
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA
SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA UTILIZANDO
PRODUTOS FOTOGRAFAMÉTRICOS E MODELAGEM ESPACIAL
MULTICRITÉRIO NA DINÂMICA DE ÁREAS DE RISCO NAS
MICRORREGIÕES DO JORDÃO E IBURA, RECIFE-PE

ANDRÉ PINTO ROCHA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

Dissertação de Mestrado

Recife, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

André Pinto Rocha

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA
SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA UTILIZANDO
PRODUTOS FOTOGRAFÉTRICOS E MODELAGEM ESPACIAL
MULTICRITÉRIO NA DINÂMICA DE ÁREAS DE RISCO NAS
MICRORREGIÕES DO JORDÃO E IBURA, RECIFE-PE**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação defendida e aprovada em 31 de agosto de 2015.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

Recife
2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

R672a Rocha, André Pinto.

Avaliação espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa utilizando produtos fotogramétricos e modelagem espacial multicritério na dinâmica de áreas de risco nas microrregiões do Jordão e Ibura, Recife, PE / André Pinto Rocha. - Recife: O Autor, 2015.

141f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2015.

Inclui Referências.

1. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2. Áreas de risco. 3. Avaliação Espaço-Temporal. 4. Geoprocessamento. 5. Mapeamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa. 6. Modelagem Multicritério. 7. Ortofotocarta. I. Schuler, Carlos Alberto Borba (Orientador). II. Título.

526.1 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2015/261

"AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA UTILIZANDO PRODUTOS FOTOGRAFÉTICOS E MODELAGEM ESPACIAL MULTICRITÉRIO NA DINÂMICA DE ÁREAS DE RISCO NAS MICRORREGIÕES DO JORDÃO E IBURA, RECIFE-PE"

POR

ANDRÉ PINTO ROCHA

Dissertação defendida e aprovada em 31/08/2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. FRANCISCO JAIME BEZERRA MENDONÇA

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. HERNANDE PEREIRA DA SILVA

Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco

Aos meus queridos pais e irmãs
que me ensinaram a viver, apoiaram e exercitaram minhas
capacidades...

AGRADECIMENTOS

Agradecer é um ato de reconhecimento que não podemos caminhar sozinho. Sendo assim quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram em minha formação pessoal e profissional, merecendo destaque:

Ao Prof. Carlos Alberto Borba Schuler, orientador desta dissertação, por todo empenho, sabedoria, compreensão e suporte com que conduziu este trabalho. Admirável pessoa e professor.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG pela oportunidade e estrutura necessária à realização desta.

Aos Professores e funcionários do PPGCGTG pelos imensuráveis conhecimentos transmitidos e ajuda. Em especial aos professores José Luis Portugal, Haroldo Marques, Marcelo Antônio Nero, Carlos Alberto Borba Schuler, Rodrigo Mikoz e aos funcionários Judite e Elizabeth Galdino, por toda presteza.

Ao Engenheiro Cartógrafo Aurélio L. de Melo e S. Júnior, Analista de Desenvolvimento Urbano da Secretaria de Mobilidade e Controle Urbano do Recife, ao Carlos Henrique, da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa Pernambucana (CONDEPE/FIDEM), ao Gestor de TI Abimael Filho, Chefe de Georreferenciamento da Secretaria Executiva de Defesa Civil do Recife, à Engenheira Civil Flaviana Gomes, Gerente Geral de Planejamento e Projetos da Secretaria de Urbanização do município do Recife, à Geógrafa Betânia Queiroz, Analista em Geoprocessamento e Fotogrametria da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), pela atenção e presteza na disponibilização de dados imprescindíveis na elaboração desta.

Aos Professores Dr. Hernande Pereira da Silva e Dr^a. Maria de Lourdes de Aquino Macedo Gonçalves, pelas orientações e correções nas etapas de qualificação e andamento desta.

Aos meus queridos pais - professores, Genivaldo Wanderley Rocha e Maria Lia Pinto Rocha, por toda educação, princípios e valores que tive ao longo da vida.

À minha querida vovó Maria Tereza por toda dedicação e carinho que ajudou na transformação de minha mãe no ser humano mais incrível que conheço.

À minha pequena Paulinha por todo carinho, amor, companheirismo, paciência, por me incentivar e apoiar, compartilhando momentos de angustias e alegrias, por tudo que é e representa para mim.

Aos meus primos Carlinho, Clevinho e seus pais, Tia Maria e Tio Carlinho, por todo suporte nos momentos de dificuldade entre idas e vindas de Santana do Ipanema, Maceió e Recife.

Às minhas irmãs cabulosas Luciana e Simone (Babaca) por todo apoio e ajuda nas correções desta.

Ao IFAL Santana do Ipanema e Coruripe pela oportunidade e ajuda necessária à realização desta.

Aos meus *brothers* Jorge, Adal, Marcelo, Raoni, Jhony, Carlos (Bomba), Darlan, Junior entre outros meliantes.

À uma amiga distante Cel por todo apoio e amizade que foram essenciais para entrada no PPGCGTG.

Ao Professor de Letras - Literatura Adriano Silva pelas correções ortográficas e gramaticais desta.

Aos meus parceiros de graduação Ricardo, David (Jacá), Cris, Jú, Alex Rommel, Max Maradona, Zig, Ozório, Hugo, Daniela, Alex (Casal), entre outros.

Aos meus amigos de docência no Instituto Federal de Alagoas, Alaelson, Ana Lady, Ana Paula, Arlene, David, Carol, Ivanildo, Isabel, Fábio, Flávio Veiga, Flávio Paciência, Francisco Carlos, Francymaikel, Franklin, Gilmar, Hugo, Leopoldo, Lorena, Marcial, Mauro, Nereu, Ricardo, Thiago, Washington, Valdemir, Wilson, entre outros.

Aos meus colegas de mestrado, os quais compartilharam momentos de extrema valia, aprendizagem e companheirismo. Em especial: Emanuel (Lá Biba), Gilmar, Helder, Bruno (Lá Santa), Ester (Mahala), Josilene, Lilian, Anderson, Clayton Mamede, Henrique Lacet, Nicolas, Alexandre, Elaine, Talita, Ariely, Túllio e Raul.

Enfim a todos que de forma direta e indireta auxiliaram-me a chegar até aqui e prosseguir que não foram citados.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

ROCHA, André Pinto. **Avaliação espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa utilizando produtos fotogramétricos e modelagem espacial multicritério na dinâmica de áreas de risco nas microrregiões do Jordão e Ibura, Recife-PE.** Recife, 2015, 141 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A expansão da mancha urbana sem controle produz distorções intensas na composição da paisagem, gerando diversos passivos como a degradação dos recursos naturais, o agravamento e elevação dos setores de áreas de risco bem como problemas de deslizamentos de massa. A Região Metropolitana do Recife é o maior aglomerado urbano norte-nordeste, tendo Recife como município núcleo com maior percentual e densidade de setores com aglomerados subnomais. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica da expansão urbana nos setores de risco de movimentos de massa nas microrregiões de Jordão e Ibura, inseridos no município de Recife-PE, com ênfase na análise espaço-temporal do mapeamento de suscetibilidade de movimentos de massa, utilizando modelagem espacial multicritério, baseado no Processo Analítico Hierárquico (AHP), utilizando ortofotocartas para obter informações sobre a dinâmica do uso e cobertura do solo para a série multitemporal de 1975, 1986, 2007 e 2013. Para validação da modelagem multicritério foram utilizadas correlações com o quantitativo das ocorrências de deslizamentos (2013) levantados pela Defesa Civil do Recife-PE e o inventário de áreas com serviços impermeabilizantes de colocação de lonas plásticas (2013). Após a análise da modelagem multitemporal (2007 e 2013) da suscetibilidade a movimentos de massa, obtiveram-se os seguintes resultados: áreas com suscetibilidade baixa obteve redução de 4,42%, áreas com suscetibilidade média acréscimo de 0,57% e áreas com suscetibilidade alta elevação de 3,84%. A validação da modelagem espacial multicritério de suscetibilidade a movimentos de massa (2013) apontou alta correlação espacial: (a) ocorrências de deslizamentos levantados pela Defesa Civil do Recife-PE (2013); (b) áreas impermeabilizadas com lonas plásticas (2013), tendo 89,94% dos pixels com o alto risco de suscetibilidade a movimentos de massa.

Palavras-chave: Áreas de risco. Avaliação espaço-temporal. Geoprocessamento. Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa. Modelagem multicritério. Ortofotocarta.

ABSTRACT

ROCHA, André Pinto. **Evaluation temporal-spatial of susceptibility to mass movements using photogrammetric products and multi-criteria spatial modeling in dynamics of risk areas in the micro regions of Jordão and Ibura, Recife-PE.** Recife, 2015, 141 p. Dissertation (Master Degree in Geodetic Science and Geoinformation Technologies) - Center of Technology and Geosciences, Federal University of Pernambuco, Brazil.

The expansion of urban march without control produces intense distortions on the landscape composition, generating diverse passives as the degradation of natural resources, the worsening and the elevation of the risk areas sectors as well as mass landslides problems. The metropolitan region of Recife is the largest urban agglomerate of north-northeast, taking Recife as center town with the greatest percent and density of sectors with subnormal agglomerations. Thus, this study aimed to evaluate the dynamics of the urban expansion in risk sectors of mass movement in micro regions of Jordão and Ibura, placed in the town of Recife-PE, with emphasis in the temporal-spatial analysis of the mass movement susceptibility mapping, using multi-criteria spatial modeling, based on Analytic Hierarchical Process (AHP), using orthophotomaps to obtain information about the dynamics of the use and soil cover for the multi-temporal of 1975, 1986, 2007 and 2013. For the multi-criteria modeling validation there were used correlations with the occurrences quantitative of landslides (2013) raised by Civil Defense of Recife-PE and the inventory of the areas with waterproof services of plastic sheet colocation (2013). After the multi-temporal modeling analysis (2007 and 2013) of the mass movement susceptibility, there were obtained the following results: low susceptibility areas obtained the reduction of 4,42%, medium susceptibility areas increase of 0,57% and high susceptibility areas elevation of 3,84%. The validation of the multi-criteria spatial modeling of susceptibility to mass movements (2013) showed high spatial correction: (a) landslide occurrence rose by Civil Defense of Recife-PE (2013); (b)waterproof areas with plastic sheet (2013), having 89,94% of pixels with high risk of susceptibility to mass movement.

Key-words: Risk areas. Temporal-spatial evaluation. Geoprocessing. Susceptibility mapping to mass movements. Multi-criteria modeling. Orthophotomaps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ocupações irregulares em encosta, Nova Friburgo-RJ.	21
Figura 2: Escorregamentos planares típicos, Teresópolis-RJ.....	21
Figura 3: Produção sequencial de patamares planos para construção utilizando cortes na encosta, Salvador-BA.....	22
Figura 4: Base cartográfica - Setor de Risco microrregião Jordão, Recife-PE.	31
Figura 5: Quantitativos de áreas de risco, Recife (1993 e 2006).	34
Figura 6: Escorregamentos planares nas encostas do vale do Rio Mogi (1985).	39
Figura 7: Estrutura de um SIG.	41
Figura 8: Representação de um modelo vetorial e raster.	42
Figura 9: Componentes de um SIG e suas aplicações.	43
Figura 10: Superposição de níveis de Informação na estrutura matricial.	45
Figura 11: Fluxograma de Fotogrametria aérea (plataforma aérea, fotografias e produtos cartográficos).	50
Figura 12: Fotografia aérea do Recife em escala 1:6.000 (1975).	51
Figura 13: Processo de ortoretificação.	52
Figura 14: Ortofotocarta 8050 do Recife na escala 1:10.000 (1975).	53
Figura 15: Representação digital do terreno.	54
Figura 16: Ocorrências de movimentos de massa por Regional (2013).	56
Figura 17: Ocorrências por microrregiões - Regional Sul e Nordeste (2013).	57
Figura 18: Mapa de localização da área de estudo.	60
Figura 19: Quantitativos dos setores de risco - Jordão e Ibura.	61
Figura 20: Imagens que ilustram as características dos setores de risco (2013).	62
Figura 21: Quantitativos do zoneamento geomorfológico dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.	63
Figura 22: Altimetria dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.....	65
Figura 23: Declividade (Morfologia - Embrapa) dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.	66
Figura 24: Quantitativos demográficos da Região Nordeste (1960 - 2010).	67
Figura 25: Evolução urbana da RMR.....	68
Figura 26: Fluxograma da metodologia de trabalho.	71
Figura 27: Recorte da área de estudo - ortofotocarta 80-50 (1975).....	74
Figura 28: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com as vertentes topográficas (Curvatura de encosta)	80
Figura 29: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com o uso e cobertura do solo (2013).	81
Figura 30: Etapas para determinar a rede de escoamento pluviométrico.....	83
Figura 31: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a proximidade da rede de escoamento pluviométrico.	83
Figura 32: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a unidade de relevo.	84
Figura 33: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a unidade geológica (tipologia de solos).....	86
Figura 34: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com as formas de relevo.	87
Figura 35: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a proximidade do sistema viário (2013).	88
Figura 36: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a declividade.....	89

Figura 37: Fluxograma aplicado para o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa, microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.	93
Figura 38: Evolução da área antropizada (1986).	97
Figura 39: Evolução do uso e cobertura do solo (1975 e 1986).	98
Figura 40: Uso e cobertura do solo nos setores de risco (1975).	99
Figura 41: Uso e cobertura do solo nos setores de risco (1986).	100
Figura 42: Áreas antropizadas por intervalos altimétricos (1975 e 1986).	101
Figura 43: Área antropizada por intervalos de 10° de declividade (1975 e 1986).	101
Figura 44: Áreas antropizadas por classes de declividade (1975 e 1986).	102
Figura 45: Área antropizada - declividade acima de 30° (1975 e 1986).	103
Figura 46: Uso e cobertura do solo (2007).	106
Figura 47: Uso e cobertura do solo (2013).	107
Figura 48: Evolução do uso e cobertura do solo (2007 e 2013).	108
Figura 49: Quantificação do uso e cobertura do solo (2007 e 2013).	109
Figura 50: Quantificação do uso e cobertura do solo nos setores de risco (2007 e 2013).	109
Figura 51: Área urbana por intervalos de 10 m de altimetria (2007 e 2013).	110
Figura 52: Área urbana por intervalos de 10° de declividade (2007 e 2013).	111
Figura 53: Área urbana por classes de declividade (2007 e 2013).	111
Figura 54: Solo exposto por classes de declividade (2007 e 2013).	112
Figura 55: Área urbanizada com declividade acima de 30° (2007 e 2013).	113
Figura 56: Evolução do uso e cobertura do solo (1975 e 2013).	115
Figura 57: Evolução da antropização (1975, 1986, 2007 e 2013).	116
Figura 58: Evolução da antropização por setor de risco (1975, 1986, 2007 e 2013).	116
Figura 59: Remanescentes da cobertura vegetal (1975, 1986, 2007 e 2013).	117
Figura 60: Remanescentes da vegetação por setor de risco (1975, 1986, 2007 e 2013).	117
Figura 61: Suscetibilidade a movimentos de massa (2007).	120
Figura 62: Suscetibilidade a movimentos de massa (2013).	121
Figura 63: Quantificação da suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013).	122
Figura 64: Quantificação das ocorrências de deslizamentos nos setores de risco, inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).	124
Figura 65: Ocorrências de deslizamentos nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura, Defesa Civil de Recife-PE (2013).	124
Figura 66: Quantificação das ocorrências de deslizamentos por declividades (2013).	126
Figura 67: Quantificação dos pontos de risco por grau de suscetibilidade a movimentos de massa (2013).	129
Figura 68: Inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).	130
Figura 69: Correlação do inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas com o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, inseridos nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).	132
Figura 70: Lonas plásticas 9, 10 e 11, associadas ao risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos <i>pixels</i>	133
Figura 71: Lonas plásticas 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, associadas ao risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos <i>pixels</i>	133
Figura 72: Lonas plásticas 6, 7 e 8, associadas ao grau alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos <i>pixels</i>	133
Figura 73: Lonas plásticas 1, 2, 3, 4 e 5, associadas ao grau alto de suscetibilidade a movimentos massa correlacionado aos <i>pixels</i>	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parte da relação dos 286 municípios brasileiros com situações consideradas de alto e muito alto risco perante enchentes, enxurradas e deslizamentos. Dados referentes às duas últimas décadas.	23
Tabela 2: Parâmetros utilizados para definição do Padrão Urbano.	25
Tabela 3: Definição do grau de risco com base no cruzamento do Padrão Urbano com a ocorrência ou não de acidentes.	26
Tabela 4: Classificação e conceituação de graus de risco - Quadro indicativo genérico a ser adequado a situações particulares.	27
Tabela 5: Grau de probabilidade para riscos de escorregamentos.	32
Tabela 6: Principais tipos de movimentos de massa em encostas.	36
Tabela 7: Técnicas de análise espacial SIG.	44
Tabela 8: Matriz quadrada de correlação pareada.	48
Tabela 9: Níveis de intensidade de importância.	48
Tabela 10: Matriz de normalização dos critérios analisados.	49
Tabela 11: Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada.	49
Tabela 12: Artigos, dissertações e trabalhos relacionados a suscetibilidade a movimentos de massa e erosão empregando a modelagem multicritério.	55
Tabela 13: Solicitações, vistorias técnicas e serviços de impermeabilização.	57
Tabela 14: Mapeamento de áreas de risco no município do Recife.	58
Tabela 15: Pontos de risco no município do Recife.	58
Tabela 16: Pontos de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura.	59
Tabela 17: Setores de risco - características geométricas e quantitativas.	61
Tabela 18: Zoneamento geomorfológico dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.	63
Tabela 19: Censos demográficos da Região Nordeste (1960 - 2010).	67
Tabela 20: Características de declividade (Classes de solo - Embrapa).	76
Tabela 21: Correlação entre a suscetibilidade e os graus adotados.	79
Tabela 22: Classificação do grau de suscetibilidade referente as vertentes topográficas (Curvatura de encosta).	79
Tabela 23: Classificação do grau de suscetibilidade referente ao uso e cobertura do solo.	82
Tabela 24: Classificação do grau de suscetibilidade referente a proximidade para rede de escoamento pluviométrico.	84
Tabela 25: Classificação do grau de suscetibilidade referente à unidade de relevo.	85
Tabela 26: Classes de unidades geológicas - Área de estudo (1995).	85
Tabela 27: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com os solos.	85
Tabela 28: Classificação do grau de suscetibilidade referente as formas de relevo.	86
Tabela 29: Classificação do grau de suscetibilidade referente à proximidade do sistema viário.	88
Tabela 30: Classificação do grau de suscetibilidade referente à declividade.	89
Tabela 31: Matriz quadrada de correlação pareada das variáveis ambientais aplicadas na modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa.	90
Tabela 32: Matriz de normalização das variáveis ambientais aplicadas na modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa.	92
Tabela 33: Ocorrências de deslizamentos, microrregiões de Jordão e Ibura.	94
Tabela 34: Inventário de áreas impermeabilizadas através da colocação de lonas plásticas, inseridos nos setores de risco de Jordão e Ibura (2013).	95

