



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciência

Faculdade de Engenharia

Indiara Bruna Costa Moura Moraes

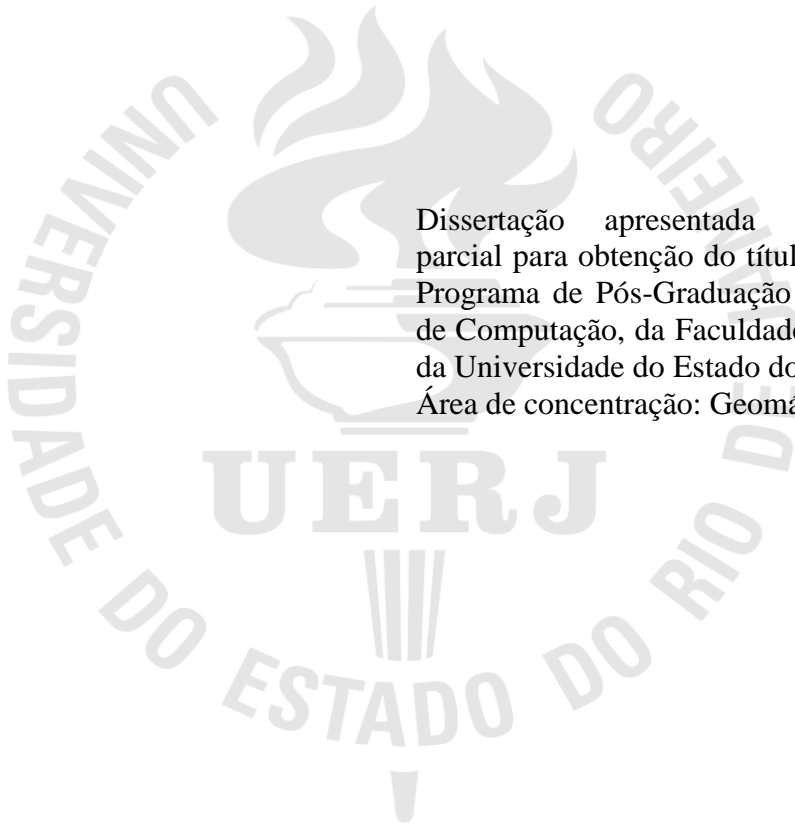
**Mapeamento digital de áreas suscetíveis a escorregamento na parte  
continental do município de Angra dos Reis, RJ**

Rio de Janeiro

2012

Indiara Bruna Costa Moura Moraes

**Mapeamento digital de áreas suscetíveis a escorregamento na parte continental do município de Angra dos Reis, RJ**



Dissertação apresentada com requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geomática.

Orientadores: Prof. Dr. Gilberto Pessanha Ribeiro

Prof. Dr. Dante Gama Larentis

Rio de Janeiro

2012

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

M828 Moraes, Indira Bruna Costa Moura.  
Mapeamento digital de áreas suscetíveis a escorregamento na parte continental do município de Angra dos Reis, RJ / Indira Bruna Costa Moura Moraes. - 2012.  
90 f.

Orientador: Gilberto Pessanha Ribeiro.

Coorientador: Dante Gama Larentis.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia de Computação. 2. Deslizamento de terras – Dissertação. 3. Sistemas de informação geográfica – Dissertação. 4. Análise multicriterial (Processo decisório) – Dissertações. I. Ribeiro, Gilberto Pessanha. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 624.131.537

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Indiara Bruna Costa Moura Moraes

**Mapeamento digital de áreas suscetíveis a escorregamento na parte continental do município de Angra dos Reis, RJ**

Dissertação apresentada com requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geomática.

Aprovado em: 17 de Agosto de 2012.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Gilberto Pessanha Ribeiro (Orientador)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniella Tancredo de Matos Alves Costa  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Julio Fortes  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marli Cigagna  
Universidade Federal Fluminense – UFF

Rio de Janeiro

2012

## **DEDICATÓRIA**

À minha família e meus amigos que sempre estiveram ao meu lado e me aturaram durante este período. E a DEUS que não me abandonou nos momentos difíceis vividos durante esta pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Ao Dante Gama Larentis, meu co-orientador amigo, presença segura, competente e estimulante.

Ao professor Gilberto Pessanha Ribeiro, por ter sido meu orientador.

À professora Alessandra Carreiro Baptista, que sempre me apoiou e incentivou em minha jornada acadêmica.

Aos demais professores e amigos do curso de Geomática, que contribuíram de alguma forma para minha formação.

Ao geólogo Marcelo Salomão, pela ajuda imprescindível.

As amigas que adquiri neste mestrado para toda a vida: Nirvana e Flávia.

Aos amigos Carlos Renato, Carla Cristina e Fernanda Vissirini que me socorreram nos momentos difíceis.

À minha irmã que segurou minha ansiedade.

A todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento dessa dissertação.

## RESUMO

MORAES, Indiara Bruna Costa Moura. **Mapeamento digital de áreas suscetíveis a escorregamento na parte continental do município de Angra dos Reis, RJ.** 2012. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a classificação resultante do emprego da Avaliação de Multicritérios, utilizando a técnica AHP (Analytic Hierarchy Process), em ambiente SIG, para o mapeamento de áreas suscetíveis à escorregamento no município de Angra dos Reis. O estudo exigiu duas imagens Landsat 7 TM, obtidas respectivamente em 14/08/2006 e 17/06/2005. O produto gerado será comparado com os dados já existentes disponibilizados pela Defesa Civil do município, servindo de auxílio às ações no processo de gestão territorial, dando suporte ao planejamento e execução de projetos ambientais e de engenharia e apoio a tomadas de decisões governamentais, evitando novos desastres como os ocorridos em 31/12/2009 e 01/01/2010.

Palavras-chave: Tomada de decisão; Sistema de Informação Geográfica; Análise multicriterial; Áreas suscetíveis a escorregamento.

## **ABSTRACT**

The present work has like goal analyze the result classification of the use of the Advanced Evaluation, using the AHP technique (Analytic Hierarchy Process), at SIG ambience to map the susceptible slipping areas of Angra dos Reis City. The study demanded two Landsat 7 TM images, respectively took in 08/14/2006 and 06/17/2005. The produced result will be compared with the available information already given by the Defesa Civil oh the city, serving like aid to the process of land management actions, giving support on the planning and execution of environmental projects and help on taken governmental decisions, avoiding new disasters like the ones in 12/31/2009 and 01/01/2010.

Keywords: Decision-making; Geographic Information System; Multicriteria analysis; Areas susceptible to land sliding.



## ABREVIATURAS E SIGLAS

AMC	Avaliação Multicritérios
AHP	Analytic Hierarchy Process
BD	Banco de Dados
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DRM-RJ	Departamento de Recursos Minerais no Estado do Rio de Janeiro
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMG	Movimentos de Massa Gravitacionais
MNT	Modelo Numérico de Terreno
PI	Plano de Informação
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIG	AMC - Sistema de Informação Geográfica baseado na Avaliação Multicritério
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
TDMC	Tomada de Decisão Multicritério

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de Localização do Município de Angra dos Reis.....	16
Figura 2	Mapa de Localização das Estações Pluviométricas no Município de Angra dos Reis.....	24
Figura 3	Organização da base de dados em níveis de informação.....	32
Figura 4	Representação matricial e vetorial de um mapa analógico (ROHN, 2003).....	33
Figura 5	Estrutura hierárquica genérica de problemas de tomada de decisão .....	43
Figura 6	Valores de graus de importância relativa entre os fatores .....	43
Figura 7	Exemplo de uma matriz de comparação pareada .....	43
Figura 8	Mapa de Declividade do Município de Angra dos Reis. ....	46
Figura 9	Mapa Geomorfológico do Município de Angra dos Reis.....	48
Figura 10	Mapa do Uso e Cobertura da Terra do Município de Angra dos Reis. ....	53
Figura 11	Estações Pluviométricas Utilizadas. ....	55
Figura 12	Carta de Suscetibilidade à Escorregamento do Município de Angra do Reis .....	64
Figura 13	Carta de Suscetibilidade à Escorregamento com os pontos de deslizamentos do Município de Angra do Reis.....	66
Figura 14	Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetibilidade a Escorregamento .....	68
Figura 15	Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetibilidade a Escorregamento (2).....	70
Figura 16	Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetibilidade a Escorregamento (3).....	72
Figura 17	Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetibilidade a Escorregamento (4).....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação da rede hidrográfica do Rio de Janeiro, de acordo com deliberação nº 804 da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA).....	20
Tabela 2	Tabela contendo as classes de declividades utilizadas.....	45
Tabela 3	Tabela contendo as classes declividades.....	57
Tabela 4	Tabela contendo as classes geomorfológicas.....	58
Tabela 5	Tabela contendo as classes pedológicas.....	58
Tabela 6	Tabela contendo as classes do uso e cobertura do solo.....	59
Tabela 7	Valores de índice aleatório.....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Clima - Classificação de Wilhem Köppen para região de Angra dos Reis, por SOARES, EP 2006. ....	22
Quadro 2	Classificação sintética dos movimentos de massa segundo VARNES (1978)....	26
Quadro 3	Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento, segundo AUGUSTO-FILHO (1992). ....	27
Quadro 4	Classificações de algumas propostas brasileiras de movimentos de massa gravitacionais (modificado de AMARAL JR., 2007).....	29

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA GEOGRÁFICA</b> .....	16
1.1. <b>Município de Angra dos Reis</b> .....	16
1.2. <b>Relevo</b> .....	17
1.3. <b>Aspectos Pedológicos</b> .....	17
1.4. <b>Aspectos Geomorfológicos</b> .....	18
1.5. <b>Hidrografia do Município de Angra dos Reis</b> .....	20
1.6. <b>Clima</b> .....	22
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	24
2.1 <b>Classificação e Caracterização de Movimentos de Massa Gravitacionais (MMG) em Encostas</b> .....	24
2.2 <b>Precipitação</b> .....	30
2.3 <b>Sistema de Informações Geográficas</b> .....	31
2.3.1 <u>Modelagem de dados geográficos</u> .....	31
2.3.2 <u>BD – Bancos de Dados</u> .....	32
2.3.3 <u>SGBD – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados</u> .....	33
2.3.4 <u>MNT – Modelo Numérico de Terreno</u> .....	34
2.4 <b>Avaliação Multicriterial</b> .....	34
2.4.1 <u>Método AHP</u> .....	36
2.4.2 <u>Vantagens e desvantagens do método AHP</u> .....	38
2.5 <b>SIG e Avaliação Multicritérios</b> .....	40
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	44
3.1 <b>Material e Métodos</b> .....	44
3.1.1 <u>Carta de Declividades e Suas Classes</u> .....	44

3.1.2	<u>Carta Geomorfológica</u> .....	47
3.1.3	<u>Carta Pedológica</u> .....	49
3.1.4	<u>Mapa de Uso e Cobertura da Terra</u> .....	51
3.2	<b>Metodologia Utilizada para a Suscetibilidade a Escorregamentos</b> .....	54
3.2.1	<u>Avaliação Pluviométrica</u> .....	55
3.2.2	<u>Descrição dos Fatores</u> .....	56
4.	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E SUA ANÁLISE</b> .....	62
5.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	75
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	76
	<b>ANEXO A – Planilhas dos postos pluviométricos Angra dos Reis e São Bento</b> ....	82
	<b>Posto Angra dos Reis</b> .....	82
	<b>Posto São Bento</b> .....	83
	<b>ANEXO B – Planilhas dos demais postos pluviométricos</b> .....	84
	<b>Posto Vila Mambucaba</b> .....	84
	<b>Bracuí</b> .....	85
	<b>Patrimônio</b> .....	86
	<b>São Roque</b> .....	87
	<b>Vila Perequê</b> .....	88
	<b>ANEXO C – Planilha da estação Angra dos Reis referente aos meses 12/2009 e 01/2010</b> .....	89
	<b>ANEXO D – Planilha da estação São Bento referente aos meSES 12/2009 e 01/2010</b> .....	90

## INTRODUÇÃO

As questões ambientais estão entre as mais complexas com as quais tomadores de decisões se deparam hoje em dia. A dinâmica dos sistemas atmosférico e hidrológico da Terra mostra que todos os sistemas ambientais estão fortemente interrelacionados, são dinâmicos e espaciais. Impactos ambientais em uma determinada localização geográfica têm, geralmente, efeito sobre outros lugares (KEMP, 1992).

O acelerado processo de urbanização e o crescimento desordenado das cidades mudam severamente a paisagem, marcada por diferentes processos do meio físico, em geral, associados a alguma degradação ambiental. Feições erosivas, decorrentes da má gestão do uso da Terra e da falta de planejamento urbano, provocam impactos ambientais, pela produção de sedimentos que vão assorear os cursos d'água levando à ocorrência de enchentes com mais frequência. Os deslizamentos é um fenômeno que tem preocupado o homem nas últimas décadas, despertando grande interesse de muitos pesquisadores no que se refere às causas que levam a sua origem, evolução e controle, em razão desta atingir e inutilizar extensas áreas de terras, levando, até mesmo, a uma descaracterização completa do meio físico.

Os movimentos de massas são reconhecidos como os mais importantes processos geomórficos modeladores da superfície terrestre. Constituem-se no deslocamento de material do solo e rocha vertente abaixo sob a influência da gravidade, sendo desencadeados pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes como água, gelo ou ar (BIGARELLA et al, 2003, p. 1026). Visando a demanda de se conhecer os pontos suscetíveis a escorregamento de massas, incluindo os fatos ocorridos nos dias 31 de dezembro de 2009 e 01 de janeiro de 2010 em Angra dos Reis – RJ tornou-se necessário o mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos, para minimizar os transtornos causados por estas.

Historicamente, o processo de urbanização, resultante da migração intensa da população rural para áreas urbanas, acaba por desencadear processos do meio físico, que por sua vez implicarão em degradação ambiental (SENA, 2008).

Essas áreas, em grande parte dos casos, não dispunham de nenhum tipo de planejamento para receber a nova população, que foi se instalando nos setores periféricos desprovidos de infraestrutura, consubstanciando, assim, o inadequado ordenamento dos territórios urbanos.

Por outro lado, essa intensificação do uso e do crescimento populacional e econômico ocorre normalmente associada com um aumento da intensidade do processo erosivo (LAL,

1990). Além disto, de acordo com SILVA e GUERRA (2001) no Brasil, o processo de erosão acelerada ocorre de maneira generalizada nas áreas urbanas metropolitanas, devido à ocupação indiscriminada das encostas, resultando na produção de material passível de ser transportado para as calhas fluviais.

O deslizamento de terra em áreas urbanas brasileiras é função de importantes fatores como a água, a topografia, o manejo dos solos e a falta de práticas conservacionistas.

A produção de mapas de susceptibilidade a deslizamentos de terra utiliza algoritmos de processamento de imagens digitais de sensores remotos, em um ambiente computacional de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). De acordo com ALMEIDA (2009), essas cartas representam o diagnóstico obtido por análise espacial, com aplicação de álgebra de mapas, em uma integração lógica de dados nativos das unidades de relevo, geomorfologia, pedologia, vegetação, declividade, pluviosidade, clima e do uso da Terra.

Nos últimos anos, diversos sistemas de apoio à decisão, apropriados à determinação, para uma ou mais finalidades, de áreas de riscos, etc., têm sido desenvolvidos ou adaptados para operar em um ambiente SIG, destacando-se aqueles que têm por base a avaliação de múltiplos critérios, como os métodos da Análise Booleana, da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada (Vetorazzi, 2006).

A diferença entre os diversos métodos está na forma de agregação dos critérios, principalmente quando se refere à maneira como tratam questões como a probabilidade de sucesso, ou risco e também a possibilidade de compensação entre as importâncias relativas dos fatores, no processo de tomada de decisão (Vetorazzi, 2006).

Nessa conjuntura, foi estabelecida a hipótese de que se podem representar áreas susceptíveis a escorregamento, por cartas, mapeadas por meio de sistemas de apoio à decisão, em um SIG, a partir da análise do meio físico: pedologia, geomorfologia, declividade, uso da Terra e pluviometria. Para testar a hipótese de trabalho, esta pesquisa teve como objetivo elaborar, através do emprego da Avaliação de Multicritérios, em ambiente SIG, um mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos de terra no contexto do município de Angra dos Reis - RJ, auxiliando diretamente às ações no processo de gestão territorial, dando suporte ao planejamento e execução de projetos ambientais e de engenharia.

O município de Angra dos Reis foi escolhido em virtude dos desastres ambientais ocorridos nos dias 31/12/2009 e 01/01/2010, pois se viu a necessidade, mesmo que tardia, do mapeamento indicativo das áreas susceptíveis a escorregamento para que se possa evitar uma nova catástrofe como a ocorrida na data acima, onde dezenas de pessoas perderam as suas



vidas e centenas perderam suas moradias. Não é mais permitido o desconhecimento desses processos naturais complexos ou o descaso das autoridades sobre estas áreas. Logo, se torna imprescindível e imperativo o investimento em pesquisas em SIG como as tomadas de decisão, na esfera governamental.

## 1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA GEOGRÁFICA

### 1.1. Município de Angra dos Reis

O município de Angra dos Reis encontra-se localizado no litoral sul fluminense. Ele está localizado no extremo sul do estado do Rio de Janeiro – Brasil, com coordenadas geográficas na latitude  $23^{\circ} 00' 24''\text{S}$  e longitude  $44^{\circ} 19' 05''\text{W}$ , oeste de Greenwich. Sua área total é de  $819 \text{ km}^2$ , onde  $626 \text{ km}^2$  correspondem à parte continental e  $193 \text{ km}^2$  a parte insular. O Município de Angra dos Reis faz limite ao norte com o Município de Bananal (S.P), ao sul com o Oceano Atlântico, a nordeste com o Município de Mangaratiba (RJ) e a oeste com Município de Parati (RJ). A cidade de Angra dos Reis fica a cerca de 150 km da Cidade do Rio de Janeiro e a 411 km da cidade de São Paulo, como se pode observar na figura 1.

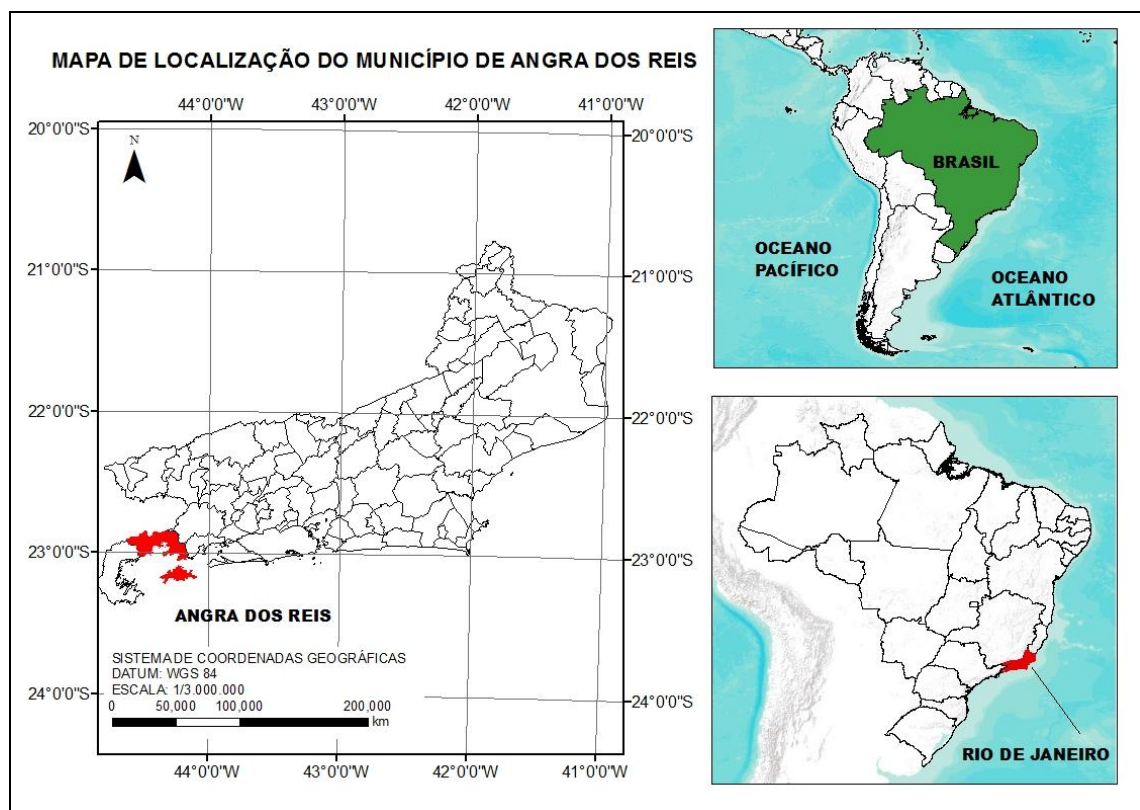


Figura 1 - Mapa de Localização do Município de Angra dos Reis

O Município de Angra dos Reis tem sido palco de um processo de ocupação ímpar em função das suas peculiaridades físicas e históricas. São conflitos que derivam da escassez de áreas para expansão em um sítio prodigioso em paisagens naturais, gradativamente alterado pela pressão imobiliária advinda de um modelo predatório e excludente. Derivam também da implantação de grandes empreendimentos patrocinados pelo regime autoritário da década de

70, que desconsideraram os impactos negativos sobre a população residente e o meio ambiente natural além de alterar sobremaneira a apropriação do solo no Município (Fonte: Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano de Angra dos Reis). Resultaram enfim, em uma ocupação irregular entre o mar e as montanhas, com praias privatizadas por condomínios de luxo, encostas ocupadas por população de baixa renda e a constante preocupação com acidentes ecológicos.

