido, foi realizado um recorte na área de estudo com objetivo de comparar e/ou avaliar os mapeamentos de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos obtidos em função do emprego do DEM/SRTM e do MDT de detalhe, comparando-se os setores censitários atingidos em cada mapeamento. É importante ressaltar que neste recorte foram considerados, apenas, os 256 setores censitários urbanos de Nova Friburgo abrangidos pela

poligonal correspondente à área de estudo definida neste capítulo, que juntos totalizaram aproximadamente 172,30 km² de extensão.

5.3 – ESCORREGAMENTOS DA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO: RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 – Análise das escalas de mapeamentos: áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas a partir do MDE/SRTM e do MDT de detalhe.

A Figura 5.14 mostra as áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamento obtidas em função do emprego do modelo SHALTAB com o uso do MDT de detalhe (Figura 5.14 A) e o uso do DEM/SRTM (Figura 5.14 B). Com base neste mapeamento foi possível constatar um melhor detalhamento das classes de susceptibilidades obtidas em função do MDT de detalhe, com uma diminuição significativa do quantitativo de áreas susceptíveis à ocorrência de escorregamento da Figura 5.14 A para a Figura 5.14 B.

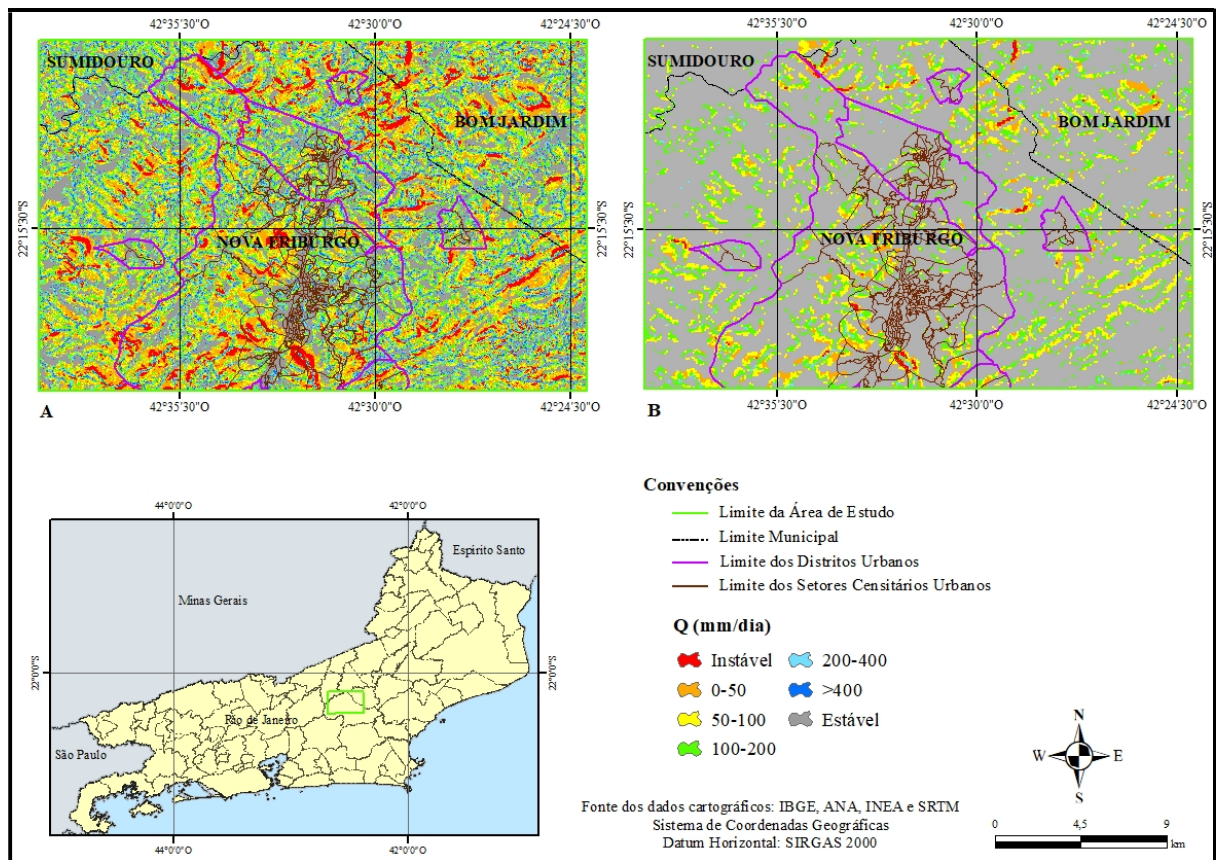


Figura 5.14 - Áreas de susceptibilidade a escorregamentos rasos da área de estudo, delimitadas a partir do emprego do modelo SHALTAB tendo como dado de entrada o MDT de detalhe (A) e o DEM/SRTM (B).

Conforme já indicado, as áreas incondicionalmente instáveis, equivalentes aos paredões rochosos, são de altas declividades em que os escorregamentos não dependem de eventos de chuva para acontecerem. Do mesmo modo, as áreas consideradas incondicionalmente estáveis, as quais apresentam baixas declividades, não apresentam susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, mesmo no caso de intensas precipitações.

As outras áreas representam as porções do relevo que são susceptíveis à ocorrência de escorregamentos, de acordo com a intensidade de chuva. É possível constatar que estas áreas, de um modo geral, estão distribuídas por toda área de estudo, sendo a classe que necessita de 100 a 200 mm/dia de chuva a que ocorre com maior frequência, aproximadamente em 19% desta área (Figura 5.15).

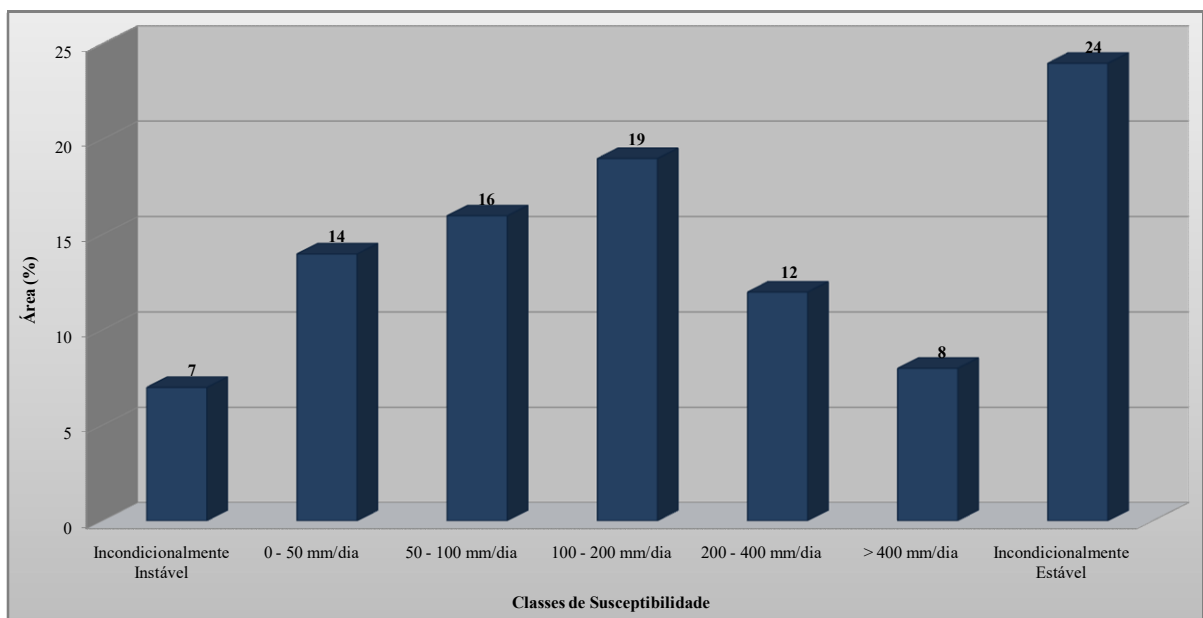


Figura 5.15 - Total de área suscetível a escorregamentos, definida por classes de susceptibilidades, obtida a partir do MDT de detalhe

A eficiência do modelo, em relação à definição das áreas de susceptibilidade, foi constatada com base no mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Na Figura 5.16 é possível observar a distribuição espacial dessas cicatrizes pela área mapeada, onde se constata que grande parte da área urbana do município de Nova Friburgo foi afetada por esses escorregamentos. Aproximadamente 23% das cicatrizes mapeadas ocorreram na área urbana de Nova Friburgo, fato que pode explicar o número elevado de vítimas fatais identificadas, neste município, em função dos escorregamentos ocorridos.

Com base na estatística zonal mínima aplicada sobre os mapas de susceptibilidade a escorregamentos (Figura 5.17 A e B), foi possível constatar que, para o mapa obtido em função do uso do MDT de detalhe (Figura 5.17 A), das 1.965 cicatrizes mapeadas, 529, ou seja, 27% delas ocorreram na classe definida pelo modelo como incondicionalmente instável, a qual, conforme já ressaltado, não dependem de eventos de chuva para ocorrer. É importante destacar que neste mapeamento apenas 55 cicatrizes, ou cerca de 3% do total, foram mapeadas na classe em que o modelo SHALTAB definiu como incondicionalmente estável.

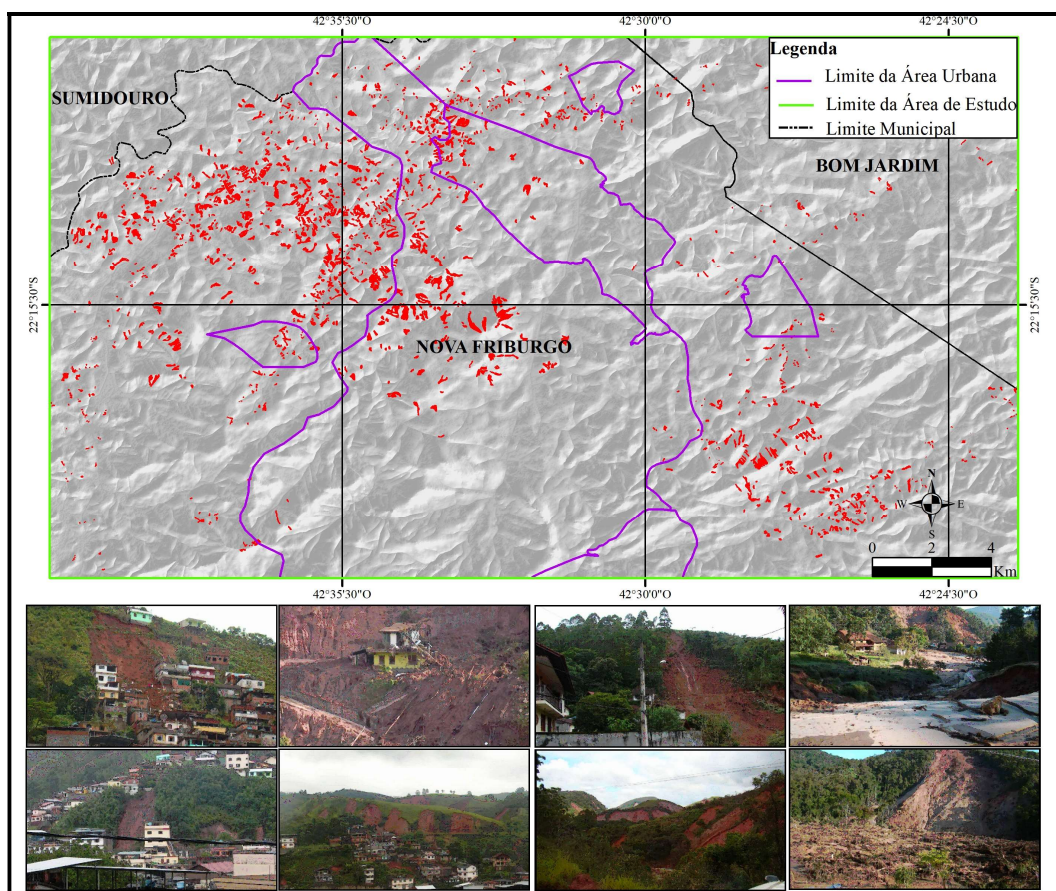


Figura 5.16 - Distribuição espacial da cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em 2011

As demais cicatrizes mapeadas ocorreram em áreas em que o modelo estabelece um limiar de chuva para a sua ocorrência. Na classe que necessita de 0 a 50 mm/dia de chuva, foram identificadas 458, ou seja, cerca de 23% do total de cicatrizes mapeadas. Já na classe que necessita de 50 a 100 mm/dia de chuva, foram identificadas 360 ou 18% do total de cicatrizes mapeadas. As 564 cicatrizes restantes foram mapeadas nas áreas em que o modelo estabelece como sendo necessário um limiar acima de 100 mm/dia de chuva para o desencadeamento dos escorregamentos nas encostas (Figura 5.17 A).

Diferentemente, quando se considera as classes de susceptibilidades definidas em função do DEM/SRTM constata-se que a maioria das cicatrizes mapeadas (1.269) ocorreram na classe definida como incondicionalmente estável e apenas 13 cicatrizes ocorreram em áreas definidas pelo modelo como incondicionalmente instável (Figura 5.17 B). Do total das cicatrizes mapeadas, 683 ocorreram nas áreas em que o modelo define como sendo necessários limiares de chuvas entre 0 a 400 mm para o desencadeamento dos escorregamentos. Neste mapeamento, não foi delimitada a classe de susceptibilidade definida em função da chuva maior que 400 mm (classe 6).