Tabela 35: Uso e cobertura do solo (1975 e 1986).	97
Tabela 36: Área antropizada e vegetação nos Setores de risco (1975 e 1986).	99
Tabela 37: Área antropizada relacionada com zoneamento geomorfológico.	103
Tabela 38: Uso e cobertura do solo nos setores de risco (2007 e 2013).	104
Tabela 39: Uso e cobertura do solo nos Setores de risco (2007 e 2013).	110
Tabela 40: Área urbana relacionada com zoneamento geomorfológico.	113
Tabela 41: Quantificação de edificações nos setores de risco (2007 e 2013).	114
Tabela 42: Uso e cobertura do solo (1975 e 2013).	114
Tabela 43: Matriz de normalização.....	118
Tabela 44: Matriz AWi	118
Tabela 45: Características para classificação de movimentos de massa.	119
Tabela 46: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).	123
Tabela 47: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos de acordo com as unidade de relevo (2013).	125
Tabela 48: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos de acordo com a unidade geológica (2013).	125
Tabela 49: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos por Relevos (2013).	126
Tabela 50: Ocorrências de deslizamentos por classes de declividades (2013).	126
Tabela 51: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos relacionado as proximidades de sistemas viários (2013).	127
Tabela 52: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos por proximidade da rede de escoamento pluviométrico (2013).	127
Tabela 53: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos relacionado com as vertentes topográficas (Curvatura de encosta).	128
Tabela 54: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos referente ao uso e cobertura do solo (2013).	128
Tabela 55: Pontos de risco relacionados com o grau de suscetibilidade a movimentos de massa (2013).	129
Tabela 56: Inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).	131
Tabela 57: Correlação do inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas com o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco, Jordão e Ibura (2013).	131

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APP	Áreas de Proteção Permanente
ASPRS	<i>American Society of Photogrammetry and Remote Sensing</i>
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
ECW	<i>Enhanced Compression Wavelet</i>
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife
GIS	<i>Geographical Information System</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MCDM	<i>Multicriteria Decision Making</i>
MDE	Modelo Digital de Elevações
MDT	Modelo Digital do Terreno
MNE	Modelo Numérico de Elevações
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos em Assentamentos Precários do Município de Recife-PE
RMR	Região Metropolitana do Recife
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo Geral.....	18
2.2. Objetivos Específicos.....	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1. Expansão urbana.....	19
3.2. Alteração no cenário	20
3.3. Áreas de risco.....	20
3.4. Classificação de áreas de risco	24
3.5. Aglomerados subnormais: Região Metropolitana do Recife (RMR) ...	28
3.6. Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE (PMRR)	29
3.7. Espaço urbano e o código florestal.....	35
3.8. Movimento gravitacional de massa	35
3.8.1. Suscetibilidade a deslizamentos	39
3.9. Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas - SIG ...	40
3.9.1. Análise espacial	43
3.10. Metodologia de análise multicritério	46
3.11. Fotogrametria	50
3.11.1. Produtos Fotogramétricos.....	51
3.11.1.1. Fotografias aéreas.....	51
3.11.1.2. Ortofotografias.....	52
3.11.1.3. Ortofotocartas.....	52
3.11.1.4. Modelo Digital do Terreno - MDT.....	53
3.12. Estado da arte	54
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	56
4.1. Registros de ocorrências de movimentos de massa no Recife: Região Metropolitana do Recife (RMR)	56
4.2. Microrregião do Ibura.....	59
4.3. Microrregião do Jordão.....	59
4.4. Localização e delimitação da área de estudo	59
4.5. Setores de risco nas microrregiões do Ibura e Jordão	61
4.5.1. Zoneamento geomorfológico	63
4.5.2. Altimetria	65

4.5.3. Classes de relevo e declividade.....	65
4.6. Crescimento populacional - Recife	66
5. METODOLOGIA.....	69
5.1. Materiais cartográficos.....	69
5.2. Recursos tecnológicos e hardware.....	70
5.3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos	70
5.4. Procedimentos metodológicos	72
5.4.1. Levantamento e aquisição de dados	72
5.4.1.1. Georreferenciamento e homogeneização dos produtos cartográficos	72
5.4.2. Recorte e mosaicagem de imagens.....	73
5.4.3. Classificação e vetorização do uso e ocupação do solo.....	74
5.4.4. Análise espaço-temporal e caracterização da ocupação urbana.....	75
5.4.5. Modelagem multicritério do movimento de massa.....	78
5.4.6. Análise multicritério - Processo Analítico Hierárquico (AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i>)	90
5.4.7. Relacionamentos entre a suscetibilidade a movimentos de massa com quantitativo de ocorrências de deslizamentos da Defesa Civil e o inventário de áreas com serviços impermeabilizantes de colocação de lonas plásticas (2013)	94
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	96
6.1. Dinâmica da expansão urbana.....	96
6.1.1. Cenário: 1975 e 1986	96
6.1.2. Cenário: 2007 e 2013	103
6.1.3. Cenário: 1975 e 2013	114
6.2. Modelagem multicritério	118
6.2.1. Mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa .	119
6.3. Correlação da suscetibilidade a movimentos de massa com o quantitativo de ocorrências de deslizamentos (2013)	123
6.4. Correlação da suscetibilidade a movimentos de massa com inventário de áreas com serviços impermeabilizantes de colocação de lonas plásticas (2013).....	129
7. CONCLUSÕES	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana acelerada e sem controle origina transformações espaciais determinantes no processo de reestruturação da mancha urbana. O crescimento citadino de forma não controlada tende a comprometer o desenvolvimento urbano, através da geração de passivos ambientais e sociais. As geotecnologias podem ser utilizadas na avaliação e monitoração da dinâmica do espaço urbano, bem como os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão da mancha urbana, tais como as áreas de risco e deslizamentos.

Em muitas cidades brasileiras ocorreram processos de urbanização de forma desordenada, acelerada e intensa, sem a fiscalização da gestão pública urbana e o ordenamento de dispositivos normativos (PINHEIRO JÚNIOR, 2009). As áreas urbanas, de forma geral, apresentam processos de expansão, uso e ocupações de espaços inadequados, produzindo áreas de risco de enchentes e movimentos de massa, gerando inúmeros prejuízos (DAL'ASTA, RECKZIEGEL e ROBAINA, 2005), destes os mais comuns e fatais são referenciados aos fenômenos de escorregamentos em encostas de média e alta declividade, devido principalmente à expansão da mancha urbana em relevos acidentados (SANTOS, 2102).

A origem das trágicas ocorrências de áreas de risco está na incompatibilidade entre as técnicas de ocupação urbana e as características geológicas e geotécnicas dos terrenos onde são implantadas. Assim, apresentam-se duas situações: (1) ocupações de áreas que por sua elevada instabilidade geológica natural nunca deveriam ser ocupadas, como no caso das Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, onde se localizam cidades como Rio de Janeiro, Teresópolis, Petrópolis, Nova Friburgo e tantas outras; (2) ocupações em áreas de médio risco natural, com capacidade de receber ocupações urbanas, porém realizadas de formas tecnicamente inadequadas, que mesmo em condições naturais favoráveis, geram situações de elevado risco geotécnico, como nos casos

de São Paulo, Belo Horizonte, **Recife**, Salvador e muitos outros municípios brasileiros (SANTOS, 2012).

Fotogrametria digital é uma tecnologia com objetivo de aquisição de informações geométricas, radiométricas e semânticas de objetos no espaço tridimensional, a partir de imagens digitais bidimensionais (HEIPKE, 1995 *apud* PREOSCK, 2006). Os produtos gerados pela fotogrametria podem ser aplicados em problemas que demandam mensurações, apresentando vantagens quando comparada aos processos diretos de medições, tais como: objeto a ser medido a distância, aquisição dos dados são obtidos rapidamente, os fotogramas armazenam grandes quantidades de informações semânticas e geométricas, podem ser mensurados movimentos e deformações (TOMASSELLI, 2009).

O desenvolvimento tecnológico possibilita aumentar e melhorar o controle das cidades e sua configuração de ocupação, utilizando soluções tecnológicas específicas para interpretação do território, através de sensores especializados em registrar as características do cenário e sua evolução temporal (PINHEIRO JÚNIOR, 2009). Nesta perspectiva, os produtos fotogramétricos juntamente com as técnicas de fotogrametria e fotointerpretação oferecem ferramentas de análise quantitativa e qualitativa no mapeamento da expansão das cidades e seus efeitos na paisagem em conjunto com sistemas de informações geográficas (SIG), formas de leitura e controle da dinâmica destas evoluções.

Análise espacial multicritério consiste numa metodologia investigativa que combina diferentes variáveis ambientais, visando à geração de um mapa síntese, através da definição de pesos e notas atribuídos às variáveis e suas respectivas classes, demonstrando a influência de cada variável no fenômeno considerado (BENAVIDES SILVA e MACHADO, 2014). O uso da análise espacial multicritério, aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos, é uma ferramenta de gestão de riscos e desastres, indispensável ao planejador urbano para a utilização do uso e ocupação do solo urbano de forma correta, pois permite uma espacialização do risco, auxiliando na tomada de medidas preventivas e mitigadoras.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar a dinâmica da expansão urbana nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, localizadas no município do Recife/PE, utilizando técnicas de Geoprocessamento de análise espacial, empregando produtos fotogramétricos multitemporais nos períodos de 1975, 1986, 2007 e 2013.

2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Caracterizar a expansão da ocupação urbana nos setores de riscos inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura, empregando produtos fotogramétricos de 1975, 1986, 2007 e 2013;
- ❖ Estudar um método para avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco, através de técnicas de Geoprocessamento de análise espacial vinculada na modelagem ambiental multicritério (AHP);
- ❖ Análise espaço-temporal (2007 e 2013) da suscetibilidade a movimentos de massa, devido à dinâmica da expansão urbana nos setores de risco, inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura;
- ❖ Validar o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa, através da relação espacial entre o quantitativo do número de ocorrências de deslizamentos levantados pela Defesa Civil do Recife-PE (2013) e o inventário de áreas impermeabilizadas por lonas plásticas fotointerpretados nas ortofotos (2013).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Expansão urbana

A partir do século XX, iniciou-se um intenso e indisciplinado processo de “industrialização-urbanização” nas cidades brasileiras, gerando desruralização, migrações desenraizadoras e brutais, uma urbanização galopante e concentradora (SANTOS, 2000 *apud* ALMEIDA, CÂMARA e MONTEIRO, 2007).

A centralização da população brasileira nas áreas urbanas, incorporada às restrições econômicas que atingem a sociedade e os entraves da administração pública relacionada ao planejamento e o controle do uso e ocupação do solo, reforça a característica informal e aparentemente desorganizada da urbanização brasileira (PEIXOTO, 2005).

Estudos demográficos recentes baseados no censo demográfico de 2010 apontam que na última década e meia, nas maiores metrópoles brasileiras apresentaram: (1) decréscimo ou estabilização populacional nas áreas centrais e nos bairros consolidados mais antigos e (2) explosão populacional, com crescimento médio de até 8% ao ano e tendo mais de 30% da população total, nas áreas periféricas de expansão urbana (SANTOS, 2012).

Nesta conjuntura de cidades desestruturadas em acolher o elevado número de pessoas e fomentar as demandas sociais, tem como consequência a geração de efeitos negativos, como o esgotamento dos sistemas de transportes, engarrafamentos no trânsito, o aumento de processos erosivos, o assoreamento dos rios e enchentes devido à impermeabilização dos solos, propagação de domicílios subnormais, a ocupação de áreas de proteção ambiental, a precariedade nos sistemas de saneamento básico, a “favelização”, o desemprego e a violência (ARAÚJO, 2005).

3.2. Alteração no cenário

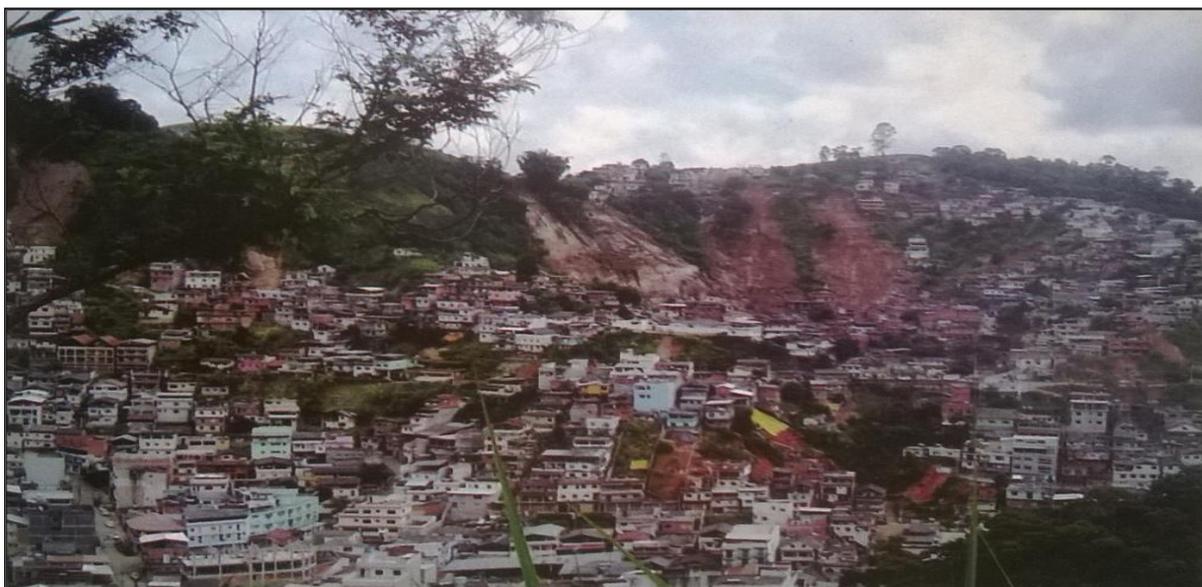
Ampliar a ocupação em espaços ainda desocupados, ou com uso não urbano implica que ocorrerá uma alteração no cenário, sendo necessário reconhecer a composição física da área para que a ocupação seja de forma mais coesa e menos degradante ao meio natural, efetuando assim o contato do homem com a natureza de forma mais lógica e distribuída. Para o cenário é necessário considerar os processos naturais não visíveis, fundamentalmente respeitando a fragilidade de suas áreas e os elementos naturais físicos essenciais como cursos d'águas e formações geológicas (PINHEIRO JÚNIOR, 2009).

3.3. Áreas de risco

Áreas de risco são locais passíveis à ocorrência de fenômenos de natureza hidráulica e geológico-geotécnica que possam gerar a perda de vidas e/ou danos materiais. Esses locais são, predominantemente, encostas de alta declividade passíveis de escorregamento e desmoronamento, ou ocupações de fundo de vales expostos a inundações e solapamentos. Na maioria dos casos, são ocupações irregulares formadas por favelas, tendo como características a precariedade ou carência dos serviços de infraestrutura urbana e irregularidade jurídica da posse dos terrenos entre outros (FIGUEIREDO, 1994).

A ação antrópica no meio natural teve uma ampliação significativa após a revolução industrial. A mudança dos processos de dinâmica superficial que modelam o relevo, como o caso da intensificação dos processos erosivos e dos movimentos de massa em áreas de encostas é um dos efeitos da intervenção do homem no meio (DAL'ASTA, RECKZIEGEL e ROBAINA, 2005).

Figura 1: Ocupações irregulares em encosta, Nova Friburgo-RJ.



Fonte: SANTOS, 2012.

A expansão da fronteira urbana sem critérios técnicos adequados, associada à segregação sócio-espacial na sociedade capitalista, impulsionou a ocupação desordenada de áreas geomorfologicamente frágeis ao uso urbano (Fig. 2). Esse processo de ocupação do espaço tem gerado resultados negativos, como é o caso da instalação de áreas de risco geológico-geomorfológico (DAL'ASTA, RECKZIEGEL e ROBAINA, 2005).

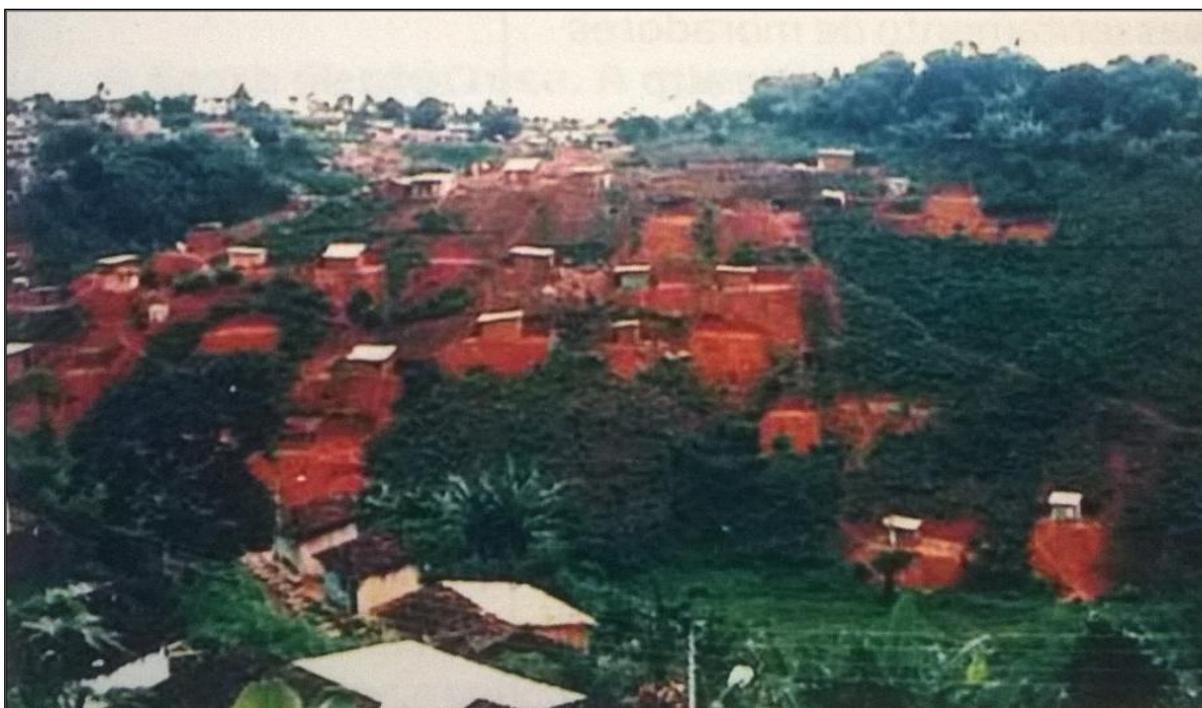
Figura 2: Escorregamentos planares típicos, Teresópolis-RJ.



Fonte: SANTOS, 2012.

Com o crescimento populacional após a metade do século, o espaço urbano vem sendo ocupado de forma desordenada sem nenhum critério técnico: terrenos periféricos de relevo acidentado e com solos mais vulneráveis à erosão, tendo como agravante as habitações da população de baixa renda, principalmente devido à forma nociva de implantação destas habitações, que é a adaptação dos terrenos aos projetos em detrimento da adequação dos projetos às características naturais do terreno (SANTOS, 2012).

Figura 3: Produção sequencial de patamares planos para construção utilizando cortes na encosta, Salvador-BA.



Fonte: SANTOS, 2012.

De acordo com a CPRM – Serviço Geológico do Brasil, como providências do Governo Federal para formulação e implementação do Plano de Gestão de Riscos, foram levantados os municípios brasileiros com maiores possibilidades de ocorrência de acidentes associados a enchentes, deslizamentos e enxurradas no ano de 2012. Foram selecionados 800 municípios, tendo 286 com registros de situações de alto e muito alto risco (Tab. 1) (SANTOS, 2012).

Tabela 1: Parte da relação dos 286 municípios brasileiros com situações consideradas de alto e muito alto risco perante enchentes, enxurradas e deslizamentos. Dados referentes às duas últimas décadas.

UF	Município	Total de desalojados e desabrigados por enxurradas, inundações e deslizamentos	Total de mortes por deslizamentos enxurradas e inundações
RJ	Petrópolis	14318	453
RJ	Nova Friburgo	1339	450
RJ	Teresópolis	899	435
RJ	Rio de Janeiro	956	274
RJ	Niterói	10114	234
BA	Salvador	963	195
SP	São Paulo	13964	183
RJ	Angra do Reis	3956	129
PE	Recife	4180	128
RJ	Itaboraí	4483	95

Fonte: SANTOS, 2012.

Ainda segundo Santos (2012), das situações de risco envolvendo deslizamentos de solos e rochas e outros tipos de movimentos de massa no Brasil, praticamente em sua totalidade está associada a formas inadequadas de intervenção do homem no meio físico-geológico: (a) ocupações de áreas que, por sua natural instabilidade, não deveriam ser ocupadas; (b) ocupações de áreas até passíveis de ocupação, porém com técnicas totalmente impróprias para tanto.