## **1.2. Relevo**

O seu relevo caracteriza-se pela proximidade da Serra do Mar, que terminando abruptamente junto ao oceano, forma uma costa rochosa recortada com diversas reentrâncias e pontões. O relevo não é absolutamente favorável ao desenvolvimento de aglomerados urbanos, uma vez que a região carece de espaços planos disponíveis para expansão dos núcleos urbanos (STERNBERG In: Anuário Geográfico do Rio de Janeiro, 1961).

Fazendo parte do relevo da região de Angra dos Reis, a Serra do mar apresenta uma descontinuidade na direção NE da Baía da Ribeira para o continente, formando uma grande calha entre as Serras da Carioca e a Serra das Araras (nomes locais da Serra do Mar), cujo nível mais elevado possui altitudes de cerca de 600 m, onde estão as vertentes da bacia do Paraíba do Sul e do riacho da Areia, que deságua na Baía da Ribeira. Esse falhamento da cadeia montanhosa torna bastante característico o regime de ventos na região, bem como contribui para o desenvolvimento econômico das regiões de ligação, pois ali foi possível a passagem de uma estrada interligando Angra dos Reis à Volta Redonda, que, igualmente, faz a ligação da rodovia Rio - Santos (BR101) com a Via Dutra (Vale do Paraíba). Seguindo quase o mesmo traçado, o ramal ferroviário faz conexão do porto de Angra dos Reis com as vias férreas do Vale do Paraíba.

## **1.3. Aspectos Pedológicos**

Nas encostas íngremes das porções mais elevadas da escarpa da Serra do Mar, onde a vegetação de floresta ainda se encontra preservada, predominam solos das classes de Neossolos Litólicos e dos Cambissolos (Fonte: DRM-RJ/CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2001; IBGE, 2006). Os Neossolos Litólicos são solos minerais, pouco

desenvolvidos e rasos, o que os tornam menos resistentes ao intemperismo. Estes solos são bastante comuns nas escarpas das serras, associados ao Cambissolo sob vegetação de floresta perenifólia, podendo também ser associados com afloramentos rochosos e Esponssolos, sob floresta subcaducifólia. Já os Cambissolos são solos minerais, não hidromórficos, pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral, pouco profundos, com teores de silte relativamente elevados. Estes solos são dominantes nas regiões serranas, geralmente associados a Latossolos Vermelho- Amarelo, se diferenciando na espessura sob floresta perenifólia, em relevo montanhoso.

Na base da escarpa, onde o relevo torna-se mais suave e a vegetação de floresta já foi removida em parte ou totalmente, predominam solos das classes dos Latossolos e dos Argissolos. Os Latossolos são solos que independem das condições climáticas da região, sendo encontrados tanto em áreas secas quanto em áreas chuvosas e de temperatura amena; de baixa fertilidade, essas áreas são usadas para pastos. (Fonte: DRM-RJ/CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2001; IBGE, 2006).

Nas baixadas litorâneas, formadas basicamente por sedimentos de origem fluvial e marinha, onde o relevo é praticamente plano e o lençol freático encontra-se próximo à superfície, predominam solos hidromórficos das classes Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos e Espodossolos.

#### **1.4. Aspectos Geomorfológicos**

O atual cenário morfológico da região, delineado através da interação entre aspectos tectônicos e climáticos, registra escarpamentos bastante elevados, superior a 1.640m (Pico do Frade) alternados com bacias sedimentares tafrogênicas e depressões (Fonte: DRM-RJ/ CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2001; IBGE, 2006).

O planalto da Serra do Mar se caracteriza como uma superfície de erosão anterior ao surgimento das escarpas serranas, denominado “Superfície dos Campos”.

De acordo com o levantamento geológico do Estado do Rio de Janeiro, revisão de 2003, o Estado do Rio de Janeiro pode ser compartimentado em duas unidades morfoestruturais: o Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares Cenozóicas.

O Cinturão Orogênico do Atlântico compreende um conjunto de rochas metamórficas e ígneas de idade pré-cambriana a paleozóica. Estas rochas passaram por diversos ciclos orogênicos, culminando no final do Proterozóico, com o evento Brasileiro. Na região em estudo esse Cinturão abrange os maciços costeiros e interiores, as superfícies aplainadas nas baixadas litorâneas, as escarpas serranas, os planaltos residuais e as depressões interplanáticas. No município de Angra dos Reis, os maciços costeiros e interiores apresentam uma densidade de drenagem bastante alta, enquanto as superfícies aplainadas nas baixadas litorâneas apresentam uma densidade de drenagem baixa (Relatório CPRM, 2001).

As Bacias Sedimentares Cenozóicas compreendem um conjunto de rochas sedimentares, pouco litificadas, de idade cenozóica, e sedimentos inconsolidados, neocenozóicos. Na região, em estudo ela é representada pelas planícies fluviomarinhas e costeiras, caracterizadas pelas condições de drenagem ruim.

A litologia do Município de Angra dos Reis tem como embasamento rochoso o predomínio de gnaisses diversos, migmatitos, sedimentos holocênicos e granitos pré-cambrianos com características intrusivas, que recebem os nomes de granitos Mambucaba, Angra e Mangaratiba.

As rochas pré-cambrianas são recobertas por sedimentos quaternários/holoceno dos tipos depósitos aluviários, flúvio-marinhos e marinhos de natureza arenosa e areno-argilosa, depósitos coluviais e alúvio-coluviais.

As rochas na região, como decorrência do tectonismo, apresentam expressiva quantidade de fraturas (diga-se falhas e juntas) e dobramentos (mais de uma fase).

Muitos autores ressaltam a importância de estudos geomorfológicos, do crescimento urbano, das áreas de risco e das próprias formas do relevo. Para LIMA E SILVA et al. (2002) o estudo geomorfológico procura entender a superfície terrestre, levando em conta uma abordagem integradora, onde o ambiente (natural e transformado pelo homem) seja o ponto de partida, bem como o objetivo deste ramo de conhecimento. Segundo CERRI (1999) as áreas de risco, tais como, encostas de morros inclinados ou à beira de rios, são regiões onde não é recomendada a construção de casas ou instalações, pois são muito expostas a desastres naturais, como desabamentos e inundações.

### 1.5. Hidrografia do Município de Angra dos Reis

O estado do Rio de Janeiro apresenta uma rede hidrográfica particularmente rica, composta de vários rios navegáveis, responsáveis pela conquista e ocupação do interior.

A hidrografia fluminense está dividida em dez unidades, de acordo com a deliberação nº 804 da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA), de 20.02.1986, como podemos observar na Tabela 1:

Tabela 1 – Classificação da rede hidrográfica do Rio de Janeiro, de acordo com deliberação nº 804 da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA)

<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 0</i></p> <p>Rio Itabapoana</p>	<p>Abrange os municípios das regiões noroeste e norte fluminense, tendo o Itabapoana como rio principal.</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 1</i></p> <p>Bacias contribuintes à Lagoa Feia</p>	<p>Abrange os corpos d'água compreendidos entre as desembocaduras dos rios Paraíba do Sul (margem direita) e Macaé (margem esquerda).</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 2</i></p> <p>Bacias contribuintes aos rios Macaé, São João e Una</p>	<p>Compreende as bacias dos rios Macaé e São João, oriundos das encostas da Serra do Mar, e do rio Una, das colinas cristalinas.</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 3 e 4</i></p> <p>Complexos lagunares de Araruama, Saquarema, Maricá, Piratininga/Itaipu</p>	<p>Compreendem as lagunas e tributários localizados entre Cabo Frio e Niterói.</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 5</i></p> <p>Bacias contribuintes à Baía de Guanabara</p>	<p>Compreende as bacias dos rios que nascem nas encostas da Serra do Mar, nas colinas e nos maciços costeiros e que deságuam na baía de Guanabara. Abrange quase toda a área metropolitana, além de Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito e Petrópolis.</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 6</i></p> <p>Bacia do rio Paraíba do Sul</p>	<p>Compreende a maior bacia hidrográfica do estado, drenando várias regiões (médio Paraíba, Centro-Sul fluminense, Serrana,</p>

	<p>Noroeste e Norte Fluminense). O rio Paraíba do Sul nasce em São Paulo e se estende do município de Resende até o de São Fidélis, segue a Baixada dos Goytacazes, desembocando no oceano Atlântico. Desempenha importante papel na produção de energia hidrelétrica do estado do Rio de Janeiro, além de abastecer os vários municípios que atravessa.</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 7</i> Contribuinte ao sistema de lagunas de Jacarepaguá</p>	<p>Compreende as lagunas Rodrigo de Freitas, Marapendi, Jacarepaguá, Mearim, Tijuca e rios do sul do município do Rio de Janeiro, desde o Canal do Leblon (Jardim de Alá) até o extremo-oeste da Baixada de Jacarepaguá.</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 8</i> Contribuinte à baía de Sepetiba</p>	<p>Compreende os rios que deságuam na Baía de Sepetiba, desde Barra de Guaratiba (no município do Rio de Janeiro) até o limite entre Mangaratiba e Angra dos Reis.</p>
<p><i>REGIÃO HIDROGRÁFICA 9</i> Contribuinte à baía da ilha Grande</p>	<p>Compreende os rios que nascem na encosta da serra do Mar, próximos ao litoral, e deságuam na baía da ilha Grande, nos municípios de Angra dos Reis e Parati.</p>

A região de Angra dos Reis classificada como unidade hidrográfica 9 do Estado do Rio de Janeiro é composta de rios de regime torrencial, congregando os rios que nascem nas encostas da Serra do Mar ou no topo do planalto e seus afluentes, desaguando na Baía da Ilha Grande próximo a esse Município. Estes rios são compostos de sedimentos de partículas finas, característica de rios de área tropical úmida (Fonte: DRM-RJ/ CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2001; IBGE, 2006).

Os principais rios da região são: o Mambucaba que delimita os Municípios de Angra dos Reis e Parati, nascendo no topo do planalto da Serra da Bocaina (nome dado a Serra do Mar na localidade); rio Bracuhy; rio Iriró; rio do Frade; rio Japuiba; rio da Areia; rio da água

Branca; rio dos Meros; rio Perequê-Açu; rio Pequeno; rio São Roque; rio Taquari; rio Grataú e rio Jurumirim.

## **1.6. Clima**

O clima de Angra dos Reis merece atenção especial devido às características que lhe emprestam o relevo e a proximidade do mar. Enquanto no restante da faixa litorânea fluminense o clima se apresenta quente e úmido com estação chuvosa no verão (tipo Aw de Köppen), neste trecho é modificado, passando a apresentar características de grande umidade e aumento nas precipitações. Estas atingem a média de 2279 mm, o que constitui um índice amazônico. Entretanto as precipitações não se distribuem regularmente no decorrer do ano como naquela região. (Bernardes, In: Anuário Geográfico do Rio de Janeiro, 1952).

Os aspectos fisiográficos mais importantes da região definem-se pela vertente atlântica da Serra do Mar, com terrenos montanhosos de forte declividade, estreitas planícies aluviais descontínuas ao longo do litoral e inúmeras enseadas e ilhas, resultantes do afloramento de escarpas diretamente do oceano.

O clima tropical úmido favorece a ocorrência de farta vegetação de floresta tropical úmida (Mata Atlântica) encontrada principalmente nas encostas.

Adotando a classificação de Köppen para a região de Angra dos Reis, foram obtidos 5 tipos de climas, os quais encontram-se especificados, juntamente com suas áreas de atuação e suas características, no Quadro 1.

Quadro 1– Clima - Classificação de Wilhem Köppen para região de Angra dos Reis, por SOARES, EP 2006.



Tipo e Localidade	Classificação	Observações
Clima quente e úmido sem estação seca - Área costeira (Litoral de Mangaratiba até o litoral de São Paulo)	Af	Característico das florestas tropicas, com precipitação mensal $\geq 60$ mm.
Tropical de altitude - Terra altas do sudeste.	Cwb	Chuvas de verão e verões brandos característico das regiões montanhosas das latitudes tropicais e subtropicais. Predominam as chuvas do tipo monções. Verão brando e temperatura média superior a 22°C.
Tropical de altitude - Interior do Sudoeste	Cwa	Chuvas de verão e verões rigorosos. Característico das regiões montanhosas das latitudes tropicais e subtropicais. Verão quente e temperatura média superior a 22°C.
Subtropical - Área leste da Serra do Mar, desde o Município de Teresópolis até o Sul do País.	Cfa	Chuvas bem distribuídas e verões rigorosos. Predomínio de chuvas distribuídas durante todo o ano, sem estação seca. Verão quente e temperatura média superior a 22°C.
Subtropical - Áreas mais altas do planalto Meridional e serras.	Cfb	Chuvas bem distribuídas e verões brandos. Predomínio de chuvas distribuídas durante todo o ano, sem estação seca. Pluviosidade média de 1500 mm/ano. Verão brando onde a temperatura média inferior a 22°C.

Segundo SALGADO et al.(2007), um dos fatores essenciais para a ocorrência de escorregamento nesta região é a pluviosidade – uma das mais altas registradas no território brasileiro. De acordo com DAVIS (2001) a Serra do Mar constitui uma barreira orográfica de extrema importância para a elevada precipitação registrada nesta região. Os fatores latitude e proximidade do mar criam condições de forte radiação solar, fornecimento de umidade e núcleos de condensação, que conjugados à posição da serra em relação à trajetória dos sistemas frontais e linhas de instabilidade, provocam pluviosidade anual geralmente superior a 2000 mm. Abaixo, observa-se a figura 2 que contém a espacialização das estações pluviométricas.

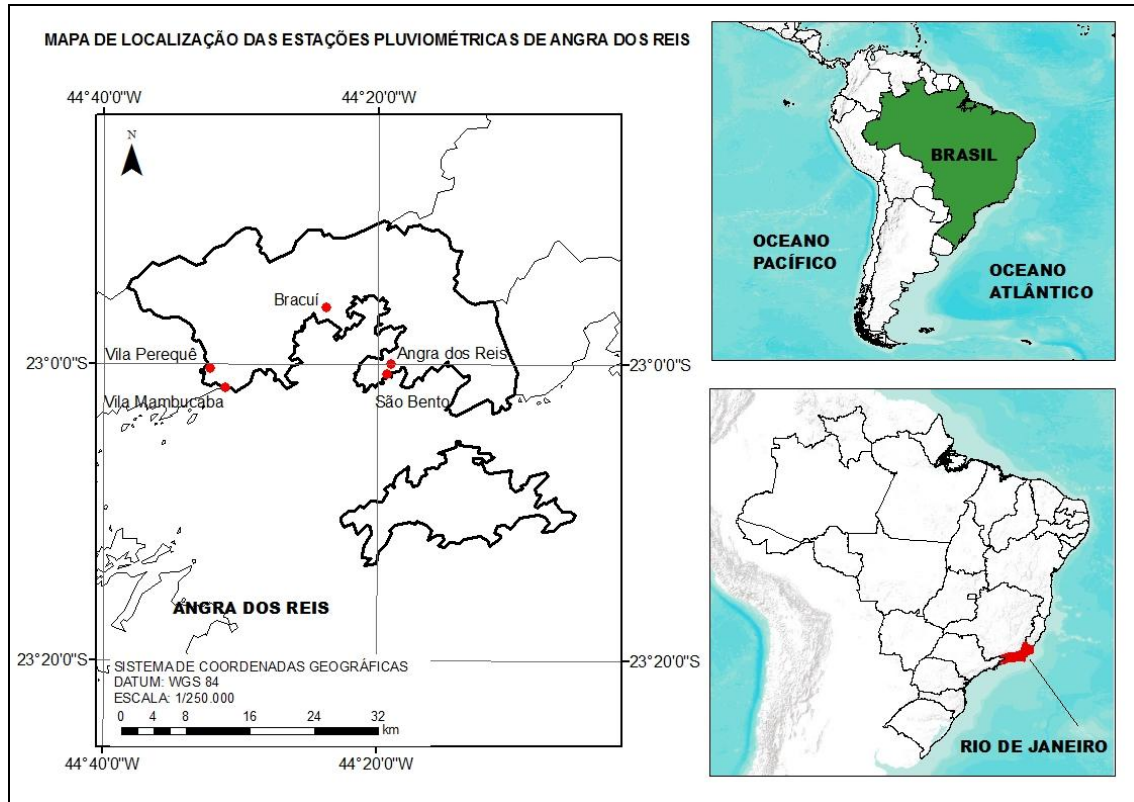


Figura 2 - Mapa de Localização das Estações Pluviométricas no Município de Angra dos Reis

Como é possível visualizar no mapa, as estações pluviométricas estão distribuídas nos municípios de Paraty e Angra dos Reis, o que possibilita um estudo sobre a pluviometria da região, que é um dos principais deflagradores de deslizamento de terra.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Classificação e Caracterização de Movimentos de Massa Gravitacionais (MMG) em Encostas

Situar o fenômeno em estudo dentro de uma classificação com terminologia de consenso no meio técnico permite a troca de impressões, bem como, possibilita consultar bancos de dados ou artigos publicados, a fim de coletar informações sobre a recorrência deste, parâmetros geotécnicos, soluções de intervenção empregadas, etc (OLIVEIRA, 2004).

Define-se talude como a superfície inclinada que delimita um maciço terroso, rochosos ou mistos (solo e rocha), resultantes de processos geológicos e geomorfológicos múltiplos. Os

taludes podem ser naturais, quando não houver ação antrópica; ou taludes de corte quando, resultar de escavações ou suavizações; ou ainda, taludes artificiais, que constituem as superfícies inclinadas de aterros de solo, fragmentos de rocha, rejeitos industriais e minerários. O termo encosta natural tem significado relacionado a áreas mais abrangentes com superfície inclinada sinônimo a vertente de uma elevação ou depressão do relevo. Acrescente-se ainda o termo encosta urbanizada quando a área é extensa e integral ou parcialmente ocupada por moradias, comércio, indústria, sistema viário, equipamentos urbanos, etc.

Segundo MAZZA (2007), os movimentos de massa gravitacionais (MMG) são processos naturais de transporte de massas pela gravidade devido à dinâmica geomorfológica das encostas. Esses processos podem ser agravados e acelerados pelas interferências antrópicas e estão diretamente relacionados à ação da gravidade, litologia, geologia estrutural, hidrogeologia, topografia, vegetação, clima, erosão e sismicidade.

Existem diversos modelos de classificação e identificação dos movimentos de massa, onde se considera o tipo de movimento sofrido pelo MMG, o tempo de movimentação, e o tipo de material envolvido no movimento. As classificações dos movimentos de massa são fundamentadas em características da geometria, dinâmica das superfícies, tipos de materiais, cinemática do movimento e morfologia/morfogênese dos processos.

Há diferentes propostas de sistemas de classificação de movimentos, em que as ocorrências são agrupadas em função do tipo de movimento: rastejos ou fluência; escorregamentos; quedas e corridas ou fluxos. Nenhuma delas inclui processos erosivos (ravinas e voçorocas).

A classificação de VARNES (1978) é uma das mais utilizadas internacionalmente na atualidade (Quadro 2) e apreciada pela International Association of Engineering Geology - IAEG como a classificação oficial. Contudo, a classificação de AUGUSTO-FILHO, é bastante adequada para os casos brasileiros (Quadro 3). O autor propõe uma classificação onde são analisados os movimentos do tipo rastejo, escorregamento, quedas e corridas.

Quadro 2 - Classificação sintética dos movimentos de massa segundo VARNES (1978)

Tipo de Movimento			Tipo de Material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grosseiro	Fino
Quedas			De rocha	De detritos	De terra
Tombamentos			De rocha	De detritos	De terra
Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento e rocha De blocos rochosos	Abatimento de detritos De blocos de detritos	Abatimento de terra De blocos de terra
	Translacional	Muitas unidades	De rocha	De detritos	De terra
Expansões laterais			De rocha	De detritos	De terra
Corridas / escoamentos			De rocha (rastejo profundo)	De detritos	De terra
				(Rastejo de solo)	
Complexos: combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos					

Quadro 3 – Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento, segundo AUGUSTO-FILHO (1992).

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos)
	Velocidade de muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade
	Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes
	Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada
	Geometria indefinida
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamento (externos)
	Velocidades médias (km/h) a altas (m/s)
	Pequenos a grandes volumes de material
	Geometria e materiais variáveis
	Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza
	Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
	Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	Sem planos de deslocamento
	Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado
	Velocidades muito altas (vários m/s)
	Material rochoso
	Pequenos a médios volumes
	Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.
	Rolamento de matacão
	Tombamento
Corridas	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)
	Movimento semelhante ao de um líquido viscoso
	Desenvolvimento ao longo das drenagens
	Velocidade de médias a altas
	Mobilização de solo, rocha, detritos e água
	Grandes volumes de material

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

Entretanto, esses aspectos não estão explicitamente apresentados nas classificações existentes de movimentos de massa. As classificações são essencialmente geomorfológicas, somente algumas introduzem algumas considerações de comportamento mecânico. Além disso, os aspectos geotécnicos considerados na literatura de encostas enfocam em sua maioria a estabilidade ao passo que o risco é comumente relacionado aos movimentos.

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

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

Dessa forma, a partir do conhecimento das características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e ambientais de uma encosta pode ser dada partida na detecção das principais causas de movimentos de massa sejam estes potenciais, iminentes ou em processo de reativação. O Quadro 4 mostra, resumidamente, as principais classificações brasileiras.