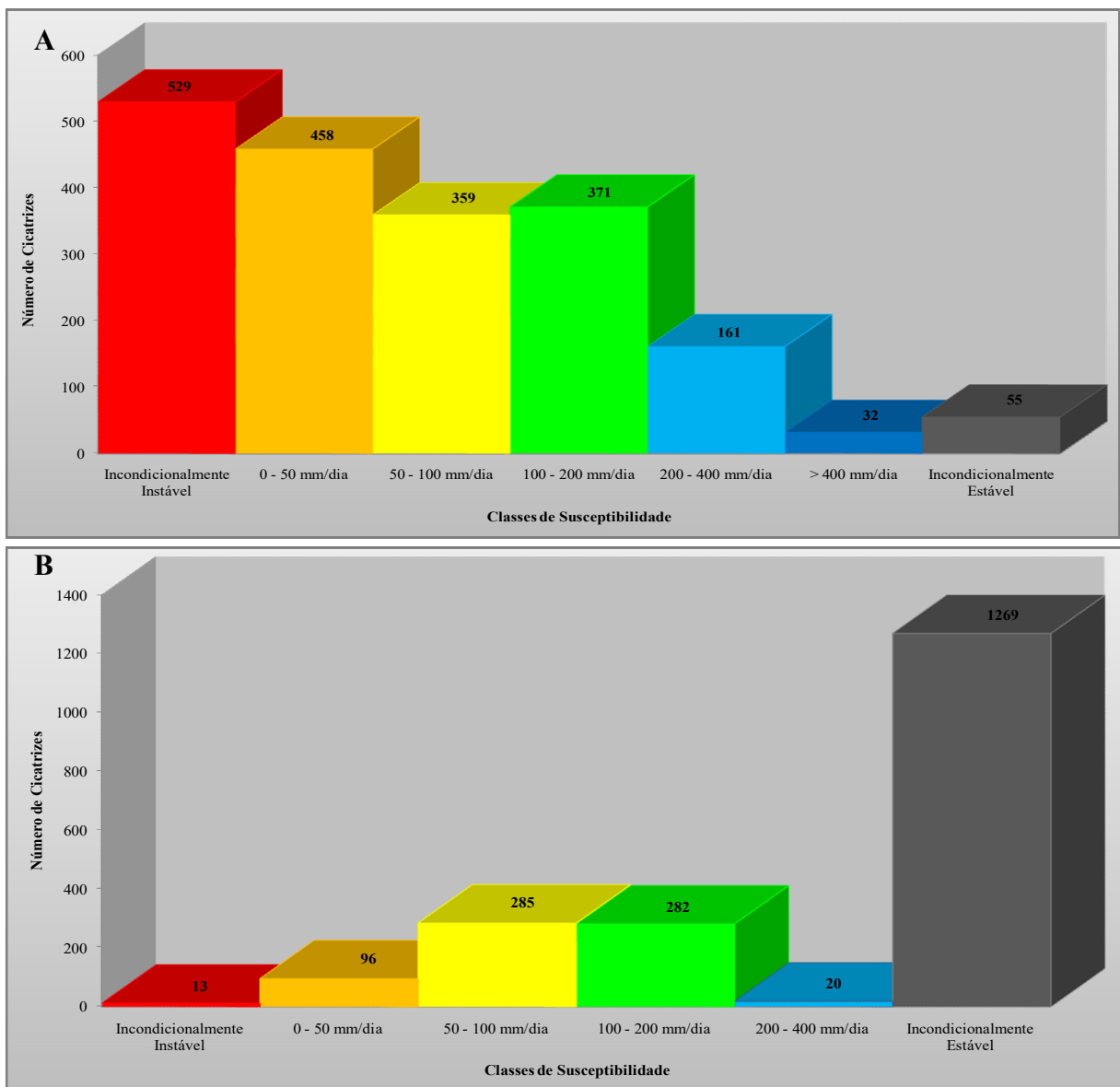


Figura 5.17 – Número de cicatrizes de escorregamentos mapeadas na área de estudo, delimitadas em função das classes de susceptibilidade obtidas em função do MDT de detalhe (A) e em função do DEM/SRTM (B).

A Tabela 5.1 mostra o quantitativo de áreas de susceptibilidade para os distritos urbanos de Nova Friburgo, calculado em função das duas escalas de análises. Pode-se observar que as áreas totais de susceptibilidade a escorregamento foram quantificadas em 96,19 km², para o mapeamento realizado a partir do MDT de detalhe, e em 35,22 km² para o mapeamento obtido com base no DEM/SRTM.

Tabela 5.1 – Áreas de susceptibilidade a escorregamentos obtidas a partir do emprego do modelo SHALSTAB com o MDT de detalhe e o MDE/SRTM, quantificadas por distrito e/ou setor urbano de Nova Friburgo/RJ.

Distrito	Área Territorial total (km²)	Área mapeada com algum grau de susceptibilidade, obtida a partir do uso do MDT de detalhe (km²)	Área mapeada com algum grau de susceptibilidade, obtida a partir do uso do DEM/SRTM (km²)
Área total	172,30	96,19	35,22
Amparo	4,10	1,72	0,27
Campo Coelho	3,25	1,36	0,41
Muri	6,43	3,98	1,31
Riograndina	2,25	1,31	0,43
Conselheiro Paulino	23,25	12,50	1,90
Distrito Sede	133,03	75,31	30,88

Foi possível constatar que, dos 256 setores urbanos considerados nesta fase na pesquisa, 218 continham áreas definidas com algum grau de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, com base no mapeamento realizado a partir do MDT de detalhe (Figura 5.18-A). Já quando se observa o mapeamento realizado a partir do DEM/SRTM o número de setores fica em torno de 108, ou seja, neste caso foi bem maior o número de setores inseridos em áreas sem nenhum grau de susceptibilidade (Figura 5.18-B).

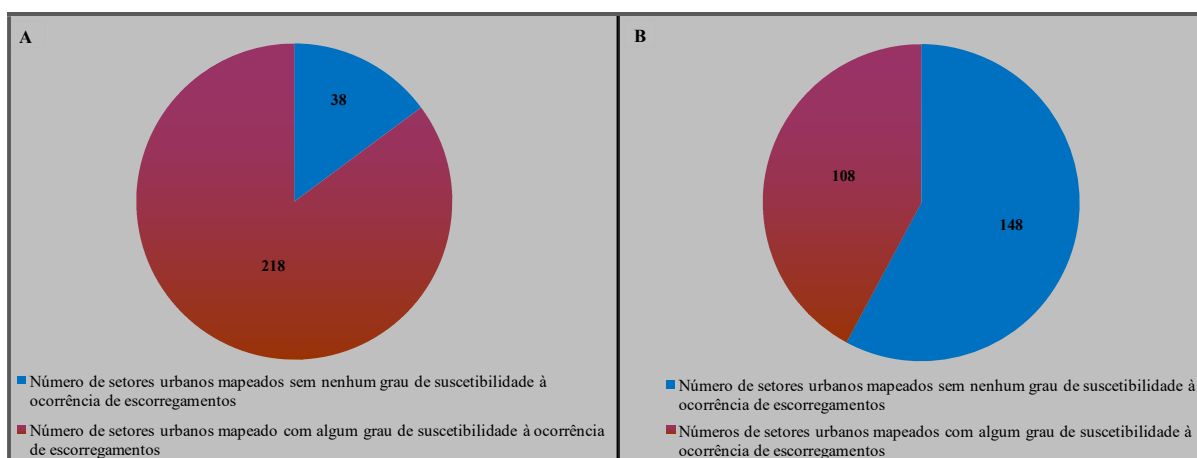


Figura 5. 18 - Número de setores urbanos mapeados com e sem nenhum grau de susceptibilidade, obtido a partir do MDT de detalhe (A) e do MDE/SRTM (B).

As Figuras a seguir (5.19 a 5.22) mostram, de forma detalhada, as áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos para os distritos urbanos de Nova Friburgo, obtidas em função dessas duas escalas de análises. Já as Tabelas 5.2 a 5.7 mostram o quantitativo dessas áreas pelos respectivos setores, bem como o número de domicílios, população e rendimentos médios por domicílios obtidos, para cada setor, com base no censo demográfico de 2010.

No distrito de Muri, os setores mapeados apresentaram uma área de susceptibilidade a escorregamentos de 3,98 km² e de 1,31 km², para o mapeamento realizado a partir do emprego do modelo SHALSTAB com o uso do MDT de detalhe e com o uso do DEM/SRTM, respectivamente. Sendo os setores 008 e 006 os que apresentaram as maiores áreas de instabilidade, quando se considera o mapeamento realizado com base no MDT de detalhe. Nestes dois setores observa-se, também, o maior número de domicílios e população do distrito de Muri, além de uma das melhores rendas média por domicílio (Figura 5.19 A1 e A2, e Tabela 5.2).

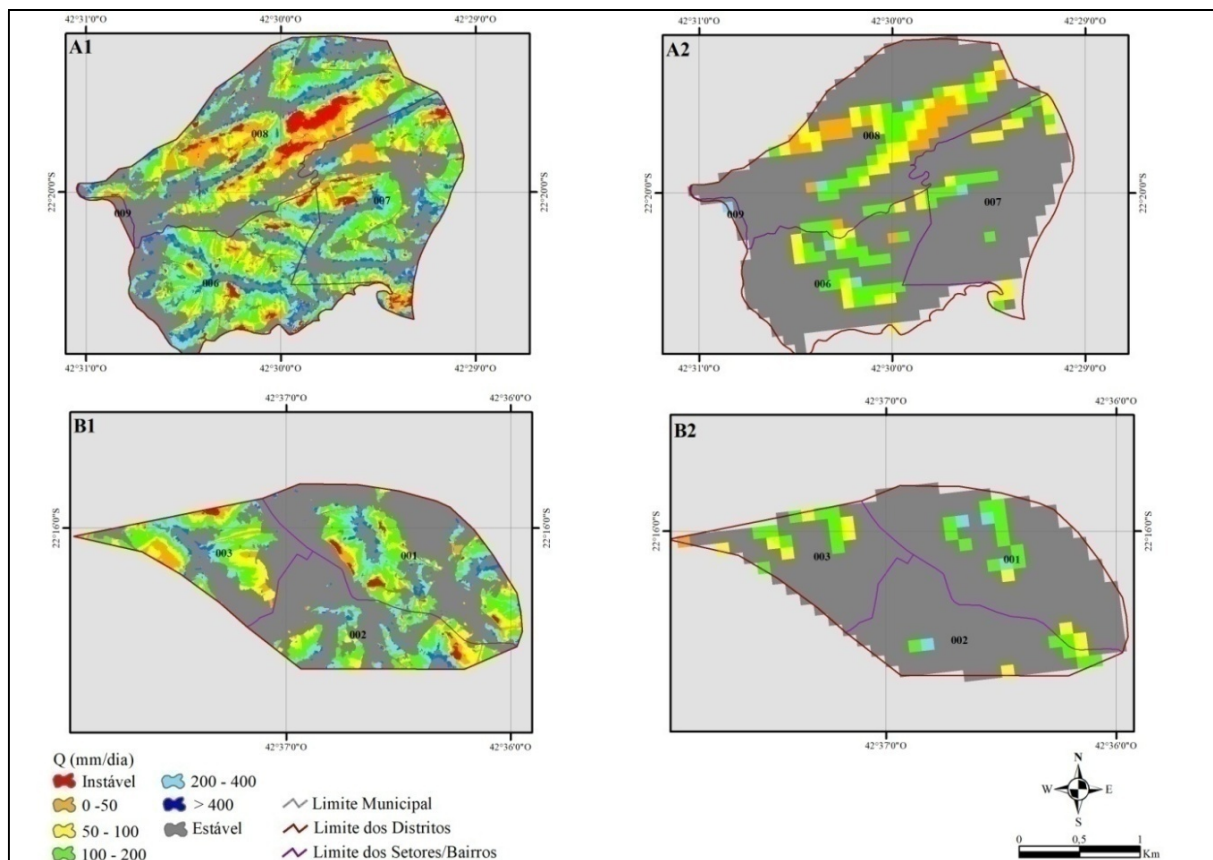


Figura 5. 19– Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito de Muri (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM) e de Campo Coelho (B1 – MDT e B2 – DEM/SRTM).

Tabela 5.2 – Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Muri, Nova Friburgo/RJ.

Setor/Bairro	Área Total (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (%)	Área de Susceptibilidade SRTM (km ²)	Área de Susceptibilidade SRTM (%)	Número de Domicílios	População	Renda Média do Domicílio (R\$)
006	1,728	1,215	70,31	0,356	20,60	204	591	2.357
007	1,905	1,126	59,11	0,267	14,02	79	232	3.041
008	2,757	1,638	59,41	0,672	24,37	105	270	3.808
009	0,043	0,002	4,65	0,016	37,21	53	136	1.993

Campo Coelho, constituído por três setores urbanos que juntos totalizam uma área territorial de aproximadamente 3,25 km², apresentou uma área total de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos de 1,36 km² e de 0,41km² para os mapeamentos realizados em função do uso do MDT de detalhe e do uso do DEM/SRTM, respectivamente (Figura 5.19 B1 e B2, e Tabela 5.3). Considerando a área total, o Setor 003 foi o que, proporcionalmente, apresentou a maior área de susceptibilidade, 54,15%, no caso do mapeamento realizado com o MDT de detalhe e de 26,71% para o mapeamento que utilizou o DEM/SRTM. Este setor, em 2010, tinha em torno de 262 domicílios e uma população de 801 hab., sendo sua renda média de R\$ 1.267,00.

Tabela 5.3 – Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Campo do Coelho, Nova Friburgo/RJ.