Diversas causas contribuíram, ao longo do tempo, para o surgimento de áreas de risco, sendo que algumas persistem até o momento (FIGUEIREDO, 1994):

- ❖ Má distribuição de renda: devido à elevada concentração de renda em uma reduzida parcela da população é a causa mais nefasta do empobrecimento de uma nação;
- ❖ “Boom” industrial: iniciado no final de 1950 e começo de 1960, um processo acelerado de industrialização dos grandes centros urbanos, provocando um intenso fluxo migratório até o início de 1980, causando um acréscimo populacional desses centros urbanos sem a devida

contrapartida de investimentos em obras e serviços de infraestrutura urbana;

- ❖ Planejamento urbano “deturpado”: ausência da integração entre as várias esferas do governo, agregado a interesses escusos e uma visão desvirtuada de desenvolvimento das cidades, os quais contribuíram por muitos anos, para confecção de muitos “Planos diretores” afastados da realidade, além de intervenções pontuais que preenchem a paisagem urbana com pontes, viadutos, túneis entre outros, no lugar de ações conectadas sócio-urbanísticas;
- ❖ Ocupação desordenada: consequência direta das variáveis anteriores, devido principalmente à falta de atuação do poder público na fiscalização da inserção de moradias em encostas, baixadas e várzeas, tendo como objetivo o impedimento da formação e proliferação das áreas de risco, assim como evitar a degradação ambiental;
- ❖ “Clandestinidade” das favelas: um erro histórico, sem perspectiva em curto prazo, no fato das favelas serem consideradas “clandestinas”, isto é, não serem ponderadas como existentes de fato e direito para os órgãos públicos e sociedade em geral;
- ❖ Legislação: ausência de legislação específica que traduzem tanto do ponto de vista jurídico quanto técnico (diretrizes para ocupação, execução de obras de terra, fiscalização, penalidades, multas, entre outros) uma ineficaz e anacrônica forma de enfrentar a problemática com determinação de totalitária.

3.4. Classificação de áreas de risco

Segundo Oliveira, Robaina e Reckziegel (2004), uma metodologia para classificação de áreas de risco é apresentada através do mapeamento da suscetibilidade de áreas não ocupadas que estão sujeitas a diferentes processos naturais, sendo um instrumento preventivo no planejamento e ordenamento da população.

Para análise dos riscos geomorfológicos, onde esses indicam áreas propensas a desastres naturais vinculados às ocorrências de processos de dinâmica superficial, é necessário levar em consideração algumas variáveis:

- ❖ Susceptibilidade: relacionada às características físicas da área, associadas à rede de drenagem, ao relevo e aos parâmetros geológico-geotécnicos;
- ❖ Padrão urbano das áreas: vinculado à ocupação urbana que desempenha um papel importante na delimitação de áreas de risco e a hierarquização. Na delimitação das áreas de risco é a situação da presença ou não da ocupação urbana que define a condição de risco ou suscetibilidade. Na hierarquização do risco são as características da ocupação que quantificam o perigo da exposição da população. O padrão urbano leva em consideração as características construtivo-estruturais das moradias, a infraestrutura básica (rede pluvial, rede de água, rede de esgoto, obras de contenção e rede viária), o adensamento populacional e a forma de ocupação (ordenada/desordenada). A partir do levantamento desses dados, o padrão urbano é classificado em Alto, Médio e Baixo Padrão Urbano. A Tabela 2, apresenta os parâmetros da hierarquização dos valores atribuídos de 0 (sem ocorrência) e 1 (com ocorrência);

Tabela 2: Parâmetros utilizados para definição do Padrão Urbano.

Variável	Característica	Valor
Malha Viária	Pavimentada	1
	Não Pavimentada	0
Esgoto	Canalizado	1
	Direto no ambiente	0
Rede Pluvial	Apresenta	1
	Não Apresenta	0
Padrão Construtivo	Alto/Médio	1
	Baixo	0
Ocupação	Organizada	1
	Desorganizada	0
Obras de contenção	Apresenta	1
	Não Apresenta	0

Fonte: OLIVEIRA, ROBAINA e RECKZIEGEL, 2004.

A segmentação do espaço, baseada na soma da atribuição dos valores dos parâmetros do Padrão Urbano define a caracterização da área em: Alto Padrão, valor máximo totalizando até 6; Médio Padrão, áreas constituídas pela soma entre 3 e 5; Baixo Padrão, áreas que apresentam soma entre 0 e 2;

- ❖ Registro de acidentes: indicador empregado na hierarquização do risco como um fator agravante do estado de risco já instalado.

A Tabela 3 apresenta a classificação do grau de risco, a partir do cruzamento dos dados, padrão urbano, registro de acidentes e característica topográfica da encosta.

Tabela 3: Definição do grau de risco com base no cruzamento do Padrão Urbano com a ocorrência ou não de acidentes.

Padrão urbano	Acidentes	
	Não	Sim
Alto	Baixo	Moderado
Médio	Moderado	Alto
Baixo	Alto	Iminente

Fonte: OLIVEIRA, ROBAINA e RECKZIEGEL, 2004.

- ❖ Classificação de áreas de risco vinculado ao padrão das ocupações urbanas e o registro de acidentes:
 - ❖ Risco I: quando a área ocupada com moradias de baixo padrão urbano apresentar susceptibilidade natural e ocorrência de eventos é considerada de risco iminente, onde a intervenção deve ser de curto prazo;
 - ❖ Risco II: quando a área susceptível apresentar predomínio de ocupação de médio padrão urbano com registro de eventos ou de baixo padrão sem registro de evento;
 - ❖ Risco III: ocorre quando a área apresenta-se com susceptibilidade natural e está ocupada com moradias de médio padrão urbano sem ocorrência de eventos ou se a área susceptível estiver ocupada por moradias de alto padrão urbano com registro de ocorrências;

- ❖ Risco IV: quando a área ocupada com alto padrão apresenta susceptibilidade natural e não tem registro de ocorrência de eventos, então é considerada de baixo risco.

A Carta de Riscos delimita em uma área as zonas expostas a um determinado risco perante uma determinada ocupação, definindo os diferentes graus de risco e as medidas necessárias relacionadas a cada um desses graus. A Tabela 4 apresenta a classificação da área em estudo, levando em consideração todos os aspectos naturais potenciais do terreno relacionado aos fenômenos de deslizamentos (SANTOS, 2012).

Tabela 4: Classificação e conceituação de graus de risco - Quadro indicativo genérico a ser adequado a situações particulares.

Graus de risco	Significado e recomendações
Baixo (R1)	Não há risco evidente de acidentes geotécnicos ou hidráulicos localizados. Não exige intervenções específicas de estabilização geotécnica, obedecendo apenas às recomendações de caráter geral. Recomendações: - melhorar o sistema de impermeabilização e drenagem superficial, urbanização e adoção de Regulamento Técnico/Código de Obras a ser aplicado por moradores e instâncias públicas; - pode sofrer algum adensamento de moradias condicionado à liberação técnica oficial.
Médio (R2)	Há risco de acidentes geotécnicos ou hidráulicos de pequeno e médio porte. Recomendações: - implantação de medidas de estabilização geotécnica, melhoria do sistema de impermeabilização e drenagem superficial, urbanização e adoção de Regulamento Técnico/Código de Obras; - pode sofrer algum adensamento de moradias condicionado à liberação técnica oficial.
Alto (R3)	Há risco de acidentes geotécnicos ou hidráulicos graves. Recomendações (no caso de remoções somente parciais): - implantação de medidas de estabilização geotécnica indicadas, melhoria do sistema de impermeabilização e drenagem superficial, urbanização e adoção de Regulamento

	Técnico/Código de Obras; - não deve sofrer adensamento de moradias; - remoção de moradias em casos específicos.
Muito Alto (R4)	Há risco de acidentes geotécnicos ou hidráulicos graves. Recomendações: - remoção de todas as edificações existentes, recuperação florestal da área remanescente, com eventuais serviços de estabilização geotécnica.

Fonte: SANTOS, 2012.

3.5. Aglomerados subnormais: Região Metropolitana do Recife (RMR)

O IBGE (2010), baseado nos dados do questionário da amostra do censo de 2010, apresenta as características territoriais dos aglomerados subnormais (assentamentos irregulares conhecidos como favelas, invasões, grotas, baixadas, comunidades, vilas, ressacas, mocambos, palafitas, entre outros) e suas diferenças das demais áreas das cidades. O Brasil possuía 6.329 aglomerados subnormais concentrando 6% da população brasileira, com 11.425.644 de pessoas.

O Estado de Pernambuco registrava 347 aglomerados subnormais, distribuídos em 17 municípios, ocupando a 4ª posição em número de aglomerados subnormais perdendo apenas para São Paulo (2.087), Rio de Janeiro (1.332) e Minas Gerais (372). A Região Metropolitana do Recife (RMR) registrava 23,2% (852.700 pessoas) ocupando estes aglomerados subnormais, destacando-se os maiores quantitativos populacionais em Recife 40% e Jaboatão dos Guararapes 26%.

A área total de aglomerados subnormais na RMR era de 11.259,3 hectares, tendo o Município de Recife (2.840,12 hectares) como o mais denso.

Com relação ao acesso aos domicílios subnormais na RMR, 45,5% apresentam acesso por becos ou travessas, 39,8% com acesso por ruas e 7,9% com acesso por escadarias e a maioria dos domicílios estava em setores sem espaçamentos entre as edificações.

Um pouco mais da metade dos domicílios subnormais 56% estavam localizados em áreas planas, seguidas por áreas de colinas suaves e encostas, tendo como destaque Recife 35% em áreas de encosta e Jaboatão dos Guararapes 34% em colinas suaves.

Quanto às características, cerca de 14% dos domicílios subnormais situavam-se em áreas onde a predominância da localização das áreas era às margens de córregos, rios ou lagos.

3.6. Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE (PMRR)

O programa de “Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários” vinculado ao Ministério das Cidades, ofereceu apoio aos Estados, Distrito Federal e municípios no desenvolvimento e implantação de programas de prevenção e erradicação de riscos em assentamentos precários (favelas, loteamentos irregulares, alagados, entre outros). Esta ação foi dividida em três modalidades: (1) capacitação de equipes municipais; (2) elaboração de planos municipais de redução de riscos; (3) elaboração de projetos básicos de engenharia para estabilização de áreas de risco de deslizamentos em encostas.

Através do mapeamento de áreas sujeitas a acidentes de deslizamentos, erosão, inundações e apresentação de soluções técnicas para a sua mitigação, focando na redução do risco ambiental, tem-se, portanto, uma ferramenta importante ao gestor municipal, pois permite conhecer de forma detalhada a problemática que afeta a população de morros e de planícies de áreas inundadas, priorizando investimentos e ações precisas, a serem implementadas pelo sistema municipal de defesa civil.

O plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município do Recife-PE, elaborado em 2006, seguiu a metodologia exposta abaixo para elaboração do mapeamento de riscos em assentamentos precários para enquadramento na modalidade (2).

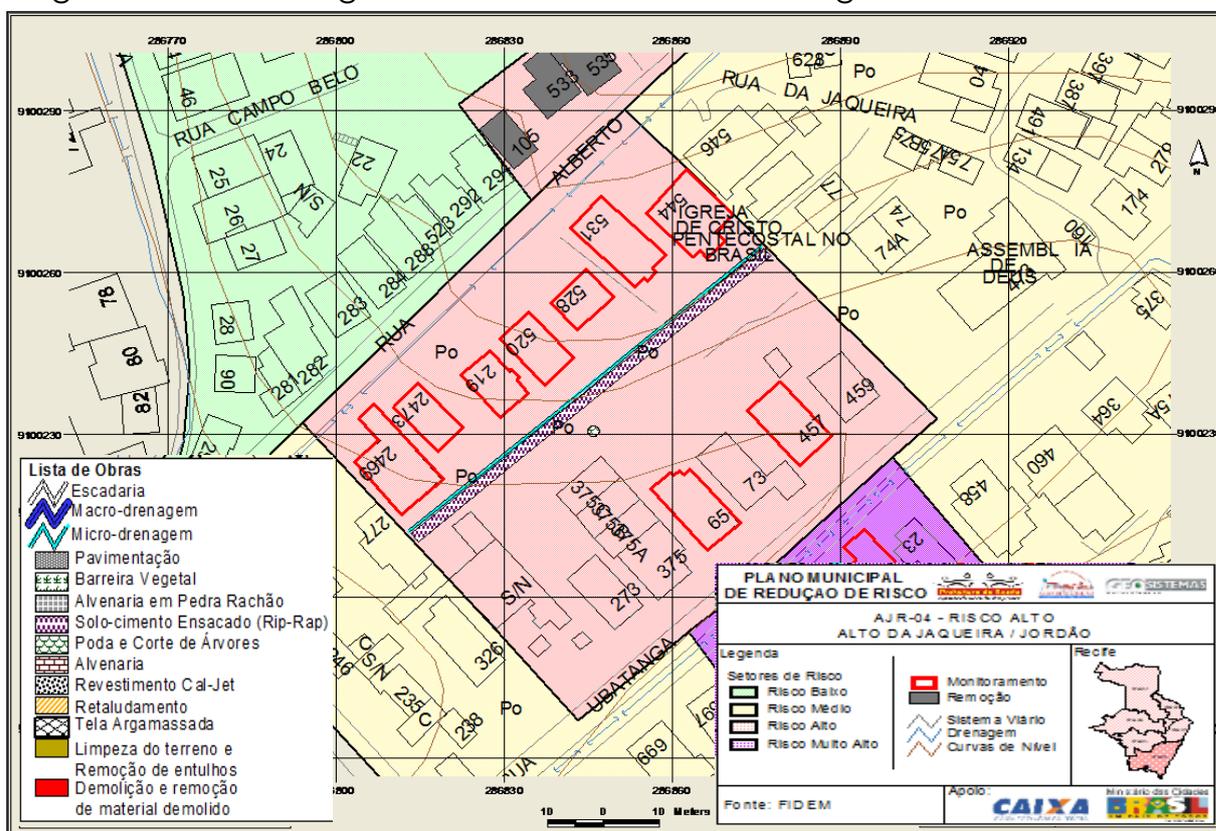
- ❖ **Tipos de riscos considerados:** nesta ação foram considerados fundamentalmente dois tipos de risco: escorregamentos e inundações. Nos escorregamentos incluem-se os escorregamentos propriamente ditos (em encostas naturais, em taludes de corte, em aterros, em depósitos de lixo ou entulho, etc.), os processos erosivos, as quedas e rolamentos de blocos de rocha, as corridas de massas, os movimentos de depósitos coluvionares, etc. As inundações compreendem inundações localizadas junto a córregos, inundações generalizadas, inundações devidas a efeitos de marés, etc.;
- ❖ **Delimitação dos setores de risco:** para cada tipo de risco foram delimitados espacialmente os setores sujeitos aos efeitos do processo gerador do risco. A delimitação dos setores foi representada em planta ou foto aérea (ortogonal ou oblíqua), em escala adequada (escala no mínimo de 1:2.000) (Fig. 4), em Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 e Projeção Cartográfica UTM. A caracterização de cada setor de risco aborda o tipo de relevo (encosta, baixada de córregos, planície costeira etc.), a forma de ocupação presente (favela, loteamento, alagado etc.) e o processo gerador do risco (por exemplo, no caso de escorregamentos, deve ser especificado o tipo de processo predominante, como erosão, escorregamento estrito senso, queda de blocos de rocha);
- ❖ **Avaliação do nível de probabilidade (Perigo):** adotou-se um método de análise de risco de caráter qualitativo, em que a experiência dos técnicos encarregados da análise é utilizada para estimativa da probabilidade de ocorrência dos eventos destrutivos e das suas consequências potenciais.

Nas análises qualitativas de risco, a probabilidade de ocorrência dos eventos destrutivos foi avaliada de forma subjetiva e expressa em termos literais (por exemplo: muito alta, alta, média ou baixa). Uma vez que a probabilidade de ocorrência do processo destrutivo depende do período de tempo considerado, considera-se nas análises o período de um ano, que engloba ao menos uma estação chuvosa.

Assim, ao estimar a probabilidade de ocorrência dos eventos destrutivos, os técnicos encarregados da análise avaliaram a probabilidade de ocorrência do evento destrutivo por ocasião de um episódio de chuvas intensas e prolongadas.

O procedimento proposto compreende: (a) avaliação qualitativa da probabilidade de ocorrência do processo destrutivo no decorrer de um episódio de chuvas intensas e prolongadas, realizada a partir dos indicadores de instabilidade, de evidências de ocorrências pretéritas de eventos destrutivos e de entrevistas com moradores; (b) definição do grau de probabilidade do setor, expresso qualitativamente da probabilidade de ocorrência do processo destrutivo;

Figura 4: Base cartográfica - Setor de Risco microrregião Jordão, Recife-PE.



Fonte: Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE, 2006.

- ❖ **Escorregamentos:** no caso de processos destrutivos associados a setores de encosta (escorregamentos, erosão, quedas de blocos de rocha, etc.) a probabilidade é definida de acordo com a Tabela 5;

Tabela 5: Graus de probabilidade para riscos de escorregamentos.

Grau de Risco	Probabilidade de ocorrência
R1 Baixo a inexistência	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não se observa(m) evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R4 Muito Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento.

Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

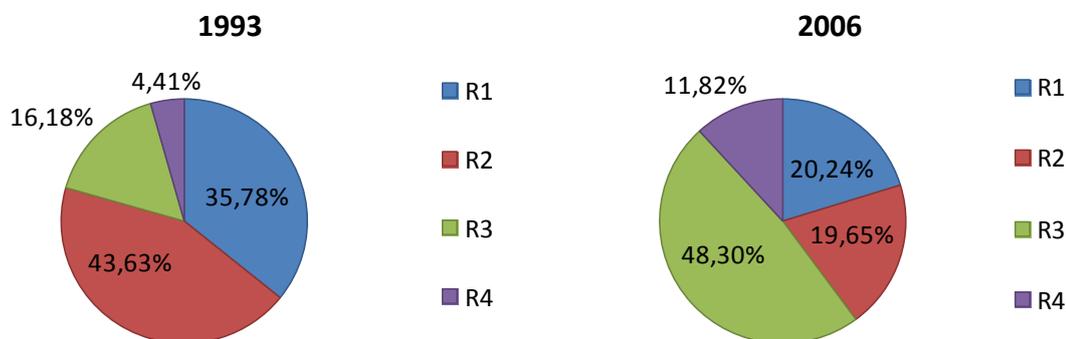
Fonte: Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE, 2006.

- ❖ **Avaliação das consequências potenciais:** para todos os tipos de risco, as consequências foram avaliadas em termos do número de moradias sujeitas aos efeitos dos processos geradores de risco. No caso de escorregamentos, o procedimento de análise envolveu a avaliação das possíveis formas de desenvolvimento do processo destrutivo atuante (volumes mobilizados, trajetórias dos detritos, áreas de alcance, etc.); e a estimativa do número de moradias inseridas no setor de risco, passíveis de serem destruídas no caso de ocorrência das várias formas de desenvolvimento do processo de instabilização de encostas. Nos casos de inundação deve ser estimado o número de moradias implantadas na área (ou setor de risco) sujeitas aos efeitos dos processos de risco;
- ❖ **Resultados:** os resultados do diagnóstico de risco foram apresentados em relatório no qual, além dos mapas de risco, constam informações sobre critérios, metodologia e caracterização dos setores de risco. Para riscos de escorregamentos, a caracterização dos setores de risco compreendeu:
 - ❖ Nome do assentamento;
 - ❖ Número total de domicílios e população do assentamento;
 - ❖ Número do setor;
 - ❖ Processo de instabilização de encostas atuante no setor;
 - ❖ Grau de probabilidade do setor;
 - ❖ Número de domicílios no setor.