Quadro 4 – Classificações de algumas propostas brasileiras de movimentos de massa gravitacionais (modificado de AMARAL JR., 2007).

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

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

## 2.2 Precipitação

Segundo TUCCI (2004), a precipitação é entendida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitação. O que diferencia essas formas de precipitações é o estado em que a água se encontra. Nessa pesquisa, usou-se a precipitação na forma de chuva, pois é um dos fatores que proporcionam o deslizamento de terras.

A chuva provoca uma aceleração maior ou menor da erosão, dependendo de sua distribuição mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e sua intensidade. Chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas, como trombas d'água, durante o período chuvoso, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo. Durante estes eventos a aceleração da erosão é máxima (SENA J.N, 2008).

Por outro lado, nas regiões de baixos índices pluviométricos e com precipitação concentradas no tempo, as precipitações podem ter um comportamento típico de chuvas torrenciais (SENA J.N, 2008).

As características das precipitações que mais interferem no processo de erosão do solo são a intensidade, a duração e a frequência da precipitação e a sua erosividade. Sendo o solo um recurso de renovação lenta e podendo ser rapidamente degradado pela ação da erosão, torna-se fundamental o conhecimento da forma como a precipitação atua no ambiente no qual esteja inserido.

Para GUERRA & CUNHA (1995), a intensidade das chuvas é um bom parâmetro para prever a perda de solo e que a distribuição do tamanho das gotas de chuva e a energia cinética são características de cada intensidade.

De acordo com SÁ (2001), as chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas mais intensas constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo, acelerando o processo erosivo. Assim, a partir de sua precipitação pluviométrica e do impacto da gota de chuva, pode-se distinguir dois processos básicos que irão contribuir para o desenvolvimento de uma erosão.

A água de chuva ao atingir o solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar, aumentando a umidade do solo, ou abastecer o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, podendo provocar erosão, através do escoamento das águas (SILVA, 2003).



## 2.3 Sistema de Informações Geográficas

Segundo RAMIREZ (1994), no senso de sistemas informáticos, os SIG são um conjunto de ferramentas computacionais de hardware, software e procedimentos projetados para dar suporte à aquisição, gerenciamento da persistência, inserção, consulta, alteração, remoção, visualização e apresentação de dados geoespaciais, que descrevem locais na superfície da Terra, entidades e fenômenos geográficos, existentes no mundo real. Eles permitem a realização de transformações, análises e simulações com aqueles dados a fim de solucionar problemas complexos de planejamento e gerenciamento com propósitos específicos.

Os SIG são sistemas computacionais desenvolvidos com o propósito de processamento digital da informação geográfica, considerando seus aspectos geométricos, topológicos e temporais. É composto por ferramentas de software desenvolvidas para potencializar a aquisição de dados geográficos, pesquisa e análise espacial de fenômenos e fatos geográficos, além de gerar mapas, cartas, plantas digitais, ou relatórios diversos, alcançando a integração de informações geográficas em vários níveis temáticos. Numa visão sócio-técnica, os SIG estão, em geral, diretamente associados a projetos institucionais, e requerem pessoal qualificado para operá-los, compondo equipes multidisciplinares de trabalho com propósitos específicos e diversos. (RIBEIRO, 2005)

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, as tecnologias digitais de geoprocessamento apresentam um enorme potencial, contribuindo primordialmente para potencializar as análises espaciais, contemplando os aspectos geométricos e topológicos dos objetos ou feições geográficas.

### 2.3.1 Modelagem de dados geográficos

Segundo DAVIS e BORGES, um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados. O modelo busca sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado. Os objetos e fenômenos reais, no entanto, são complexos demais para permitir uma representação completa, considerando os recursos à disposição dos sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD) atuais. Desta forma, é

necessário construir uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real, de modo a obter uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados.

Os SIG utilizam arquiteturas que oferecem modelos de dados adequados a modelar a realidade e sobre o qual gerenciam os dados geográficos. Este modelo de dados permite estratificar a informação geográfica em um conjunto de níveis denominados de Planos de Informação (PI). Cada nível representa uma mesma área, mas cada qual corresponde a uma perspectiva diferente da realidade geográfica da área. Esta perspectiva satisfaz a um aspecto temático independentemente com um conjunto de propriedades que a descrevem. Cada nível contém elementos geométricos que variam em número, formas e propriedades (Figura 3).

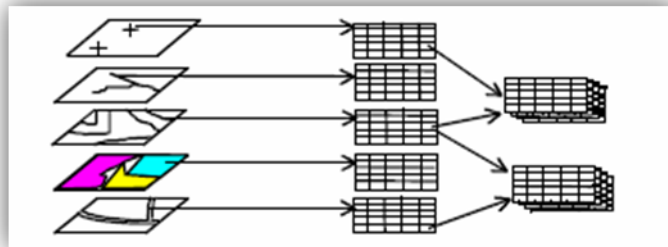


Figura 3 - Organização da base de dados em níveis de informação.

Estes níveis podem ser distinguidos de acordo com a finalidade deles na base de dados em (ARONOFF, 1989; LAURINI, 1992) níveis de informação básica - fornecem uma representação monocromática. É um conjunto mínimo de feições físicas e culturais que fornecem informações necessárias ao reconhecimento topográfico da região. Eles têm por objetivo fornecer base cartográfica para o espaço geográfico, de forma a proporcionar uma melhor compreensão da região, dentro dos limites impostos pela escala, níveis de informação temática ou espacial. Fornecem a representação policromática do espaço geográfico de interesse da área de aplicação da base de dados. Estes níveis armazenam as descrições dos temas necessários para o SIG atingir o objetivo proposto. Eles descrevem as ocorrências, distribuições e relações espaciais de entes e feições do contínuo espacial para cada tema.

### 2.3.2 BD – Bancos de Dados

Consiste em uma coleção de dados interrelacionados e uma coleção de programas para prover o acesso a esses dados. O objetivo principal de um sistema de banco de dados é

possibilitar um ambiente que seja adequado e eficiente para uso na recuperação e armazenamento de informações.

Os sistemas de armazenamento de informações (na forma de bancos de dados) em todas as áreas do conhecimento são, atualmente, muito difundidos, tanto em termos nacionais quanto internacionais (RODRIGUES, 2002). Segundo FERREIRA (1988), um banco de dados pode ser criado para utilização em qualquer área do conhecimento bastando, para tanto, selecionar todas as possíveis informações de interesse do usuário, como se pode observar na figura 4.

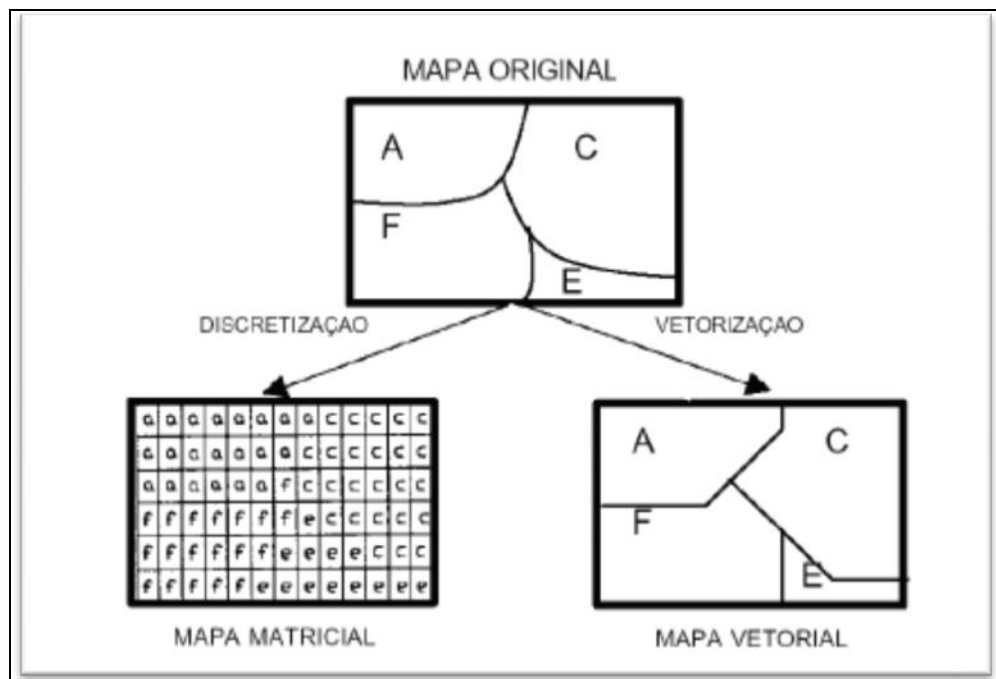


Figura 4- Representação matricial e vetorial de um mapa analógico (ROHN, 2003).

### 2.3.3 SGBD – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

São sistemas responsáveis permitem a definição de estruturas para armazenamento de informações e fornecimento de mecanismos para manipulá-las. Para isso, os SGBD possuem uma forma estruturada padrão de representação dos registros e campos, além de um mecanismo interno para manter os dados no disco e localizar cada um de seus elementos.

O SGBDG é um componente fundamental do SIG, pois é nele que os dados geográficos são armazenados, manipulados e recuperados quando necessário. Além disso,

o SGBDG deve garantir a eficiência das consultas, a integridade do banco frente a múltiplos usuários e persistência no que diz respeito à manutenção de dados por um longo tempo.

#### 2.3.4 MNT – Modelo Numérico de Terreno

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos hidrológicos, informações meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT. (FELGUEIRAS & CÂMARA, 2001).

Dentre alguns usos do MNT pode-se citar:

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

## **2.4 Avaliação Multicriterial**

Na década de 70, as pressões para reduzir os custos do governo e a busca pela preservação dos recursos naturais cada vez mais escassos, levaram os planejadores a procurar incluir no processo de tomada de decisão, tanto os fatores tangíveis (valores definidos monetariamente) como os intangíveis (qualidade ambiental, saúde, realização pessoal, entre outros) no intuito de tomar uma decisão mais racional em resposta às novas exigências da sociedade moderna (RABBANI, 1996).

A partir de tais necessidades e exigências crescentes, o pensamento multicriterial de tomada de decisão começou crescer. De acordo com BANA (1993), citado por SCHMIDT (1995), no início dos anos 70, uma nova fase do processo de apoio à decisão começou a organizar-se em uma comunidade científica, antes dispersa, interessada pelo domínio do multicritério, a partir da Conferência de Outubro de 1972 na Universidade da Carolina do Sul, organizada por JAMES L. COCHRANE E MILAN ZELENY.

Segundo RABBANI (1996), o avanço substancial das técnicas de tomada de decisão multicriterial fundamentam-se em métodos desenvolvidos na teoria de decisão (Teoria da Utilidade e o Processo de Análise Hierárquica), economia (Otimidade de Pareto, Função de Bem-Estar Social), estatística (Regressão Multivariada, Análise de Discrepância) e psicometria (Medidas de Conjunto).

Atualmente, há uma forte tendência de esclarecer a opinião dos tomadores de decisão em todos os níveis do processo de planejamento nas organizações, quanto à importância da utilização de múltiplos critérios na análise de problemas complexos. O objetivo da tomada de decisão multicriterial, atualmente, é identificar e selecionar o melhor curso de ação, quando se depara com um problema de decisão complexo que envolve objetivos múltiplos e até certo ponto conflitantes. Esta nova forma de encarar o processo de tomada de decisão permite a consideração de diversos fatores relevantes que possibilitam uma análise mais detalhada das vantagens e desvantagens dos alternativos cursos de ação de um sistema. Dentre estes fatores, podem-se destacar os grupos envolvidos na tomada de decisão, bem como os interesses e critérios que movem cada um deles.

Para a tomada de decisão, ferramentas de análise que permitam reunir essas variáveis, atribuir pesos e valores as mesmas, dando prioridade às diferentes alternativas, facilitam a tomada de decisão. A análise multicriterial e um método de análise de alternativas para resolução de problema que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar as alternativas prioritárias para o objetivo considerado (FRANCISCO et al., 2007). Distintos métodos de análise multicriterial representam diferentes formas de aproximação para a tomada de decisão. Segundo FIDALGO (2003) e ZUFFO (1998), a seleção do método depende do problema particular considerado, das preferências do tomador de decisão e de muitos outros fatores (SARTORI, 2010).

Os conceitos dos tomadores de decisão são expressos pelos critérios que, são a base do processo de tomada de decisão e que podem ser medidos e avaliados. Para esse autor, o critério e a evidencia sobre o qual um indivíduo pode ser designado a um conjunto de decisão, podendo ser de dois tipos: fatores e restrições e podem referir-se tanto atributos do indivíduo como ao conjunto todo de decisão (EASTMAN, 2001).

Segundo SAATY (1996/1997), um modelo de tomada de decisão multicriterial para traduzir eficientemente um sistema e conduzir à escolha da melhor alternativa deve ser

simples de construção; adaptável tanto aos grupos quanto aos indivíduos; natural à nossa intuição e ao pensamento geral; encorajar a formação de compromisso e do consenso e não exigir uma especialização excessiva para comunicar e administrar.

Além destas características, a tomada de decisão multicriterial pressupõe o conhecimento de algumas informações como: pessoas e grupos envolvidos; objetivos e políticas; restrições; impactos; tempo-horizonte; influências e outros detalhes do problema a ser solucionado, como por exemplo, o conjunto de alternativas, cuja escolha da melhor entre elas é o principal objetivo da tomada de decisão. Existem diversos modelos utilizados atualmente que utilizam estas informações, porém, nesta pesquisa utilizou-se o método AHP por ser o mais recomendado nas decisões complexas.

#### 2.4.1 Método AHP

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas. Mais do que determinar qual a decisão correta, o AHP ajuda as pessoas a escolher e a justificar a sua escolha. Baseado em matemática e psicologia, ele foi desenvolvido na década de 1970 pelo Prof. Thomas Saaty, então, na Escola Wharton da Universidade da Pensilvânia.

Tem sido extensivamente estudado e refinado desde então. O AHP fornece um procedimento compreensivo e racional para estruturar um problema, para representar e quantificar seus elementos, para relacionar estes elementos com as metas globais e para avaliar soluções alternativas. É utilizado pelo mundo todo em uma ampla variedade de situações de decisões, em campos como governo, negócios, indústria, saúde e educação.

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

A etapa de estruturação hierárquica consiste da definição do objetivo global e decomposição do sistema em vários níveis de hierarquia. Esta estruturação possibilita a visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema. A hierarquia é

composta dos eventos e suas respectivas relações, podendo a mesma ser simples ou composta.

A hierarquia simples é formada por três níveis. O primeiro nível compõe-se de apenas um elemento, a meta ou objetivo geral. O segundo nível representa os critérios e o terceiro as alternativas, podendo estes dois últimos possuírem vários elementos.

A hierarquia complexa inclui: objetivo geral; fatores ambientais de ordem física, biológica, química e outros; critério geral incluindo fatores econômicos, sociais, políticos, tecnológicos e ideológicos; subcritérios relativos a cada critério; grupos que controlam os critérios e subcritério; objetivos dos grupos envolvidos; políticas ou fatores que exercem influência na tomada de decisão e planos alternativos.

A comparação por pares é realizada por um grupo de indivíduos com experiência sobre o problema em questão que representam os grupos de interesse. Esta se constitui em um julgamento comparativo através da atribuição de pesos, onde se procura determinar a importância relativa de cada elemento de um nível hierárquico com relação a cada critério no nível imediatamente superior. Estes pesos são determinados por uma escala de julgamentos sugerida por Saaty variando de 1 quando os critérios são de mesma importância a 9 para importância absoluta de um critério sobre outro. Os mesmos representam a intensidade de domínio de um determinado elemento sobre outro. A partir destes, forma-se então a matriz de comparação paritária.

A comparação paritária é representada por uma matriz quadrada cujos elementos são os pesos atribuídos à comparação entre dois elementos  $A_i$  e  $A_j$ . Salienta-se que esta é uma matriz recíproca na qual todo elemento  $A_{ij}$  corresponde um  $A_{ji} = 1/A_{ij}$  e todo  $A_{ii} = 1$ .

A matriz apresenta uma inconsistência de julgamento quando  $A_{ij} \neq A_{ik}A_{kj}$  podendo esta inconsistência ser tolerável até um certo limite. A tolerabilidade da inconsistência desta matriz é determinada através de um índice denominado “Índice Randômico” que é fornecido por uma tabela e é função da dimensão da matriz de comparação.

Através da matriz de comparação, obtém-se o vetor de prioridade relativa por um autovetor que viabiliza a determinação do grau de importância dos elementos em cada nível hierárquico, sendo esta a fase de priorização dos elementos do sistema.

Na etapa final, as prioridades numéricas são derivadas para cada uma das alternativas da decisão. Desde que estes números representam a habilidade relativa das alternativas de conseguir o objetivo da decisão, permitem uma consideração direta dos vários cursos de ação. Diversas empresas fornecem software para auxiliar a aplicação do AHP

Passa-se a etapa de sintetização de prioridades com o objetivo de definir a prioridade global dos planos alternativos, através da multiplicação dos elementos da matriz de prioridades relativas destes planos, pelas prioridades relativas dos critérios.

#### 2.4.2 Vantagens e desvantagens do método AHP

A maior vantagem do método AHP é que ele requer que os indivíduos façam somente comparações entre pares de alternativas. Abaixo estão listados os aspectos positivos e os aspectos negativos do método AHP, baseado em STEIGUER, DUBERSTEIN e LOPES (2005).

##### a) Aspectos Positivos

- Simplicidade;
- Clareza;
- Facilidade de uso;
- Permite a interação entre o analista e o decisor;
- Habilidade de manusear com julgamentos inconsistentes;
- A representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos;
- Permite que todos os envolvidos no processo decisório entendam o problema da mesma forma;
- O desenvolvimento dos sistemas estruturados hierarquicamente é preferível àqueles montados de forma geral;
- Pequenas modificações em uma hierarquia bem estruturada têm efeitos flexíveis e pouco significativos;



- Capacidade em lidar com problemas que envolvam variáveis tanto quantitativas como qualitativas; A forma de agregação dessas variáveis exige que o tomador de decisão participe ativamente no processo de estruturação e avaliação do problema, o que contribui para tornar os resultados propostos pelo modelo mais exequíveis;
- Estruturando hierarquicamente um problema, os usuários são capazes de ordenar e comparar um uma lista menor de itens dentro de seus próprios contextos;
- Sintetiza os resultados dentro de uma lista ordenada que permite a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator;
- É capaz de prover pesos numéricos para opções onde julgamentos subjetivos de alternativas quantitativas ou qualitativas constituem uma parte importante do processo de decisão.

b) Aspectos Negativos

- Subjetividade na formulação da matriz de preferência;
- Deve ser procedida uma análise acurada para identificar e caracterizar as propriedades dos níveis da hierarquia que afetam o desempenho do objetivo mais alto;
- É muito importante que haja consenso na priorização dos níveis mais altos da hierarquia;
- Os critérios representados devem ser independentes ou, pelo menos, suficientemente diferentes, em cada nível;
- Em qualquer processo de interação de grupo, não deve haver idealismo demais nem forte predisposição para liderança entre os envolvidos;
- Requer procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências;
- O trabalho computacional é sensivelmente maior quando se eleva o número de alternativas;
- Pesos para os critérios são obtidos antes que as escalas de medida tenham sido ajustadas;
- A introdução de novas opções pode mudar a posição relativa de algumas das opções originais;

- O método não integra a chamada “condição fundamental de medida” 16 ou não garante automaticamente sua satisfação;
- O número de comparações requeridas pode ser muito alto;
- As prioridades dependem do método usado para derivá-las;
- Alternativas incomparáveis não são permitidas;
- Por não existir nenhuma base teórica para a formação das hierarquias, os tomadores de decisão, quando se deparam com situações idênticas de decisão, podem derivar hierarquias diferentes, obtendo então diferentes soluções;
- Existem falhas nos métodos para agregar os pesos individuais dentro dos pesos compostos;
- Uma ausência de fundamento de teoria estatística.

## **2.5 SIG e Avaliação Multicritérios**

Em muitas das aplicações de SIG na área de análise ambiental, é comum o envolvimento de múltiplos critérios para se atender a um ou mais objetivos. É denominada Avaliação Multicritérios (AMC). Problemas de decisão espacial normalmente envolvem um grande conjunto de alternativas viáveis e múltiplas. As alternativas são freqüentemente avaliadas por um número de indivíduos. Os indivíduos são tipicamente caracterizados por uma única preferência com relação à importância relativa dos critérios com base nos quais as alternativas são avaliadas (MALCZEWSKI, 2006).

Assim, muitos problemas de decisão espacial dão origem para o SIG baseada na avaliação multicritério (SIG-AMC). A ferramenta SIG é freqüentemente reconhecida como um sistema de apoio a decisão envolvendo a integração de dados espacialmente referenciados em um ambiente de resolução de problemas. Por outro lado, AMC fornece um rico conjunto de técnicas e procedimentos para estruturação de problemas de decisão, e projetar, avaliar e priorizando decisões alternativas. (COWEN, 1988).

MALCZEWSKI (2004) afirmou que a integração entre as técnicas de tomada de decisão multicritérios e sistemas de informações geográficas representa um avanço considerável nas análises envolvendo adequação de uso da terra, em relação às abordagens

convencionais de sobreposição (overlay) de mapas. Segundo o autor, a AMC em ambiente SIG pode ser pensada como um processo que combina e transforma dados espaciais e não-espaciais (entrada) e uma decisão resultante (saída). Os procedimentos envolvem a utilização de dados geográficos, as preferências dos tomadores de decisão e a manipulação dos dados e preferências de acordo com regras de decisão especificam. Desta maneira, duas considerações são de importância crítica para a AMC:

- As capacidades do SIG de aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação e análise de dados;
- As capacidades dos métodos de tomada de decisão multicritérios (TDMC) em combinar os dados geográficos e as preferências dos tomadores de decisão em valores unidimensionais de decisões alternativas.