Setor/Bairro	Área Total (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (%)	Área de Susceptibilidade SRTM (km ²)	Área de Susceptibilidade SRTM (%)	Número de Domicílios	População	Renda Média do Domicílio (R\$)
001	1,457	0,578	39,67	0,146	10,02	267	836	1.536
002	0,974	0,336	34,50	0,041	4,21	376	1.175	1.611
003	0,82	0,444	54,15	0,219	26,71	262	801	1.267

Em relação ao distrito de Riograndina, que possui uma área de cerca de 2,25 km², observa-se que o Setor 002 não apresentou susceptibilidade à ocorrência de escorregamento no mapeamento realizado a partir do DEM/SRTM. Contudo, apresentou 45,35% de sua área com susceptibilidade, a partir do mapeamento realizado com base no MDT de detalhe (Figura 5.20 A1 e Tabela 5.4). Quanto ao Setor 001, o segundo maior em área de susceptibilidade, observa-se que é o que, em 2010, concentrava a maior parte dos domicílios e da população de Riograndina distrito, respectivamente 48,27% e 50,74% do total de domicílios e de população deste distrito. (Tabela 5.4).

Já o distrito de Amparo, constituído por cinco setores urbanos, apresentou área total de susceptibilidade de 1,72 km² para o mapeamento de maior detalhe (Figura 5.20 B1) e de 0,27 km² para o mapeamento realizado com o uso do DEM/SRTM (Figura 5.20 B2, e Tabela 5.5), sendo que o Setor 001, mapeado com a maior área de susceptibilidade pelo mapeamento

de detalhe, está entre os setores com menor número de domicílios e de população e com a terceira melhor renda do distrito (Tabela 5.5).

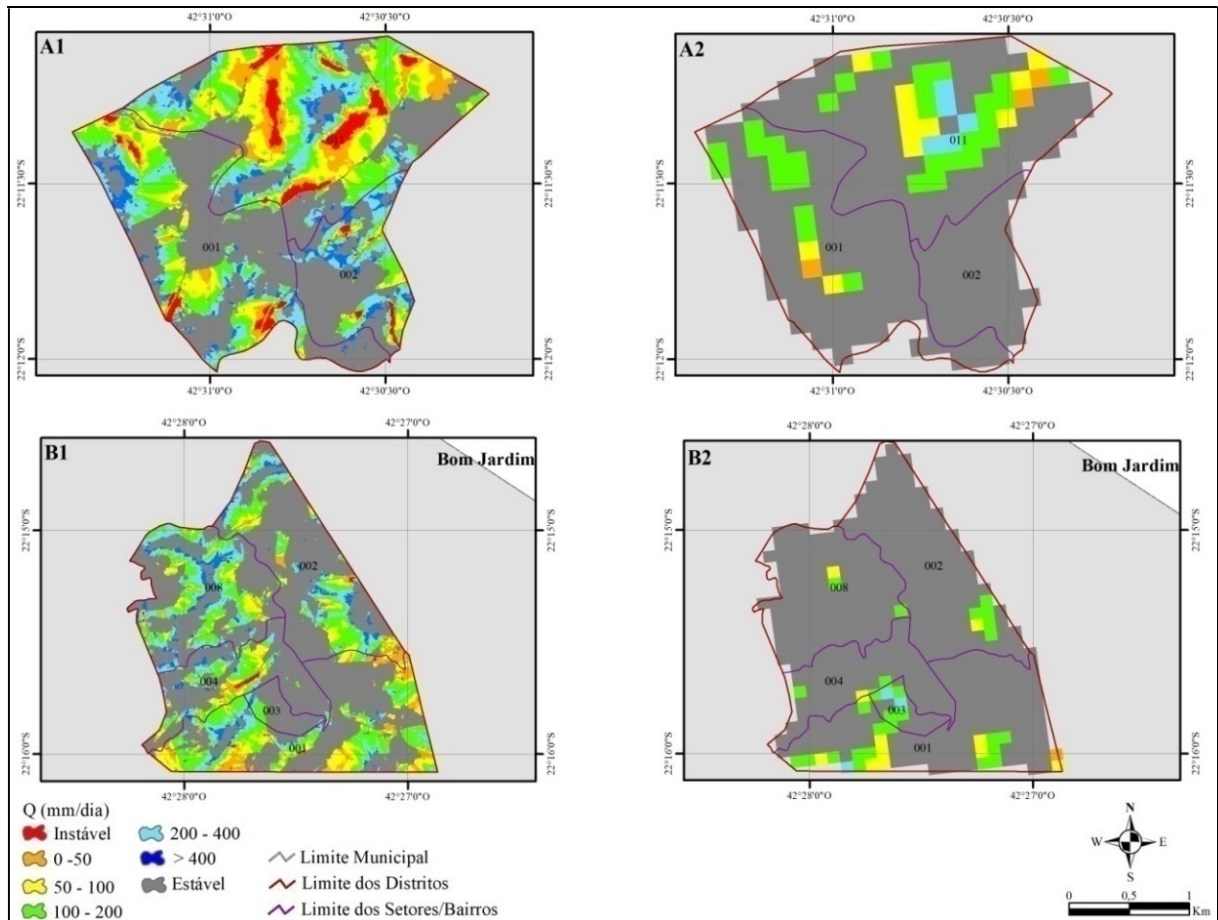


Figura 5. 20 – Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito de Riograndina (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM) e Amparo (B1 – MDT e B2 – DEM/SRTM).

Tabela 5.4 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Riograndina, Nova Friburgo/RJ.

Setor/Bairro	Área Total (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (%)	Área de Susceptibilidade SRTM(km ²)	Área de Susceptibilidade SRTM (%)	Número de Domicílios	População	Renda Média do Domicílio (R\$)
001	0,868	0,408	47,00	0,138	15,90	349	1.066	1.473
002	0,344	0,156	45,35	0	0	253	691	1.373
011	1,038	0,747	71,97	0,292	28,13	121	344	1.230

Tabela 5.5 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Amparo, Nova Friburgo/RJ.

Setor/Bairro	Área Total (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (%)	Área de Susceptibilidade SRTM(km ²)	Área de Susceptibilidade SRTM (%)	Número de Domicílios	População	Renda Média do Domicílio (RS)
001	1,267	0,643	50,75	0,113	8,92	98	308	1.675
002	1,111	0,392	35,28	0,041	3,69	183	509	1.767
003	0,134	0,022	16,42	0,057	42,54	281	804	1.594
004	0,608	0,211	34,70	0,032	5,26	72	214	2.925
008	0,976	0,447	45,80	0,024	2,46	165	535	1.354

Conforme já ressaltado, Conselheiro Paulino possui 44 setores urbanos. Contudo, neste capítulo foram considerados apenas aqueles que apresentaram alguma susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, com base nos mapeamentos realizados, num total de 32 setores. Estes 32 setores somam uma área de aproximadamente 22,57 km² e, com base no mapeamento realizado a partir do MDT de detalhe e do DEM/SRTM apresentam, respectivamente, 12,50 km² e 1,88 km² de susceptibilidade à ocorrência desse tipo de movimento de massa. Conforme censo demográfico de 2010, esses 32 setores possuíam, em 2010, um total de 8.548 domicílios e 25.677 hab. (Figura 5.21 A1 e A2 e Tabela 5.6).

Em relação a esse distrito é importante ressaltar que o mapeamento mostrou que, dos 32, apenas 18 apresentam algum grau de susceptibilidade quando se considerou como dado de entrada do modelo o DEM/SRTM, enquanto que quando foi utilizado como dado de entrada o MDT de detalhe, os 32 setores apresentaram, em maior ou menor grau, alguma susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos. Considerando o mapeamento de detalhe, o Setor 006 foi o que, proporcionalmente, apresentou a maior área de susceptibilidade, não tendo apresentado susceptibilidade quando foi usado o DEM/SRTM.

Dentre os setores mapeados neste distrito, o Setor 029 foi que apresentou o maior número de domicílios e de população no ano de 2010. Neste setor, a área de susceptibilidade obtida a partir do mapeamento de detalhe foi de 77,95% de sua área total, já naquele em que foi utilizado o DEM/SRTM esse percentual foi de 8,95%. É importante destacar que a renda média domiciliar, no setor 029, estava entre as melhores do distrito de Conselheiro Paulino.

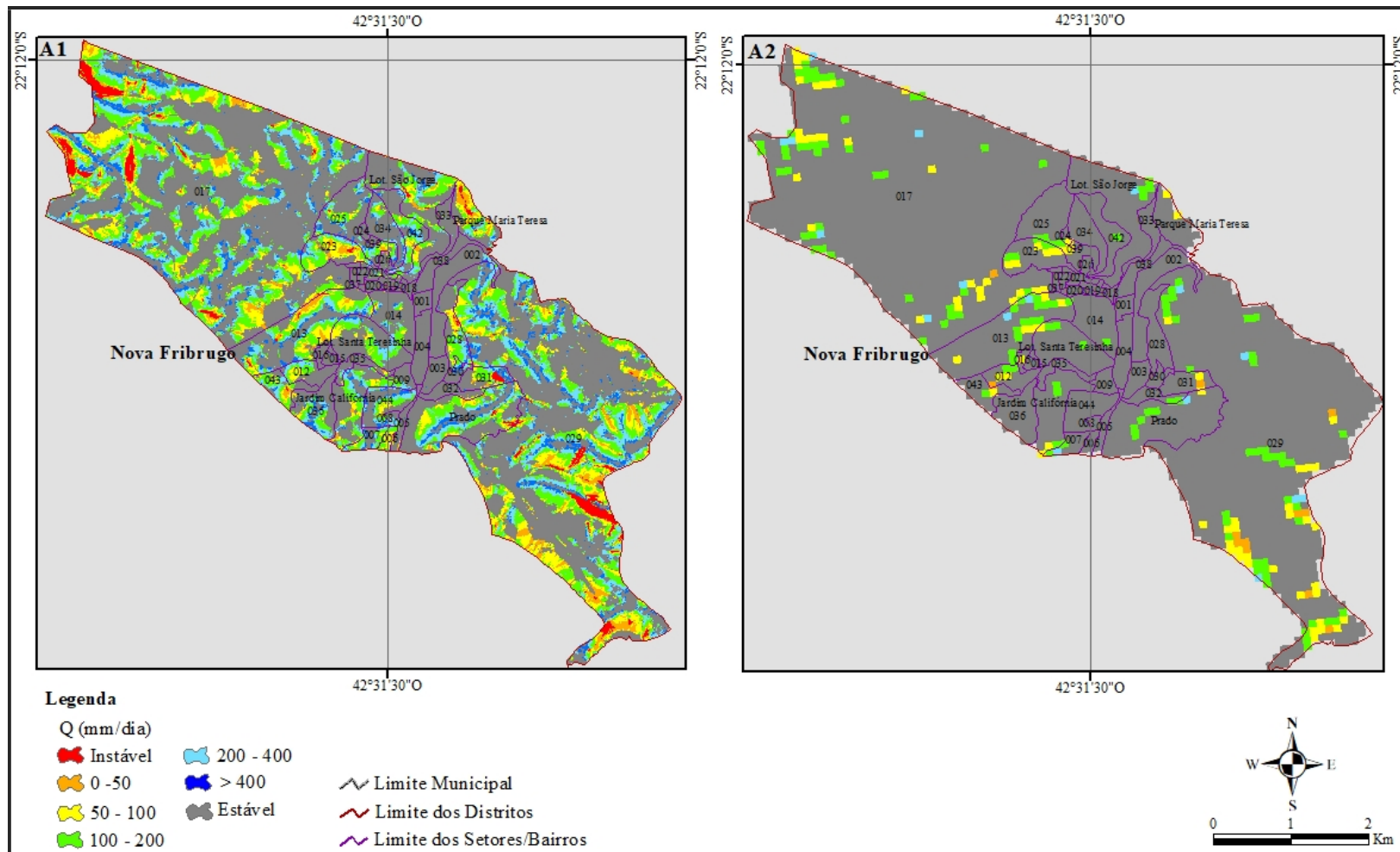


Figura 5. 21– Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito de Conselheiro Paulino (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM).

Tabela 5.6 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito de Conselheiro Paulino, Nova Friburgo/RJ.

Setor/Bairro	Área Total (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (km ²)	Área de Susceptibilidade MDT (%)	Área de Susceptibilidade SRTM(km ²)	Área de Susceptibilidade SRTM (%)	Número de Domicílios	População	Renda Média do Domicílio (RS)
002	0,314	0,018	5,73	0	0	214	588	1.474
005	0,066	0,01	15,15	0	0	212	608	1.496
006	0,041	0,039	95,12	0	0	191	565	1.742
007	0,09	0,061	67,78	0,024	26,67	229	688	1.367
008	0,028	0,013	46,43	0	0	175	513	1.596
009	0,075	0,019	25,33	0	0	208	665	2.195
012	0,154	0,073	47,40	0,032	20,78	286	870	1.745
013	0,865	0,495	57,23	0,154	17,80	333	972	1.711
014	0,305	0,06	19,67	0,016	5,25	285	831	2.250
017	8,392	3,937	46,91	0,656	7,82	244	727	1.652
019	0,031	0,002	6,45	0	0	169	489	1.502
021	0,044	0,011	25,00	0	0	285	853	1.483
023	0,267	0,215	80,52	0,049	18,35	408	1.192	1.491
025	0,442	0,161	36,43	0,049	11,09	284	981	1.112
026	0,028	0,005	17,86	0	0	196	581	1.202
028	0,231	0,114	49,35	0	0	338	1.028	1.758
029	6,969	5,432	77,95	0,624	8,95	545	1.657	1.641
030	0,053	0,019	35,85	0	0	241	714	1.710
031	0,152	0,082	53,95	0,016	10,53	315	934	1.687
032	0,096	0,007	7,29	0	0	273	769	2.616
033	0,117	0,003	2,56	0,008	0	177	535	1.727
034	0,212	0,047	22,17	0	0	270	893	896
035	0,088	0,011	12,50	0	0	328	952	1.225
036	0,276	0,118	42,75	0,016	5,80	289	872	1.070
042	0,227	0,118	51,98	0,008	3,52	150	414	1.564
043	0,155	0,097	62,58	0,008	5,16	262	729	1.395
044	0,234	0,12	51,28	0	0	363	1.122	1.736
Jardim Califórnia	0,395	0,182	46,08	0,016	4,05	352	1.059	1.429
Lot. S. Teresinha	0,423	0,17	40,19	0,073	17,26	399	1.236	2.238
Lot. São Jorge	0,716	0,269	37,57	0,024	3,35	210	702	1.309
Parque M. Teresa	0,256	0,17	66,41	0,032	12,50	164	486	1.541
Prado	0,831	0,418	50,30	0,073	8,78	153	452	2.159

Quanto ao distrito Sede de Nova Friburgo, foi possível verificar que dos 197 setores censitários, 165 foram identificados com susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos a partir do mapeamento de detalhe. Já no mapeamento realizado considerando o DEM/SRTM, o número de setores foi reduzido para 75 (Figura 5.22 A1 e A2).