O mapeamento das áreas de morros executado em 1993 já demonstrava um número crescente de áreas de risco no Recife, revelando a importância de enfrentar o problema de forma sistemática, com ações estruturais. Os gráficos da Figura 5 apresentam o quantitativo de setores de

risco mapeados no município do Recife para o período de 1993 e 2006, destacando o aumento dos setores de risco R3 e R4, com elevação de 298% e 268% respectivamente.

Figura 5: Quantitativos de áreas de risco, Recife (1993 e 2006).



Fonte: Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE, 2006.

O PMRR de Recife contém as seguintes características: (a) atualização do conhecimento já disponível sobre os riscos de deslizamentos, erosão e inundações, nas áreas de assentamentos precários do município; (b) indicação de tipologias de intervenção necessárias para a redução ou eliminação dos riscos em cada setor mapeado; (c) estimativa de custos para a execução das intervenções indicadas; (d) estabelecimento de critérios para priorização das intervenções; (e) elaboração do plano para a redução ou erradicação dos riscos identificados.

A metodologia empregada no mapeamento dos riscos pelo PMRR está fundamentada pela equação (1), segundo a qual o risco (R) é a probabilidade (P) de ocorrer um acidente associado a um determinado perigo ou ameaça (A), que possa resultar em consequências (C) danosas às pessoas ou bens, em função da vulnerabilidade (V) do meio exposto ao perigo, cujos efeitos podem ser reduzidos pelo grau de gerenciamento (g) público ou pela ação da comunidade, como demonstra a expressão a seguir:

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

3.7. Espaço urbano e o código florestal

A forma como as cidades brasileiras se expandem para regiões com topografia acidentada, torna necessário considerar as implicações das aplicações do Código Florestal ao espaço urbano em consonância da realidade ambiental e antrópica.

A atual legislação ambiental reguladora das APPs (Áreas de Proteção Permanente), no que diz respeito à aplicação ao espaço urbano, está inapropriada, devido à legislação ser inspirada na problemática rural, decorrendo erro conceitual e estrutural para gestão ambiental do tão singular espaço urbano.

O Código Florestal define as restrições para a ocupação de encostas na área urbana (APP), somente as encostas com declividade superior a 45° (100%). A geometria se contrapondo com a Ciência. A partir do conhecimento geotécnico e geológico mais recente, estudos apontam que, especialmente em regiões tropicais úmidas de relevo mais acidentado, que a partir de uma declividade de 30° (~57,5%) há probabilidade de ocorrência natural de deslizamentos de terra (SANTOS, 2012).

3.8. Movimento gravitacional de massa

Deslizamentos de terra são riscos naturais destrutivos que frequentemente levam à perda de vidas humanas e de bens, assim como causando graves danos aos recursos naturais (FEIZIZADEH *et al.* 2014).

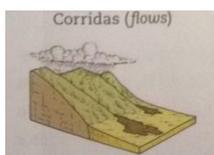
Os escorregamentos ou deslizamentos são os processos mais marcante na evolução natural das encostas, seja pela capacidade potencial de causar danos ao homem, ou seja, pela frequência. Estes processos são caracterizados por movimentos rápidos e duração relativamente curta, com limites laterais e profundidades bem definidos, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude (GUIDICINI e NIEBLE, 1984 *apud* SAUSEN e LACRUZ, 2015).

A ocorrência de escorregamentos está relacionada com o agrupamento de diversos fatores, como pluviometria, declividade e forma das encostas, características geológicas, grau e o tipo de interferência antrópica (SANTOS, 2012).

A Tabela 6 apresenta os principais tipos de classificações de movimentos de massa, sendo os mais comuns baseados na forma do plano de ruptura e no tipo de material em movimento, que podem ser solo, solo e rocha, somente rocha ou ainda depósito de lixo, que podem ou não ter estruturas ou planos de fraqueza, que favorecem as rupturas (FERNANDES; AMARAL, 2003 *apud* SAUSEN e LACRUZ, 2015).

Tabela 6: Principais tipos de movimentos de massa em encostas.

Processos	Dinâmica/geometria/material
 <p>Quedas (falls)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sem planos de deslocamentos; ▪ Movimentos do tipo queda livre ou plano inclinado; ▪ Velocidade muito alta (vários m/s); ▪ Material rochoso; ▪ Pequenos a médios volumes; ▪ Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.; ▪ Rolamento de matacão; ▪ Tombamento.
 <p>Rastejos (creep)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vários planos de deslocamentos; ▪ Velocidade muito baixa (cm/ano) a baixa e decrescente com a profundidade; ▪ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; ▪ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada.
 <p>Escorregamentos (slides)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poucos planos de deslocamentos (externos); ▪ Velocidade média (m/h) a alta (m/s); ▪ Pequenos e grandes volumes de materiais; ▪ Geometria e materiais variáveis; ▪ Planares: solos poucos espessos, solos e rochas com um plano de fraquezas; ▪ Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; ▪ Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.



- Muitas superfícies de deslocamentos;
- Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;
- Desenvolvimento ao longo das drenagens;
- Velocidade média a alta;
- Mobilização de solo, rocha, detritos e água;
- Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: AUGUSTO FILHO, 1992 *apud* SAUSEN e LACRUZ, 2015.

As contribuições de fatores internos e externos podem atuar de maneira isolada ou em conjunto em um único evento de escorregamento. Gramani (2001) *apud* Sausen e Lacruz (2015), aponta fatores externos como principal agente deflagrador de escorregamentos de massa as precipitações pluviométricas e como agentes internos, têm-se:

- ❖ Condicionantes das encostas: declive em torno de 30°, disponibilidade de material passível de mobilização, perfis retilíneos a côncavos com comprimento da vertente que permita agrupamento rápido das águas pluviais;
- ❖ Condicionantes das drenagens: perfil do canal de drenagem com elevadas declividades, vales encaixados com alto raio hidráulico e estrangulamento dos canais;
- ❖ Condicionantes da bacia de captação: preferências por bacias menores que permitam rápida concentração e picos de vazão elevados, localizadas em altitudes elevadas ou barreiras geográficas.

Têm-se como fatores fundamentais e decisivos para a maior ou menor probabilidade de ocorrência de escorregamentos naturais: (a) pluviosidade, tendo como consequência problemática a saturação dos solos superficiais e percolação interna de água, com decorrente enfraquecimento do limite de suas propriedades geotécnicas, devido ao histórico pluviométrico acumulado em um determinado número de dias. A maior probabilidade de ocorrência de escorregamentos, tanto os naturais ou induzidos, ocorrem a partir de um histórico pluviométrico de 3 ou 4 de chuvas contínuas de saturação, através da chuva torrencial de grande intensidade; (b) declividade das encostas, tendo como nível de susceptibilidade a

escorregamentos a partir de inclinações em torno de 30° e 35°. Quanto a forma que aumenta os níveis de instabilidade, têm-se os trechos retilíneos, especialmente os do terço superior dos espigões (SANTOS, 2012).

Santos (2012), afirma ainda, que os escorregamentos induzidos, ou seja, relacionados a algum tipo de interferência humana, precisa de um nível de intensidade pluviométrica menor para sua ocorrência comparada àquela necessária ao desencadeamento de escorregamentos naturais.

A maioria dos movimentos de massas ocorridos no Brasil são do tipo de escorregamentos translacionais rasos deflagrados pela diminuição da resistência ao cisalhamento dos solos superficiais, em médias e altas encostas, sob chuvas intensas (SAUSEN e LACRUZ, 2015).

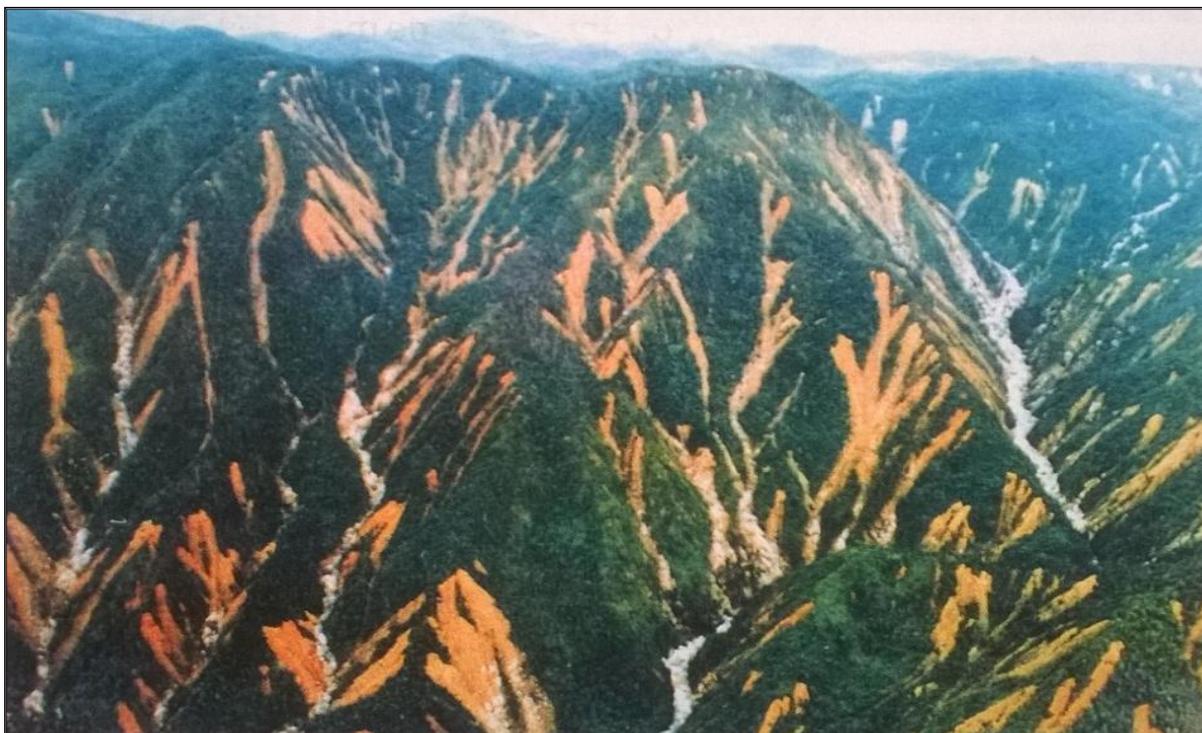
A floresta natural se constitui como único elemento inibidor de escorregamentos e de processos erosivos em regiões serranas e tropicais. Sem capa protetora, as encostas seriam submetidas a um violento e rápido processo de dissecação erosiva, tendo as seguintes funções (SANTOS, 2012):

- ❖ As copas e serapilheira impedem a ação direta das gotas de chuva no solo;
- ❖ As raízes superficiais e serapilheira impedem a ação erosiva das águas de chuva;
- ❖ Retém através do molhamento de todo o edifício arbóreo parte da água da chuva que chegaria ao solo;
- ❖ O excesso das chuvas no solo é diluído com o tempo;
- ❖ Parte da água infiltrada no solo é retirada e devolvida à atmosfera por evapotranspiração;
- ❖ Retém os solos superficiais através de uma excelente malha superficial e subsuperficial de raízes.

A Figura 6 apresenta múltiplos escorregamentos translacionais rasos ocorridos em 1985 nas encostas do vale do Rio Mogi, este fenômeno foi relacionado ao fenecimento da vegetação arbórea provocada pela poluição do Polo industrial de Cubatão. Este caso comprova o papel importante da vegetação na estabilização de encostas, salientando que os

escorregamentos foram potencializados pela perda de parte das copas de vegetação arbórea (SANTOS 2012).

Figura 6: Escorregamentos planares nas encostas do vale do Rio Mogi (1985).



Fonte: SANTOS, 2012.

3.8.1. Suscetibilidade a deslizamentos

Do mapeamento de áreas de risco a deslizamentos compreendem-se três etapas: (a) levantamento e a confecção de cartas com um conjunto de parâmetros e atributos correlacionados à dinâmica do processo (cartas básicas e temáticas); (b) o cruzamento e análise dessas cartas através de critérios preestabelecidos; (c) espacialização da decodificação das zonas homogêneas de acordo com o tipo de processo e ao grau de risco vinculado. A codificação dos graus de risco pode ser empregada através de números (1, 2, 3, etc.), termos linguísticos (baixo, médio, alto, etc.), hachuras ou cores, sendo aplicadas por recomendação as cores semafóricas (verde, amarelo e vermelho), devido a sua relação imediata com a noção implícita de referencial de perigo (AUGUSTO FILHO, 1994 *apud* ALHEIROS, 1998).

Suscetibilidade a deslizamentos é definida pela possibilidade que num determinado local ocorra evento de deslizamentos, podendo ser de dois tipos: natural e induzida. A suscetibilidade natural pode ser medida com base nas propriedades geológicas e pedológicas, na morfologia (declividade, altura, extensão e perfil das encostas), na morfometria e distribuição espacial da drenagem nas microbacias (TORRES, 2014).

O mapeamento de susceptibilidade a deslizamentos expressa cartograficamente é uma ferramenta eficaz para a compreensão dos riscos naturais e para prever potenciais áreas de perigo de deslizamento de terra, mitigando assim os seus impactos, auxiliando na tomada de decisão para gestão de desastres (FEIZIZADEH *et al.*, 2014). Estes produtos cartográficos visam apontar a probabilidade espacial na ocorrência de movimentos, porém não aponta claramente quando irão ocorrer, sendo úteis para fornecer informações sobre os perigos de escorregamentos necessários para fins de planejamento e proteção (SAUSEN e LACRUZ, 2015).

3.9. Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas - SIG

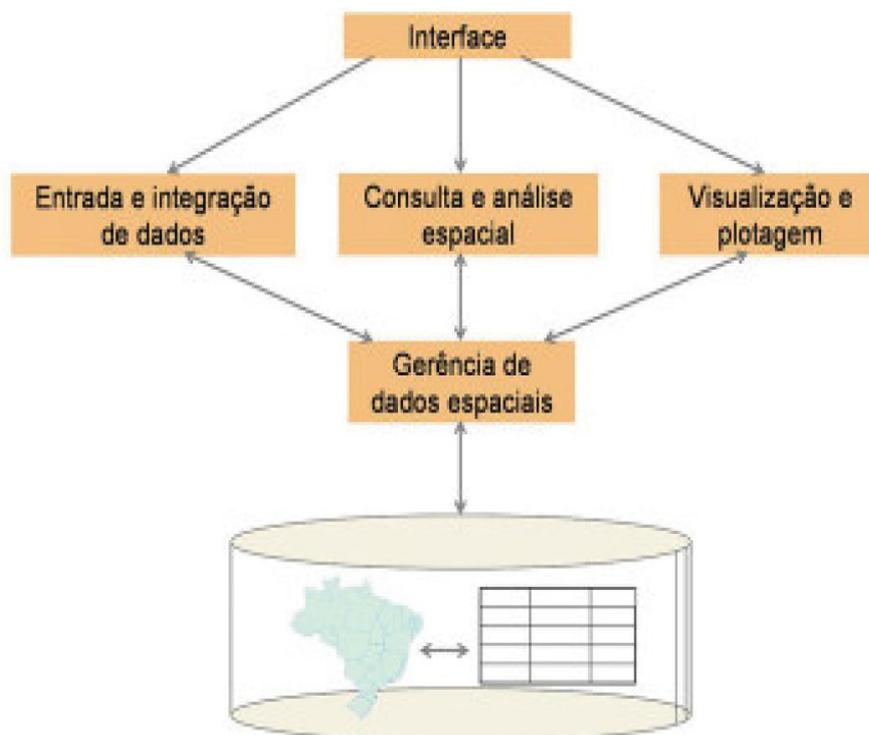
O Geoprocessamento é definido como um conjunto de técnicas computacionais necessárias para coletar, tratar, manipular e apresentar informações espacialmente referenciadas. Sendo considerada uma área do conhecimento que envolve diversas disciplinas, como a Cartografia, Computação, Geografia e Estatística. Tendo como as principais técnicas de geoprocessamento, o sensoriamento remoto, a cartografia digital, a estatística espacial e os Sistemas de Informações Geográficas (SANTOS e BARCELLOS, 2006).

O Sistema de Informações Geográficas - SIG é uma das técnicas mais completas e extensas do Geoprocessamento, pois, permite integrar, automatizar, armazenar, tratar e manipular uma grande quantidade de informações espaciais, podendo ser aplicado em várias áreas do conhecimento (BENAVIDES SILVA e MACHADO, 2014).

A utilização das técnicas de Geoprocessamento possibilita a realização de complexas análises espaciais, pois permite integração de dados de diferentes fontes, manipulação de grande volume de dados e rapidez de informações armazenadas, tendo como ponto principal a estrutura topológica que define os relacionamentos espaciais entre os elementos geográficos (SANTOS e BARCELLOS, 2006). A propriedade de topologia refere-se as relações de vizinhanças, através da posição de um objeto geográfico em relação aos demais que pode ser: adjacência, conectividade, contingência e proximidade (PINA e SANTOS, 2000).

A Figura 7 apresenta a estrutura dos SIG's através de módulos: (a) entrada e integração dos dados, obtenção e manipulação de dados gráficos e não gráficos; (b) sistemas de gerenciamento de banco de dados; (c) técnicas de análise de dados espaciais; (d) operação de armazenamento e recuperação dos dados e procedimentos para disponibilização dos resultados (visualização, plotagem, relatórios, entre outros) (SANTOS e BARCELLOS, 2006).

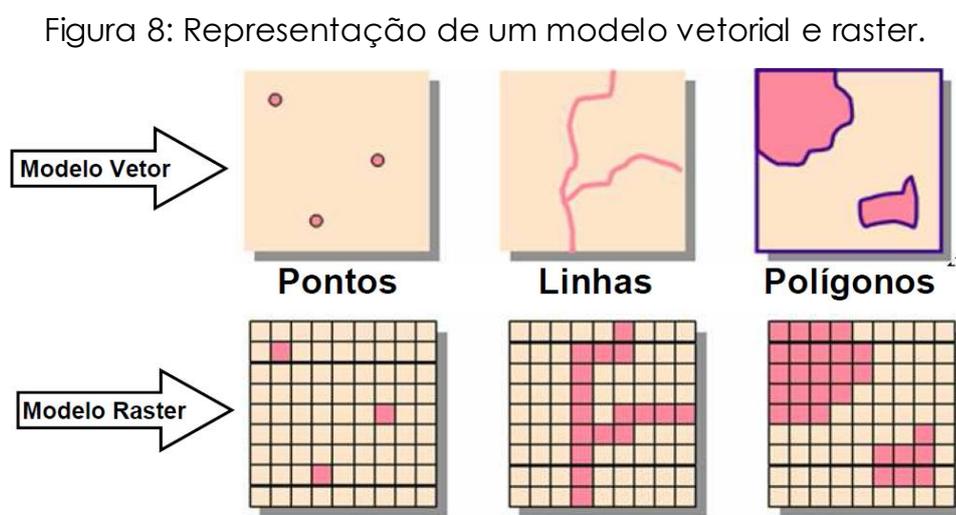
Figura 7: Estrutura de um SIG.



Fonte: SANTOS e BARCELLOS, 2006.

As técnicas de Geoprocessamento são ferramentas para mapear e apresentar respostas às questões de planejamento urbano e regional, meio rural e levantamento de recursos renováveis, descrevendo a dinâmica das mudanças do fenômeno estudado e auxiliando no planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas (FERREIRA, 1997 *apud* SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010).