EASTMAN et al. (1995) afirmaram que decisões sobre a locação de terra tipicamente envolvem a avaliação de múltiplos critérios, de acordo com diversos, e em geral conflitantes objetivos. Para os autores, o advento do SIG proporcionou a oportunidade de execução de processos de tomada de decisão, na área ambiental, de forma mais explicitamente racional. Ao mesmo tempo, o ordenamento do território tornou-se cada vez mais complexo.

Os princípios do desenvolvimento sustentável, os planejadores do uso terra enfrentam um paradoxo de dois aparentemente contraditórios: a conservação da natureza e desenvolvimento econômico.

MALCZEWSKI (1996) e MALCZEWSKI e JACKSON (2000) comentaram que o problema de tomada de decisão multicritérios envolve um conjunto de planos alternativos de alocação, avaliados com base em critérios múltiplos, conflitantes e incomensuráveis, por grupos de indivíduos com interesses diversos. Esses grupos são caracterizados por preferências específicas, com respeito às importâncias relativas dos critérios, contra o que os planos alternativos são avaliados. De grande importância para os problemas de tomada de decisão no setor público e a busca de consenso entre as várias partes interessadas.

JANKOWSKI; ADRIENKO e ADRIENKO (2001) discutiram o papel dos mapas em avaliações multicritérios. Segundo os autores, o apoio a decisão espacial é uma das funções centrais de um SIG. Um dos focos no desenvolvimento de capacidades de apoio a decisão em ambiente SIG tem sido a integração de mapas com modelos de decisão multicritérios. Ainda de acordo com os autores, o progresso nessa área tem sido devido ao

papel limitado desempenhado pelos mapas como instrumentos de apoio a decisão. Assim, apresentam um protótipo de instrumentos de apoio a decisão espacial, enfatizando o papel dos mapas como uma fonte de estrutura em problemas de decisão espacial multicritérios. Nesses instrumentos, o papel dos mapas vai além da mera exibição do espaço geográfico de decisão e de resultados da AMC. Os mapas tornaram-se um “índice visual” pelo qual o usuário ordena opções de decisão, assinala prioridades e critérios de decisão e aumenta o espaço de saída (outcome) dos critérios pelo conhecimento derivado dos mapas.

A presente pesquisa utiliza a técnica AHP no mapeamento e análise das áreas suscetíveis a escorregamento de massa, elaborado a partir do mapeamento das áreas que possuem características físicas propícias à ocorrência de escorregamentos, sendo um passo importante para a realização de futuras pesquisas pontuais.

A primeira pergunta que se faz em um processo de tomada de decisão é: Como determinar a contribuição relativa de cada fator no processo de decisão?

Esta pergunta pode ser respondida através do método AHP, que é um método proposto por SAATY (1978), e pode ser denominado de Técnica AHP. Segundo CÂMARA et al (2001, p. 28), “o AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois - a - dois (comparação pareada), e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre fatores”.

Basicamente, o AHP, procura decompor um problema em uma estrutura hierárquica descendente que se assemelha a uma árvore genealógica, como mostra a figura 5.

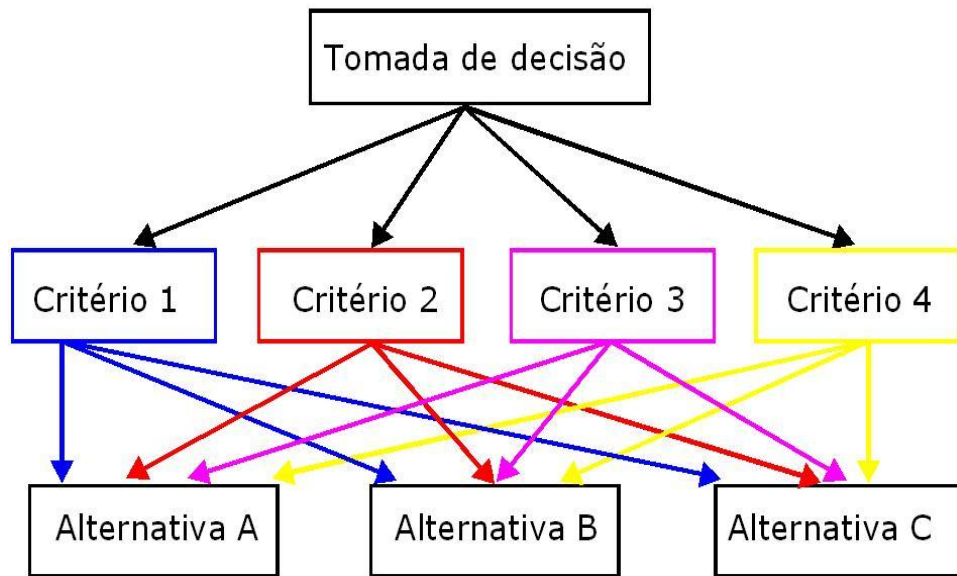


Figura 5 – Estrutura hierárquica genérica de problemas de tomada de decisão

“O primeiro passo para a aplicação dessa técnica é a elaboração de uma relação de importância relativa entre as evidências. Essa relação é utilizada como dado de entrada em uma matriz de comparação pareada, onde são calculados os autovalores e autovetores da matriz”, CÂMARA et al (2001, p. 28). As tabelas representando os graus de importância relativa e a comparação pareada entre os fatores são mostradas nas figuras 6 e 7, respectivamente.

Menos Importante				Igual	Mais Importante			
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito	Moderado	Pouco	Igual	Pouco	Moderado	Muito	Extremamente

Figura 6 – Valores de graus de importância relativa entre os fatores

Fatores	Uso do Solo	Tipo de Solo	Declividade	Prox. Urbana	Prox. Acesso
Uso do Solo	1				
Tipo de Solo		1			
Declividade			1		
Prox. Urbana				1	
Prox. Acesso					1

Figura 7 – Exemplo de uma matriz de comparação pareada

A matriz de comparação pareada funciona da seguinte maneira: cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante que o fator

correspondente na linha superior, logo quando um fator é confrontado com ele mesmo, o único resultado possível é 1, pois possui igual importância.

A partir do momento que são estabelecidos os critérios de comparação para cada combinação de fatores, pode-se determinar os pesos que serão utilizados para a combinação dos diferentes mapas.

### 3 METODOLOGIA Material e Métodos

Os materiais utilizados foram:

- Carta Geomorfológica, adquirida no banco de dados online da CPRM, escala 1:100.000;
- 2 cenas do satélite Landsat 7(TM), datadas de 14/08/2006 e 17/06/2005, cuja resolução espacial de 30 metros atende à escala 1: 60.000;
- Carta de Declividades e Classes de Declividades, produzida a partir do MNT, escala 1:50.000;
- Mapa Pedológico, adquirida no banco de dados online da CPRM, escala 1:100.000;
- Ortofotos na escala 1/25.000 adquiridas no site do IBGE (2005);
- Base vetorial na escala 1/25.000 fornecidas pela Prefeitura Municipal de Angra dos Reis (2010).

Foram, ainda, utilizados:

- Software ArcGIS/ArcGRID, version 9.3, © Environmental Systems Research Institute, Inc;
- Software IDRISI ANDES;
- Software SPRING 4.33.

#### 3.1.1 Carta de Declividades e Suas Classes

A carta de declividades, obtida a partir do MDT, foi subdividida de acordo com a classificação da declividade proposta por Embrapa (1999), conforme Tabela 2. As faixas foram definidas buscando o seu relacionamento com os diferentes tipos de erosão observados na região.

A definição das classes deveu-se, principalmente, à necessidade de diferenciar aquelas declividades onde as relações escoamento superficial vs. infiltração vs. diminuição da relação de forças apresentasse alguma significância (RODRIGUES, 2002).

Tabela 2 – Tabela contendo as classes de declividades utilizadas.

<i><b>INTERVALO CLASSE DE DECLIVIDADE</b></i>		
<b>0 – 3%</b>	Plano	Classe 1
<b>3– 8%</b>	Suave ondulado	Classe 2
<b>8 – 13%</b>	Moderadamente ondulado	Classe 3
<b>13 – 20%</b>	Ondulado	Classe 4
<b>20 – 45%</b>	Forte ondulado	Classe 5
<b>&gt; 45%</b>	Montanhoso	Classe 6

Como se pode observar a distribuição das classes de declividade no município de Angra dos Reis na figura 8 abaixo.

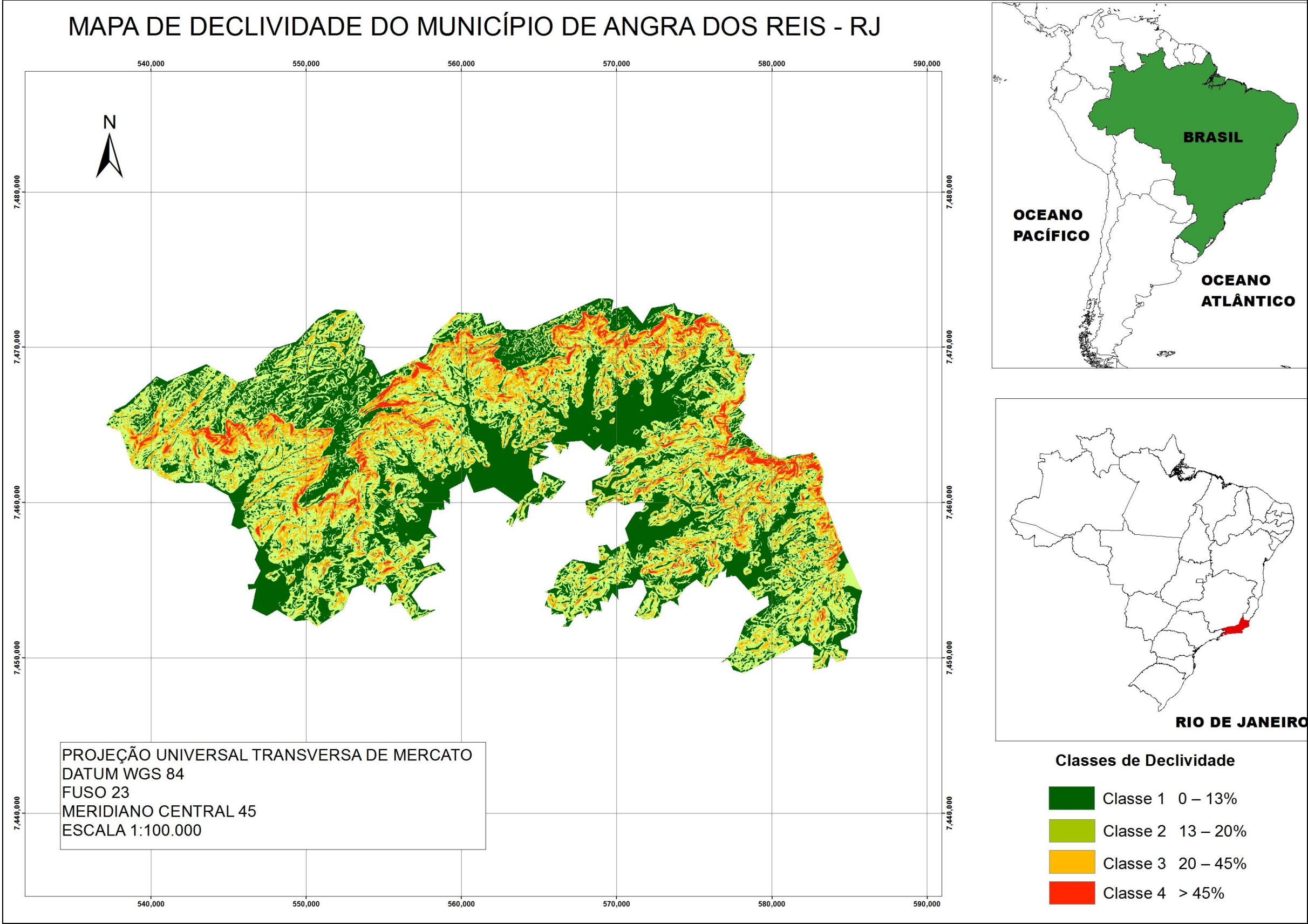


Figura 8 – Mapa de Declividade do Município de Angra dos Reis.



### 3.1.2 Carta Geomorfológica

A carta geomorfológica, obtida a partir da do banco de dados da CPRM.

As classes geomorfológicas do Município são as seguintes:

- Domínio Montanhoso;
- Domínio Suave Colinoso;
- Domínio de Morros Elevados e Pães-de-Açucar;
- Escarpas Serranas;
- Morrotes e Morros Baixos Isolados;
- Planícies aluviais;
- Planícies Colúvio-alúvio-marinhas;
- Planícies Costeiras;
- Planícies Flúvio-Marinhas.

A figura 9 abaixo representa a distribuição das classes geomorfológicas no município em que foi realizado o estudo.

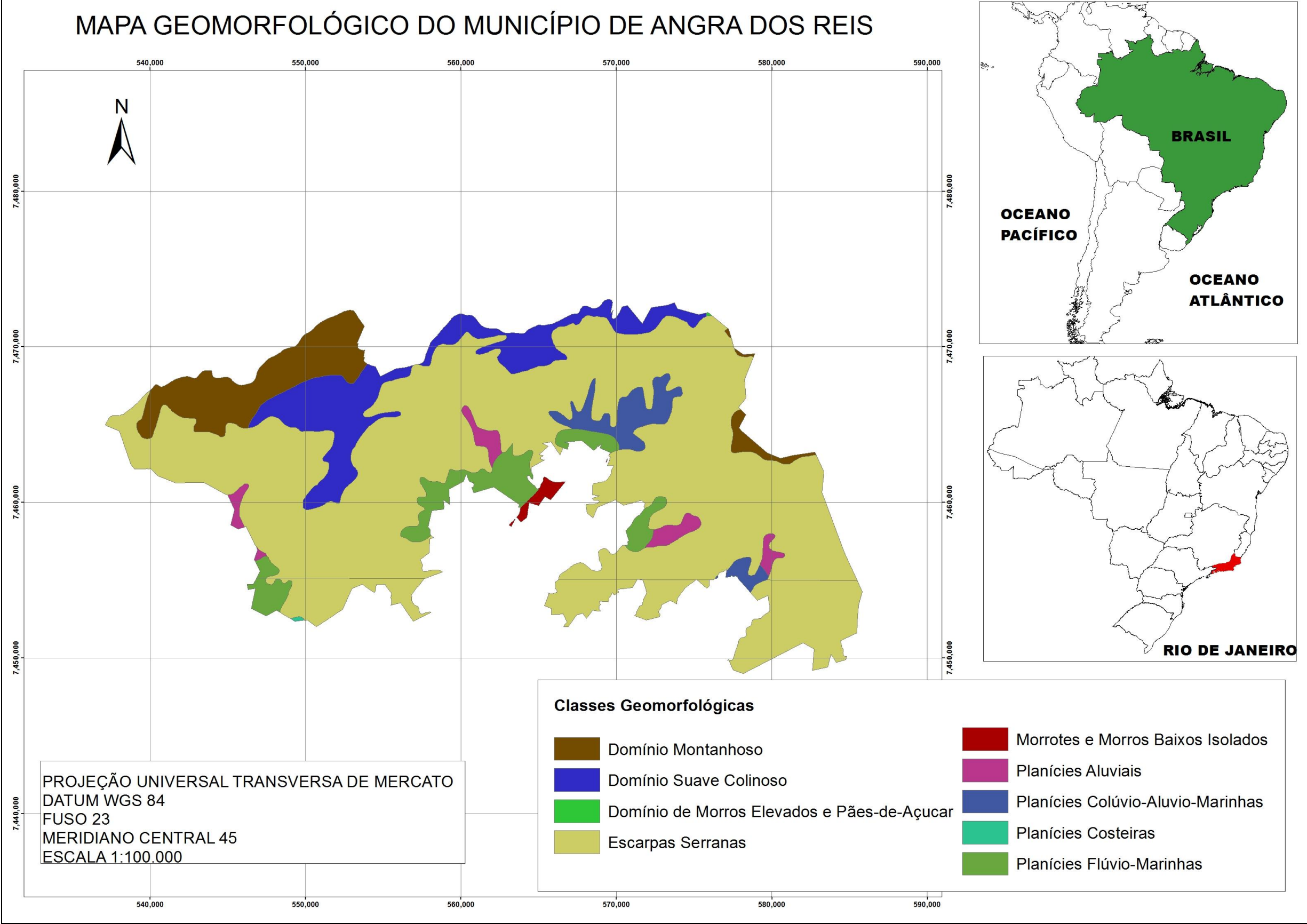


Figura 9 – Mapa Geomorfológico do Município de Angra dos Reis.

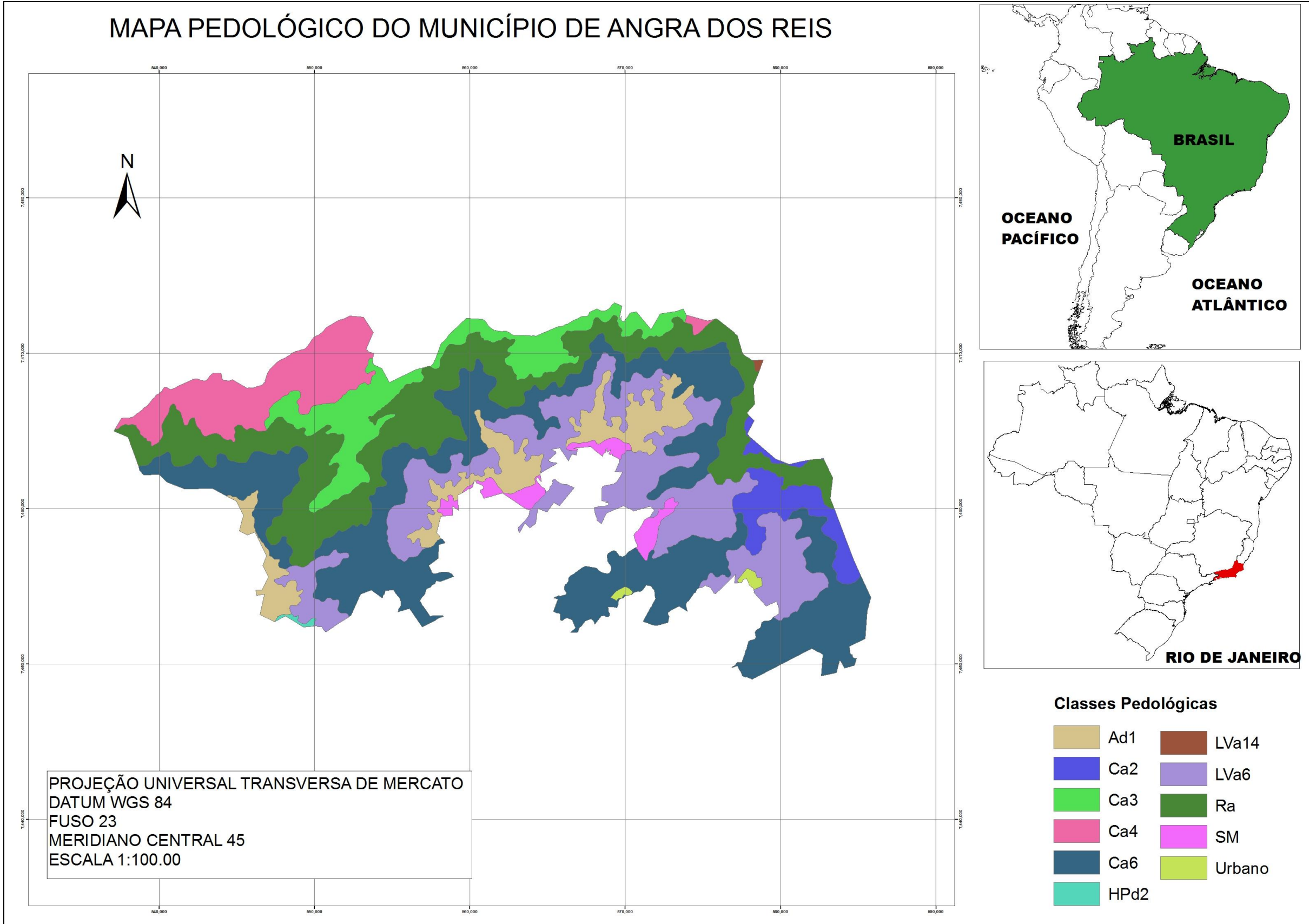
### 3.1.3 Carta Pedológica

A carta pedológica, obtida a partir da do banco de dados da CPRM.

A pedologia do município é descrita pelas seguintes classes:

- Ad1 – Solos aluviais distróficos - Também moderado, textura argilosa e média relevo plano.
- CA2 – cambissolo álico - Moderado textura argilosa fase não rochosa e rochosa relevo forte ondulado e montanhoso;
- CA3 – Cambissolo Álico - Moderado textura argilosa e média cascalhenta, fase não pedregosa e pedregosa relevo forte ondulado e ondulado;
- CA4 – Cambissolo Álico - Moderado textura média cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado;
- CA6 – Cambisossolo - Textura média e argilosa, relevo montanhoso e forte ondulado;
- HPd2 - Podzólico hidromórfico, areias quartzosas, glei húmico e solo orgânico;
- LVa14 – Latossolo Vermelho-Amarelo Álico + Cambissolo Álico - Moderado textura argilosa ou textura muito argilosa. Distrófico argila de atividade baixa a moderado textura argilosa ou textura média;
- LVa6 – Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa + Cambissolo - Textura argilosa e média, ambos álicos. Moderado e proeminente relevo forte ondulado;
- Ra – Solo litólico álico;
- SM - Areia argilo-siltosa;
- Urbano.