A Tabela 5.7 mostra alguns setores do distrito Sede que apresentaram um maior quantitativo de áreas de susceptibilidade em função dos mapeamentos realizados. Cascatinha foi o que apresentou a maior área territorial entre os setores mapeados (37,79 km²), sendo 63,39% dessa área susceptível à ocorrência dos escorregamentos, conforme o mapeamento de detalhe realizado. No entanto, esse percentual cai para 33,12 quando se considera o mapeamento realizado a partir do uso do DEM/SRTM.

No setor Córrego D'antas, um dos mais atingidos pelo evento ocorrido em 2011, esses percentuais foram, respectivamente, de 70,74% e de 40,22%. Em 2010, este setor contava com uma população aproximada de 828 habitantes e um rendimento médio domiciliar

de R\$ 1.581,00. Localizado a cerca de seis quilômetros da sede do município, o bairro se caracteriza como uma área urbana, predominantemente residencial, com atividades econômicas voltadas para o comércio, prestação de serviço e indústria.

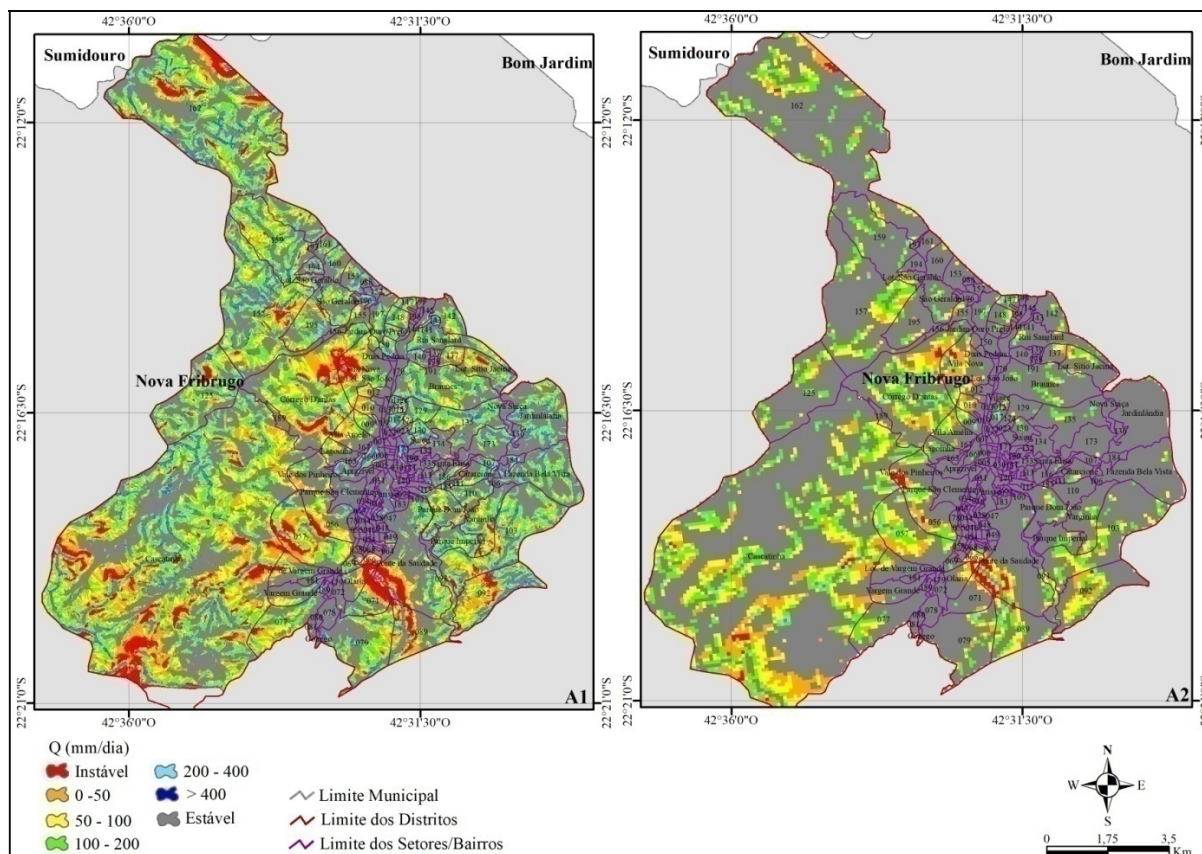


Figura 5.22– Detalhamento das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, obtidas para setores urbanos do distrito Sede (A1 – MDT e A2 – DEM/SRTM).

Com base no mapeamento realizado, foi possível constatar que as áreas de susceptibilidade, obtidas a partir do MDT de detalhe, ocorreram em maior quantidade em todos os distritos e respectivos setores analisados, visto que nesta escala há uma melhor delimitação da topografia do relevo e, conseqüentemente, das áreas de susceptibilidade. Foi possível constatar, ainda, que há uma tendência de crescimento, ou seja, de correlação linear positiva em relação às áreas de susceptibilidade obtidas em função das duas escalas de análise (Figura 5.23). Contudo, esta tendência não é acompanhada quando se analisa a relação entre as áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos e o número de domicílios, de população e a renda média de cada setor. Estes, como observado, ocorrem de forma aleatória pelos setores, portanto, não estão influenciando e nem sendo diretamente influenciado pela susceptibilidade natural da área à ocorrência desses escorregamentos.

Tabela 5.7 - Quantificação das áreas de susceptibilidade a escorregamentos, número de domicílios, população e renda dos domicílios dos setores urbanos do distrito Sede.

Setor/Bairro	Área Total (km²)	Área de Susceptibilidade MDT (km²)	Área de Susceptibilidade MDT (%)	Área de Susceptibilidade SRTM(km²)	Área de Susceptibilidade SRTM (%)	Número de Domicílios	População	Renda Média do Domicílio (RS)
103	3,777	2,597	68,76	0,948	25,10	165	432	1.889
106	0,085	0,033	38,82	0	0	220	687	1.506
107	0,205	0,103	50,24	0,016	7,80	260	783	1.250
109	0,328	0,019	5,79	0	0	49	174	1.331
110	0,662	0,328	49,55	0,041	6,19	269	817	1.886
111	0,066	0,015	22,73	0	0	215	615	1.527
113	0,182	0,022	12,09	0	0	180	584	2.219
115	0,052	0,012	23,08	0	0	171	431	3.893
117	0,013	0,002	15,38	0	0	177	468	1.302
118	0,017	0,002	11,76	0	0	95	289	839
120	0,048	0,001	2,08	0	0	303	847	1.608
121	0,031	0,001	3,23	0	0	200	551	1.832
123	0,021	0,008	38,10	0	0	140	422	1.524
125	3,428	2,087	60,88	0,616	17,97	109	312	2.012
129	0,486	0,314	64,61	0,032	6,58	21	68	1.088
130	0,365	0,239	65,48	0,032	8,77	279	742	3.307
131	0,052	0,013	25,00	0	0	171	443	1.974
133	0,198	0,008	4,04	0	0	158	441	6.078
134	0,46	0,078	16,96	0	0	224	631	4.291
135	1,616	0,826	51,11	0,162	10,02	215	621	2.589
136	0,131	0,048	36,64	0	0	186	541	1.576
137	0,324	0,19	58,64	0,073	22,53	205	561	1.708
139	0,084	0,023	27,38	0	0	316	943	1.653
140	0,236	0,07	29,66	0	0	343	1.060	1.840
141	0,042	0,033	78,57	0	0	170	502	1.453
142	0,663	0,374	56,41	0,057	8,60	356	1.087	1.486
143	0,061	0,044	72,13	0	0	267	849	1.249
144	0,39	0,05	12,82	0	0	331	913	2.229
145	0,046	0,001	2,17	0	0	63	190	2.258
147	0,208	0,124	59,62	0,089	42,79	328	884	1.957
148	0,319	0,216	67,71	0,057	17,87	136	390	1.770
150	0,311	0,199	63,99	0,024	7,72	224	622	2.045
152	0,179	0,069	38,55	0	0	226	727	1.408
153	0,526	0,232	44,11	0,008	1,52	246	769	1.361
155	0,296	0,106	35,81	0,081	27,36	170	498	1.647
156	0,107	0,002	1,87	0,008	7,48	141	429	1.612
157	6,048	3,819	63,14	1,337	22,11	49	150	1.966
159	2,81	1,865	66,37	0,332	11,81	62	168	1.294
160	0,52	0,203	39,04	0,016	3,08	350	1.071	1.578
161	0,284	0,117	41,20	0,008	2,82	427	1.263	1.330
162	13,22	8,166	61,77	2,446	18,50	47	151	1.361
163	0,079	0,034	43,04	0	0	62	204	2.041
166	0,229	0,116	50,66	0	0	280	751	1.912
167	0,026	0,003	11,54	0	0	196	507	2.907
169	0,018	0,002	11,11	0	0	140	478	1.556
170	0,161	0,016	9,94	0	0	48	145	1.792
171	0,085	0,048	56,47	0	0	246	716	2.399
173	0,915	0,298	32,57	0,008	0,87	277	830	1.708
174	0,064	0,031	48,44	0,016	25,00	146	343	5.076
177	0,024	0,001	4,17	0	0	102	252	1.922
180	0,079	0,023	29,11	0	0	101	290	4.144
181	0,131	0,007	5,34	0	0	320	921	2.205
183	0,138	0,006	4,35	0	0	112	315	1.851
184	0,18	0,058	32,22	0,008	4,44	64	207	1.117
185	0,025	0,006	24,00	0	0	132	370	1.556
186	0,275	0,125	45,45	0,016	5,82	282	829	2.260
188	0,029	0,022	75,86	0	0	240	673	1.515
189	0,19	0,028	14,74	0,032	16,84	111	374	1.182
193	0,057	0,018	31,58	0,024	42,11	106	324	1.330
194	0,248	0,089	35,89	0,008	3,23	165	477	1.478
195	1,317	0,773	58,69	0,194	14,73	157	511	1.481
196	0,155	0,071	45,81	0	0	102	302	1.793
197	0,55	0,224	40,73	0,032	5,82	99	302	1.599
199	0,042	0,002	4,76	0,008	19,05	162	472	1.727
006	0,092	0,021	22,83	0,008	8,70	311	787	4.190
009	0,331	0,193	58,31	0,17	51,36	195	461	4.860
010	0,332	0,19	57,23	0,194	58,43	281	710	4.680
011	0,066	0,005	7,58	0,016	24,24	371	1.011	2.567
012	0,259	0,116	44,79	0,089	34,36	201	554	3.654
015	0,069	0,047	68,12	0	0	162	433	2.398
016	0,046	0,001	2,17	0	0	123	350	2.725
017	0,144	0,103	71,53	0,041	28,47	196	442	2.900