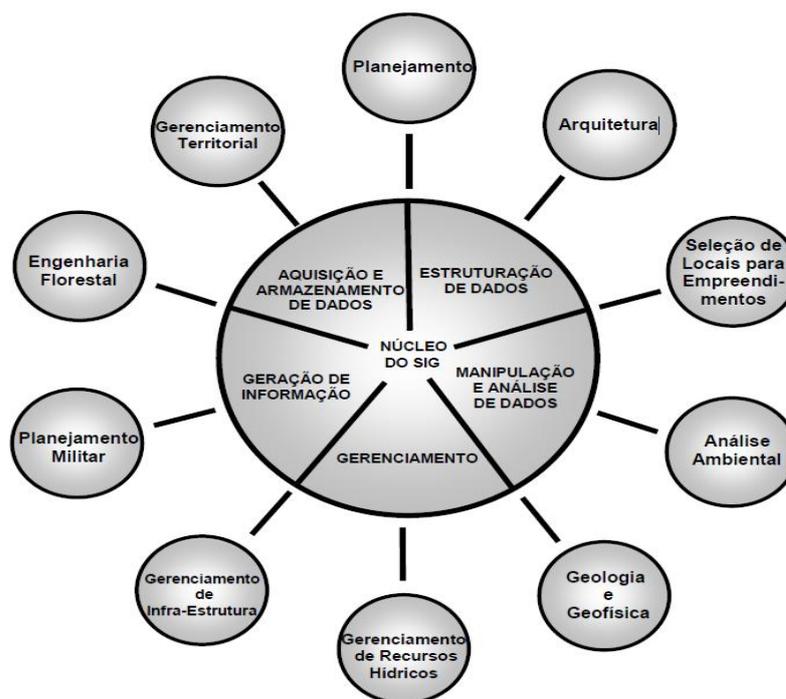
As feições geográficas são objetos descritos em ambiente SIG na forma de modelo de dados: (a) vetorial, através das feições gráficas ponto, linha e polígono; (b) matricial ou raster, através da grade regular de quadriculas (Fig. 8) (SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010).



Fonte: SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010.

Nas últimas décadas, a maior parte dos dados do meio ambiente é organizada em forma de mapas inseridos em sistemas SIG, sendo uma importante ferramenta analítica para analisar informações ambientais (BAGDANAČIŪTE e VALIAŪNAS, 2013). O núcleo de um SIG é definido através das plataformas *hardware*, *software*, pessoas envolvidas no projeto, banco de dados, manutenção e gerenciamento do próprio sistema, tendo no entorno do núcleo as aplicações SIG (Fig. 9) (MENEQUETTE, 2000 *apud* SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010).

Figura 9: Componentes de um SIG e suas aplicações.



Fonte: SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010.

Dentre algumas aplicações do SIG, na análise ambiental, pode-se destacar o Mapeamento Temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental, Ordenamento e Gestão Territorial e os Prognósticos Ambientais (BENAVIDES SILVA e MACHADO, 2014).

As ferramentas SIG para o mapeamento de áreas, susceptíveis a escorregamentos, tornam-se interessantes devido à capacidade de cruzamento das inúmeras variáveis envolvidas, com valores num intervalo de menor a maior potencial para geração de escorregamentos, podendo ainda atribuir peso às variáveis de acordo com o grau de importância dentro do processo, utilizando uma equação final para determinar o modelo matemático da suscetibilidade (SAUSEN e LACRUZ, 2015).

3.9.1. Análise espacial

Análise espacial inclui todas as transformações, manipulações e métodos que podem ser aplicados aos dados geográficos adicionando valor a eles, desta forma auxiliando na tomada de decisões (LONGLEY et al.

2013). A Tabela 7 apresenta as técnicas de análise espacial, baseadas no relacionamento espacial entre as feições geográficas (ponto, linha e polígonos) (SANTOS e SANTOS, 2007).

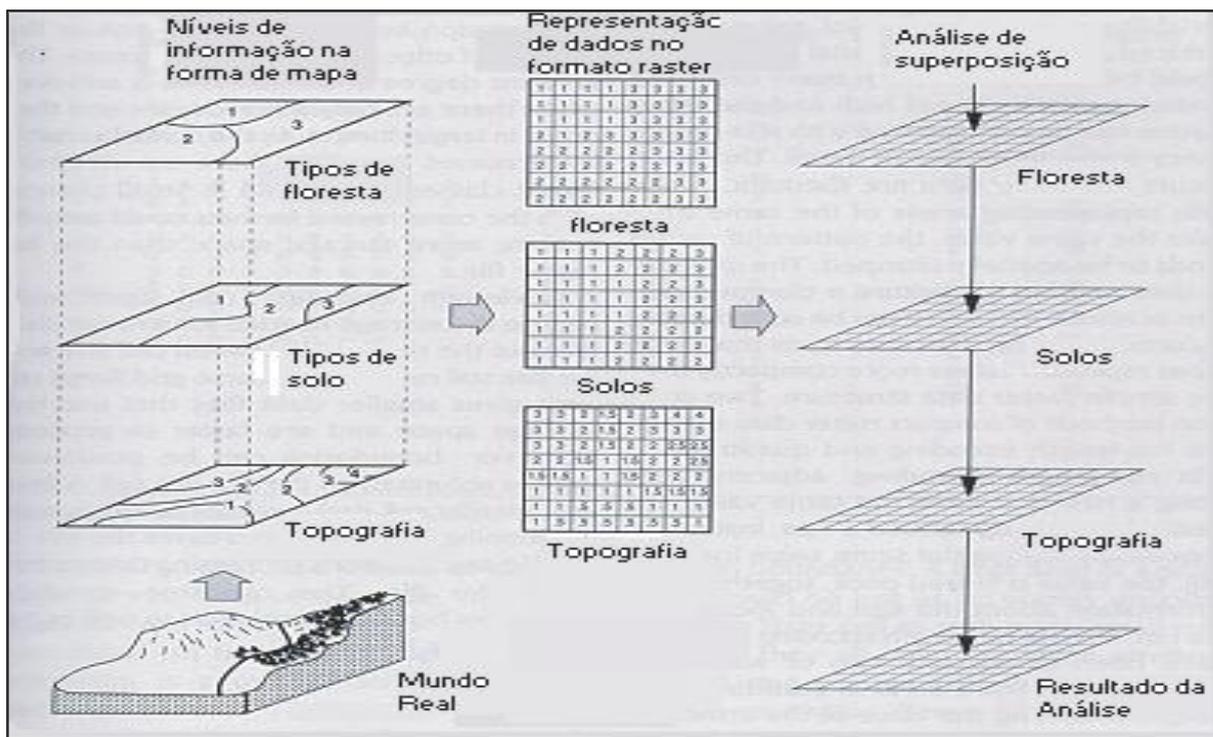
Tabela 7: Técnicas de análise espacial SIG.

Técnica	Descrição	Exemplo de aplicação
Pontos num polígono	Identifica a interseção entre pontos e a área (polígono) em que eles estão	Para identificar todos os casos dentro de uma zona de exposição especificada
Linhas num polígono	Identifica a interseção entre linhas e a área (polígono) que elas cruzam	Para identificar fontes lineares (ex. estradas) que cruzam uma área especificada
Área de influência (<i>Buffer</i>)	Construção de zonas de largura especificada ao redor de pontos, linhas ou áreas	Para definir áreas de exposição em torno de fontes de risco (ex. usinas nucleares)
Interpolação	Estimação de condições em locais não amostrados	Mapeamento de superfícies de poluição
Estimação de proximidade	Análise de condições em determinado ponto, baseada em condições de uma vizinhança especificada	Estimativa de níveis de poluição baseada no uso do solo da região em torno
Alisamento (<i>Smoothing</i>)	Construção de uma superfície alisada (generalizada)	Mapeamento de superfícies generalizadas de exposição
Sobreposição (<i>Overlay</i>)	Combinação de um mapa com outro por sobreposição	Combinação entre mapas de densidade de poluição e população para identificar populações expostas

Fonte: PINA e SANTOS, 2000.

A utilização da estrutura matricial tem como principal vantagem a facilidade de implementação das operações de superposição de níveis de informação. A Figura 10 apresenta a superposição nos diversos níveis de informação, empregando operações matemáticas entre matrizes, combinando as células de mesma posição (linha e coluna) (PINA e SANTOS, 2000).

Figura 10: Superposição de níveis de Informação na estrutura matricial.



Fonte: PINA e SANTOS, 2000.

Modelagem cartográfica ou álgebra de mapa é um método de análise espacial empregada em vários SIG aplicado em base de dados matricial, sendo dividida nas transformações a baixo (LONGLEY *et al.* 2013):

- ❖ Operações locais: opera na análise da matriz célula a célula, tomando o valor de uma célula de uma camada e comparando com os valores na mesma célula em outras camadas;
- ❖ Operações focais: compara o valor de uma célula com o valor das células vizinhas, na maioria das vezes, tomam-se oito vizinhas;
- ❖ Operações globais: produzem resultados válidos para a camada toda, tal como valor médio;
- ❖ Operações sazonais: calculam resultados para blocos de células contíguas que compartilham o mesmo valor, como exemplo: cálculo de áreas contíguas do mesmo uso e cobertura do solo, vinculando o resultado a todas as células de cada bloco contíguas.

A modelagem dentro de ambiente SIG pode ser realizada de duas maneiras: (a) modelo estático, representa um único ponto no tempo,

processando e combinando múltiplas entradas em uma saída simples, não ocorrendo passos temporais, sendo importante como elemento preditores ou indicadores; (b) modelo de simulação ou celular, representa a superfície terrestre como uma matriz, formada por células que mudam ao longo do tempo como resultado da aplicação de regras de transição (LONGLEY *et al.* 2013).

3.10. Metodologia de análise multicritério

Muitas decisões dependem da identificação de fatores relevantes e da adição de seus valores apropriadamente ponderados. Tais processos são denominados de tomada de decisão multicritério (*multicriteria decision making* - MCDM), fazendo uso de modelos multicritérios, onde são aplicadas variáveis que influenciam o impacto no fenômeno estudado definidos por (x_1) até (x_n) . A influência de cada variável no fenômeno é determinada por uma transformação do fator $f(x)$. Tendo o impacto combinado de todas as variáveis obtido pela ponderação e soma, cada variável (i) tendo um peso (w_i) (LONGLEY *et al.* 2013):

$$I = \sum_{i=1}^n w_i f(x_i) \quad (2)$$

Longley *et al.* (2013) afirma ainda que vários sistemas SIG disponibiliza funcionalidade de modelagem MCDM, tendo como denominação o Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process* - AHP). Este método foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em 1977, tendo como objetivo o auxílio na tomada da decisão baseada em múltiplos critérios (TORRES, 2014). Na modelagem AHP é definida a influência de cada variável como uma função e informando a importância relativa na forma de razão. Para apresentar as vinculações das variáveis e pesos é gerada uma matriz, estas são combinadas e analisadas. Esses pesos são inseridos como parâmetros na modelagem espacial, visando um resultado final (LONGLEY *et al.* 2013).

A técnica de análise multicritério permite realizar investigação através da combinação de diferentes variáveis ambientais, organizadas de acordo

com o grau de influência para o fenômeno estudado, tendo como objetivo a geração de um mapa síntese. Essa metodologia é concretizada a partir do mapeamento de variáveis separados por grupos de plano de informação e na definição do grau de relação de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para obter o mapa síntese. A modelagem matemática empregada é a média ponderada (MOURA, 2007 *apud* BENAVIDES SILVA e MACHADO, 2014).

O Processo Analítico Hierárquico é um método de comparação par a par que pode ser empregado para definição dos pesos na avaliação multicritério. Por meio deste método, pesos e prioridades são definidos a partir do julgamento subjetivo realizado por avaliadores ou participantes na execução da modelagem (LIMA, RAMOS e FERNANDES JÚNIOR, 2008).

A partir dos relacionamentos espaciais entre as variáveis de estudo são estimados por critérios estatísticos, ou seja, com base em amostras de uma região experimental ou conjunto de classes, sendo os limites dessas classes definidos por especialistas, podendo ser empregado (MOREIRA *et al.*, s.d. *apud* SAUSEN e LACRUZ, 2015):

- ❖ Operadores de lógica *booleana*: a partir de regras determinísticas são criados os critérios. Tendo como base um conjunto de mapas de entrada, criando-se um mapa binário na saída do sistema. Prático na utilização, porém não é o mais adequado por não permitir expressar a importância relativa entre os atributos;
- ❖ Operadores ponderados: os pesos são fornecidos através da avaliação do usuário. A vantagem destes operadores é a habilidade de avaliar graus de potencialidade em vez de apenas avaliar a presença ou ausência da potencialidade. A atribuição do valor do peso a ser aplicado a um mapa depende da análise da importância da evidência em relação a uma ocorrência conhecida ou do julgamento subjetivo de especialistas;
- ❖ Operadores *fuzzy*: a caracterização do limite entre os atributos é realizada de forma não rígida, sendo feitas de forma nebulosa.

A modelagem multicritério consiste na determinação dos pesos estatísticos que fazem parte da modelagem, a partir da elaboração de uma matriz de decisão quadrada (Tab. 8), onde os critérios C_n são comparados par a par, a partir da indicação da intensidade que o fator da coluna da esquerda atua em relação a cada fator correspondente na linha superior. Esta ponderação está relacionada com a intensidade de um critério em relação ao outro, através de aplicação de valores de importância (Tab. 9) (SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010).

Tabela 8: Matriz quadrada de correlação pareada.

Critérios	C_1	C_2	C_3	C_4	C_n
C_1	1	$C_{21}=1/C_{12}$	$C_{31}=1/C_{13}$	$C_{41}=1/C_{14}$	$C_{n1}=1/C_{1n}$
C_2	C_{12}	1	$C_{32}=1/C_{23}$	$C_{42}=1/C_{24}$	$C_{n2}=1/C_{2n}$
C_3	C_{13}	C_{23}	1	$C_{43}=1/C_{34}$	$C_{n3}=1/C_{3n}$
C_4	C_{14}	C_{24}	C_{34}	1	$C_{n4}=1/C_{4n}$
C_n	C_{1n}	C_{2n}	C_{3n}	C_{4n}	1

Tabela 9: Níveis de intensidade de importância.

Intensidade da importância	Descrição da importância mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante que
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

A matriz de normalização dos critérios analisados (Tab. 10), defini os pesos estatísticos de cada variável empregada na modelagem multicritério. Nesta etapa, o valor de importância para cada par de variáveis é determinado pela divisão de cada variável pelo somatório das variáveis da coluna que ela pertence. O peso (W_i) de cada variável é determinado pela divisão do somatório de cada linha (ΣL) pelo número de variáveis analisadas na matriz (n), ou pela multiplicação da matriz de comparação pareada (AW) pela matriz de pesos calculados (W_i) (SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010).

Tabela 10: Matriz de normalização dos critérios analisados.

Critérios	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C _n	W _i
C ₁	1/ΣC ₁	C ₂₁ /ΣC ₂	C ₃₁ /ΣC ₃	C ₄₁ /ΣC ₄	C _{n1} /ΣC _n	ΣL ₁ /n
C ₂	C ₁₂ /ΣC ₁	1/ΣC ₂	C ₃₂ /ΣC ₃	C ₄₂ /ΣC ₄	C _{n2} /ΣC _n	ΣL ₂ /n
C ₃	C ₁₃ /ΣC ₁	C ₂₃ /ΣC ₂	1/ΣC ₃	C ₄₃ /ΣC ₄	C _{n3} /ΣC _n	ΣL ₃ /n
C ₄	C ₁₄ /ΣC ₁	C ₂₄ /ΣC ₂	C ₃₄ /ΣC ₃	1/ΣC ₄	C _{n4} /ΣC _n	ΣL ₄ /n
C _n	C _{1n} /ΣC ₁	C _{2n} /ΣC ₂	C _{3n} /ΣC ₃	C _{4n} /ΣC ₄	1/ΣC _n	ΣL _n /n

Para utilização do método AHP é necessário determinar a razão de consistência (RC), medida esta que mensura a consistência dos julgamentos, através da fórmula abaixo (KUMAR e SHAIKH, 2012):

$$RC = \frac{IC \text{ (Índice de consistência)}}{IR \text{ (Índice randômico)}} \quad (3)$$

O índice de consistência é determinado através da fórmula:

$$IC = \frac{\varphi_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$\varphi_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[AW]_i}{W_i} \quad (5)$$

sendo:

n = número de ordem da matriz;

φ_{max} = autovetor;

W_i = pesos calculados;

AW_i = Produto entre W_i com a matriz de correlação pareada.

O Índice Randômico é um valor encontrado em laboratório e pode ser adquirido na Tabela 11.

Tabela 11: Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IR	0	0	0,53	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45

Para aceitação das matrizes, a razão de consistência (RC= IC/RI) deve ser inferior a 0,10 ou 10%, ou seja, quando os valores encontrados são menores que o limite mínimo, pode-se considerar que os resultados obtidos estão adequados na comparação dos pares, caso contrário, o valor de RC for superior a 0,10 indica juízos inconsistentes, devendo realizar uma revisão dos julgamentos paritários (TORRES, 2014).

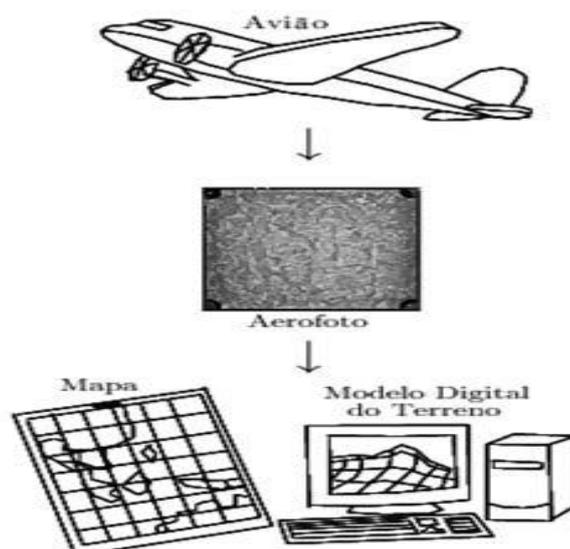
3.11. Fotogrametria

Fotogrametria deriva de radicais gregos *photos* (luz), *gramma* (escrita) e *metron* (medição), tendo como significado a medição gráfica através da luz (TOMMASELLI, 2009). De acordo com *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, a Fotogrametria é definida como “a arte, ciência e tecnologia de obter informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente, através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos”.

O principal objetivo da fotogrametria é a reconstrução de um espaço tridimensional ou parte do mesmo, chamado de espaço-objeto, a partir de imagens bidimensionais chamado de espaço-imagem (Fig. 11) (COELHO e BRITO, 2007).

O emprego mais comum da fotogrametria é a confecção de produtos cartográficos a partir de fotos aéreas. A câmara fotogramétrica transportada pela aeronave é ajustada para fotografar cada ponto da superfície terrestre mais de uma vez, em diferentes posições. Desta forma, possibilitando uma visualização tridimensional.

Figura 11: Fluxograma de Fotogrametria aérea (plataforma aérea, fotografias e produtos cartográficos).



Fonte: COELHO e BRITO, 2007.

A fotogrametria é classificada de acordo com a posição espacial da câmara e a finalidade: (1) Fotogrametria terrestre, produz fotografias em posições fixas e posições sobre o terreno, com o eixo óptico da câmara na posição horizontal; (2) Fotogrametria aérea, produz fotografias da superfície terrestre, coletadas por câmaras a bordo de aeronaves, com o eixo óptico na posição vertical (MARCHETTI e GARCIA, 1986).

3.11.1. Produtos Fotogramétricos

3.11.1.1. Fotografias aéreas

Quando no momento da exposição, o eixo óptico da câmara encontra-se aproximadamente na vertical, admitindo-se um desvio inferior a 3° ; as fotografias aéreas são chamadas de fotografias verticais ou nadirais (Fig. 12). Caso contrário, as fotografias são denominadas oblíquas. Para aquisição de fotografias verticais é necessária, entre outras condições: (1) a utilização de aeronaves que apresentem grande estabilidade durante o vôo; (2) condições atmosféricas favoráveis; (3) A navegação cercada de cuidados por parte do piloto (CASACA, MATOS e BAIO, 2007).

Figura 12: Fotografia aérea do Recife em escala 1:6.000 (1975).