Segue a figura 10 que representa a distribuição da pedologia na área estudada.



Figura– Mapa Pedológico do Município de Angra dos Reis.

### 3.1.4 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

Sendo o mapeamento do uso da Terra necessário para o conhecimento de como a terra está sendo utilizada e o planejamento de como se poderá utiliza - lá, esse mapeamento foi realizado para a área do projeto.

O mapa do uso e cobertura da Terra foi produzido de classificação supervisionada no software SPRING, utilizando duas imagens Landsat L71218076 e L71217076.

A classificação supervisionada procura simular o comportamento de um foto-intérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais. Esta técnica é utilizada quando o usuário possui informações sobre a área de estudo, tornando possível fazer a indicação dos algoritmos através do processo chamado “treinamento” (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999).

Conforme o processo de classificação empregado, os classificadores podem ser divididos em classificadores “pixel a pixel” e classificadores por regiões. Classificadores “pixel a pixel” utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar regiões homogêneas. Classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada pixel, a informação espacial que envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos. (KÖRTING, 2006).

Neste projeto, usamos o procedimento para realizar a classificação supervisionada, por região. No SPRING, o classificador utilizado foi o Bhattacharya (por regiões).

O classificador por regiões Bhattacharya, a medida da distância de Bhattacharya é usada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. O princípio é análogo ao utilizado para o classificador Isoseg, porém a medida de distância usada é a distância de Bhattacharya. O classificador Bhattacharya requer interação do usuário, através do treinamento. Neste caso, as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens (INPE, 2011). Segue abaixo o modelo matemático do algoritmo Bhattacharya:

$$B(pi, pj) = \frac{1}{2}(m1 - m2)^T \sum (mi - mj) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (mi - mj)|}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}}$$

Onde:

$B$  = distância de Bhattacharya;

$P_i$  e  $p_j$  = pixels nas classes  $i$  e  $j$ ;

$m_i$  e  $m_j$  = médias das classes  $i$  e  $j$ ;

$T$  = matriz transposta;

$\ln$  = logaritmo neperiano;

$i$  e  $j$  = classes dentro do contexto.

Na classificação por regiões foi essencial a geração da segmentação (criação de regiões) antes de adquirir as amostras.

Para a segmentação, usamos uma composição da imagem (ETM\_1 (R), ETM\_2 (G) e ETM\_3 (B)). Nessa classificação, utilizamos similaridade igual a 15 e área do pixel igual a 30. Não excluímos nenhuma banda para não segmentar e selecionamos a opção “Suavização de Arcos”.

Nesta classificação, usamos as seguintes classes:

- Afloramento rochoso e vegetação rupestre;
- Área agrícola;
- Obras e Edificações;
- Hidrografia;
- Solo exposto;
- Vegetação densa;
- Vegetação outros.

Como houve uma confusão entre as classes área urbana e solo exposto, foi necessária uma supervisão utilizando as ortofotos do município para minimizar as inconsistências. Esta etapa foi realizada no software ArcGIS de forma manual, onde cada classe foi ajustada com o auxílio das ortofotos.

Após a primeira etapa de edição foi realizada uma atualização do mapeamento para o ano de 2010, considerando o aumento das áreas urbanas com o auxílio da base vetorial fornecida pelo município de Angra dos Reis.

A seguir, se pode verificar a figura 11 que representa o mapa do uso e cobertura da Terra.

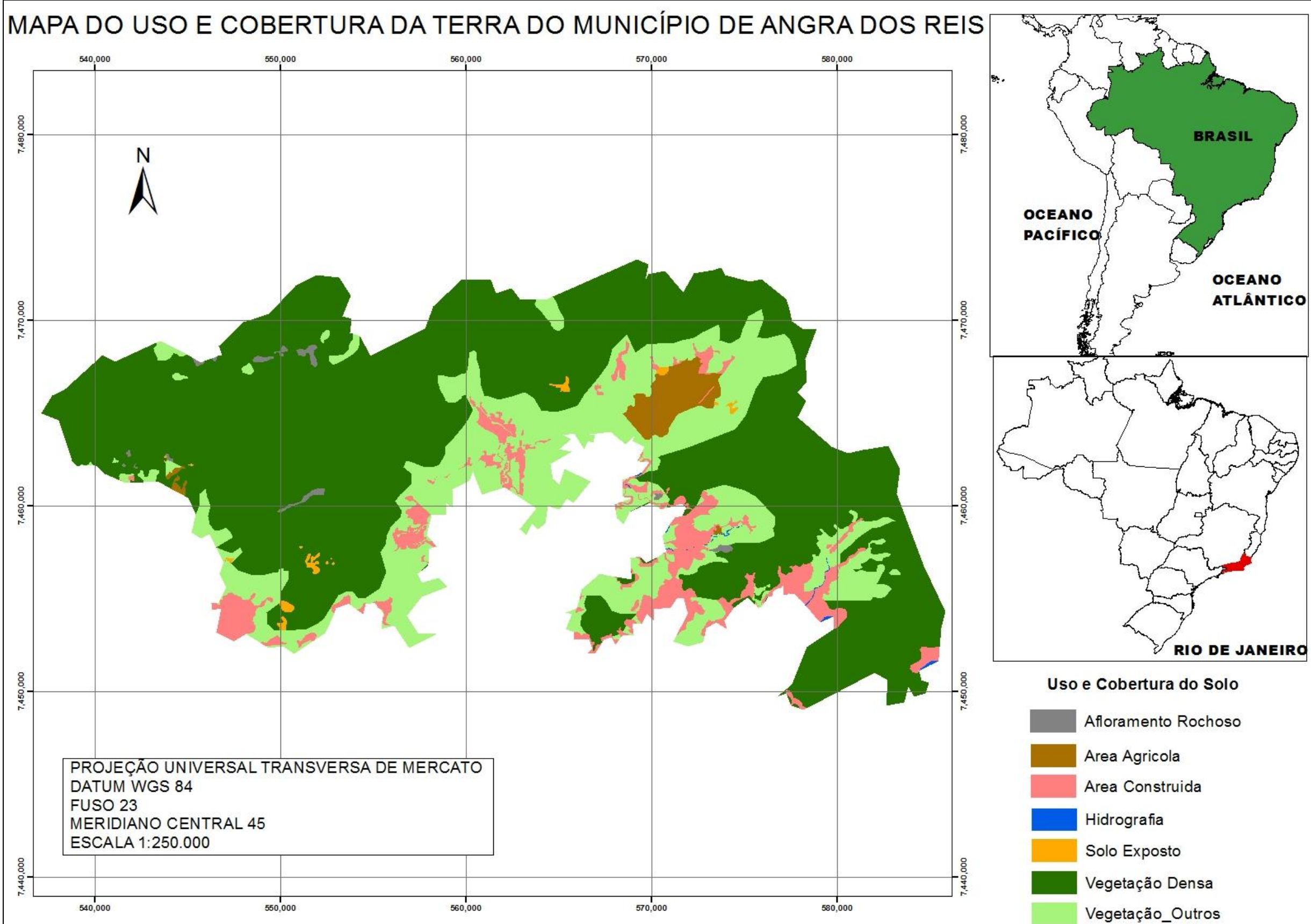


Figura 10 – Mapa do Uso e Cobertura da Terra do Município de Angra dos Reis.

### 3.2 Metodologia Utilizada para a Suscetibilidade a Escorregamentos

Técnicas de integração, manipulação e análise espacial de dados foram utilizadas neste trabalho, visando o mapeamento da suscetibilidade a escorregamento para o município de Angra dos Reis, tendo como base cenários descritivos, criados a partir da análise qualitativa de elementos do meio físico. O plano de trabalho adotado baseou-se em trabalho de laboratório sem visita ao campo e utilizou a geomática como ferramenta para integrar e analisar as informações produzidas.

Utilizou-se como ferramenta o Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierachy Process - AHP), para o auxílio na tomada de decisão e definição dos pesos (grau de importância) dos diversos atributos de entrada. Trata-se de uma técnica de tomada de decisão com múltiplos critérios, em que um problema complexo possui uma hierarquia de solução a partir das variáveis utilizadas nessa solução. A hierarquia representa a análise dos elementos mais importantes na situação e as suas relações.

As análises espaciais foram realizadas utilizando-se o módulo Raster Calculator do GIS ArcGIS como sistema de apoio à tomada de decisão, usando critérios múltiplos para categorizar as áreas de suscetibilidade para a área de estudo. O módulo foi utilizado para avaliar e agregar os critérios oriundos das informações existentes ou geradas.

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

Os fatores utilizados foram:

- Declividade;
- Geomorfologia;
- Pedologia;
- Cobertura vegetal e uso da Terra.



### 3.2.1 Avaliação Pluviométrica

Como se pode observar na figura 2, o município de Angra dos Reis possui 5 estações pluviométricas. Entretanto, esta pesquisa utilizou apenas 2, pois os demais possuem inconsistências em suas medições, como pode-se analisar no anexo. A figura 12 demonstra os dois postos utilizados e sua distribuição espacial no município estudado.

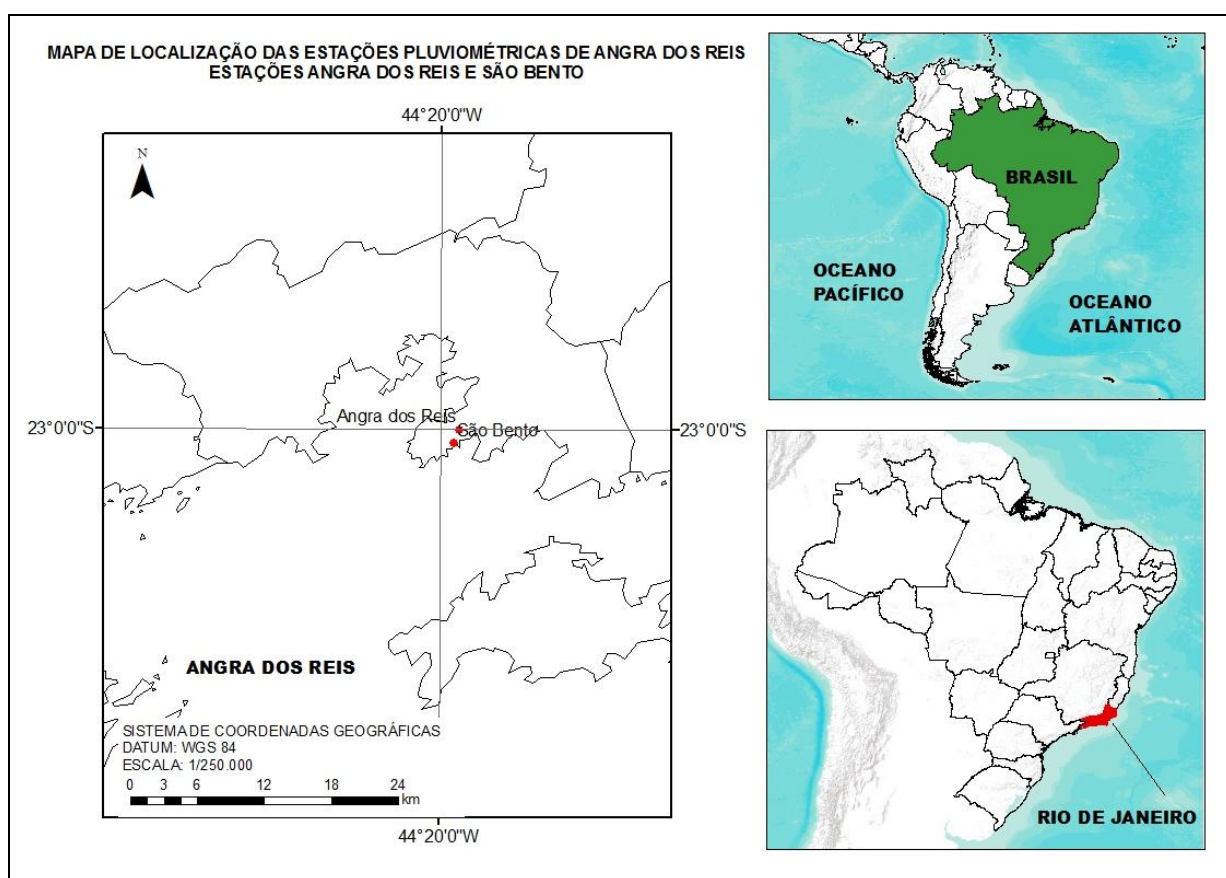


Figura 11 – Estações Pluviométricas Utilizadas.

Para a caracterização do regime pluvial na área de projeto foram utilizados os seguintes dados:

- Estação pluviométrica São Bento, latitude  $-23^{\circ}00'41''$  e longitude  $-44^{\circ}19'18''$ , localizado numa altitude de 2,00m.

- Posto pluviométrico Angra dos Reis (83788), latitude  $-23^{\circ}01'$  e longitude  $-44^{\circ}19'$ , localizado numa altitude de 3,00m. É o posto mais representativo da região, com dados disponíveis para um período relativamente longo, período esse que é compatível com o trabalho da CPRM supracitado.

Cabe ainda ressaltar que os postos utilizados são dotados apenas de pluviômetro, o que permite a observação de alturas de chuva diárias. Não possuem, portanto, pluviógrafo, que registra a variação de precipitação ao longo do tempo, o que contribuiria para uma melhor definição de intensidades de chuva com curta duração.

De acordo com SOARES (2006), a partir de precipitação de 75mm existe iminência da ocorrência de deslizamentos. Isto significa, por exemplo, que mesmo que o acumulado de precipitação em dias anteriores seja nulo, a ocorrência de uma precipitação acima de 75mm no dia, seria suficiente para causar deslizamentos.

A precipitação total registrada no posto São Bento entre os dias 30/12/2009 e 01/01/2010, os quais registraram escorregamento, foi de 415 mm, com máximo de 171 mm no dia 01/01/2010, que corresponde a uma intensidade média de 7,1 mm/h. Para o posto Angra dos Reis, nesse mesmo período, a precipitação total registrada foi de 275,5 mm, sendo que a altura observada no dia 30/12/2009 foi zero. O máximo de 142,9 mm do dia 01/01/2010, que corresponde a uma intensidade média de 5,95 mm/h, é menor do que o registrado no posto São Bento.

Entretanto, não foi possível utilizar a variável precipitação nesse estudo, pois há insuficiência na quantidade e espacialidade das estações. A estação de Angra dos Reis e São Bento estão próximas, o que impossibilitou a espacialização da chuva, o que seria o ideal para essa pesquisa. Logo, considerou-se chuva constante para todo o município. Pode-se observar no Anexo C e D, as precipitações nos dias do deslizamento.

### 3.2.2 Descrição dos Fatores

A lógica fuzzy é uma aproximação matemática para quantificar declarações incertas, segundo BURROUGH & MCDONNELL (1998) é indicada sempre que for necessário trabalhar com ambigüidade de abstração em modelos matemáticos ou

conceituais nos quais, por distintas razões não há ou não se podem definir limites rígidos entre classes.

Dessa forma, para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala de suscetibilidade, reescalou-se os fatores para valores de suscetibilidade, variando de zero (menor suscetibilidade) a 1 (maior suscetibilidade), conforme descrito a seguir.

(i) Declividades

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

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

As classes de declividades foram reescaladas para os valores de suscetibilidade conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela contendo as classes declividades.

<i>CLASSES DE DECLIVIDADES</i>	<i>SUSCETIBILIDADE</i>
0 – 3%	(Baixa)
3– 8%	(Baixa)
8 – 13%	(Baixa)
13 – 20%	(Baixa a Média)
20 – 45%	(Média)
> 45%	(Alta)

(ii) Geomorfologia

As classes morfológicas foram reescaladas a valores de suscetibilidade, como descrito anteriormente, conforme ilustra a Tabela 4.

Tabela 4 – Tabela contendo as classes geomorfológicas.

<i>CLASSES GEOMORFOLÓGICAS</i>	<i>SUSCETIBILIDADE</i>
Escarpas Serranas	Baixo
Domínio Suave Colinoso	Baixo-Médio
Domínio Montanhoso	Médio
Planícies aluviais	Alto
Planícies flúvio-marinhas	Alto
Planícies Colúvio-alúvio-marinhas	Alto
Morrotes e morros baixos isolados	Baixo-Médio
Domínio de Morros Elevados e Pães-de-Açúcar;	Alto
Planícies Costeiras	Alto

## (iii) Pedológico

O aspecto pedológico está diretamente ligado à suscetibilidade aos escorregamentos. As classes geológico-geotécnicas foram reescaladas a valores de suscetibilidade, como descrito na página 34, conforme ilustra a Tabela 5.

Tabela 5 – Tabela contendo as classes pedológicas

<i>CLASSES PEDOLÓGICAS</i>	<i>SUSCETIBILIDADE</i>
CA2	Baixo
CA3	Baixo
CA4	Baixo
CA6	Baixo a Médio
Ra	Médio
Ad1	Médio
LVa6	Médio
HPd2	Alto
SM	Alto
LVa14	Alto

## (iv) Uso e Cobertura da Terra

Os valores de suscetibilidade foram distribuídos dentro das classes de uso do solo de acordo com as características de cada classe e sua vulnerabilidade aos movimentos de massa e proximidade aos núcleos urbanos existentes. Às áreas degradadas foram atribuídos os maiores valores de suscetibilidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Tabela contendo as classes do uso e cobertura do solo.

<i>CLASSES DO USO DA TERRA</i>	<i>SUSCETIBILIDADE</i>
Afloramentos rochosos	Médio
Vegetação Densa	Baixo
Vegetação Outras	Baixo a Médio
Solo Exposto	Alta
Áreas Construídas	Médio
Áreas agrícolas	Baixo
Corpos hídricos	Baixo

## (v) Agregação

O método utilizado é a Combinação Linear Ponderada – WLC (Weighted Linear Combination), que permite a compensação entre os fatores (risco e compensação média). Nesse estudo, utilizou-se o conceito “fuzzy” para dar a todas as localizações um valor representando seu grau de adequabilidade.

Neste tipo de avaliação, os fatores agora foram considerados em termos de funções de conjunto fuzzy onde áreas adequadas e inadequadas são medidas contínuas. Re-escalando os fatores a uma escala contínua padrão é possível compará-los e combiná-los como no caso booleano. Evita-se, dessa maneira, a decisão booleana rígida da definição de uma localização particular como absolutamente adequado, ou não, para um dado critério.

De acordo com BAPTISTA (2010), FUZZY são conjuntos ou classes “sem limites rígidos”, isto é a transição entre membros e não membros de uma localização, no conjunto, é gradual. Um conjunto fuzzy é caracterizado por uma possibilidade que varia de zero a um, indicando um aumento contínuo de não membro a membro completo.

## Matriz de Comparação Pareada

	<i>Declividade</i>	<i>Uso do Solo</i>	<i>Geomorfológico</i>	<i>Pedológico</i>
<i>Declividade</i>	1	2.5	1.5	2.5
<i>Uso da Terra</i>	2/5	1	1/2	2.5
<i>Geomorfológico</i>	2/3	2	1	2
<i>Pedológico</i>	2/3	2.5	1.5	1

<b>W</b>
0.3581
0.2925
0.2258
0.1237

<b>AW</b>
1.4446
1.179
0.9068
0.4968

Para se avaliar se realmente os pesos calculados são verídicos, se faz necessário calcular a razão de consistência (RC), que deverá apresentar um valor menor que 0,10, utilizando a seguinte equação:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Em que,

RC = razão de consistência;

IR = índice aleatório que pode ser extraído da tabela 14;

IC = índice de consistência, calculado pela seguinte equação:

$$IC = (\lambda - n)/(n - 1)$$

n = número de variáveis testadas que corresponde ao número de colunas ou linhas da matriz;

$\lambda$  = autovetor, calculado pela seguinte equação:

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Aw}{wi}$$

Resultados obtidos:

$$\lambda = 4,0248$$

$$IC = 0,0083$$

$$RC = 0,01 < 0,1$$

Tabela 7 – Valores de índice aleatório

Tabela A - Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n (Laboratório Nacional de Oak Ridge, EUA)						
n	2	3	4	5	6	7
IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

Comparou-se o cenário obtido com as classes dos mapas temáticos a fim avaliar a influência destas na suscetibilidade à erosão.

### 3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E SUA ANÁLISE

A presente pesquisa teve como finalidade a obtenção da carta de suscetibilidade a escorregamento na escala 1:100.000 da área estudada, a partir de fatores topográficos, geológicos, pedológicos e antrópicos.

O estudo forneceu resultados que podem ser divididos em dois segmentos: produção de mapas temáticos e análise da carta de suscetibilidade a escorregamento.

A carta de carta de suscetibilidade a escorregamento é um documento importante para implementação de medidas corretivas e preventivas relacionadas aos processos de movimentação de massas, dando suporte à tomada de decisão.

Para validar o mapa, utilizaram-se os registros de escorregamentos da Defesa Civil do município de Angra dos Reis. De acordo com o LEVANTAMENTO PRELIMINAR DAS ÁREAS DE ACIDENTES ASSOCIADOS A MOVIMENTO DE MASSA SDC – GENG Nº 01/2005, os bairros que possuem áreas susceptíveis a escorregamento de massa são os seguintes:

- Campo Belo;
- Camorim;
- Frade;
- Marinas;
- Morro do Perez;
- Morro do Carmo;
- Proveta – Ilha Grande;
- Morro da Glória;
- Morro do Santo Antônio;
- Parque Belém;
- Nova Angra;
- Sapinhatuba I.