023	0,074	0,013	17,57	0	0	231	550	6.263
025	0,048	0,01	20,83	0	0	225	541	4.138
030	0,075	0,009	12,00	0	0	138	370	2.296
031	0,082	0,014	17,07	0	0	195	517	2.737
038	0,047	0,01	21,28	0	0	267	752	1.674
039	0,034	0,002	5,88	0	0	306	828	1.579
040	0,033	0,002	6,06	0	0	261	735	1.472
041	0,027	0,002	7,41	0	0	183	549	1.496
043	0,051	0,01	19,61	0	0	272	754	1.743
046	0,044	0,001	2,27	0	0	229	640	1.689
048	0,062	0,002	3,23	0	0	267	759	1.949
049	0,099	0,021	21,21	0	0	279	768	1.592
050	0,041	0,001	2,44	0	0	260	742	1.713
056	1,306	0,672	51,45	0,591	45,25	124	394	2.946
057	2,459	1,95	79,30	1,247	50,71	69	227	3.004
058	0,065	0,001	1,54	0,049	75,38	208	562	2.453
061	0,038	0,001	2,63	0	0	216	605	1.335
062	0,034	0,008	23,53	0	0	241	722	1.582
064	0,109	0,021	19,27	0,016	14,68	262	764	1.267
065	0,039	0,002	5,13	0	0	276	831	1.244
066	0,154	0,131	85,06	0,049	31,82	254	736	1.371
068	0,063	0,023	36,51	0	0	119	356	2.001
069	0,168	0,116	69,05	0,016	9,52	212	651	1.858
071	0,84	0,556	66,19	0,089	10,60	285	846	2.254
072	0,239	0,012	5,02	0	0	215	612	3.825
074	0,043	0,001	2,33	0	0	106	285	2.405
077	1,622	1,05	64,73	0,405	24,97	173	487	4.426
078	0,368	0,023	6,25	0	0	213	622	6.344
079	2,713	1,454	53,59	0,405	14,93	421	1.164	2.528
080	0,059	0,001	1,69	0	0	160	460	2.693
081	0,133	0,006	4,51	0	0	171	493	3.110
087	0,018	0,003	16,67	0,008	44,44	94	272	1.448
088	0,048	0,012	25,00	0	0	198	607	1.313
089	1,773	1,136	64,07	0,713	40,21	150	398	1.395
092	2,209	1,681	76,10	0,842	38,12	30	76	4.975
093	0,552	0,206	37,32	0,122	22,10	91	276	3.197
097	0,053	0,001	1,89	0	0	255	685	2.257
Aprazível	0,385	0,094	24,42	0	0	195	557	2.277
Bela Vista	0,182	0,009	4,95	0	0	261	695	2.623
Braunes	2,546	1,331	52,28	0,332	13,04	359	1.101	2.250
Cascatinha	37,791	23,954	63,39	12,515	33,12	246	697	1.611
Catarcione	0,383	0,161	42,04	0,024	6,27	188	551	1.619
Cônego	0,048	0,006	12,50	0	0	101	288	2.063
Cordeira	0,076	0,004	5,26	0	0	195	562	2.388
Córrego D'antas	5,571	3,94	70,72	2,236	40,14	282	828	1.581
Duas Pedras	0,095	0,007	7,37	0	0	158	444	1.676
Fazenda Bela Vista	2,356	0,96	40,75	0,049	2,08	354	1.088	1.835
Jardim Ouro Preto	0,187	0,138	73,80	0,032	17,11	448	1.283	1.490
Jardinlândia	2,678	0,996	37,19	0,041	1,53	316	931	2.231
Lagoinha	0,481	0,182	37,84	0,17	35,34	133	398	2.653
Lot. Nosso Sonho	0,035	0,004	11,43	0	0	227	625	1.579
Lot. São Geraldo	0,236	0,148	62,71	0,081	34,32	271	803	1.334
Lot. São José	0,073	0,015	20,55	0,008	10,96	229	655	2.055
Lot. Sítio Jacina	0,94	0,528	56,17	0,235	25,00	250	695	3.389
Lot. Vargem Grande	0,832	0,404	48,56	0,194	23,32	127	392	3.801
Lumiar	0,02	0,004	20,00	0	0	147	438	1.731
Nova Suíça	0,207	0,019	9,18	0	0	293	924	1.433
Olaria	0,556	0,33	59,35	0,122	21,94	192	561	5.175
P. São Clemente	0,662	0,047	7,10	0	0	154	448	4.645
Parque Dom João	1,075	0,637	59,26	0,154	14,33	253	697	2.178
Parque Imperial	0,765	0,517	67,58	0,122	15,95	210	623	2.554
Perisse	0,348	0,054	15,52	0	0	258	756	2.588
Ponte da Saudade	3,885	1,855	47,75	0,842	21,67	239	732	3.250
Rui Sanglard	1,079	0,624	57,83	0,097	8,99	347	1.076	1.354
Santa Elisa	0,206	0,036	17,48	0,008	3,88	95	292	4.636
São Geraldo	0,925	0,476	51,46	0,138	14,92	384	1.168	1.569
Suíço	0,106	0,035	33,02	0	0	306	792	5.857
Vale dos Pinheiros	1,003	0,33	32,90	0,421	41,97	205	687	6.264
Vargem Grande	0,728	0,226	31,04	0,097	13,32	336	976	2.666
Varginha	1,212	0,789	65,10	0,13	10,73	316	929	2.377
Vila Amélia	0,692	0,419	60,55	0,243	35,12	264	678	2.010
Vila Guarani	0,085	0,003	3,53	0	0	115	318	2.364
Vila Nova	1,58	1,135	71,84	0,77	48,73	192	523	3.011
Vilage	0,16	0,087	54,38	0,016	10,00	266	708	2.705
Ypu	0,046	0,002	4,35	0	0	203	488	3.170

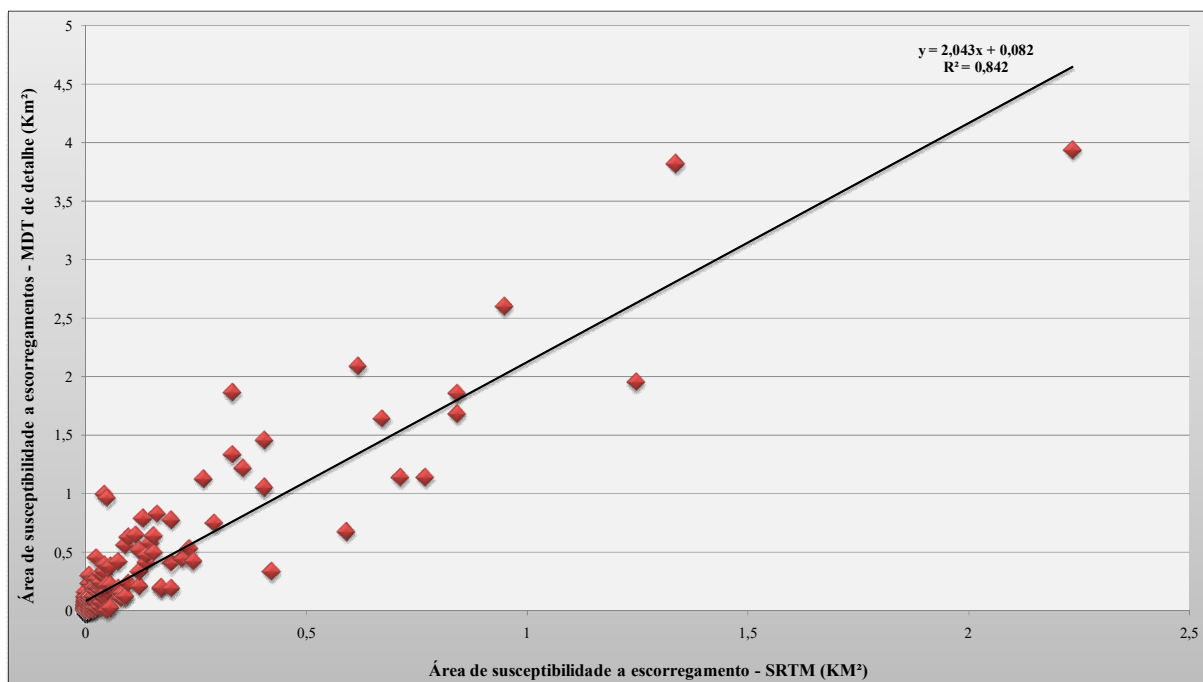


Figura 5.23 – Relação entre as áreas de susceptibilidade a escorregamentos obtidas a partir das duas escalas de análise, onde é possível constar a tendência de correlação positiva entre as variáveis.

5.3.2 – Análise da influência espaço temporal da precipitação no desencadeamento dos escorregamentos a partir das de instabilidade do modelo.

Coelho Netto et al (2011) realizaram pesquisas na área de estudo e a partir de entrevistas com moradores do local constataram, que os escorregamentos ocorridos nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, mesmo em áreas próximas, e com pluviosidade similar, aconteceram em momentos distintos. Sendo assim, foi utilizado o resultado do modelo SHALSTAB, que fornece a quantidade de chuva necessária para que a encosta se desestabilize, para identificar a ocorrência espaço temporal dos escorregamentos durante o período de 48 horas.

Para tanto foi realizada uma estatística zonal das cicatrizes considerando, também, os mapas das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Nesta etapa, foram retiradas aquelas cicatrizes mapeadas em áreas definidas pelo modelo como incondicionalmente instável e incondicionalmente estável, ou seja, foram utilizadas apenas as cicatrizes que caíram em áreas em que o modelo estabelece como sendo necessário um limiar de chuva para a detonação dos escorregamentos, num total de 1.381 cicatrizes.

Cabe registrar que, entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, a intensidade de precipitação variou, espacial e temporalmente, de forma considerável na área de estudo. No

dia 11, por exemplo, essa intensidade variou de 14 mm, registrada na estação Vargem Grande (localizada na porção central da área) a 100 mm, registrada na estação Fazenda Mendes (localizada na porção oeste). No dia 12, a variação foi de 109 mm, registrada na estação Cascatinha do Cônego (localizada na porção sul) a 272 mm, registrada na estação Vargem Alta (localizada na porção sudeste).

As figuras apresentadas a seguir (Figura 5.24 à Figura 5.27) mostram a distribuição das cicatrizes de escorregamentos em função das precipitações ocorridas nesses dias, considerando as classes de susceptibilidades à ocorrência de escorregamentos definidas pelo modelo SHALSTAB. No eixo vertical têm-se os valores de chuva ocorridos no dia 11 e no eixo horizontal os valores de chuva ocorridos no dia 12. As cicatrizes selecionadas em cada figura são àquelas posicionadas para cada classe de instabilidade.

Os resultados mostraram que aproximadamente 59% das cicatrizes, mapeadas nas classes em que o modelo estabelece um limiar de chuva para a detonação dos escorregamentos, estão relacionadas à precipitação de até 100 mm/dia, 458 mapeadas em áreas com limiar de 0 a 50 mm/dia e 359 em áreas, em que o modelo estabelece como sendo necessário de 50 a 100 mm/dia para que esses escorregamentos aconteçam, conforme ressaltado anteriormente (Figura 5.17 A), indicando, portanto, que a maioria dos escorregamentos teria ocorrido no dia 11 de janeiro, já que nesse dia, como já observado, a precipitação registrada variou de 14 a 100 mm.

Contudo, apesar deste resultado, é possível inferir, sem considerar as 458 cicatrizes mapeadas nas áreas em que o modelo define como sendo necessário um limiar de 0 a 50 mm/dia de chuva (Figura 5.24), que pelo menos 635, ou seja, em torno de 46% do total de cicatrizes mapeadas ocorreram no dia 12 de janeiro.

É importante ressaltar que, das 359 cicatrizes mapeadas nas áreas com classe de susceptibilidade com limiar entre 50 a 100 mm/dia de chuva, 71 ocorreram em áreas em que a precipitação do dia 11 foi menor que 50 mm (Figura 5.25). Pode-se considerar, portanto, que dos 359 escorregamentos ocorridos nesta classe de susceptibilidade, pelo menos 71 escorregamentos foram detonados no dia 12 de janeiro.

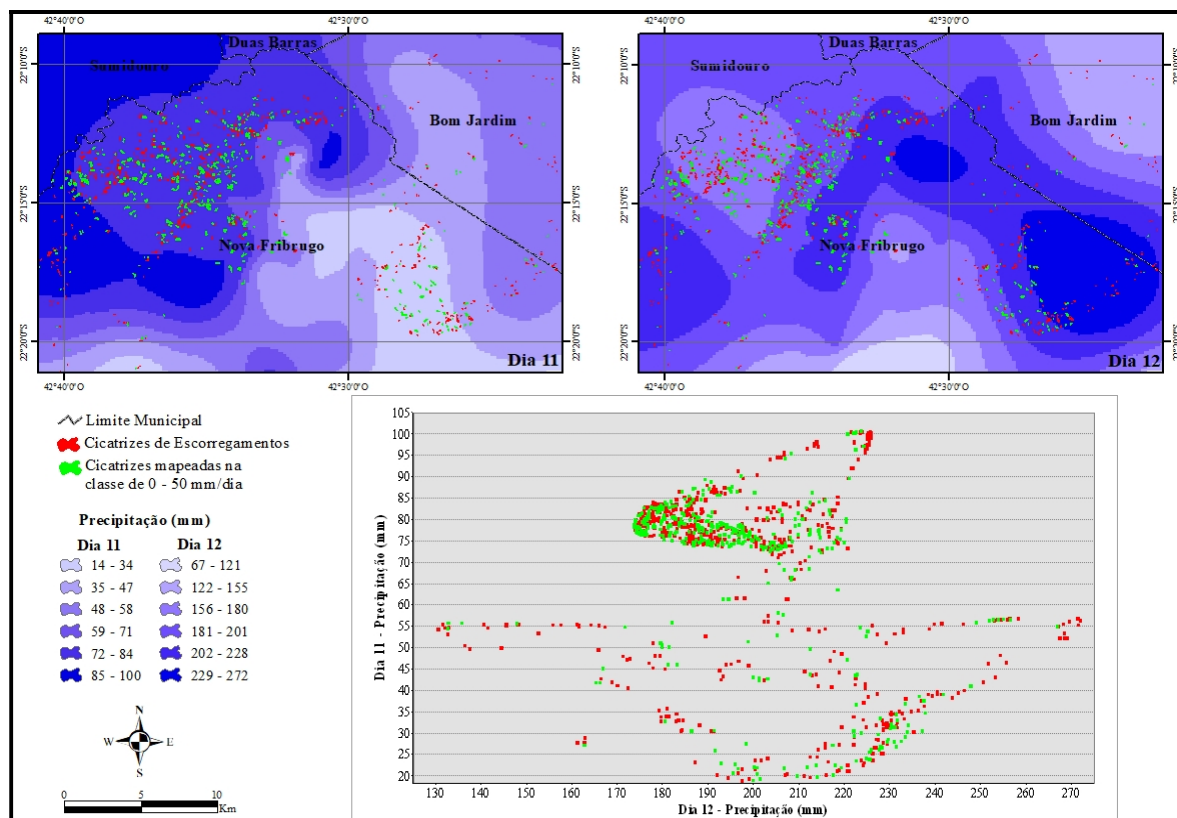


Figura 5. 24 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas que, segundo o modelo, necessitam de 0 a 50 mm/dia de chuva.