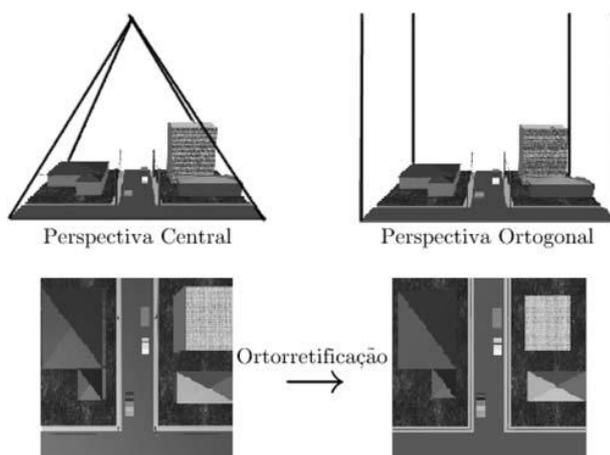
Fonte: Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife.

3.11.1.2. Ortofotografias

As fotografias aéreas em formato analógico ou digital do terreno apresentam deformações geométricas que são devidas basicamente: (1) a imagem representada ser em perspectiva central; (2) à altitude da plataforma que transporta a câmara; (3) ao relevo.

Ortorretificação é o processo que transforma as imagens (analógica ou digital) em ortoimagens, que são imagens digitais em perspectiva paralela do terreno, segundo uma direção vertical (Fig. 13). Fotografias que passam por processo de ortorretificação são chamadas de ortofotografias. Estas apresentam escala constante e possibilidade de extração de informação métrica, de forma semelhante a uma planta topográfica baseada em projeção cartográfica conforme (CASACA, MATOS e BAILO, 2007).

Figura 13: Processo de ortorretificação.



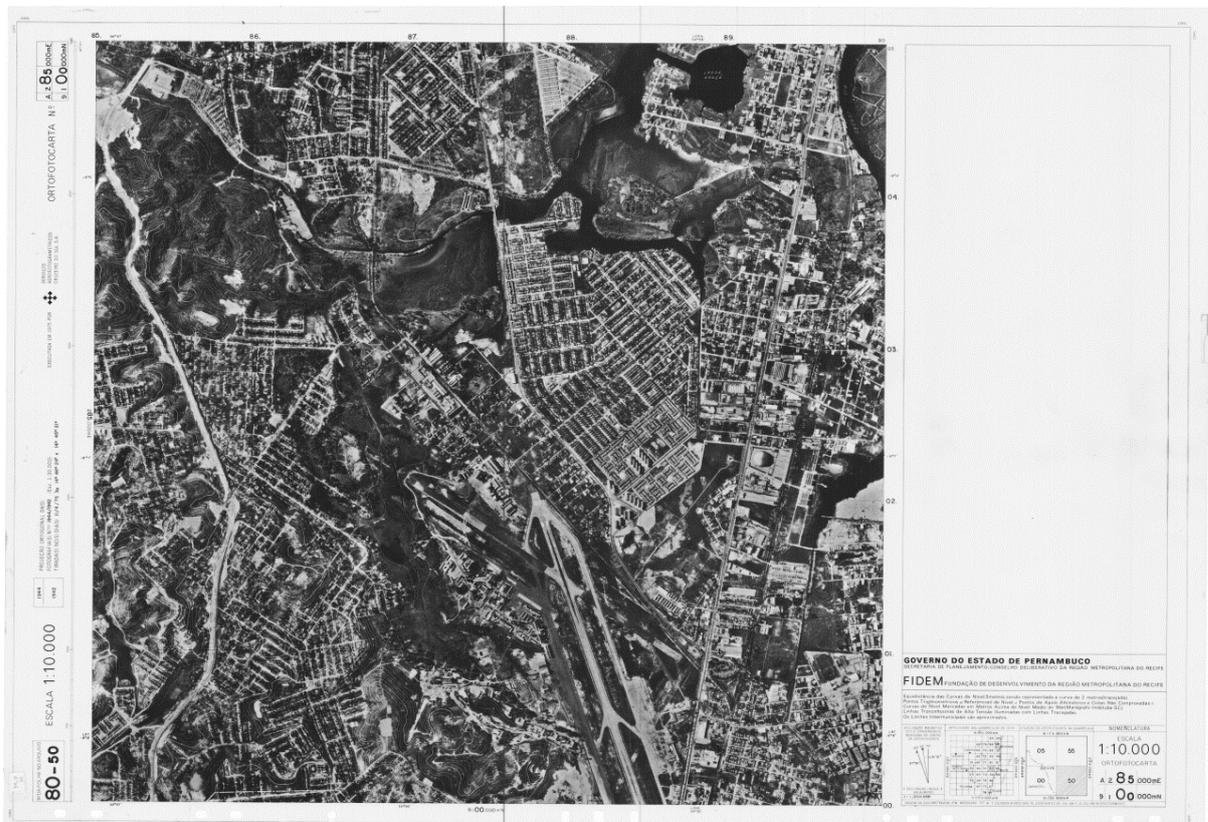
Fonte: COELHO e BRITO, 2007.

3.11.1.3. Ortofotocartas

Ortofotocartas são representações elaboradas a partir de fotografias aéreas tomadas na vertical e transformadas geometricamente (retificadas) de forma a poderem ser utilizadas como uma projeção ortogonal do terreno sobre o plano, numa determinada escala. Estes produtos são formados pela junção da fotografia aérea retificada com informação adicional em forma

simbólica da rede geográfica de meridianos e paralelos, curvas de nível, as vias de comunicação, entre outros (Fig. 14). As ortofotocartas são mais fáceis de produzir comparadas as cartas topográficas, porém apresenta limitações de quantidade e legibilidade da informação representada (GASPAR, 2005).

Figura 14: Ortofotocarta 8050 do Recife na escala 1:10.000 (1975).



Fonte: Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife.

3.11.1.4. Modelo Digital do Terreno - MDT

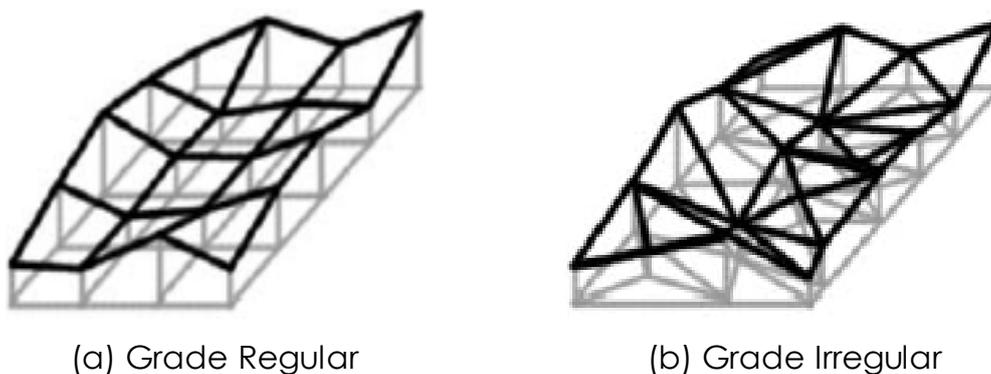
Modelo Digital do Terreno (MDT) é uma forma de representação numérica para altitudes, também chamado de Modelo Numérico de Elevações (MNE) ou Modelo Digital de Elevações (MDE) (COELHO e BRITO, 2007).

Modelos Digitais do Terreno (MDT) são formados por malhas triangulares ou retangulares de valores de altitudes ou de profundidade, em regra, estimados a partir de dados originados através de métodos de interpolação espacial (GASPAR, 2005).

A grade regular apresenta um arranjo regular, tendo como vantagem o armazenamento e representação dos dados sem maior esforço computacional e desvantagem, a perda da precisão dos pontos originais, devido em geral à formação da grade ser obtida por interpolação. A grade regular não possibilita a inserção de linhas de quebras (*Breaklines*), impedindo a representação fiel de certas feições descontínuas (como rios, estradas, entre outras) (Fig. 15a).

A grade irregular (*Triangular Irregular Network - TIN*) é formada por triângulos irregulares o mais próximo possível da forma equilátera, compostos pelos pontos originais, ligados três a três, com propriedades matemáticas bem definidas (Fig. 15b) (COELHO e BRITO, 2007). A rede TIN oferece vantagens na representação de superfícies como terrenos, tais como: facilidade no cálculo para obter altitudes, declividades, orientações, linhas de visada entre pontos, volumes e drenagens (LONGLEY *et al.* 2013):

Figura 15: Representação digital do terreno.



Fonte: COELHO e BRITO, 2007.

3.12. Estado da arte

A Tabela 12 apresenta artigos, dissertações e trabalhos que tratam da temática da suscetibilidade a movimentações de massa, erosiva, seleção de locais adequados para ocupações urbanas, empregando a modelagem multicritério baseada na metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

Tabela 12: Artigos, dissertações e trabalhos relacionados a suscetibilidade a movimentos de massa e erosão empregando a modelagem multicritério.

Autor	Ano	Metodologia	Resultados
Benavides Silva e Machado	2014	Classificação e mapeamento da suscetibilidade erosiva empregando técnicas multicritério, aplicando pesos as variáveis ambientais de acordo com potencial erosivo natural e antrópica. Foram utilizadas cartas cartográficas em escala pequena e imagens <i>Landsat</i> (30m).	Mapeamento da suscetibilidade erosiva em dois cenários: (a) suscetibilidade erosiva natural e (b) suscetibilidade erosiva com influência antrópica da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – MG em escala 1:60.000.
Feizzadeh; Roodposhti; Jankowski e Blaschke	2014	Mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos combinando análise espacial SIG com variáveis ambientais na estrutura <i>fuzzy</i> , modelando com métodos de avaliação multicritério. Foram empregadas cartas topográficas em escala pequena e imagens <i>Landsat</i> (30m).	Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos na bacia hidrográfica do Rio Izeh no sudoeste do Irã em escala 1:50.000.
Torres	2014	Elaboração de uma carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão, empregando técnicas de análise espacial multicritério na definição dos pesos das variáveis ambientais. Foram utilizadas imagens de satélites <i>WorldView</i> , <i>Quickbird</i> e <i>Google Earth</i> , validando o produto final com o inventário de cicatrizes derivados por processos gravitacionais e erosivos.	Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão validada pelo inventário de cicatrizes no município do Ipojuca - PE em escala 1:25.000.
Kumar e Shaikh	2012	Modelagem para identificação de locais adequados para o desenvolvimento urbano em áreas montanhosas, através de técnicas multicritério e SIG, juntamente com imagens de satélites <i>IKONOS</i> (1m).	Mapeamento de locais urbanos apropriados em áreas montanhosas no município de Mussoorie, distrito de Dehradum, Índia em escala 1:50.000.

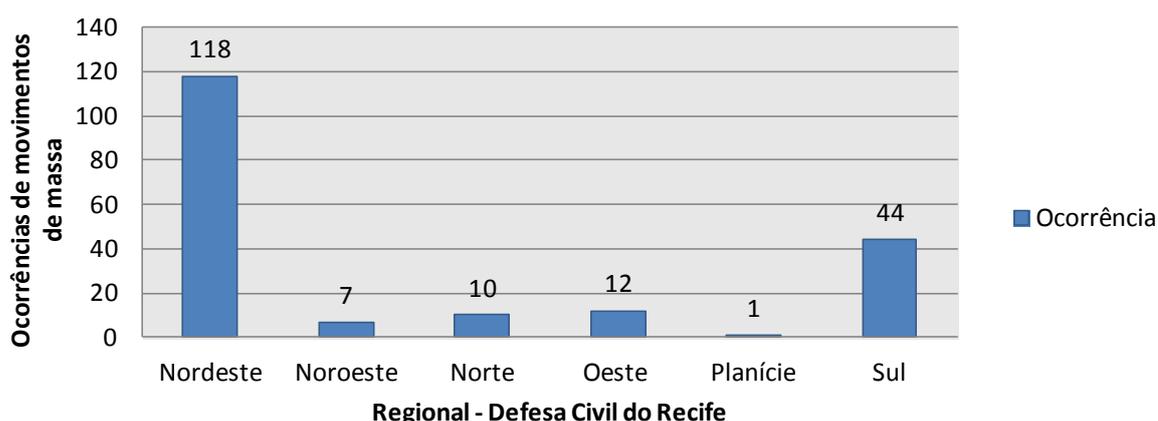
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o censo de 2010 elaborado pelo IBGE, o município do Recife possui uma população de 1.537.704 habitantes com uma superfície territorial de 218,50 Km², tendo uma densidade demográfica de 7.037,61 hab/Km², com uma taxa média geométrica de crescimento da população (2000/2010) de 0,78% ao ano. Limitando-se ao norte com os municípios de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe.

4.1. Registros de ocorrências de movimentos de massa no Recife: Região Metropolitana do Recife (RMR)

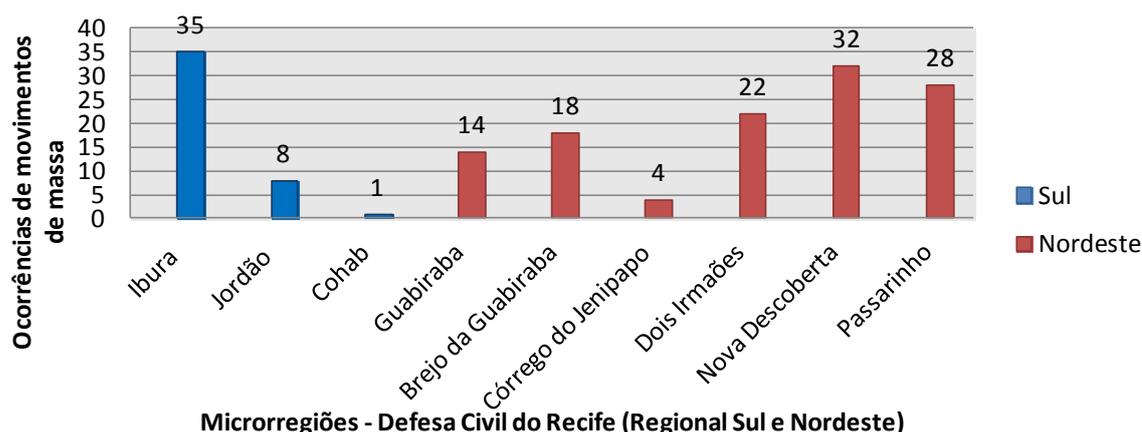
De acordo com o relatório de ocorrências do período de 2013 da Defesa Civil do Recife, foram registradas 192 ocorrências de processos de deslizamentos de encostas, 118 (61,4%) ocorreram na regional nordeste; 7 (3,6%) na noroeste; 10 (5,2%) na norte; 12 (6,25%) na oeste; 1 (0,52%) na planície e 44 (22,9%) na regional sul (Fig. 16). As regionais nordeste e sul totalizaram aproximadamente 84,38% dos registros das ocorrências, mostrando áreas com alta susceptibilidade aos fenômenos de instabilidade em encostas (Fig. 17).

Figura 16: Ocorrências de movimentos de massa por Regional (2013).



Fonte: Relatório de registros de ocorrências da Defesa Civil do Recife, 2013.

Figura 17: Ocorrências por microrregiões - Regional Sul e Nordeste (2013).



Fonte: Relatório de registros de ocorrências da Defesa Civil do Recife, 2013.

Foram realizadas solicitações, vistorias e monitoramento de áreas de risco por parte da Defesa Civil, tendo a regional sul com 17,72% (4ª posição) das solicitações, 19,77% (3ª posição) dos trabalhos de vistorias, 13,85% (3ª posição) dos monitoramentos e 12,22% (5ª posição) na implantação de lonas plásticas para contenção e agravamento dos riscos a escorregamentos (Tab. 13).

Tabela 13: Solicitações, vistorias técnicas e serviços de impermeabilização.

Regional	Solicitações	Vistorias	Monitoramento	Serviços de Impermeabilização	
				Colocação de lonas plásticas	Área (m ²)
Nordeste	5.870	4.466	3.966	873	90.930
Noroeste	4.517	2.752	1.647	612	110.344
Norte	8.327	6.098	428	554	94.280
Oeste	6.078	4.801	4.307	900	92.060
Planície	2.264	1.148	59	0	0
Sul	5.826	4.749	1.673	540	53.980
Total	32.882	24.014	12.080	3.479	441.594

Fonte: Relatório de registros de ocorrências da Defesa Civil do Recife, 2013.

Com relação ao mapeamento das áreas de risco, a regional sul apresentou mais da metade na realização deste serviço, com 65,64% (1ª posição), e apontou 76,42% (1ª posição) das notificações de setores de risco (Tab. 14).

Tabela 14: Mapeamento de áreas de risco no município do Recife.

Regional	Mapeamento de áreas de risco	Notificação de setores de risco
Nordeste	6	3
Noroeste	69	0
Norte	495	1
Oeste	502	28
Planície	0	1
Sul	2.048	107
Total	3.120	140

Fonte: Relatório de registros de ocorrências da Defesa Civil do Recife, 2013.

Na avaliação dos pontos de riscos que afetam as regionais, tem-se que da totalidade dos pontos de riscos, a regional Sul apresentou 19,48% (4ª posição), porém na análise considerando as piores situações de áreas de risco, a regional Sul possui 27,30% (1ª posição) no risco R3 e 31,54% (2ª posição) no risco R4 (Tab. 15).

Tabela 15: Pontos de risco no município do Recife.

Risco	Regional					
	Nordeste	Noroeste	Norte	Oeste	Planície	Sul
R1	314	258	2.512	843	26	227
R2	1.280	686	1.003	1.646	36	926
R3	1.967	595	1.445	1.601	118	2.151
R4	364	97	179	70	41	346
Total	3.925	1.636	5.139	4.160	221	3.650

Fonte: Relatório de registros de ocorrências da Defesa Civil do Recife, 2013.

A microrregião do Ibura apresentou em 2013, 3.937 solicitações, com 3.181 vitórias, 1.259 monitoramentos, 497 aplicações de lonas plásticas, totalizando uma área de impermeabilização de 51.717 m², 32 notificações de setores de risco e 1.205 mapeamentos de áreas de risco. Também neste período, a microrregião de Jordão apontou 1.688 solicitações, com 1.419 vitórias, 342 monitoramentos, 141 colocação de lonas plásticas, formando uma área total de impermeabilização de 19.261 m², 74 notificações de setores de risco e 793 mapeamentos de áreas de risco. A Tabela 16 apresenta apenas os pontos de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura.

Tabela 16: Pontos de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura.

Risco	Jordão		Ibura	
	Pontos	Percentagem (%)	Pontos	Percentagem (%)
R1	94	7,96	213	8,22
R2	306	25,91	718	27,71
R3	652	55,20	1.481	57,16
R4	129	10,93	179	6,91
Total	1.181	100,00	2.591	100,00

Fonte: Relatório de registros de ocorrências da Defesa Civil do Recife, 2013.

4.2. Microrregião do Ibura

A microrregião do Ibura possui uma população de 50.617 habitantes (Censo IBGE, 2010), correspondendo a 3,29% da população do Recife, com uma superfície territorial de 10,19 Km², tendo uma densidade demográfica de 4.972,20 hab/Km², com uma taxa média geométrica de crescimento anual da população (2000/2010) de 1,48%. Limitando-se ao norte com as microrregiões do Barro, Areias e Cacote, ao sul com microrregião do Jordão, a leste com as microrregiões do Ipsep, Imbiribeira e Boa Viagem, a oeste com as microrregiões da Cohab e Barro.