Este levantamento aponta vários locais que envolvem um contingente significativo de munícipes que tiveram seus imóveis interditados devido a movimentos de massa e outros os quais ainda não foram diretamente atingidos, aguardando por intervenção. Apenas o bairro Proveta, situado na Ilha Grande não se encontra abrangido no mapeamento susceptibilidade gerado por esta pesquisa. Os demais bairros em que



houve escorregamento e não contam no levantamento preliminar acima, foram identificados a partir do site da Defesa Civil de Angra dos Reis.

Entretanto, o Levantamento Preliminar serviu como alerta e anos mais tarde, precisamente no dia 31 de dezembro de 2009, aconteceu o que já havia sido anunciado pelo mesmo.

A partir da análise da carta de susceptibilidade elaborada para a área pode-se fazer uma análise das áreas suscetível e como as mesmas estão sendo ocupadas no município de Angra dos Reis.

A carta de suscetibilidade a escorregamento foi obtida em escala de 1:100.000 para o Município de Angra dos Reis, conforme ilustra a figura 12.

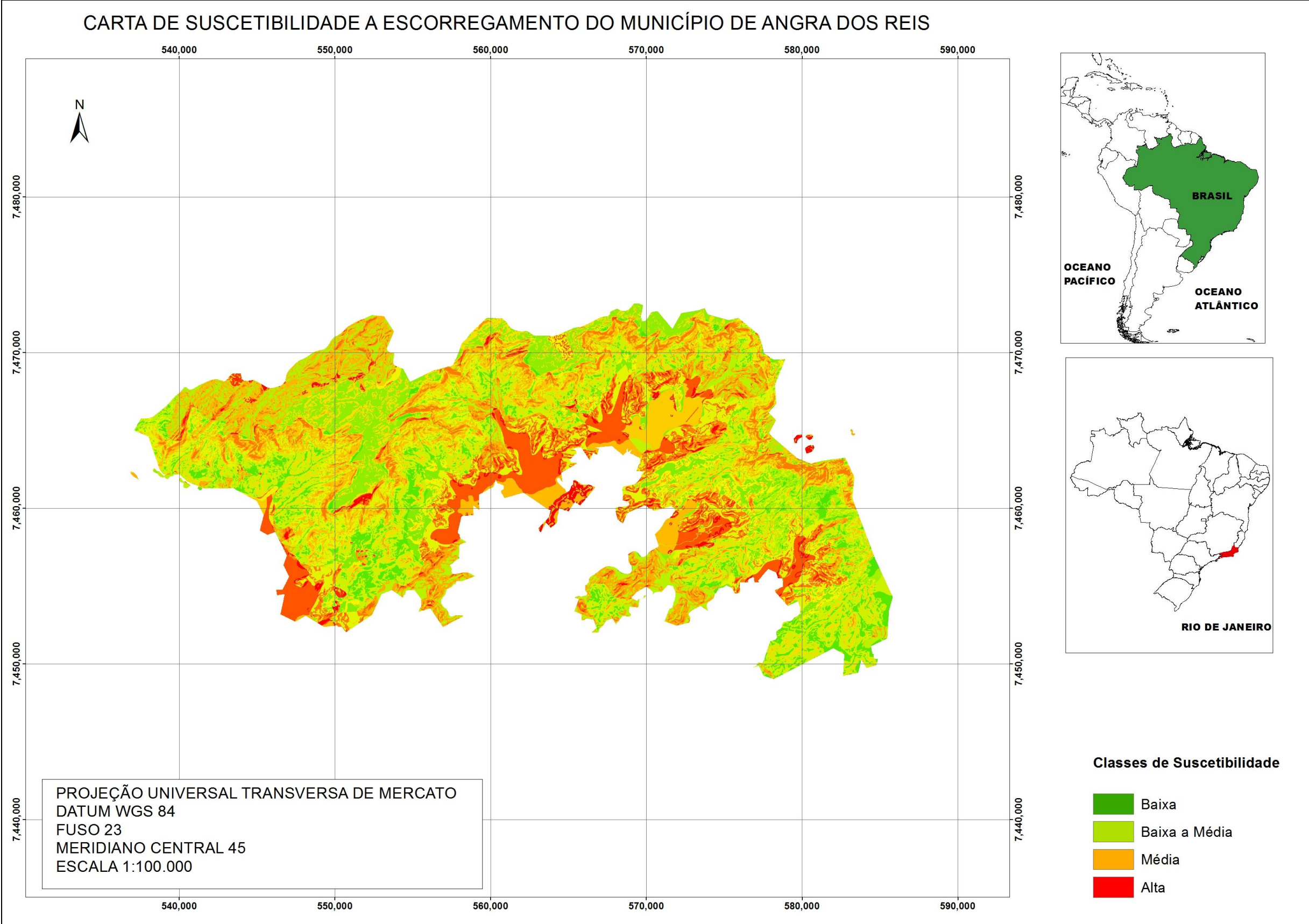


Figura 12 – Carta de Suscetibilidade à Escorregamento do Município de Angra do Reis

De acordo com a Defesa Civil, o volume de chuva ocasionou durante a madrugada do dia 01/01/2010, simultaneamente, dois grandes escorregamentos de terras, causando 53 mortes, sendo 32 vítimas na Praia de Bananal, Ilha Grande e 21 no Morro da Carioca, próximo ao Centro da cidade.

Dos 118 bairros existentes no município, 61 foram atingidos por alguma ocorrência. Trechos da Rodovia Mário Covas foram interditados por causa da queda de barreiras em 37 pontos. O mais crítico é o trecho próximo a Sapinhatuba II, por risco de desabamento na área. Abaixo, se pode observar a Carta de Suscetibilidade a Escorregamento com os pontos onde houve os deslizamentos (Figura 13).

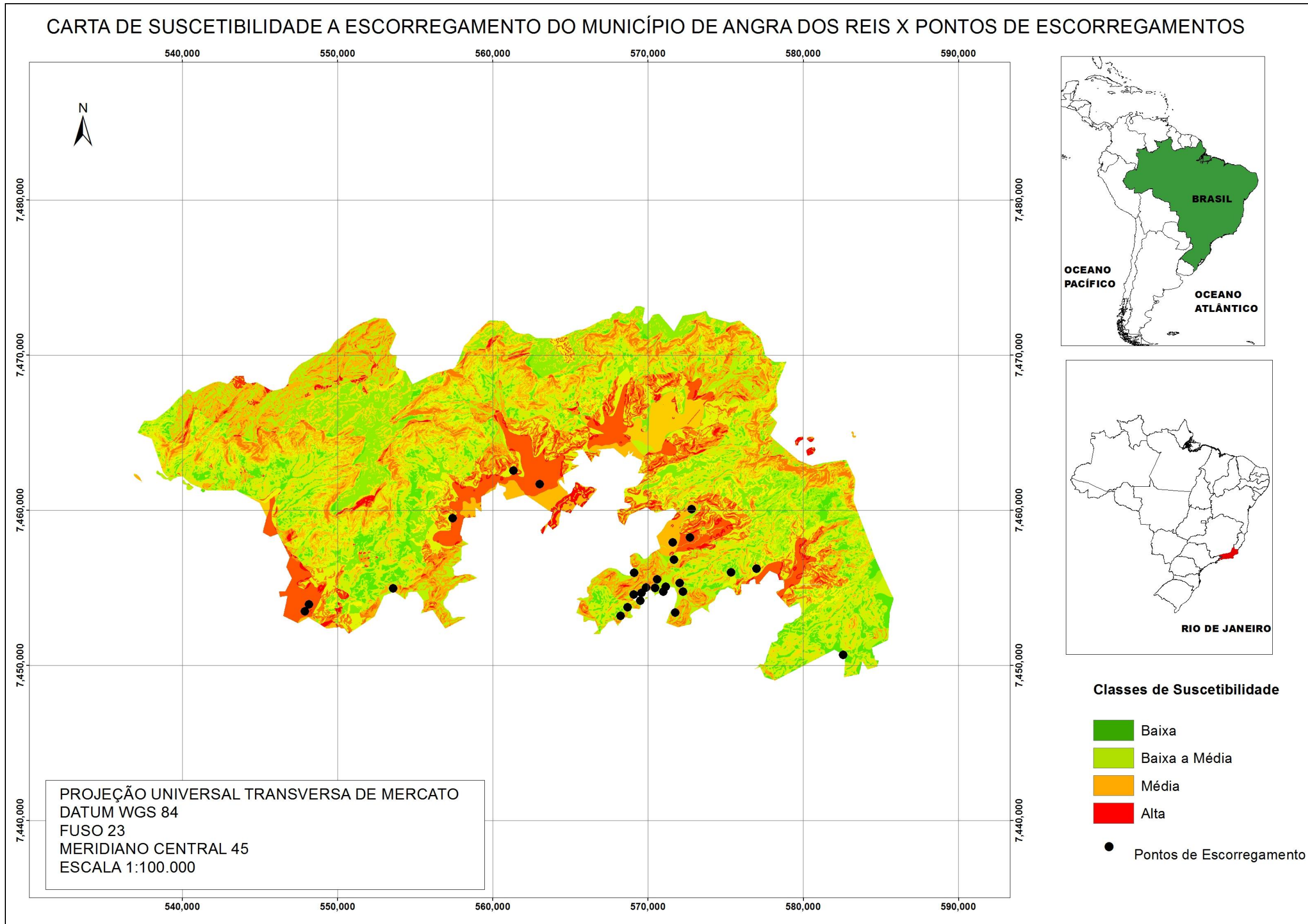


Figura 13 – Carta de Suscetibilidade à Escorregamento com os pontos de deslizamentos do Município de Angra do Reis.

Analisando a Carta de Suscetibilidade a Escorregamento, podemos identificar os pontos de deslizamentos de acordo com a Defesa Civil de Angra dos Reis.

Analisando-se a figura 14 abaixo, constata-se que os pontos de deslizamentos nos bairros Frade, Boa Vista, Vila Perequê – Mambucaba, Santa Rita do Bracuí e Bracuí se encontram nas áreas classificadas como suscetibilidade alta a escorregamento neste estudo. Assim como, a Praia Brava se localiza numa área de média a baixa suscetibilidade.

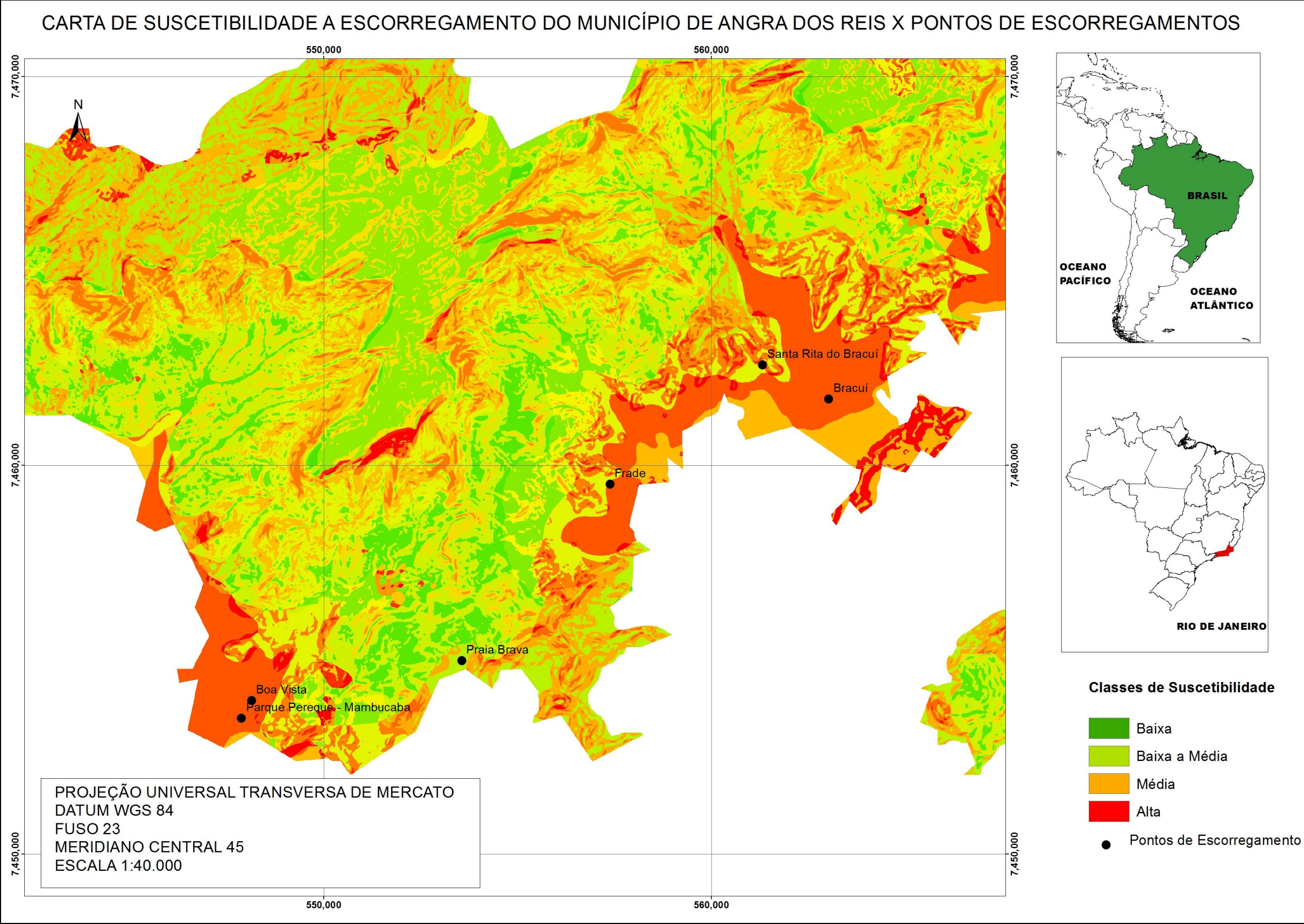


Figura 14 – Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetiidade a Escorregamento

Analisando-se a figura 15 abaixo, constata-se que o ponto de deslizamento no bairro Nova Angra se encontra na área classificada como suscetibilidade alta a escorregamento neste estudo. Os pontos nos bairros Parque Belém, Angra Getulândia, estrada do Contorno e Lambicaba se encontram nas áreas classificadas como suscetibilidade média a escorregamento neste estudo. E o bairro Camorim se localiza numa área de média a baixa suscetibilidade.

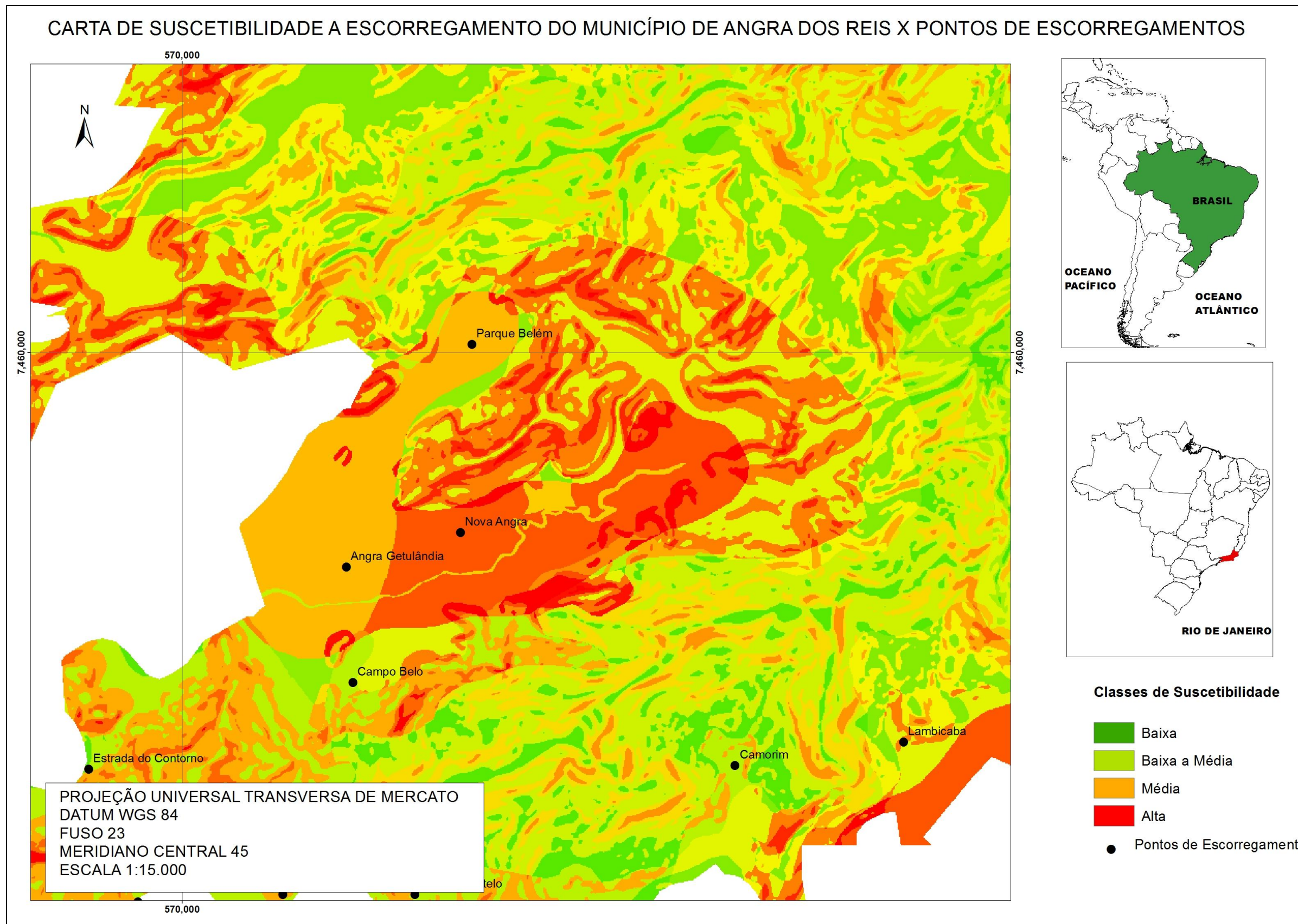


Figura 15 - Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetibilidade a Escorregamento (2).



Considerando-se a figura 16 abaixo, constata-se que o ponto de deslizamento no Morro do Carmo se encontra na área classificada como suscetibilidade alta a escorregamento neste estudo. Os pontos nos morros Santo Antônio, da Glória, do Perez, do tatu e o bairro Marinas se encontram nas áreas classificadas como suscetibilidade média a escorregamento neste estudo. E os bairros Bonfim, morro da Carioca, morro do Bulé, bairro Balneário, Sapinhatuba I, Monte Castelo e o Colégio Naval se localizam numa área de média a baixa suscetibilidade.

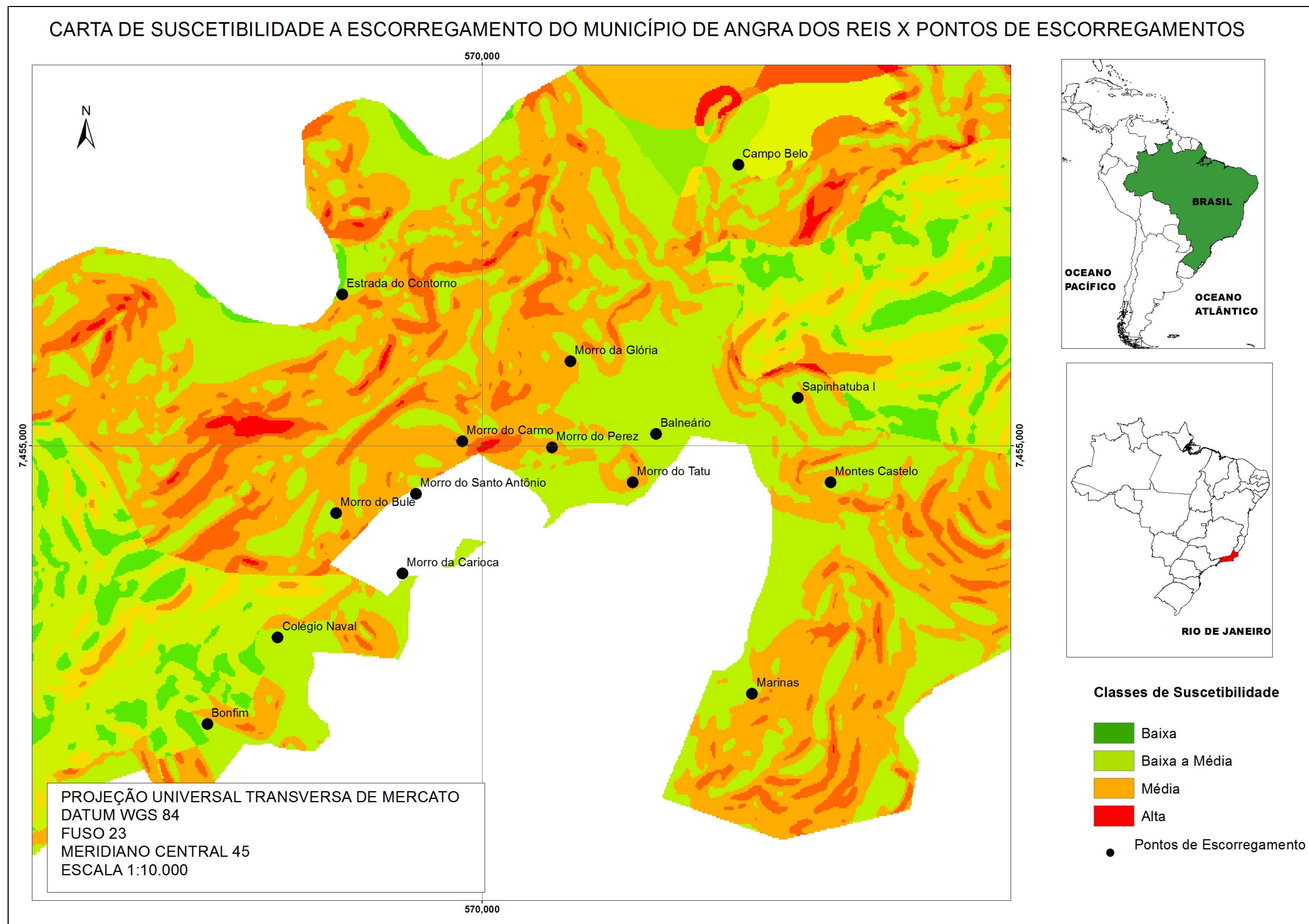


Figura 16 - Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetibilidade a Escorregamento (3).