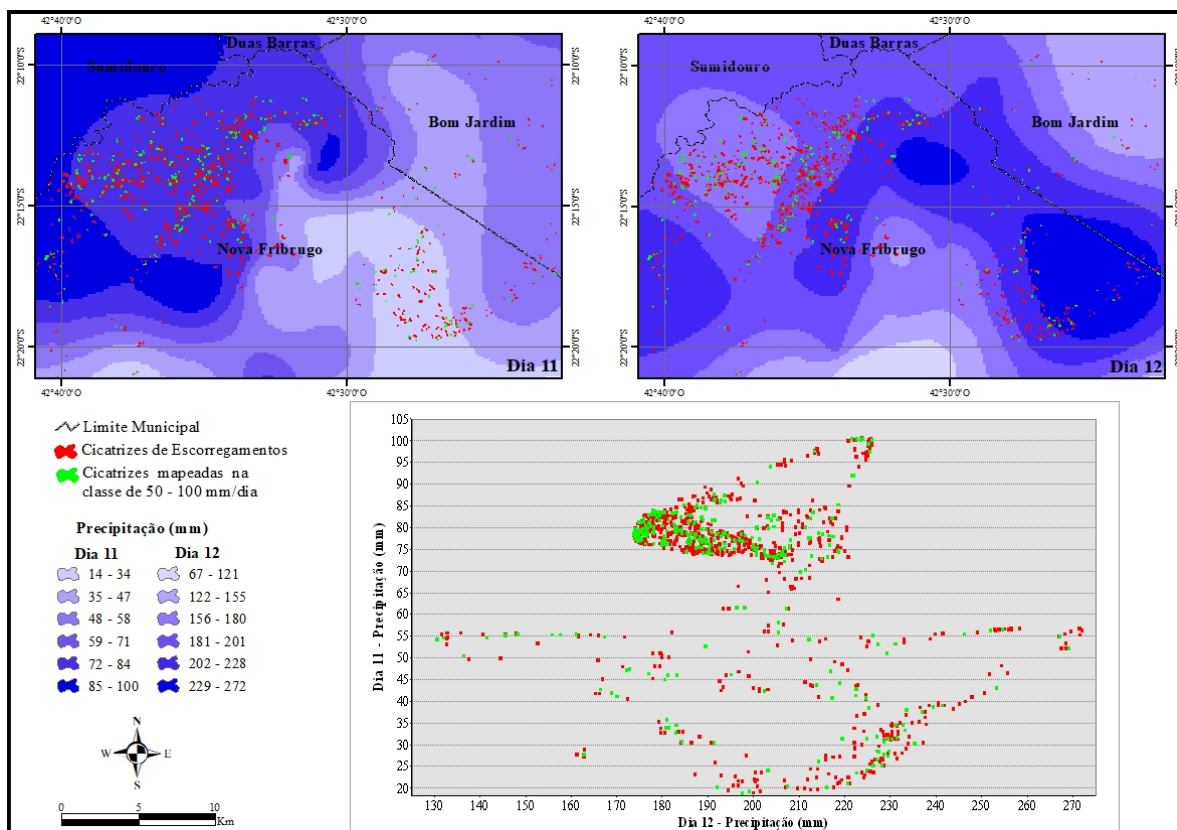


Figura 5. 25 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas que, segundo o modelo, necessitam de 50 a 100 mm/dia de chuva.

Além disso, observa-se que das 371 cicatrizes mapeadas nas áreas com classe de susceptibilidade com limiar entre 100 a 200 mm/dia de chuva, apenas 5 delas podem ter ocorrido no dia 11, já que estão em áreas em que a precipitação chegou a 100 mm neste dia. As 366 cicatrizes restantes ocorreram em áreas em que a precipitação foi maior do que 100 mm, portanto, certamente foram detonados no dia 12 (Figura 5.26). Somam-se a esses valores, ainda, as cicatrizes mapeadas nas áreas com classe de instabilidade com limiar entre 200 a 400 mm/dia, num total de 161 (Figura 5.27) e as 32 cicatrizes mapeadas nas áreas em que o modelo previu como sendo necessário um limiar de precipitação acima de 400 mm/dia.

Cabe destacar que, em relação a essas 32 cicatrizes, considerou-se que houve um erro de previsão do modelo, uma vez que a maior precipitação registrada na área, nos dois dias de evento, foi de 272 mm. Portanto, essas cicatrizes foram aglutinadas à classe que necessita de 200 a 400 mm/dia de chuva para levar à ocorrência dos escorregamentos nas encostas.

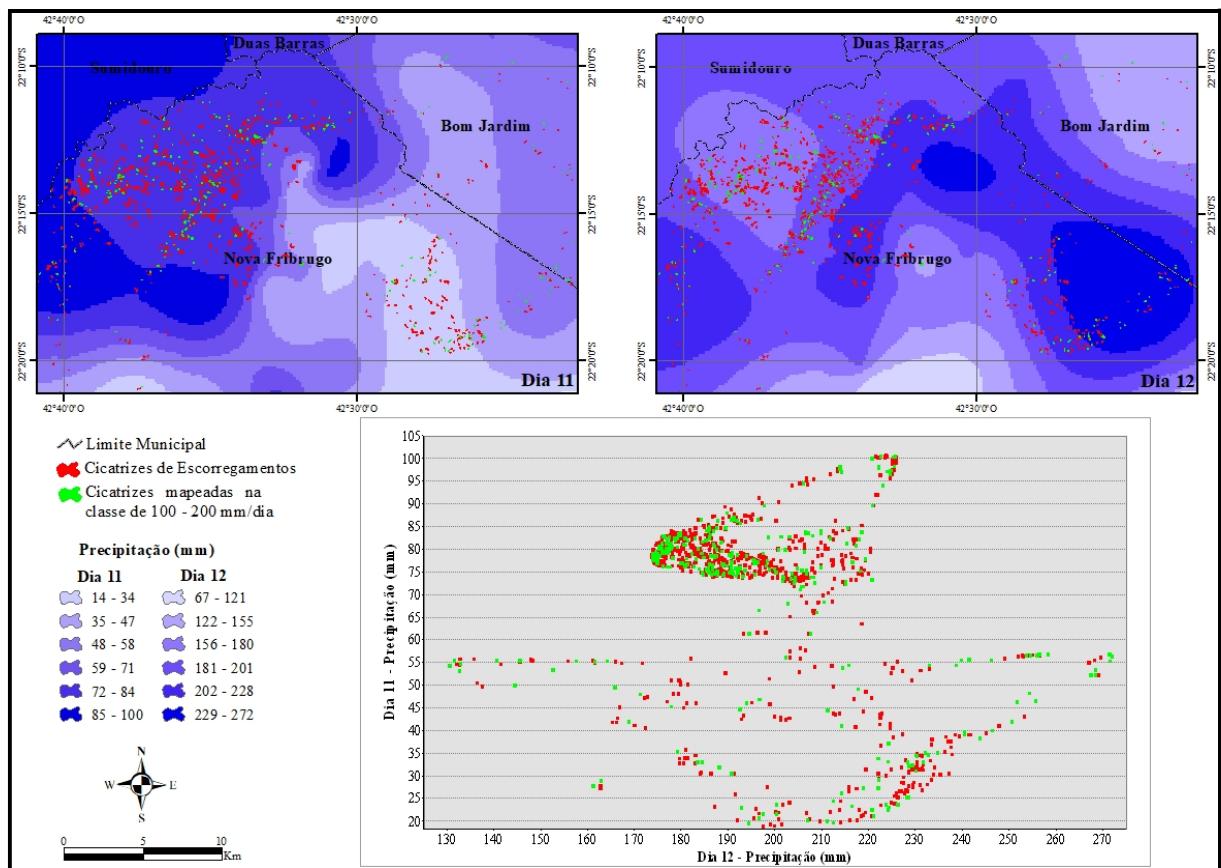


Figura 5. 26 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas mapeadas em áreas, que, segundo o modelo, necessitam de 100 a 200 mm/dia de chuva para que os escorregamentos ocorram.

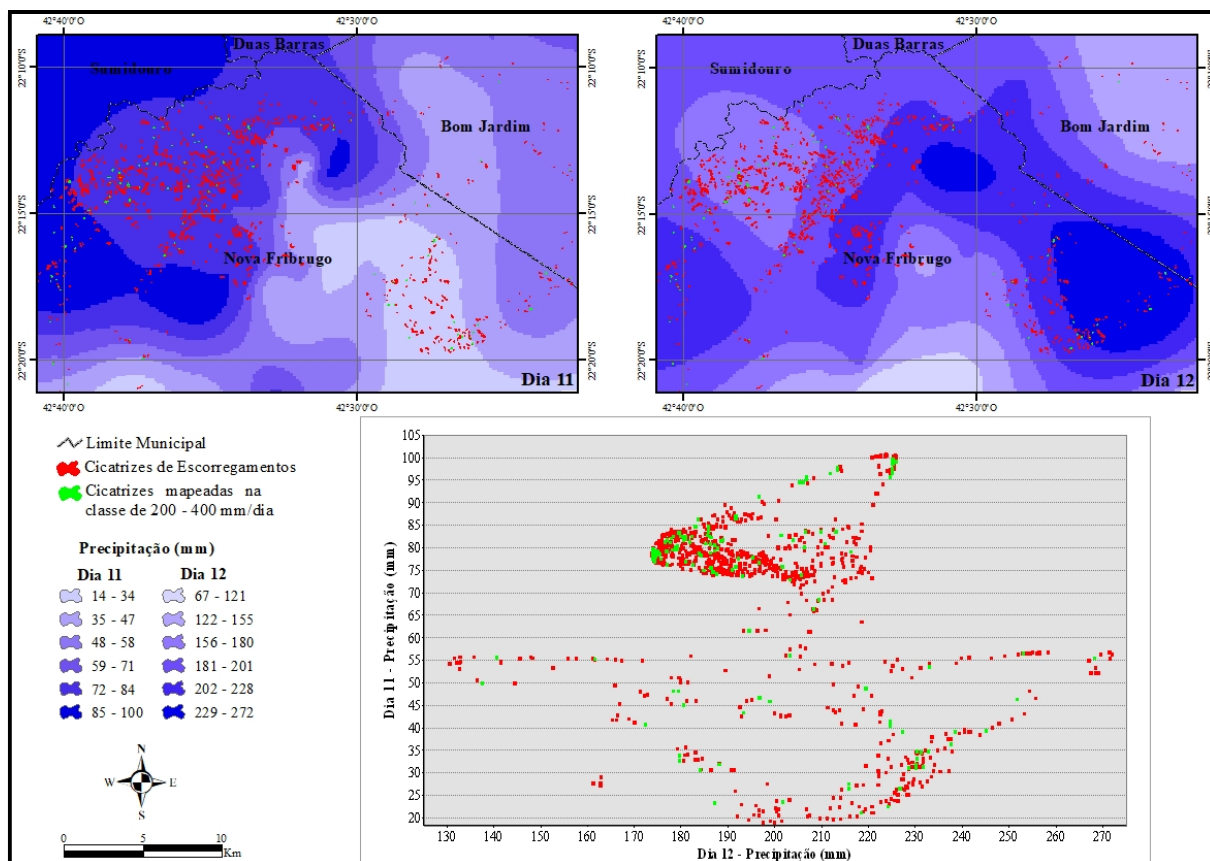


Figura 5. 27 - Distribuição das cicatrizes em função das precipitações ocorridas nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, com destaque para aquelas que, segundo o modelo, necessitam de 200 a 400 mm/dia de chuva.

Por outro lado, ao se considerar as cicatrizes mapeadas na classe em que o modelo estabelece um limiar de chuva de 0 a 50 mm/dia, observa-se que muitas delas foram identificadas em áreas onde a precipitação foi muito baixa no dia 11, porém elevada no dia 12. Na porção sudeste da área de estudo, por exemplo, onde se observa um número considerável de cicatrizes nessa classe, a precipitação no dia 11 não chegou a 20 mm, contudo, no dia 12 chegou a 200 mm (Figura 5.24). Portanto, a probabilidade desses escorregamentos terem acontecidos no dia 12 é bem maior, ou seja, houve uma delimitação excessiva por parte do modelo, o qual identificou uma maior ocorrência no dia 11.

Assim, pelo posicionamento das cicatrizes em função do limiar de precipitação definido pelo modelo, foi possível identificar os escorregamentos que ocorreram no primeiro e no segundo dia do evento. É importante ressaltar que, quando se tem o modelo sendo alimentado em tempo real, ou seja, sendo acionado por classes de estabilidade, bem como a previsão do tempo do dia seguinte pode-se identificar as áreas que vão, de fato, escorregar. Com estas informações, é possível retirar a população, dessas áreas, em tempo hábil, e, deste modo, minimizar os eventuais impactos que possam ocorrer.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira parte da pesquisa foram mapeadas as áreas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos rasos de todo território brasileiro, a partir do emprego do modelo SHALSTAB, tendo sido definido o grau de susceptibilidade de cada região do Brasil. Os resultados indicaram que o Sudeste é a região com o maior quantitativo de áreas susceptíveis, seguida da região Sul e Nordeste. Indicaram, também, que nas regiões Centro Oeste e Norte, o percentual de área de susceptibilidade é pequeno, quando comparado com as demais regiões.

Adicionalmente, foram identificadas, por meio de estatística zonal, as áreas urbanas dessas regiões, delimitadas em função dos setores censitários, que apresentam em maior ou menor grau susceptibilidade aos escorregamentos nas encostas. Foi observado, que os municípios localizados nos estados da região Sudeste, como Angra dos Reis/RJ, Novas Friburgo/RJ, Petrópolis/RJ, Teresópolis/RJ, Rio de Janeiro/RJ, bem como os da região metropolitana de São Paulo e do litoral paulista como Ubatuba, Caraguatatuba, São Sebastião, Guarujá e Santos, além daqueles localizados na região metropolitana de Belo Horizonte/MG e da grande Vitória/ES, são os que concentram as áreas urbanas com as maiores susceptibilidades estando, portanto, mais sujeitos aos desastres associados aos eventos de escorregamentos nas encostas, já que nessas áreas existe um grande contingente populacional.