4.3. Microrregião do Jordão

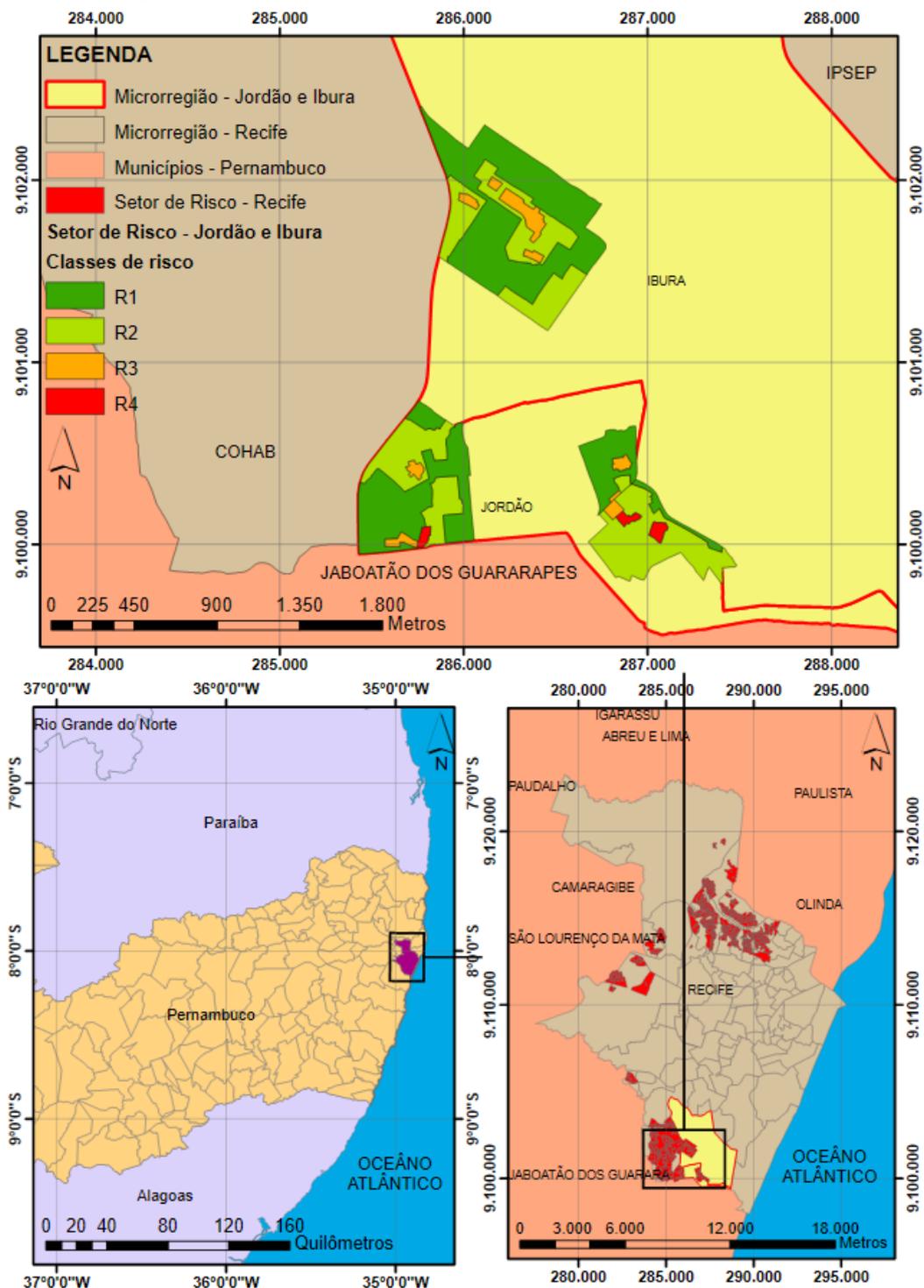
A microrregião do Jordão possui uma população de 20.777 habitantes (Censo IBGE, 2010), correspondendo a 1,35% da população do Recife, com uma superfície territorial de 1,56 Km², tendo uma densidade demográfica de 13.150 hab/Km², com uma taxa média geométrica de crescimento anual da população (2000/2010) de -0,49%. Limitando-se ao norte com a microrregião de Ibura, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a leste com a microrregião de Boa Viagem, a oeste com a microrregião da Cohab.

4.4. Localização e delimitação da área de estudo

A área de estudo é formada pelos setores de risco inseridos nas microrregiões Jordão e Ibura situados no município do Recife (Fig. 18)

localizadas entre as coordenadas UTM 9.102.483,792 mN e 285.266,040 mE e 9.099.711,3369 mN e 287.797,983 mE, Fuso 25 Sul, com uma área de 1.346.732,21 m² correspondendo a 0,62% do município do Recife. A escolha dessas microrregiões foi baseada no relatório de ocorrências de deslizamentos no período de 2013 da Defesa Civil do Recife-PE.

Figura 18: Mapa de localização da área de estudo.



4.5. Setores de risco nas microrregiões do Ibura e Jordão

De acordo com o Plano Municipal de Redução de Riscos em Assentamentos Precários de Recife em 2005 (PMRR - 2006), foram mapeados setores de riscos a escorregamentos e inundações, definidos por suas características geométricas, número de edificações atingidas por cada setor de risco, classificados em quatro categorias de risco. A Tabela 17 apresenta os setores de risco inseridos nas microrregiões do Jordão e Ibura.

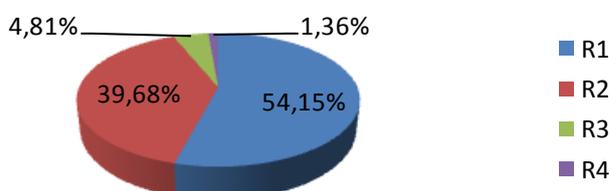
Tabela 17: Setores de risco - características geométricas e quantitativas.

Risco	Edificações	Área		Perímetro (m)
		(m ²)	(ha)	
R1	2420	729.322,06	72,32	13.949,89
R2	2204	534.343,67	53,43	13.556,85
R3	359	64.813,92	6,48	3.546,03
R4	134	18.252,55	1,82	1.089,81
Total	5117	1.346.732,21	134,67	32.142,58

Fonte: Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE, 2006.

As microrregiões de Jordão e Ibura possuem uma área total de 11.751.657,18 m², tendo os setores de risco ocupando uma superfície de 1.346.732,21 m², equivalente a 11,46% das mesmas. O gráfico da Figura 19 apresenta a porcentagem dos setores de risco inseridos na área de estudo.

Figura 19: Quantitativos dos setores de risco - Jordão e Ibura.



Fonte: Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE, 2006.

As imagens da Figura 20 apresentam imagens digitais extraídas do Software Google Earth PRO, através da ferramenta *Street View* que ilustram alguns exemplos dos problemas existentes nos setores de risco referente ao período de 2013.

Figura 20: Imagens que ilustram as características dos setores de risco (2013).



(a) Setor de risco R3: Aglomerados subnormais em encostas com falta de cobertura vegetal.



(b) Setor de risco R3: Aglomerados subnormais inseridos em declividade acentuada.



(c) Setor de risco R3: Aglomerados subnormais em encostas com cobertura de lonas plásticas.



(d) Setor de risco R4: Aglomerados subnormais em encosta de alta declividade desprovida de cobertura vegetal sobre processo erosivo.



(e) Setor de risco R4: Aglomerados subnormais em encosta de alta declividade desprovida de cobertura vegetal sobre processo erosivo.



(f) Setor de risco R2: Aglomerados subnormais tendo áreas edificadas com alto nível de intervenção na área.

Fonte: Google Earth PRO, 2013.

4.5.1. Zoneamento geomorfológico

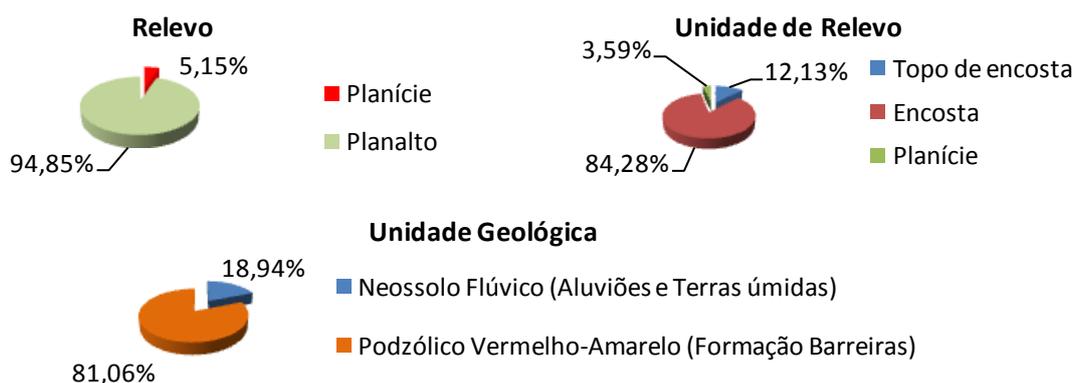
O zoneamento geomorfológico dos setores de risco inseridos nas microrregiões do Jordão e Ibura apresenta os compartimentos e subcompartimentos definidos pela unidade geológica, relevo e unidades de relevo (Tab. 18) e (Fig. 21), a partir da Carta Geotécnica do Recife (1995), sendo a mesma realizada para atender à necessidade de informações geológicas em escala mais detalhada, compatível com trabalhos na área de geotecnia, recursos hídricos e pesquisa mineral, planejamento urbano e ambiental.

Tabela 18: Zoneamento geomorfológico dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.

Compartimentos e subcompartimentos geomorfológico		Área		Perímetro (m)
		(m ²)	(ha)	
Relevo	Planície	69.318,89	6,93	2.278,35
	Planalto	1.277.413,32	127,74	16.147,27
Unidade de Relevo	Topo de encosta	163.353,09	16,33	6.052,62
	Encosta	1.134.986,17	113,49	11.873,07
	Planície	48.392,97	4,83	25.802,02
Unidade Geológica	Neossolo Flúvico (Aluviões e Terras Úmidas)	255.063,06	25,50	33.399,40
	Podzólico Vermelho-Amarelo (Formação Barreiras)	1.091.669,15	109,16	11.175,26

Fonte: Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE, 2006.

Figura 21: Quantitativos do zoneamento geomorfológico dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.



Segundo a Carta Geotécnica do Recife (1995), os setores de risco localizados nas microrregiões de Jordão e Ibura apresentam em suas extensões os conjuntos de unidade geológica de Sedimentos Terciários e Sedimentos Quaternários compostos por rochas ou sedimentos e os seus respectivos solos residuais:

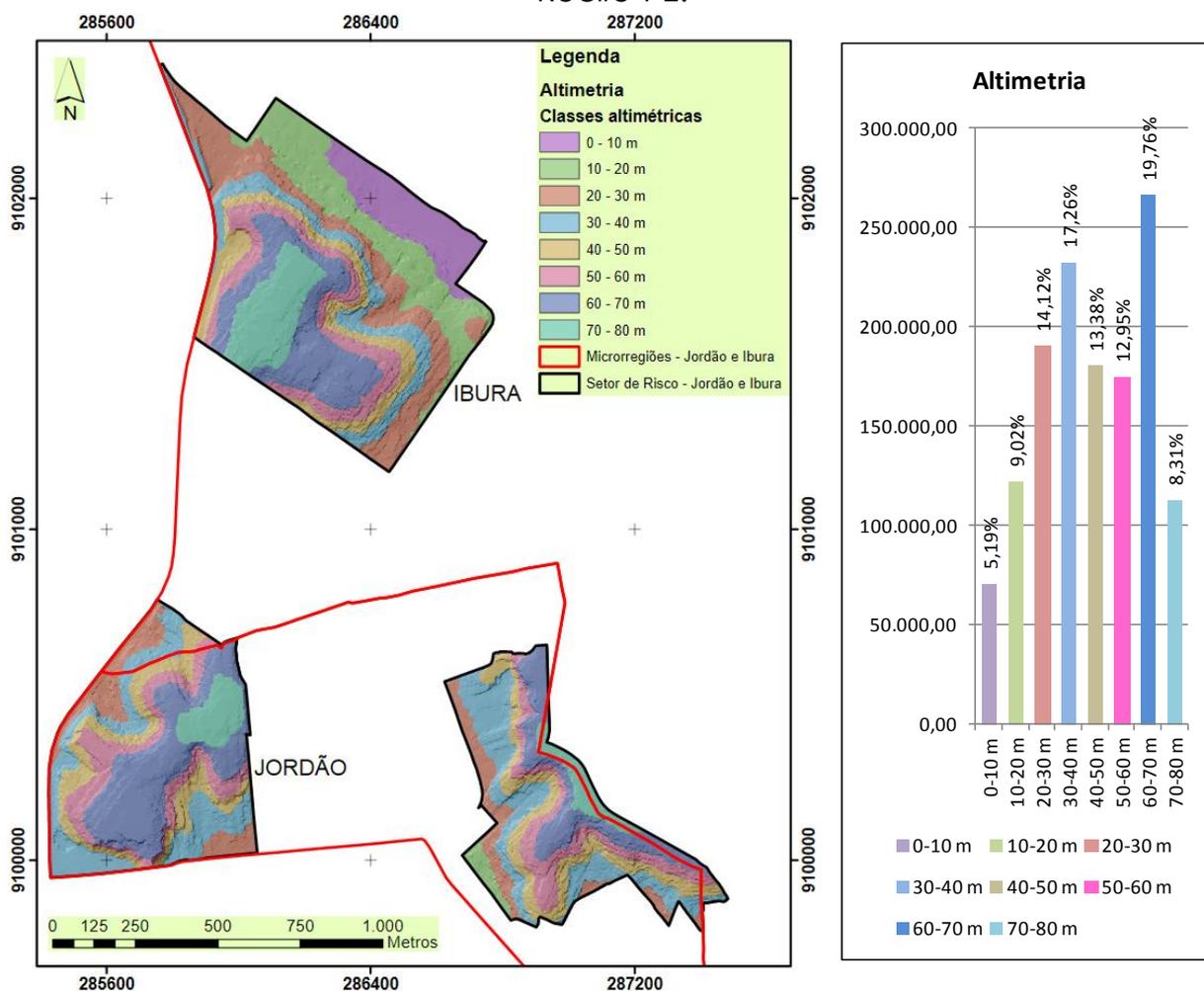
- ❖ Os sedimentos terciários da Formação Barreiras constituem-se de depósitos arenosos de origem fluvial com camadas alternadas de sedimentos arenosos e argilosos, gerados por enxurradas sucessivas (fluxo de detritos). Pela variedade litológica e topografia, os solos desenvolvidos sobre esses sedimentos são associações de Latossolos, Podzólicos e Podzóis;
- ❖ Os sedimentos quaternários de Depósitos Flúvio-Lagunares reúnem os aluviões e os sedimentos lagunares, deltaicos e estuarinos antigos e recentes. Os aluviões são predominantemente arenosos ao longo dos canais mais retilíneos e mostram sedimentos argilosos com matéria orgânica, depositados nas planícies de inundação, durante os transbordamentos de canais. Os sedimentos lagunares deltáicos e estuarinos apresentam composição variada areno-siltico-argilosa com matéria orgânica. Devido as oscilações do nível do mar, esses depósitos podem intercalar sedimentos tipicamente lagunares, ricos em conchas, com sedimentos de água doce depositados em lagoas, brejos e pântanos, sendo encontrados em subsuperfície, camadas de argilas moles, diatomitos e turfas, respectivamente oriundos desses ambientes.

Os deslizamentos de encostas, caracterizados pelas erosões localizadas, são problemas de grande repercussão, pelo risco de perdas de materiais e vidas, ocorrendo principalmente nos invernos mais rigorosos. E estão diretamente vinculados às formas inadequadas da ocupação desordenada, particularmente associados aos sedimentos de **Formação Barreiras**, tendo as maiores ocorrências nos morros de Casa Amarela e **Ibura**, com predominância de deslizamentos na zona norte (sedimentos mais argilosos) e de erosões na zona sul (sedimentos mais arenosos).

4.5.2. Altimetria

A Figura 22 apresenta os setores de risco de Ibura e Jordão caracterizados pela altimetria da área de estudo, de acordo com seguimentos altimétricos de 10 metros de altitude, verifica-se que as maiores espacializações da área de estudo são apontadas pelas classes de 60-70m (19,79%), 30-40m (14,12%) e 20-30m (14,12%).

Figura 22: Altimetria dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.

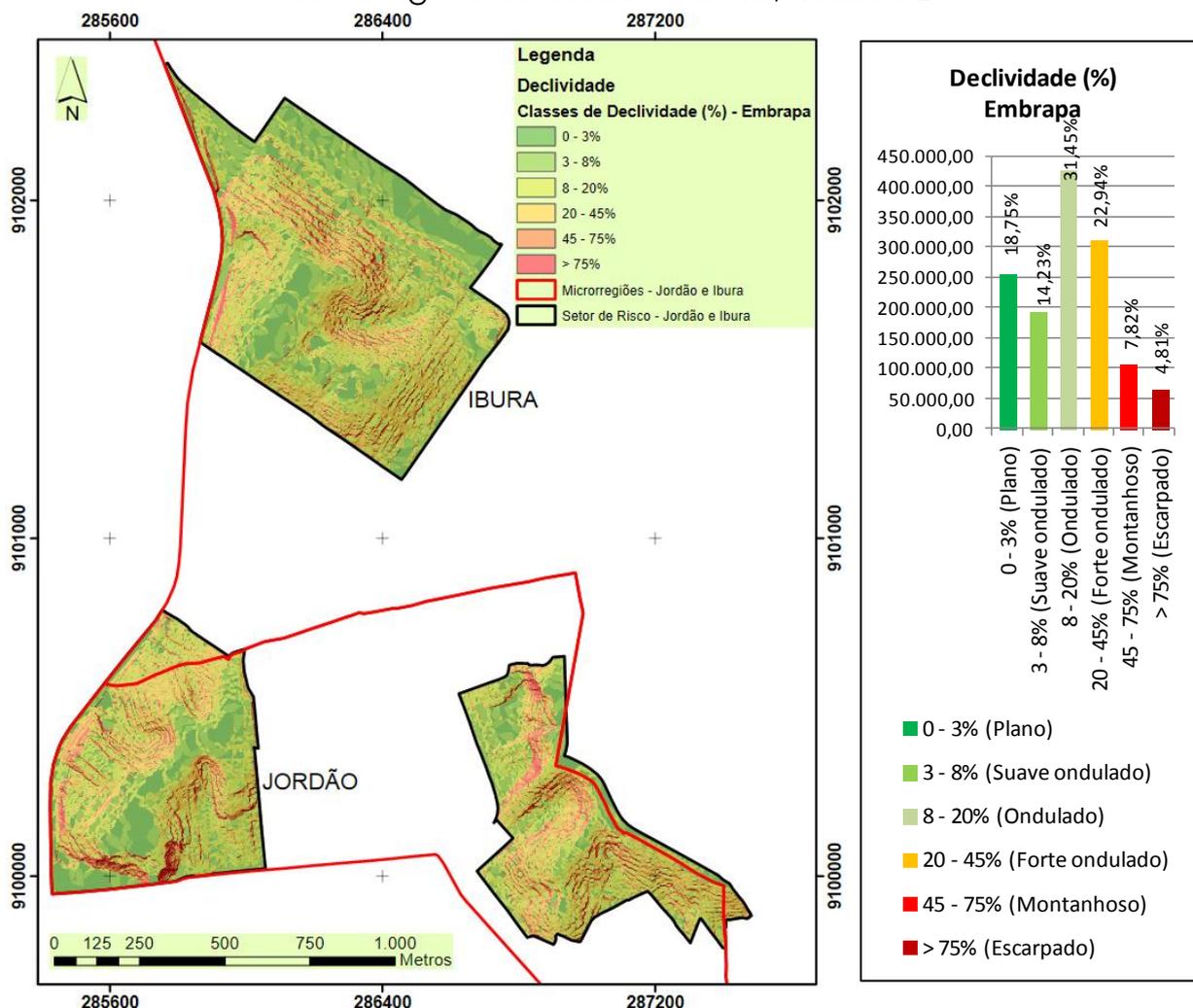


4.5.3. Classes de relevo e declividade

A Figura 23 apresenta as classes de relevo caracterizadas pela declividade da área de estudo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Embrapa. Verifica-se que a caracterização da

morfologia do relevo da área de estudo é apontada pelas classes suave e ondulado (8 - 20%) com ocupação de 31,45% e forte e ondulado (20 - 45%) com 22,94% de superfície, tendo regiões com relevo montanhoso (45 - 75%) com 7,81% e escarpado (>75%) com 4,81%.

Figura 23: Declividade (Morfologia - Embrapa) dos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.



4.6. Crescimento populacional - Recife

O censo demográfico realizado pelo IBGE no período de 1960 a 2010 apontou Recife como umas das três capitais mais populosas do nordeste, sendo a primeira colocada no período de 1960 a 1970, perdendo o posto no período de 1980, para Salvador e Fortaleza (Tab. 19).