E finalmente, a figura 17 abaixo que mostra o ponto de deslizamento no Hotel Porto Belo, que se situa na área de baixa a média suscetibilidade no estudo apresentado.

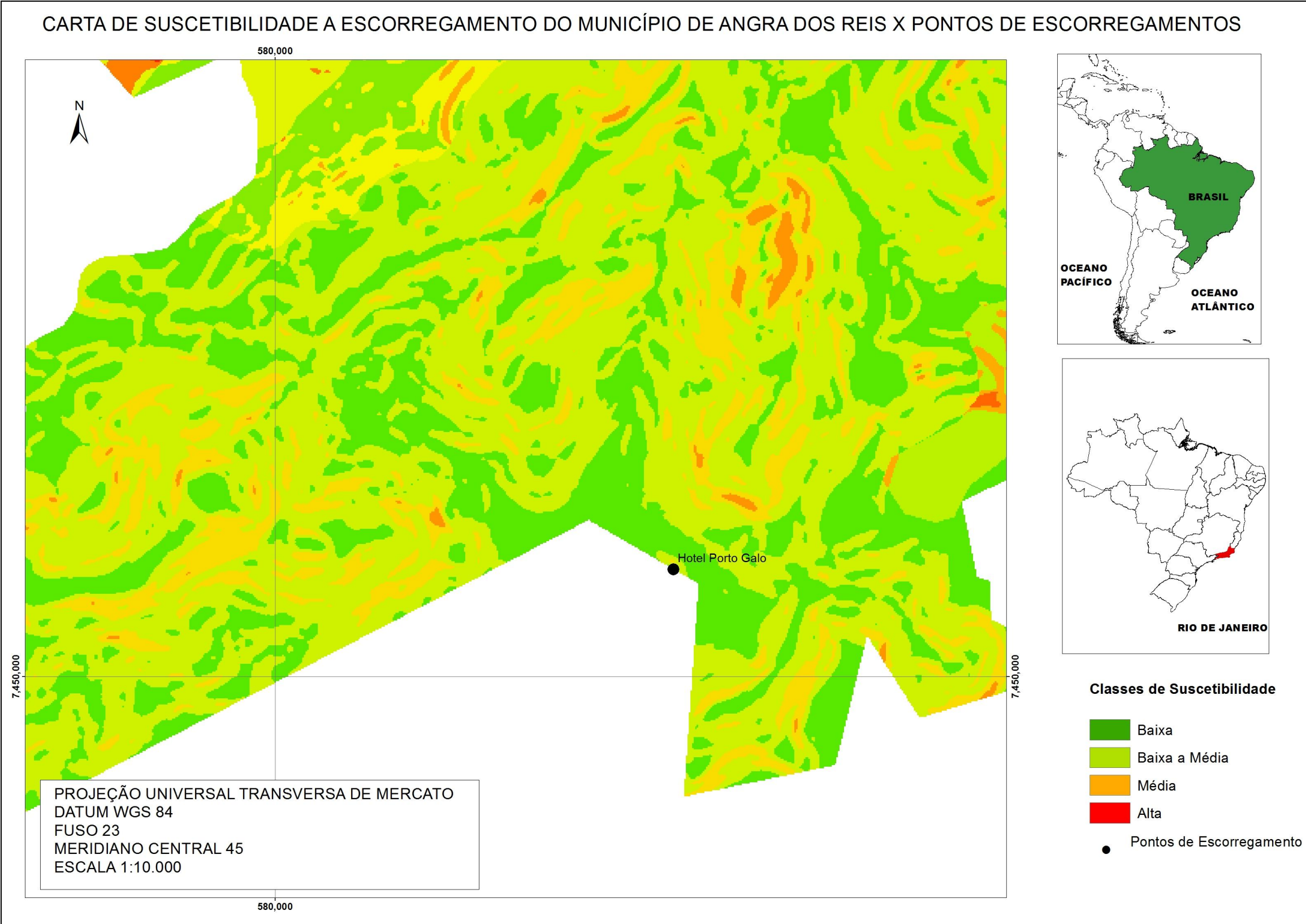


Figura 17 - Pontos de deslizamentos de terra versus Carta de suscetiidade a Escorregamento (4).

Conforme se pode observar na Carta de Suscetibilidade a Escorregamento gerada por esta pesquisa, as áreas classificadas como alta, média e média a baixa suscetibilidade, são justamente as mesmas que foram atingidas pelos deslizamentos ocorridos em 2010.

E verificando as áreas atingidas pelo escorregamento, nota-se que alguns pontos se encontram em áreas classificadas como suscetibilidade média a baixa, o que dá a entender que os fatores não utilizados, como precipitação e concavidade de geomorfologia, seriam cruciais para um mapeamento mais acurado.

#### 4. CONCLUSÕES

O município de Angra dos Reis - RJ reúne condições naturais que favorecem o desenvolvimento de processos erosivos em seu interior. O avanço da ocupação de forma irregular tende a potencializar tais processos, dado o desrespeito às condições naturais.

Observando os resultados alcançados nesta pesquisa, foi possível concluir que a avaliação multicriterial, é adequada ao mapeamento de suscetibilidade a escorregamento de massa em ambiente SIG. Porém, o ideal seria utilizar dados cartográficos numa escala maior, o que não foi possível, pois esta pesquisa somente utilizou dados disponíveis em órgãos públicos.

Recomenda-se um mapeamento com dados mais refinados, como mapeamento em escalas maiores, distribuição espacial dos dados pluviométricos, considerar a concavidade na geomorfologia, pois a mesma não foi considerada neste estudo por falta dos dados, entre outros, pois somente assim, conseguiríamos resultados mais exatos.

Entretanto, com este mapeamento podemos ter uma dimensão das áreas mais suscetíveis a escorregamento de massas no município e com isso podemos alertar o Poder Público sobre quais áreas merecem um investimento para que possamos minimizar tragédias como a ocorrida em janeiro de 2010.

Ressalta-se que a falta dos dados pluviométricos e a inclusão dos mesmos pode acarretar um aumento da suscetibilidade a escorregamento em algumas áreas.

Recomenda-se para futuros trabalhos, uma avaliação tanto quantitativa quanto qualitativa da suscetibilidade a escorregamento e que se trabalhe com dados em escala maior do que os que foram trabalhados nessa pesquisa. Assim, se obterá uma avaliação mais acurada.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W.S; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SOUZA, N.M. **Produção de mapas de zonas homólogas de relevo e de uso do solo, a partir de dados de modelos numéricos de terreno e de imagem Quick Bird, como passos intermediários em um diagnóstico da susceptibilidade à erosão, no entorno da usina hidrelétrica Corumbá IV (GO)**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5563-5570.

AUGUSTO FILHO, O. **Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle**. São Paulo: IPT, 1992. p. 96-115. Apostila do curso de geologia de engenharia aplicada a problemas ambientais.

BARROS, M. A.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; **Processo analítico hierárquico na identificação de áreas favoráveis ao agroecossistema cafeeiro em escala municipal**. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira., v.42, n.12, p.1769-1777, 2007.

BAPTISTA, Alessandra Carreiro. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ**. Viçosa. UFV: 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil. Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

\_\_\_\_\_. **Análise da paisagem e identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa na APA Petrópolis: subsídio ao planejamento urbano**. Viçosa. UFV: 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

BIGARELLA, J. J, et al. (2003) **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol.3, Cap.8, Editora da UFSC. Florianópolis, 1026-1098 p.

CARDOZO, F.S.; **Análise Das Áreas Suscetíveis a Inundações e Escorregamentos Na Bacia Do Rio Forquilhas, São José / Sc**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. de; **Introdução à Ciência da Geoinformação: Capítulo 7 – Modelagem Numérica de Terreno**. INPE: São José dos Campos, 2004.

CERRI, L. E. da S. **Riscos Geológicos Urbanos**. In: CHASSOT, Attico & CAMPOS, Heraldo (Orgs.). Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogo para (inter) ações no Planeta. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1999, p. 49-73.

CERRI, L. E. da S.; AMARAL, C. P. do. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, p.301-310.

CHACÓ, J.; IRIGARAY, E.C.; FERNANDEZ, E.T.; HAMDOUNI R. **Engineering Geology Maps: Landslides and Geographical Information Systems**. Bull Eng Geol Environ (2006) 65:341–411.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. Ministério de Minas e Energia, Brasília (DF). CD-ROM. 2001.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro 2003**. Capítulo 2: Aspectos Físicos e Climatológicos. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/rj/chuvas/chuvas\\_aspectos.pdf](http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/rj/chuvas/chuvas_aspectos.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2012.

DAVIS, E. G. & NAGHETTINI, M. C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. In: CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, CPRM, 2001. CD-Rom.

DANTAS, M. E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro – Texto Explicativo do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro**. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: CPRM, DRM/RJ, 2001. 60p.

EMBRAPA. **Classificação de Solos do Estado de São Paulo**. 1999.

FELGUEIRAS, C.A e CÂMARA, G. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G., MONTEIRO, A.M.V. e DAVIS, C (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345 p., Capítulo 7. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. E GREENBERG, H. **Condicionantes Geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis**. Revista Brasileira de Geomorfologia, vol. 2, nº 1, 2001.

FREIRE, E.S.M.; **Movimentos de Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática**. Rio de Janeiro, Revista Construção, 1965. P, 10-18.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnósticos de planejamentos ambientais**. 2003. Total p. Tese (Doutorado em planejamento e desenvolvimento rural e sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. **Especialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente**. AnaisXIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2643-2650.

GIBOSHI, M. L.; RODRIGUES, L. H. A.; NETO, F. L.; **Sistema de suporte à decisão para recomendação de uso e manejo de terra**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 4, p.861-866, 2006.

GUIDICINI, G. NIEBLE, C.M.; **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1976.

JUNIOR, A. F. do A.; **Mapeamento Geotécnico aplicado a análise de processamento de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde – RJ – Escala 1:10.000**. Dissertação de Mestrados, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

KEMP, K. Environmental Modelling with GIS: **A Strategy for Dealing with Spatial Continuity**. Ph.D. thesis, Department of Geography, University of of California, Santa Barbara, 1992. NCGIA Technical Report 93-3.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 08 jun. 2012.



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

LEROUEIL, S. & MARQUES, M.E.S. (1996). “**State of the Art on the importance of strain rate and temperature effects in geotechnical engineering**”. ASCE Convention, Washington, Geotechnical Special Publication No. 61, pp.1-60.

LIMA-E-SILVA, P. P.; GUERRA, A. J. T.; DUTRA, L. E. D. **Subsídios para avaliação econômica de impactos ambientais**. Avaliação e perícia ambiental. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. p. 217-261.

LIMA, S. T.; DE SOUZA, J. B.: **O geoprocessamento aplicado na identificação de áreas com susceptibilidade a movimento de massas no Parque das Mangabeiras em Belo Horizonte – MG**. revistas.unibh.br.pdf

MAZZA, B. C.: **Inventário de Movimentos de Massa Gravitacionais na Serra do Mar no Município de Angra dos Reis, Rio de Janeiro**. Monografia de Graduação em Agronomia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

OLIVEIRA, E. L. de A. **Áreas de Risco Geomorfológico na Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS: Zoneamento e Hierarquização**. 2004. 141f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RAMIREZ, M. R. **Sistemas gerenciadores de banco de dados para geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado. COPPE/Engenharia de Sistemas e Computação. 1994. UFRJ.

RODRIGUES, B. B.; **Proposta de Sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto (MG)**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 2002.

SAATY, T.L. (1980). **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hil.

\_\_\_\_\_. **Método de Análise Hierárquica**, Livro, São Paulo, Editora Makron, 1991.

SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; VARAJÃO, A. F. D.; NALINI JÚNIOR, H. A.; COLIN, F. & BRAUCHER, R. (2007) **Study of the erosive and denudational processes in the upper Córrego Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG - Brazil) by the in situ-produced Cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  method.** Earth Surface Processes and Landforms, 32: 905-911.

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos.** Dissertação (Mestrado) - FEC/UNICAMP, 2004.

SENA, J. N.; **O Uso de Sistema de Informação Geográfica na Avaliação de Diferentes Alternativas de Geração de Cartas de Suscetibilidade à Erosão.** Dissertação (Mestrado) - UNESP, 2008.

SILVA, J. E. B.; GUERRA, A.J.T. **Análise das propriedades dos solos das subbacias do rio Tindiba e do córrego do Catonho, Rio de Janeiro, com fins à identificação de áreas com predisposição à erosão.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia.

SOARES, E. P., 2006: Dissertação de mestrado: **Caracterização da precipitação na região de Angra dos Reis e a sua relação com a ocorrência de deslizamentos de encostas.** COPPE/UFRJ.

SOUZA, J. M.; RAMIREZ, M.; FERRARI, R.; DUARTE, M. P. C. **Uma arquitetura organizacional para Sistemas de Informações Geográficas Orientados a Objetos.** In: IV CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS E II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO - EP/USP, 1993. São Paulo. Anais..., meio digital, 1993, v. 1, p. 1.

Sternberg In: **Anuário Geográfico do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 1961.

STRAUCH, J. C. M.; SOUZA, J. M.; MATTOSO, M. L. de Q.; **Estudo dos modelos de dados dos Sistemas de Informação Geográfica ARC/INFO e SPRING.** Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/ UFRJ, 1998.

TERZAGHI, K. **Mecanismos dos Escorregamentos de Terra.** (Tradução de Mechanics of landslides, 1950, 167 p.). In: Revista Politécnica, USP, 41 p., 1967.

TOMINAGA, L. K.; **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, 2007.

TUCCI, C.E.M. (org.) **Hidrologia – Ciência e Aplicação.** 3 ed. Porto Alegre, Editora da Universidade/ABRH, 2004.

VARNES, D. J.; **Landslides Types and Processes.** In Eckel, E.B. (ed.) Landslides and Engineering Practice. National Academy of Science, Washington: 20-47, 1958.

\_\_\_\_\_. **Slope Movement Types and Processes. Landslides: Analysis and Control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.).** TRB, National Research Council, Washington, D.C., In: Special Report 176. pp. 11-33. 1978.

VETORAZZI, C. A.; **Avaliação Multicritérios, Em Ambiente SIG, Na Definição de Áreas Prioritárias à Restauração Florestal Visando à Conservação de Recursos Hídricos.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Rural, Universidade de São Paulo, 2006.

ZMITROWICZ, W.; **Planejamento Territorial Urbano.** ISSN 1413-0386, TT/PCC/24. Texto Técnico, Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2002.

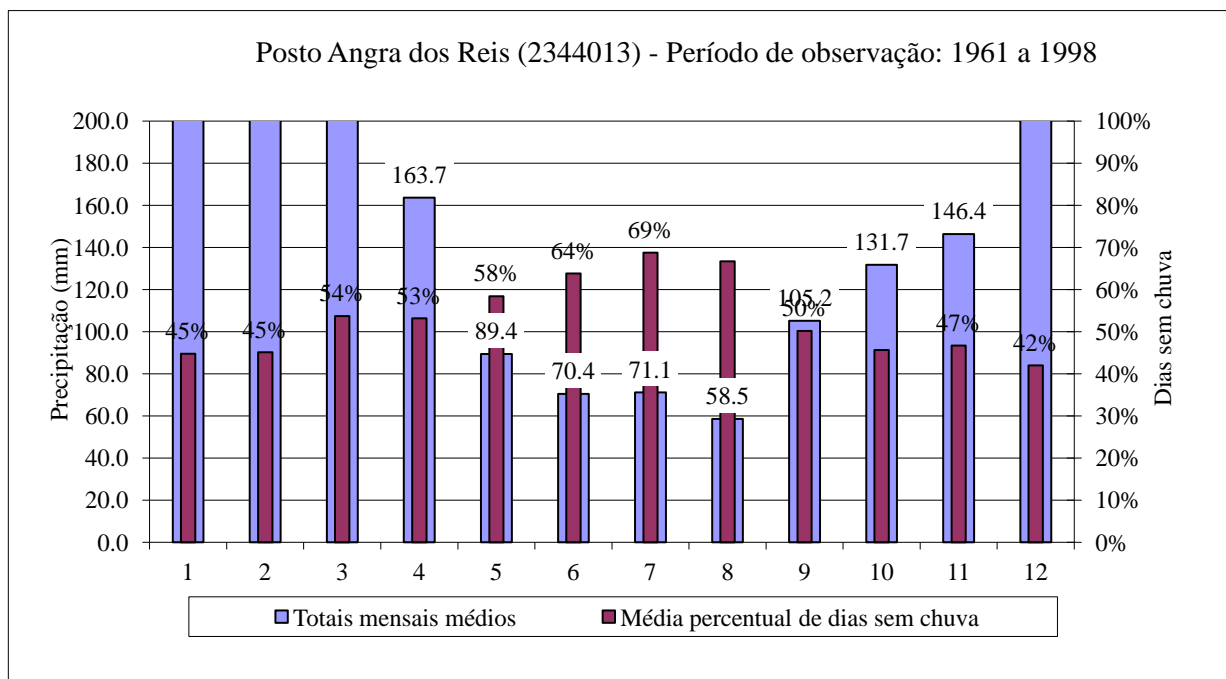
ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos.** Tese de doutorado, EESC/USP, São Carlos. 1998.