Na região Sul, a segunda mais afetada, entre os municípios que apresentam áreas urbanas com algum grau de instabilidade, destaca-se aqueles localizados nas Serras do Leste Catarinense e na Serra do Mar, como Blumenau, Gaspar, Ilhota e Itajaí.

Para os municípios da região serrana do Rio de Janeiro que apresentaram as maiores áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos (Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo), bem como para o município do Rio de Janeiro foi realizada, também, a análise de variáveis referentes à infraestrutura básica e da renda da população, entre outros aspectos.

Especificamente para os municípios de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, os resultados indicaram que as maiores áreas de instabilidades estão em setores ou comunidades localizadas nos respectivos distritos Sede. Quanto ao Rio de Janeiro, a Comunidade da Rocinha foi a que apresentou, proporcionalmente, maior área de instabilidade.

Os resultados indicaram que, de um modo geral, não existem uma tendência de correlação direta entre a susceptibilidade de uma área à ocorrência desse tipo de evento e as condições de acesso dos domicílios aos serviços de esgotamento sanitário e coleta de lixo

realizada pelo serviço de limpeza direta e a renda dos domicílios, nos setores urbanos analisados.

Também foi realizado o mapeamento de susceptibilidade aos escorregamentos, para a região serrana do Rio de Janeiro, a partir do emprego do modelo SHALSTAB com o uso de um MDT de detalhe. Os resultados indicaram que houve uma melhora significativa das informações para os setores analisados, quando comparado com aqueles obtidos em função do DEM/SRTM. O MDT de detalhe mostrou-se mais satisfatório para o mapeamento de pequenas áreas, visto que permitiu uma avaliação mais precisa dos aspectos morfométricos, com uma melhor discretização do relevo e, deste modo, possibilitou uma melhor delimitação de áreas de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, sendo, portanto, essencial para este tipo de mapeamento.

É importante ressaltar, contudo, que, apesar do mapeamento realizado a partir do uso do DEM/SRTM não demonstrar resultados tão satisfatórios, quando comparado com mapeamento de maior detalhe, para áreas pequenas, este dado é extremamente importante, principalmente tendo em vista a carência de bases topográficas de detalhe no Brasil.

Conforme demonstrado, o DEM/SRTM, aliado às técnicas de geoprocessamento e modelagem matemática pode ser considerado um dado potencial ao mapeamento geomorfológico em escala regional, podendo ser utilizado, sobretudo, em áreas onde não existem mapeamentos de detalhe. Ademais, a partir desse dado é possível identificar regiões urbanas de maior risco aos movimentos de massa e, deste modo, definir locais para futuras intervenções e mapeamentos em nível de detalhe, como o realizado neste trabalho.

Portanto, o DEM/SRTM, pelo menos em análise preliminar, pode ser utilizado para subsidiar importantes instrumentos e ações de planejamento da política urbano. Já os mapeamentos de maior detalhe, como o realizado nesta pesquisa, são úteis para definição de locais para implantação de sistemas de alerta, bem como de planos de defesa civil.

As análises realizadas com a quantidade de chuva ocorrida nos dias 11 e 12/01/2011 e as classes de susceptibilidade do modelo, identificaram temporal e espacialmente a ocorrência dos escorregamentos permitindo separar os escorregamentos que aconteceram nos dois dias do evento. Esta metodologia, se acoplada a informações de previsão do tempo, pode ajudar a antecipar ações mitigadoras para minimizar os impactos provenientes dos movimentos de massa dessa magnitude.

O modelo SHALSTAB aplicado de forma inédita para todo o Brasil constitui-se em um mapeamento eficaz para a identificação de todas as áreas de instabilidades nas encostas,

no território nacional. Além de ser de fácil manuseio, possui custo reduzido, podendo, deste modo, ser utilizado para subsidiar ações de planejamento urbano em áreas de risco natural. Este mapeamento pode ser utilizado para identificação de áreas prioritárias para monitoramento, prevenção e mitigação desse tipo de desastre, sobretudo quando associado a um modelo digital de terreno de detalhe.

É importante destacar que o histórico de desastres associados à ocorrência de escorregamentos no Brasil e, particularmente, no Rio de Janeiro, evidencia, ainda, o baixo investimento para a prevenção e mitigação desse tipo de desastre, apesar da melhoria observada neste sentido nos últimos anos, principalmente após a promulgação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/2012), que trouxe uma série de diretrizes que possibilitam o planejamento por parte de governos locais e, neste sentido, a mitigação de futuros desastres.

Porém, apesar do bom desempenho apresentado pelo modelo, faz-se necessária, ainda, a incorporação de outras informações ao modelo, no sentido de inclusão de dados mais precisos de parâmetros reológicos, bem como de dados de precipitação obtidos em tempo real. Neste sentido, é fundamental a continuidade dos estudos de modo a permitir a incorporação de outros parâmetros ao modelo, que juntamente ao monitoramento de campo, possibilitará melhorias nos resultados obtidos, levando a uma melhor compreensão dos mecanismos envolvidos e, conseqüentemente, a uma previsão mais eficaz deste fenômeno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. A.; MITISHITA, E. A., 2002. **Aerotriangulação de Aerofotos Digitais no Sistema Monorestituído**. Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente – SP, 2002. p.121-125.
- ALMEIDA, J. P. DE., 2013. **Avaliação de perigo de movimentos gravitacionais de massa no município de Itatiaia (RJ) por meio de inventário de cicatrizes gerado com a utilização de imagens ads-80**. Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB/Instituto de Geociências. XVIII, 112 p.
- ALBUQUERQUE, A. O. de (2015) **Utilização de Restituição Aerofotogramétrica para Análise da Influência das Alterações da Rede de Drenagem e Desenvolvimento de Voçorocas Devido a Urbanização no Município de Jacareí (SP)**, 53p., mm, (UnB-GEA, Gestão Ambiental e Territorial, 2015).
- AUGUSTO FILHO, O. & VIRGILI, J. C., 1998. **Estabilidade de taludes**. IN: Oliveira, A. M. D. S. & Brito, S. N. A. D. (Eds.) Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, pp. 243-269.
- AUGUSTO FILHO, O. & WOLLE, C. M., 1996. **Cartas de Risco de Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP**. Solos e Rochas, vol. 19, p. 45-62.
- AMORIM, M. F. DE; QUELHAS, O. L. G.; MOTTA, A. L. T. S. DA., 2014. **A resiliência das cidades frente a chuvas torrenciais: estudo de caso do plano de contingência da cidade do rio de janeiro**. Soc. & Nat., Uberlândia, 26 (3): 519-534, set/dez/2014.
- ARONICA, G. T.; BIONDI, G.; BRIGANDI, G.; CASCONI, E.; LANZA, S.; RANDAZZO, G., 2012. **Assessment and mapping of debris-flow risk in a small catchment in eastern Sicily through integrated numerical simulations and GIS**. journal homepage: www.elsevier.com/locate/pce. Physics and Chemistry of the Earth 49 (2012) 52–63.
- ANSELIN, L., 1995. **"Local Indicators of Spatial Association—LISA,"** Geographical Analysis 27(2): 93–115.
- AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A.; BECKER, L. B.; MENDONÇA, M. B., 2011. **Mechanisms of the recent catastrophic landslides in the**

mountainous range of the Rio de Janeiro, Brazil. In: WORLD LANDSLIDE FORUM, 2, Rome, 2011. Proceeding, Rome, International Programme on Landslides (IPL), 2011. 5p.

BANCO MUNDIAL, 2012. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro.** Jan. 2011. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro.

BARATA F.E., 1969. **Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro,** in: Proceedings, 7th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Soc. Mexicana de Mecanica de Suelos, Vol. 2, 507-516.

BARROSO, J. A. e BARROSO, E. V., 1996. **O Meio Físico como Fator Indispensável ao Planejamento da Expansão das Cidades: O Caso de Niterói – RJ.** Solos e Rochas, vol. 19, 1996. p. 63-77.

BEVEN, K. J. & KIRKBY, M. J., 1979. **A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology.** Bulletin of Hydrological Sciences, 24, 43-69.

BORGOMEIO, E.; HEBDITCH, K. V.; WHITTAKER, A. C.; LONERGAN, L., 2014 **Characterising the spatial distribution, frequency and geomorphic controls on landslide occurrence, Molise, Italy.** Geomorphology 226 (2014), p. 148–161

BRANDÃO, T. F. & SANTOS, R. L., 2009. **O uso de Imagens SRTM na modelagem de fenômenos hidrológicos (escoamento superficial).** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, p. 4663-4670.

BRASIL/CENAD, 2012. **Anuário brasileiro de desastres naturais.** Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2012. 84p.

BAUM, R. L., W. Z. SAVAGE and J. W. GODT, 2002. **TRIGRS: A FORTRAN Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis.** USGS, Colorado, pp. 35.

BAUM, R.L., SAVAGE, W.Z., AND GODT, J.W., 2008, **TRIGRS - A Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis, version 2.0:** U.S. Geological Survey Open-File Report, 2008-1159, 75 p.

- CAMARINHA, P. I. M.; CANAVESI, V. AND ALVALÁ, R. C. S., 2014. **Shallow landslide prediction and analysis with risk assessment using a spatial model in a coastal region in the state of São Paulo, Brazil**. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2449–2468.
- CAMPOS, A. C. P.; VIOLA, D. N.; CUNHA FILHO, M.; VILAR, G.; VAN DER LINDEN, V., 2013. **Identificação da existência de padrão espacial aleatório na distribuição dos pacientes portadores de deficiência física decorrente de doença genética da AACD de Pernambuco**. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.31, n.4, p.598-616.
- CARSON, M. A. & KIRKBY, M. J., 1972. **Hillslope Form and Process**. Cambridge University Press, Cambridge.
- CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2013. **Atlas brasileiro de desastres naturais - 1991 a 2010: volume Rio de Janeiro**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011b. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/>. Acesso em: 21/12/2013.
- CEPED UFSC, 2012. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis. 94p.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1998. **Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.) *Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos*. 3ª. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. p. 415-440.
- CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; AND BÖHNER J., 2015. **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4**. *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991–2007.
- CONRAD O., 2001 **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA), Version: 2.1.0**. Disponível em <http://www.saga-gis.org>. Acessado em 08/08/2014.
- COELHO NETTO, A.L.; SATO, A.M.; AVELAR, A.S.; VIANNA, L.G.G.; ARAÚJO, I.S.; FERREIRA, D.L.C.; LIMA, P.H.; SILVA, A.P.; SILVA, R.P., 2011. **January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil**. In: *WORLD LANDSLIDE FORUM, 2, Rome, 2011. Proceedings...*, Rome, International Programme on Landslides (IPL), 2011. 6p.
- DESMET, P.J.J. & GOVERS, G.A., 1996. **GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units**. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5):427-433.

DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J.; MONTGOMERY, D. R. e MCKEAN, J. **Analysis of Erosion Thresholds, Channel Networks and Landscape Morphology Using a Digital Terrain Model**. Jour. of Geology, vol. 101, 1993. p. 161-180.

EIRD/ONU., 2005. **Marco de Ação de Hyogo 2005-2015: Aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres**. Disponível em http://www.integracao.gov.br/cidadesresilientes/pdf/mah_ptb_brochura.pdf. Acesso em 20/05/2014.

ESRI, Understanding GIS – The ARC/INFO Method. Enviromental Systems Research Institute, Wiley, New York, 1993. 535p.

FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R. & GREENBERG, H. M., 2001. **Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelos de Previsão de Áreas Susceptíveis**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n 1, p. 51-71.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H., 2004. **Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidences and modeling**. Catena, 55(2):163-181.

FERNANDES, N. F. e AMARAL, C. P., 1996. **Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológica - Geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123-194.

GEO-RIO, 2016. **Os 50 maiores acidentes geológico-geotécnicos na cidade do rio de janeiro entre 1966 e 2016**. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro: Diretoria de Estudos e Projetos Gerência de Programas Especiais. Relatório Técnico. 113p.

GOMES, R. A. T., 2002. **Condicionantes Geomorfológicos e o Efeito da escala Cartográfica na Previsão de Áreas Críticas a Deslizamentos**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. Departamento de Geografia/UFRJ.

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; FERNANDES, N. F., 2005. **Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (SHALSTAB) em diferentes escalas cartográficas**. Revista Solos e Rocha, 28 (1): 85-97.

GOMES, R. A. T., 2006. **Modelagem de previsão de movimentos de massa a partir da combinação de modelos de escorregamentos e corridas de massa**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. Departamento de Geografia/UFRJ.

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A., FERNANDES, N. F., AMARAL JÚNIOR, E. V. DO., 2013. **Combining Spatial Models for Shallow Landslides and Debris-Flows Prediction**. *Remote Sensing*, 5, 2219-2237; doi:10.3390/rs5052219.

GONÇALVES, L. F. H. & GUERRA, A. J. T., 2001. **Movimentos de Massa na Cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro)** In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.) *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 189-252.

GONÇALVES, M. G., 2013. **Mapeamento Automático de Cicatrizes de Deslizamentos em Regiões Montanhosas**. Dissertação de Mestrado - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 164 p.

GRIM, A. M., 2009. **Clima da Região Sul do Brasil**. In: CAVALCANTI, N. J. et al. (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 259-27.

GUIMARÃES, R. F., 2000. **Utilização de um Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis à Escorregamentos Rasos com Controle Topográfico: Adequação e Calibração em Duas Bacias de Drenagem**. Tese de Doutorado, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000. 156p.

GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; OLIVIERA, S. N.; FERNANDES, N. F., 2009. **Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos**. *Revista Brasileira de Geociência*. 39(1): 190-198.

GUIMARÃES, R. F., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. M., FERNANDES, N. F., GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A., 2003. **Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro**. *Eng. Geol.* 69(1-2), 99-108.

GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; OLIVIERA, S. N.; FERNANDES, N. F., 2009. **Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos**. *Revista Brasileira de Geociência*. 39(1): 190-198.

- GUNTHER, A., 2012. **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA), Version: 2.1.4.** <http://www.saga-gis.org>.
- GUIDICINI, G. & IWASA, O. Y., 1976. **Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamento em Meio Tropical Úmido.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo. 48p.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M., 1984. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** Edgard Blucher Ltda. São Paulo 194p.
- HIGHLAND, L.M., & BOBROWSKY, P., 2008. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides:** Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.
- IBGE, 2010 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico:** IBGE, 2010.
- IBGE, 2012 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Unidades de relevo.** Atlas Geográfico Escolar. 6.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- IBGE, 2012 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Esboço geológico.** Atlas Geográfico Escolar. 6.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- IVERSON, R. M., 2000. **Landslide triggering by rain infiltration.** Water Resources Research 36: 1897-1910.
- JARVIS, A., REUTER, H.I.; NELSON, A.; GUEVARA, E.; 2008. **Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database:** <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- JEONG, S. S.; KIM, J. H. KIM, Y. M. E BAE, D. H., 2014. **Susceptibility assessment of landslides under extreme-rainfall events using hydro-geotechnical model; a case study of Umyeonsan (Mt.), Korea.** Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 2, 5575 -5601, 2014.
- JONES F.O.,1973. **Landslides in Rio de Janeiro and Serra das Araras escarpment, Brazil:** U.S. Geological Survey Professional Paper 697, 42p.
- JORNAL VALOR ECONÔMICO, 2016. <http://www.valor.com.br/brasil/4476450/chuva-causa-deslizamentos-de-terra-e-mortes-na-grande-sao-paulo>. Acesso em 20/04/2016.

- KIRSCHBAUM, D.; ADLER, R.; ADLER, D.; LIDARD, C. P.; HUFFMAN, G., 2012. **Global Distribution of Extreme Precipitation and High-Impact Landslides in 2010 Relative to Previous Years.** Journal of Hydrometeorology. v. 13. p 1536 - 1551.
- LARSEN, I.J., MONTGOMERY, D.R., 2012. **Landslide erosion coupled to tectonics and river incision.** Nat. Geosci. 5, p. 468 - 473.
- LEHNER, B.; VERDIN, K.; JARVIS, A., 2006. **Hydrosheds.** Technical Documentation, v.1, Appendix to HYDROSHED.
- LEHNER, B.; VERDIN, K.; JARVIS, A., 2008. **New Global Hydrography Derived From Spaceborne Elevation Data.** Eos Trans, AGU, v.89, n.10.
- LISTO, F. DE L. R., VIEIRA, B. C., 2012. **Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil.** In Geomorphology, volumes 169-170, pag. 30-44.
- MACHADO, W. P., 2011. **Análise do comportamento da coesão crítica relacionada a instabilidade de encosta utilizando dados de chuva do sensor TRMM no município de Paraty (RJ).**, 2011. 82 f. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geografia, Universidade de Brasília.
- MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M., 2006. **Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina.** CAMINHOS DE GEOGRAFIA - 8 (17) 72 - 84, fev/2006. Revista on line. <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acessado em 16/08/2105.
- MARTINI, L. C. P.; UBERTI, A. A. A.; SCHEIBE, L. F., COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. DE., 2006. **Avaliação da Susceptibilidade a Processos Erosivos e Movimentos de Massa: Decisão Multicriterial Suportada em Sistemas de Informações Geográficas.** Geologia. USP Série. Científica, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 41-52, julho 2006. Disponível on-line no endereço www.igc.usp.br/geologiausp. Acesso em: 03/04/2012.
- MENDES, R.M. AND FILHO, M.V., 2015. **Real-Time Monitoring of Climactic and Geotechnical Variables during Landslides on the Slopes of Serra do Mar and Serra da Mantiqueira (São Paulo State, Brazil).** *Engineering*, 7, 140-159. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2015.73012>.
- MCKEAN, J., BUECHEL, S., GAYDOS, L., 1991. **Remote Sensing and Landslide Hazard Assessment.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57(9). p. 1185-1193.

- MINDER, J. R., ROE, G. H., & MONTGOMERY, D. R., 2009. **Spatial patterns of rainfall and shallow landslide susceptibility.** Water Resour. Res., 45, W04419, doi:10.1029/2008WR007027.
- MILDE, L. C. E.; MORAES, J. M.; FERRAZ, F. F. de B.; MORTATTI, J. & SCHULER, A. E., 1999. **Uso do Hecprepro no Tratamento de Modelo Digital de Terreno em Hidrologia: Estudo de Caso.** Revista Geociências 18 (2), São Paulo, 1999. p. 285 - 301.
- MONTGOMERY, D. R. AND DIETRICH, W. E., 1994. **A Physically-Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding.** Water Resources Research, 30, 1153-1171.
- MONTGOMERY, D. R., SULLIVAN, K., AND GREENBERG, H. M., 1998. **Regional test of a model for shallow landsliding, Hydrological Processes**, v. 12, p. 943-955.
- MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., LADSON, A. R., 1991. **Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications.** Hydrological Processes, 5(1):3-30.
- NIMER, E., 1979. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p. (Recursos naturais e meio ambiente).
- OLIVEIRA FILHO, G. R, DE, 2012. **Os movimentos de massa na região serrana do estado do Rio de Janeiro em 2011: diagnóstico e proposição de medidas para enfrentamento de desastres ambientais.** CES Revista, v. 26, n.1 – p. 149-164, jan./dez. 2012.
- OLIVEIRA, N. S. DE, 2014. **Relação entre chuva e deslizamento em Nova Friburgo/RJ.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014, 145 p.
- O'LOUGHLIN, E.M., 1986. **Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis.** Water Resources Research 22, 794– 804.
- PADILHA, S. F., 2011. **Simulações de Eventos de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro usando o Modelo WRF.** Rio de Janeiro: UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2011.
- PACK, R. T., D. G. TARBOTON and C. N. GOODWIN. 1998. **Terrain Stability mapping with SINMAP, Technical description and users guide for version 1.00.** Report and software available from <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/>.

- PINHO, G. M. DE; FRANCISCO, C. N.; SALGADO, C. M., 2013. **Análise espacial dos movimentos de massa em Nova Friburgo/RJ: O caso do desastre natural de Janeiro de 2011**. Rev. Tamoios, São Gonçalo (RJ), ano 09, n. 1, pags. 16-27, jan/jun. 2013
- POCIDONIO, E. A. L.; SILVA, T. M. DA, 2011. **A natureza enquanto atração e repulsão no município de Angra dos Reis – RJ**. Geo UERJ - Ano 13, nº. 22, v. 2, p. 422-446 - ISSN 1981-9021 <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj>.
- PRANDINI, F. L.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J. A.; SANTOS, A. R. DOS., 1980. **Carta Geológica dos Morros de Santos e São Vicente: Condicionantes do Meio Físico para o Planejamento da Ocupação Urbana**. Série Monografia 3 - Instituto Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1980. 31p.
- QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALLIER, P. AND PLANCHON, O., 1991. **The Prediction of Hillslope Flow Paths for Distributed Hydrological Modelling Using Digital Terrain Models**. In: BEVEN, K. J. and MOORE, I.D. (ed.), Terrain Analysis and distributed Modelling in Hydrology. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1991. p. 63 - 84.
- RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; CARDOSO, F. B. F.; FERNANDES, N. F., 2007. **Algorithm development for Incorporating soil physical properties of each different soil class in a landslide prediction model (SHALSTAB)**. Solos e Rochas, 30:139-148.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R., 2003. **The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v.57, p.241-262.
- REUTER, H.I.; NELSON, A.; JARVIS, A.; 2007. **An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data**, International Journal of Geographic Information Science, 21:9, 983-1008.
- ROSA FILHO, A. & CORTEZ, A. T. C., 2010. **A problemática socioambiental da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento da “Suíça Brasileira”**. Revista Brasileira de Geografia Física 03 (2010) 33-40. Homepage: www.ufpe.br/rbgfe.
- LUIZ, A. S., (2015). **Utilização de modelagem matemática para identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos na Serra das Araras (RJ)**. 52p. (UnB-IH-GEA-LSIE, Mestrado).

- SANJIT K. DEB & ALY I. EL-KADI., 2009. **Susceptibility Assessment Of Shallow Landslides On Oahu, Hawaii, Under Extreme-Rainfall Events**. Journal Geomorphology 108. p 219–233.
- SAN, B. T., 2014. **An evaluation of SVM using polygon-based random sampling inlandslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya, Turkey)**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 26 (2014) 399–412.
- SANTOS, J. P. dos; OLIVEIRA, S. V. de; STEINK, V.; GARCÍA-ZAPATA, M. T. A., 2014. **Análise da distribuição espacial da hantavirose no distrito federal, brasil, 2004-2010**. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde - Hygeia 10 (18): p. 98 – 109.
- SBROGLIA, R. M.; HIGASHI, R. A. DOS R.; TOMAZZOLI, E. R. & GUIMARÃES, R. F., 2016. **Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/ Sc, Com o uso de modelagem matemática**. Revista Brasileira de Cartografia, nº 68/2. P. 339-354, Fev/2016.
- SEA-INEA. Rio de Janeiro (Estado). Secretaria Estadual do Ambiente, 2011. **O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro** / Organizadoras: Julia Bastos e Patricia Napoleao. – Rio de Janeiro: SEA; INEA, 2011.
- SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE - SEA, 2014. **Plano Regional de Saneamento com Base Municipalizada nas Modalidades Água, Esgoto e Drenagem Urbana dos Municípios de: Areal, Carmo, São José Do Vale Do Rio Preto, Sapucaia, Sumidouro E Teresópolis (Relatório Técnico)**.
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E URBANISMO, 2012. **Plano Diretor de Petrópolis -Diagnóstico** – V 1. Petrópolis: Prefeitura Municipal de Petrópolis, 2012. 89 p. Disponível em:http://www.petropolis.rj.gor.br/pmp/phocadownload/planejamento/comcidade/diagnostico/diagnostico_05_04.pdf. Acessado em 12 jun. 2015.
- SELBY, M. J., 1993. **Hillslope Materials and Processes**. Oxford University Press, New York. 446p.

- SESTINI, M. F., 1999. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG.** São José dos Campos: INPE. 140p.
- SILVA, E. L.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A., 2013. **Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória – ES.** Soc. & Nat., Uberlândia, 25 (1): 119-132.
- SILVA, D. C. DE O. E., 2006. **Aplicação do Modelo Shalstab na Previsão de Deslizamentos em Petrópolis, Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 132p.
- SMITH, B.; SANDWELL, D., 2003. **Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data.** Geophysical Research Letters, Washington, v.30, n.9, p.1-4.
- SOILLE, P.; GRATIN, P., 1994. **An efficient algorithm for drainage network extraction on DEMs.** Journal of Visual Communication and Image Representation, v.5, n.2, pag.181-189.
- SOILLE, P.; GRATIN, P., 1994. **An efficient algorithm for drainage network extraction on DEMs.** Journal of Visual Communication and Image Representation, v.5, n.2, pag.181-189.
- TARBOTON, D. G., 1997. **A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models.** Water Resources Research, 33(2): 309-319.
- TARBOTON, D. G. **Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM)**, 2005. Disponível em: <<http://hydrology.neng.usu.edu/taudem/>>. Acesso em: 12/11/2013
- TOMINAGA, LÍDIA KEIKO; SANTORO, JAIR; AMARAL, ROSANGELA DO (Organizadores), 2009. **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico. 196 p.
- TIGA ENTRALGO, J. F., 2013. **Análise Espacial e Estatística dos Movimentos de Massa Deflagrados pelas Chuvas dos dias 11 e 12 de Janeiro de 2011, na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB/FT/ENC, 2013, 99p.

- TRAVELLETTI, J.; MALET, J.P.; DELACOURT C., 2014. **Image-based correlation of Laser Scanning point cloud time series for landslide monitoring**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 32 (2014) 1-18.
- VALDÉS, J., 2006. **A redução de risco de desastres: uma chamada para ação**. Programa Delnet – Centro Internacional de Formação da Organização Internacional do trabalho (CIT/OIT), nº 3.
- VIEIRA, B. C., FERNANDES, N. F., AND FILHO, O. A., 2010. **Shallow landslide prediction in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil**, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 1829–1837, doi:10.5194/nhess-10-1829-2010.
- ZHANG, W. & MONTGOMERY, D. R., 1994. **Digital elevation model grid size, landscape representation, hydrologic simulations**. Water Resources Research. 30, pp. 1019-1028.
- ZAIDAN, R. T. & FERNANDES, N. F., 2009. **Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego da Independência – Juiz de Fora (MG)**, Revista Brasileira de Geomorfologia., 10, 57–76.
- ZEILHOFER, P., 2001. **Modelação do relevo e obtenção de parâmetros fisiográficos na bacia do Rio Cuiabá**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6.
- ZIZIOLI, D.; MEISINA, C.; VALENTINO R.; AND MONTRASIO, L., 2013. **Comparison between different approaches to modeling shallow landslide susceptibility: a case history in Oltrepo Pavese, Northern Italy**. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 559–573.
- WOLLE, C. M. & CARVALHO, C. S., 1989. **Deslizamentos em Encostas na Serra do Mar – Brasil**. Solos e Rochas, vol. 12. p. 27-36.
- WU, W. & R. C. SIDLE., 1995. **A distributed slope stability model for steep forested basins**. Water Resources Research 31: 2097-2110.
- ZARUBA, Q & MENCL, V., 1976. **Landslides and their control**. Amsterdam: Elsevier. 205p.