## ANEXO A – Planilhas dos Postos Pluviométricos Angra dos Reis e São Bento

## Posto Angra dos Reis

		Chuva média mensal			Dias sem chuva por mês		
mês	mês	soma	n	media	soma	n	media
1	Jan	6419.9	25	256.8	11.18007	25	45%
2	Fev	5431	25	217.2	11.27689	25	45%
3	Mar	5575.4	25	223.0	13.42366	25	54%
4	Abr	4091.9	25	163.7	13.28628	25	53%
5	Mai	2234.5	25	89.4	14.60672	25	58%
6	Jun	1830.6	26	70.4	16.58452	26	64%
7	Jul	1778.1	25	71.1	17.19321	25	69%
8	Ago	1521.5	26	58.5	17.34194	26	67%
9	Set	2734.2	26	105.2	13.04161	26	50%
10	Out	3424.9	26	131.7	11.86043	26	46%
11	Nov	3805.4	26	146.4	12.14439	26	47%
12	Dez	6375.8	26	245.2	10.91467	26	42%

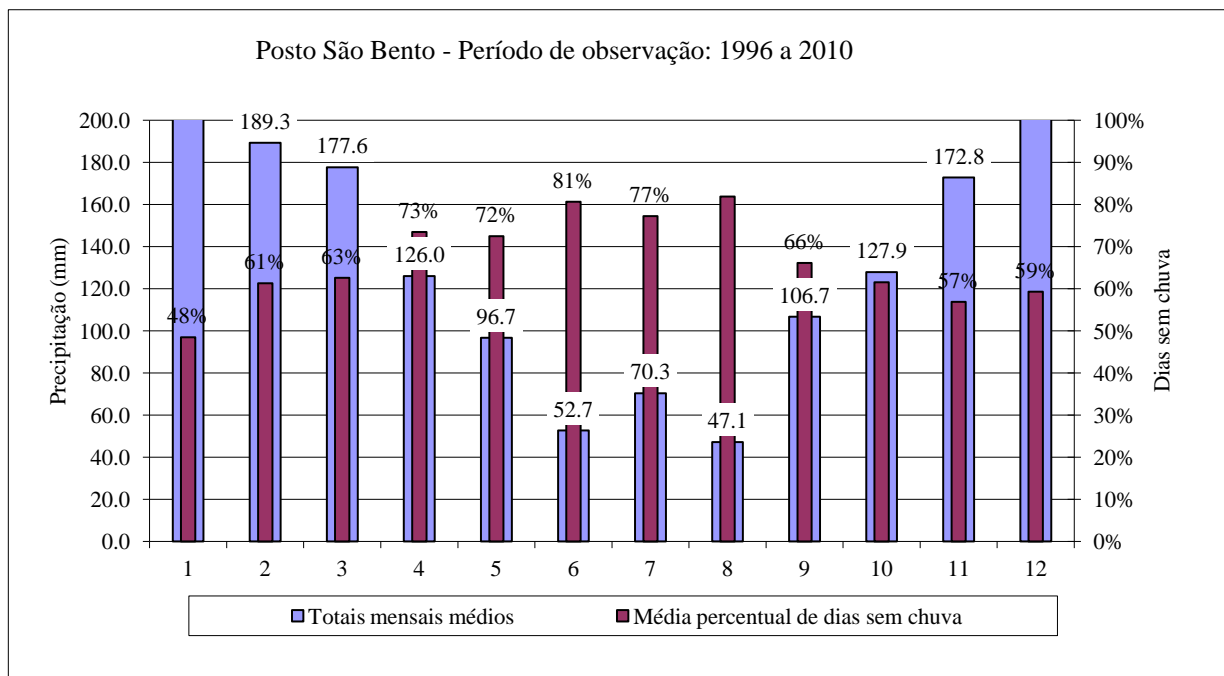
**média anual: 1778.6 mm**



### Posto São Bento

		Chuva média mensal			Dias sem chuva por mês		
mês	mês	soma	n	media	soma	n	media
1	Jan	4137.3	15	275.8	7.26808	15	48%
2	Fev	2839.7	15	189.3	9.19312	15	61%
3	Mar	2664.3	15	177.6	9.3871	15	63%
4	Abr	1889.9	15	126.0	11.023	15	73%
5	Mai	1449.8	15	96.7	10.8722	15	72%
6	Jun	789.8	15	52.7	12.1	15	81%
7	Jul	1054.7	15	70.3	11.5806	15	77%
8	Ago	706.7	15	47.1	12.2849	15	82%
9	Set	1600.8	15	106.7	9.91954	15	66%
10	Out	1918.1	15	127.9	9.23118	15	62%
11	Nov	2591.9	15	172.8	8.52619	15	57%
12	Dez	3611.9	15	240.8	8.89094	15	59%

**média anual: 1683.7 mm**

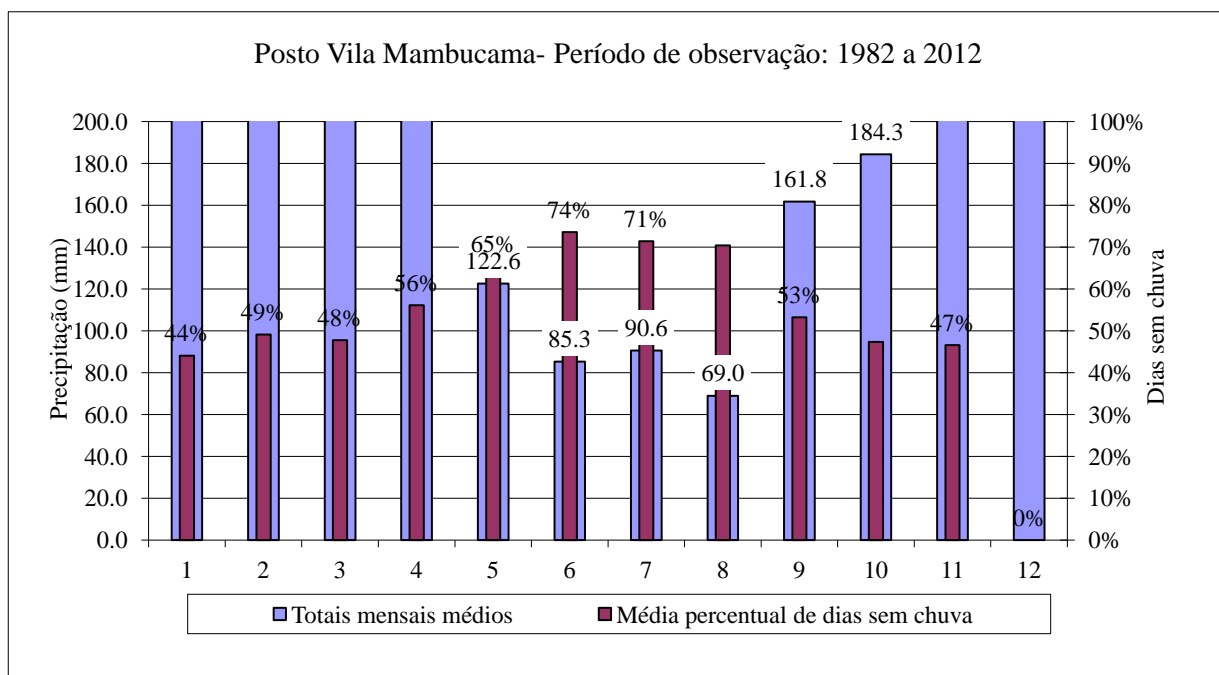


## ANEXO B – Planilhas dos demais Postos Pluviométricos

## Posto Vila Mambucaba

		Chuva média mensal			Dias sem chuva por mês		
mês	mês	soma	n	media	soma	n	media
1	Jan	7733	31	249.5	13.6452	31	44%
2	Fev	7695.3	30	256.5	14.7333	30	49%
3	Mar	9040.8	30	301.4	14.3226	30	48%
4	Abr	6279.1	30	209.3	16.8333	30	56%
5	Mai	3677.4	30	122.6	19.5806	30	65%
6	Jun	2558.8	30	85.3	22.0667	30	74%
7	Jul	2718.2	30	90.6	21.4194	30	71%
8	Ago	2068.8	30	69.0	21.129	30	70%
9	Set	4853.9	30	161.8	15.9667	30	53%
10	Out	5528.9	30	184.3	14.1935	30	47%
11	Nov	6270.5	30	209.0	13.9667	30	47%
12	Dez	7386.5	30	246.2	-	30	-

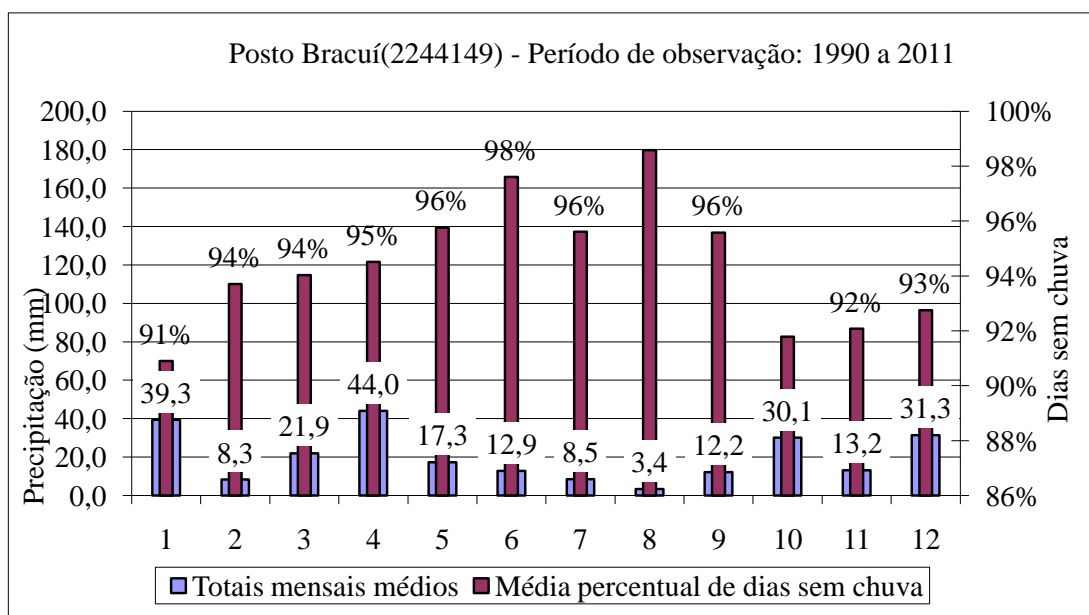
**média anual: 2185.4 mm**



## Bracuí

		Chuva média mensal			Dias sem chuva por mês		
mês	mês	soma	n	media	soma	n	media
1	Jan	1455	37	39.3	33.6327	37	91%
2	Fev	297	36	8.3	33.7332	36	94%
3	Mar	788	36	21.9	33.8512	36	94%
4	Abr	1585	36	44.0	34.0243	36	95%
5	Mai	622	36	17.3	34.4716	36	96%
6	Jun	464	36	12.9	35.1395	36	98%
7	Jul	306	36	8.5	34.4189	36	96%
8	Ago	122	36	3.4	35.489	36	99%
9	Set	439	36	12.2	34.409	36	96%
10	Out	1083	36	30.1	33.0417	36	92%
11	Nov	474	36	13.2	33.1464	36	92%
12	Dez	1097	35	31.3	32.462	35	93%

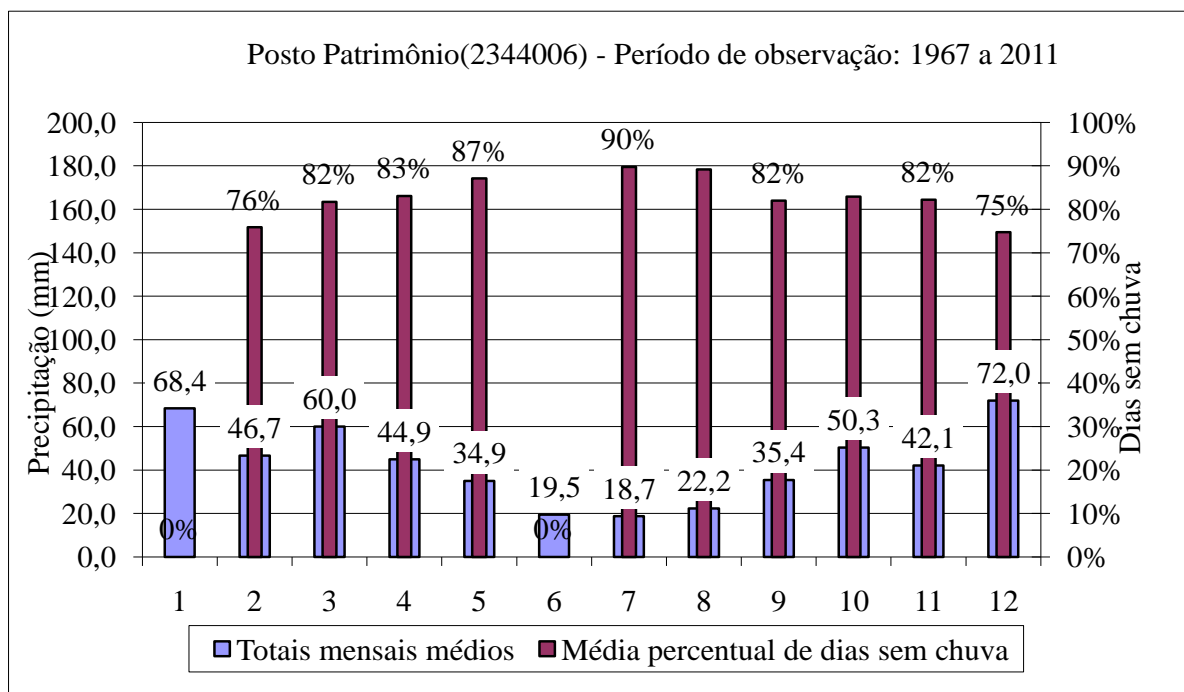
**Média anual: 242.3 mm**



### Patrimônio

		Chuva média mensal			Dias sem chuva por mês		
mês	mês	soma	n	media	soma	n	media
1	Jan	5338	78	68.4	-!	78	-
2	Fev	3639	78	46.7	59.1817	78	76%
3	Mar	4681	78	60.0	63.7405	78	82%
4	Abr	3499	78	44.9	64.77	78	83%
5	Mai	2726	78	34.9	67.9723	78	87%
6	Jun	1521	78	19.5	-	78	-
7	Jul	1462	78	18.7	69.9975	78	90%
8	Ago	1735	78	22.2	69.551	78	89%
9	Set	2764	78	35.4	63.9352	78	82%
10	Out	3925	78	50.3	64.6658	78	83%
11	Nov	3286	78	42.1	64.1343	78	82%
12	Dez	5614	78	72.0	58.3068	78	75%

**Média anual: 515.3 mm**

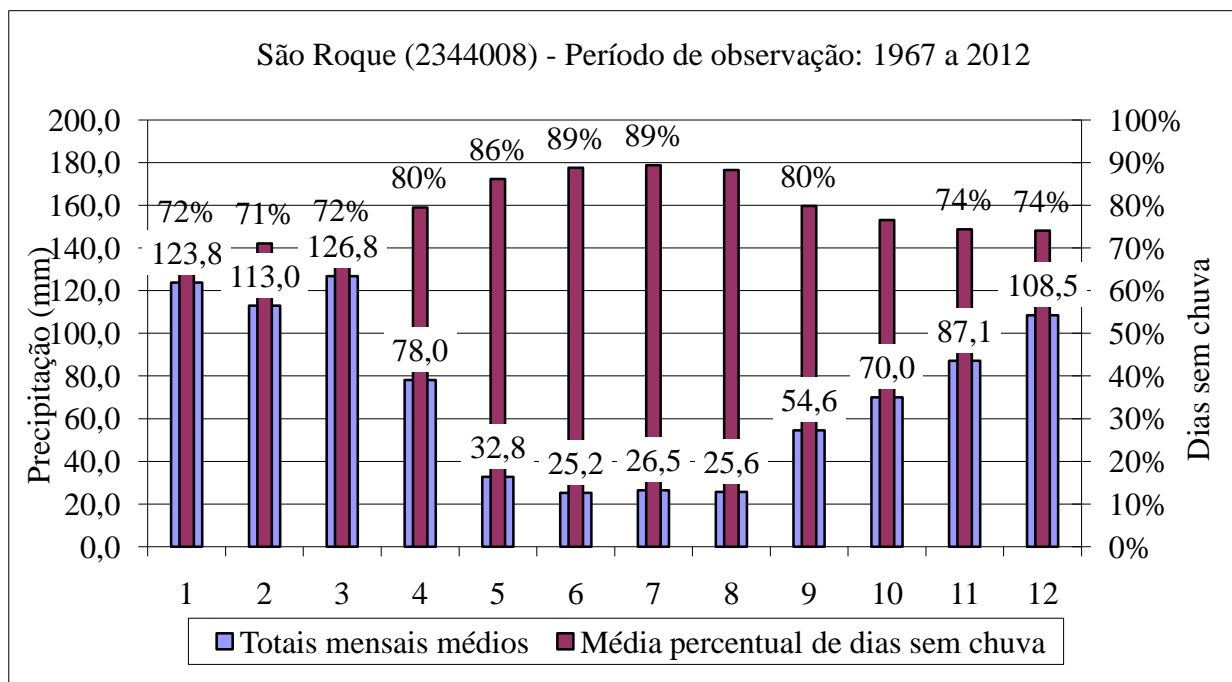




### São Roque

		Chuva média mensal			Dias sem chuva por mês		
mês	mês	soma	n	media	soma	n	media
1	Jan	10395	84	123.8	60.1723	84	72%
2	Fev	9381	83	113.0	58.978	83	71%
3	Mar	10527	83	126.8	59.7179	83	72%
4	Abr	6477	83	78.0	65.9912	83	80%
5	Mai	2721	83	32.8	71.4876	83	86%
6	Jun	2092	83	25.2	73.6933	83	89%
7	Jul	2196	83	26.5	74.1964	83	89%
8	Ago	2128	83	25.6	73.2687	83	88%
9	Set	4530	83	54.6	66.2743	83	80%
10	Out	5812	83	70.0	63.5293	83	77%
11	Nov	7230	83	87.1	61.7282	83	74%
12	Dez	9002	83	108.5	61.4524	83	74%

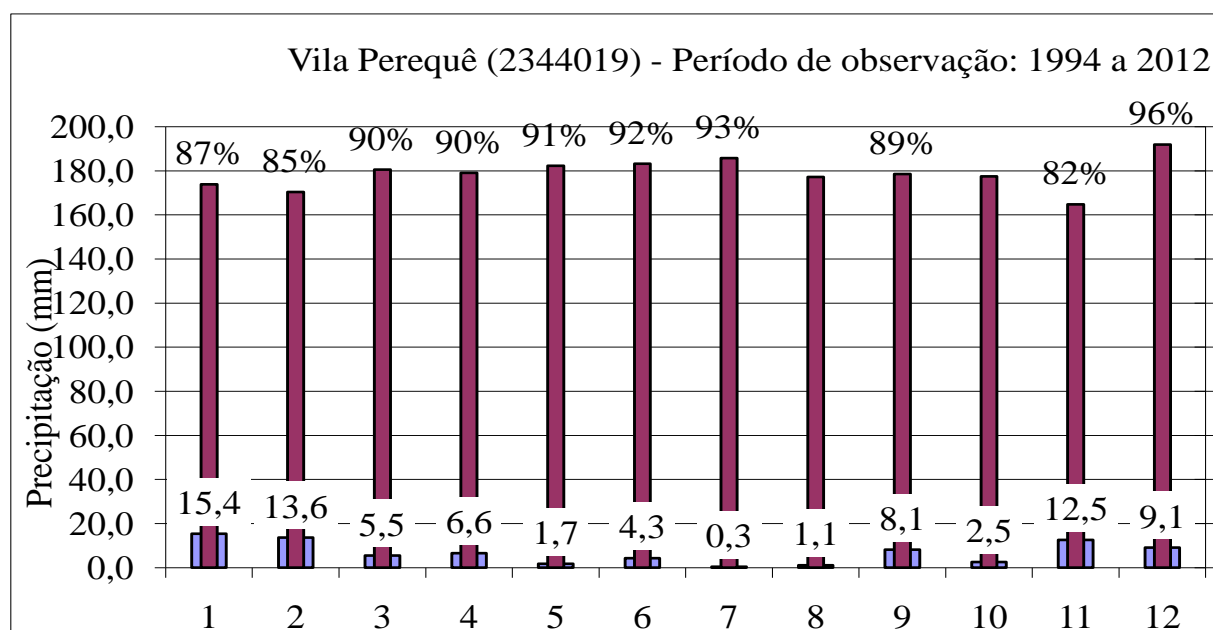
**Média anual: 871.9 mm**



### Vila Perequê

		Chuva média mensal			Dias sem chuva por mês		
mês	mês	soma	n	media	soma	n	media
1	Jan	462	30	15.4	26.0745	30	87%
2	Fev	395	29	13.6	24.7079	29	85%
3	Mar	159	29	5.5	26.182	29	90%
4	Abr	191	29	6.6	25.9704	29	90%
5	Mai	50	29	1.7	26.4247	29	91%
6	Jun	124	29	4.3	26.5638	29	92%
7	Jul	10	29	0.3	26.9333	29	93%
8	Ago	31	29	1.1	25.6987	29	89%
9	Set	235	29	8.1	25.8968	29	89%
10	Out	72	29	2.5	25.7349	29	89%
11	Nov	363	29	12.5	23.8929	29	82%
12	Dez	247	27	9.1	25.9118	27	96%

**Média anual: 80.8 mm**



ANEXO C – Planilha da Estação Angra dos Reis referente aos meses 12/2009 e 01/2010



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DO ABASTECIMENTO  
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET  
SEXTO DISTRITO DE METEOROLOGIA - 6º DISME

Av. Barão de Tefé, 27 - 2º andar - 20220-460 - Rio de Janeiro - RJ  
Fone: (021) 2253.1785, 2253.2210 Fax: (021) 2518 - 4368

SEÇÃO DE OBSERVAÇÃO E METEOROLOGIA APLICADA  
Banco de Dados Meteorológicos-RJ

ASSUNTO: Dados Meteorológicos da Estação Climatológica Auxiliar de Angra dos Reis/RJ.

Estação: Angra dos Reis /nº 83788

Lat: 23° 01' S

Long: 44° 19' W

Altitude: 3 m

Data: 23/02/2010

Dados Diários de Precipitação (mm)

Dia	Dez/2009	Jan/2010
1	0.0	142.9
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	21.4	0.0
5	58.0	0.0
6	3.3	0.0
7	-	0.0
8	-	0.0
9	-	7.1
10	-	0.0
11	-	0.0
12	0.0	0.0
13	9.1	78.0
14	17.8	3.3
15	1.3	68.4
16	0.0	1.5
17	0.0	0.2
18	16.4	0.6
19	36.7	0.0
20	0.0	0.6
21	0.0	0.0
22	0.0	50.4
23	0.0	7.2
24	0.0	17.3
25	0.0	10.0
26	0.0	10.2
27	0.0	14.8
28	42.4	0.0
29	16.1	0.0
30	0.0	0.0
31	132.6	0.0

## ANEXO D – Planilha da Estação São Bento referente aos meses 12/2009 e 01/2010



Estado do Rio de Janeiro

**PREFEITURA MUNICIPAL DE ANGRA DOS REIS**

Secretaria de Governo e Defesa Civil - SGD

Subsecretaria de Defesa Civil - SSDC



**TABELA DE REGISTRO PLUVIOMÉTRICO - SÃO BENTO - CENTRO**

DEZ	2009	JAN	2010
DIA	mm³	DIA	mm³
1	0	1	171.0
2	0	2	0.0
3	10	3	0.0
4	66	4	0.0
5	10	5	0.0
6	0	6	0.0
7	6	7	0.0
8	36	8	7.0
9	52	9	0.0
10	15.9	10	0.0
11	4	11	0.0
12	0	12	74.0
13	31	13	5.0
14	0.2	14	68.0
15	0	15	3.0
16	0	16	1.0
17	22	17	0.0
18	20	18	0.0
19	10	19	0.0
20	0	20	0.0
21	0	21	60.0
22	0	22	6.0
23	0	23	20.0
24	0	24	12.0
25	0	25	50.0
26	0	26	12.0
27	5	27	0.0
28	55.5	28	0.0
29	0	29	0.0
30	140	30	0.0
31	104	31	0.0
Total	587.6	Total	489.0
Média	19	Média	15.8