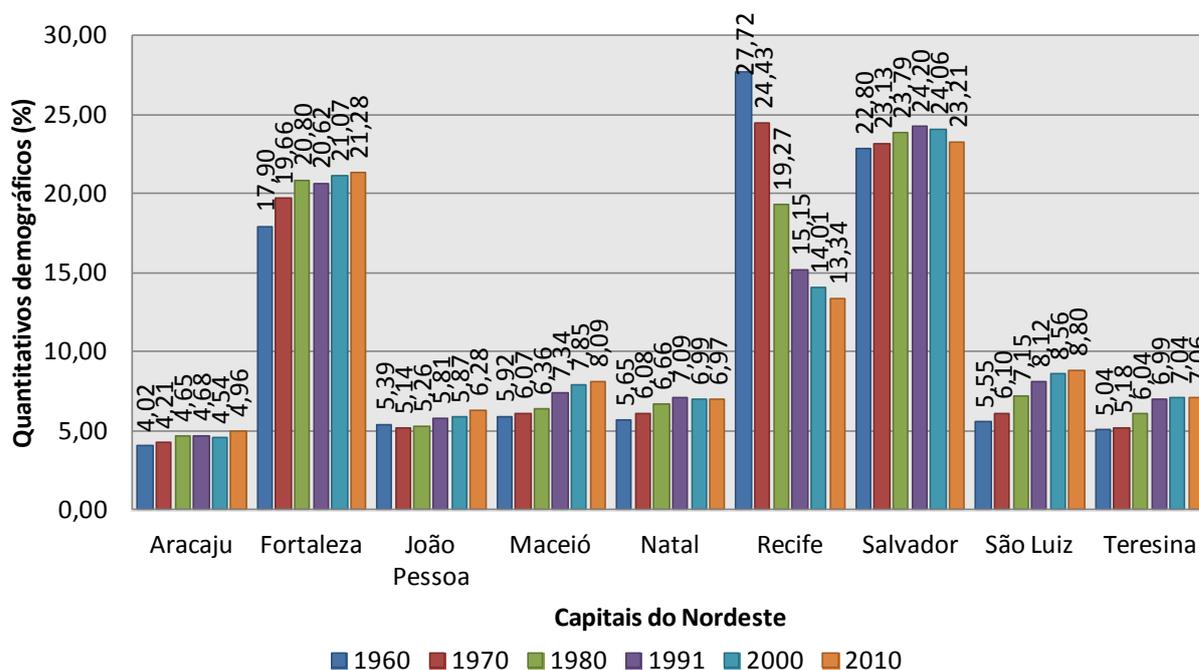
Tabela 19: Censos demográficos da Região Nordeste (1960 - 2010).

Capital	1960	1970	1980	1991	2000	2010
Aracaju	115.713	186.838	299.422	401.083	461.083	571.149
Fortaleza	514.818	872.702	1.338.793	1.765.794	2.138.234	2.452.185
João Pessoa	155.117	228.418	338.629	497.306	595.429	723.515
Maceió	170.134	269.415	409.191	628.241	796.842	932.748
Natal	162.537	270.127	428.721	606.681	709.536	803.739
Recife	797.234	1.084.459	1.240.459	1.296.995	1.421.993	1.537.704
Salvador	655.735	1.027.142	1.531.242	2.072.058	2.440.828	2.675.656
São Luiz	159.626	270.651	460.320	695.199	868.047	1.014.837
Teresina	144.799	230.168	388.922	598.411	714.583	814.230
Total	2.875.713	4.439.920	6.435.699	8.561.768	10.146.575	11.525.763

Fonte: Censo Demográfico IBGE, 2010.

O gráfico da Figura 24 apresenta o crescimento populacional de Recife que apresentou um pico na década de 1960, tendo uma parcela de 27,72% do quantitativo populacional do nordeste, porém gradativamente diminuiu sua taxa de representatividade populacional nas décadas de 1980 a 2010. Contudo se mantém, juntamente com Salvador e Fortaleza, como municípios núcleo com taxa superior a 10% de quantitativo populacional no nordeste.

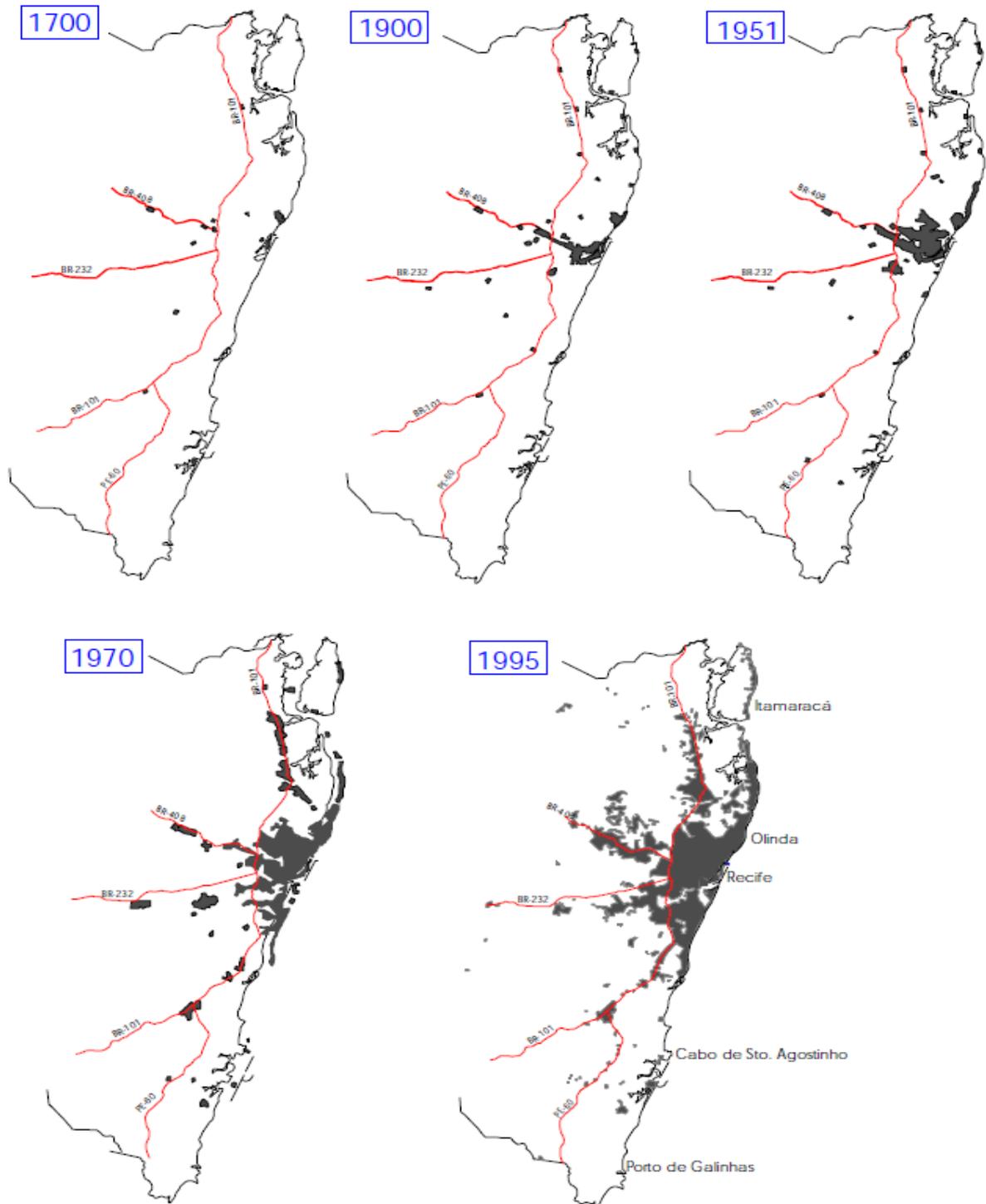
Figura 24: Quantitativos demográficos da Região Nordeste (1960 - 2010).



Fonte: Censo Demográfico IBGE, 2010.

A Figura 25 apresenta a espacialização da evolução urbana da RMR, demonstrando o padrão de adensamento, tendo a mancha urbana irradiada pelo litoral para áreas com problemas ambientais vinculados a riscos geológicos (ALHEIROS, 1998).

Figura 25: Evolução urbana da RMR.



Fonte: ALHEIROS, 1998.

5. METODOLOGIA

Através da extração de informações contidas nas ortofotocartas e combinação de dados vetoriais, foram organizadas as feições geográficas vetoriais e raster para criação de um Banco de Dados Geográficos espacial nos setores de risco localizados nas microrregiões de Ibura e Jordão para realizar posteriormente a análise espaço-temporal e modelagem multicritério para determinar a suscetibilidade a movimentos de massa.

5.1. Materiais cartográficos

Foram utilizados os materiais cartográficos e a base de dados listados abaixo:

- ❖ Carta temática de recursos hídricos 80-50 e 89-55 de 1986 e Ortofotocartas 80-50 e 89-55 dos anos de 1975 e 1986 na escala 1:10.000, em formato digital TIFF, GSD de 85 cm, apresentada em nível de cinza, com Sistema Geodésico de Referência Corrêgo Alegre, Projeção Cartográfica UTM, fornecida pela CONDEPE/FIDEM;
- ❖ Ortofotocartas 80-50-00, 80-50-05, 80-51-00, 80-51-05, 80-52-00, 80-60-00, 80-60-05, 80-61-00, 80-61-05, 80-62-00, 80-70-00, 89-59-05, 89-69-05, 89-79-05, dos anos de 2007 (GSD de 8,9 cm) e 2013 (GSD de 8,0 cm) na escala 1:2.000, em formato digital ECW, apresentada em composição colorida (RGB), com Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, Projeção Cartográfica UTM, fornecida pela Prefeitura do Recife;
- ❖ Dados vetoriais no formato shapefile da RMR: unidade geológica, relevo, unidade de relevo e mapeamento de setores de risco agrupadas nas classes R1, R2, R3 e R4, com Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, Projeção Cartográfica UTM, fornecidos pela Prefeitura do Recife através da URB, obtido pelo relatório técnico Plano Municipal de Redução de Riscos em assentamentos precários do município do Recife (PMRR);

- ❖ Dados vetoriais nos formatos *shapefile* e *dgn* da RMR: curvas de nível (*dgn*) com equidistância de 1 metro obtida por tecnologia *laser scanner* aerotransportado e microrregiões (*Shapfile*) do Recife, referente ao período de 2013, Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, Projeção Cartográfica UTM, fornecidos pela Prefeitura do Recife;
- ❖ Dados vetoriais no formato *kmz* da RMR: levantamento do número de ocorrências de deslizamentos referente ao ano de 2013 com Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, Projeção Cartográfica UTM, distribuído pela tipologia do risco (R1, R2, R3 e R4), fornecidos pela Defesa Civil do Recife.

5.2. Recursos tecnológicos e hardware

Para elaboração deste trabalho, os recursos tecnológicos empregados foram:

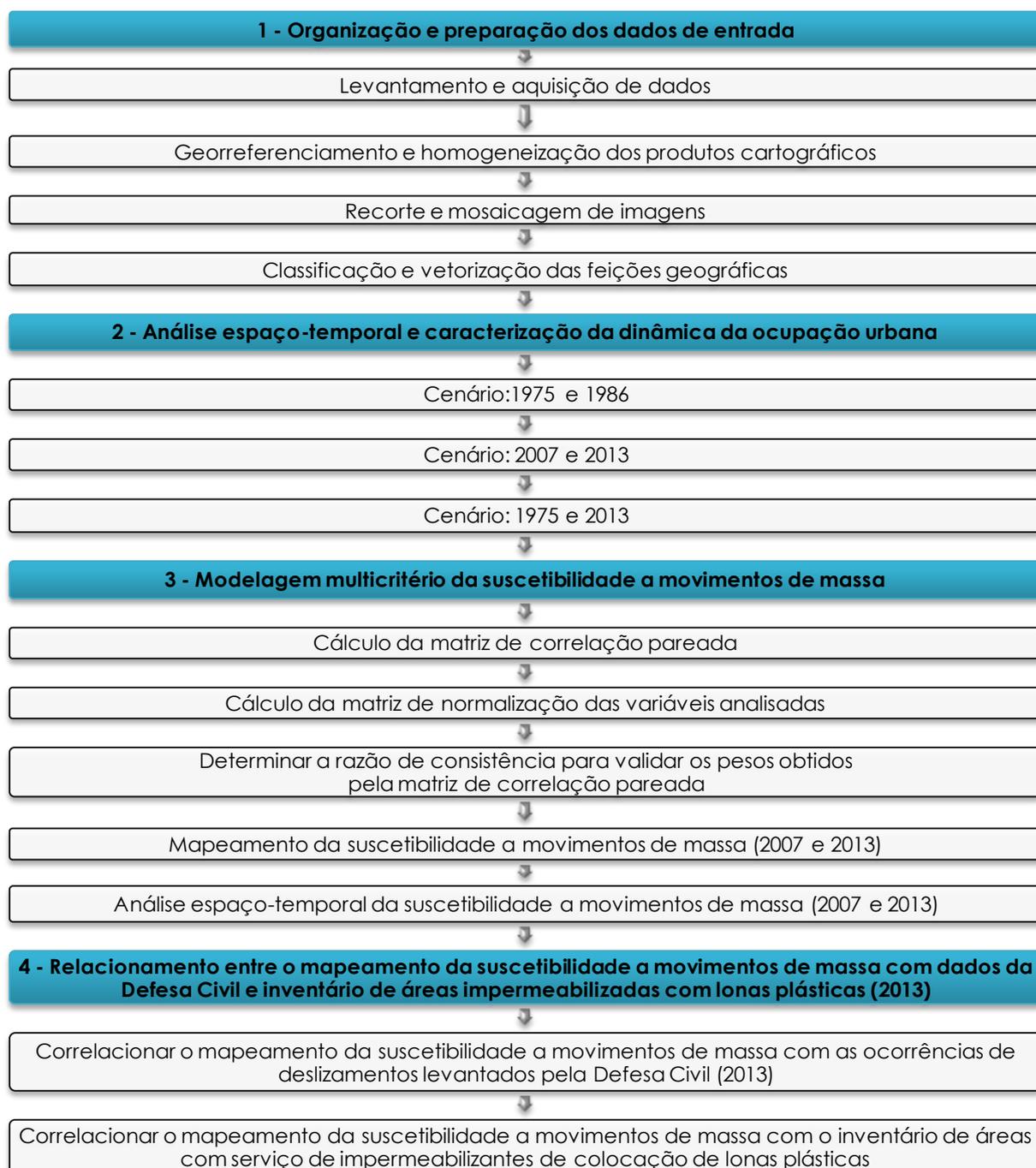
- ❖ *Software* ArcGIS 10, como plataforma SIG para elaboração de mapas temáticos, construção de banco de dados espaciais e modelagem espacial multicritério da suscetibilidade a movimentos de massa;
- ❖ *Software* Microsoft Office Excel 2010, para realizar os cálculos matriciais e validações da modelagem espacial multicritério da suscetibilidade a movimentos de massa;
- ❖ *Hardware*: Notebook Dell com sistema operacional Windows 8.1 de 64 *bits*, processador Intel core i7 de 2,20 GHz e memória RAM de 8 GB.

5.3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos

O processo metodológico foi dividido de acordo com o fluxograma da Figura 26. A etapa 1, refere-se a organização e preparação dos dados de entrada. A etapa 2, análise espaço-temporal e caracterização da evolução da dinâmica da ocupação urbana nos setores de risco. Na etapa 3, modelagem multicritério da suscetibilidade de movimentos de massa

empregando o processo analítico hierárquico. Na etapa 4, relacionamento entre o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa com dados da Defesa Civil e o inventário de áreas impermeabilizadas com aplicação de lonas plásticas.

Figura 26: Fluxograma da metodologia de trabalho.



5.4. Procedimentos metodológicos

5.4.1. Levantamento e aquisição de dados

Foram adquiridas ortofotos, ortofotocartas e feições vetoriais da área de estudo da série multitemporal 1975, 1986, 2007 e 2013, que foram utilizados como dados de entrada que fornecem informações da dinâmica sobre o uso e ocupação do solo inserido nos setores de risco. Esses produtos cartográficos foram homogeneizados, empregando o Sistema de Referência Datum SIRGAS 2000, Sistema de Projeção Cartográfica UTM e Fuso 25 Sul.

5.4.1.1. Georreferenciamento e homogeneização dos produtos cartográficos

- ❖ Cenário de 1975 e 1986: para o georreferenciamento dos produtos cartográficos digitais foi utilizado o software ArcGIS 10. Esse procedimento é o resultado de transformações geométricas que relacionam as coordenadas da imagem (linhas e colunas) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude), produzindo um plano de coordenadas geográficas à imagem raster. Foi empregado o polinômio de primeiro grau como modelo matemático para o georreferenciamento devido a ortofotocartas serem representadas num sistema plano, sendo selecionados quatro pontos extremos como pontos de controle de modo a permitir uma menor distorção para etapa de mosaicagem;
- ❖ Como parâmetro de qualidade da etapa de georreferenciamento dos produtos cartográficos foi utilizado o indicador do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square - RMS*) que é uma medida da diferença (desvio) dos valores calculados pela função polinomial em relação aos valores coletados nos produtos cartográficos, no qual quanto menor o valor do RMS melhor será o georreferenciamento, tendo como limite o erro permitido em função da escala do produto cartográfico, como a escala é 1/10.000, o RMS permitido deverá ser menor que 5 metros. Os resultados obtidos do erro médio quadrático

foram: ortofotocarta 80-50 de 1975 (0,81528), ortofotocarta 89-55 de 1975 (1,07128), ortofotocarta 80-50 de 1986 (0,3440) e ortofotocarta 89-55 de 1986 (0,73678);

- ❖ Homogeneização para o Sistema de Referência Datum SIRGAS 2000, Sistema de Projeção Cartográfica UTM e Fuso 25 Sul: devido alguns dos produtos cartográficos estarem em Sistemas de Referência divergentes, foi necessário padronizá-los através da ferramenta *Projections and Transformations/Raster/Create Custom Geographic Trasnsformation* para feições *raster* e *Projections and Transformations/Feature/Project* para feições vetoriais, informando os parâmetros de transformação do Sistema de Referência Córrego Alegre para SIRGAS 2000 ($T_x=-206,048$ m, $T_y=+168,279$ m, $T_z=-3,823$ m).

5.4.2. Recorte e mosaicagem de imagens

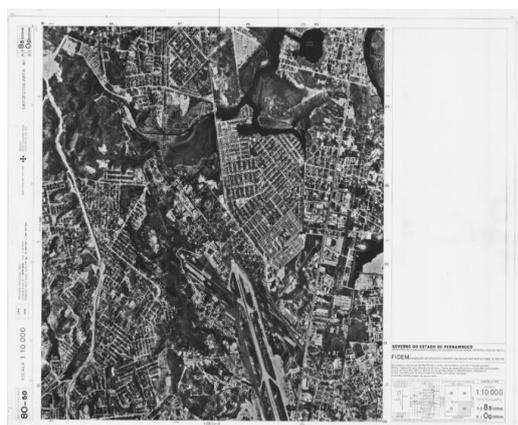
Como as ortofotocartas são constituídas por legendas, carimbos, margens, indicações textuais e áreas gráficas, tendo as mesmas uma faixa de segurança extrapolando os limites da articulação das mesmas, foi necessário realizar um recorte na imagem utilizando a ferramenta *Analysis Tools/Extract/Clip* para obter apenas a área de interesse de cada produto cartográfico.

Para realizar a união das imagens digitais separadas em uma única imagem que recobre toda a área de estudo foi realizada a operação de mosaicagem, utilizando a ferramenta de *Create Mosaic Dataset*, adicionando o conjunto de imagens que compõem o mosaico para cada série temporal. Posteriormente foi realizado um recorte, utilizando como máscara de corte os setores de risco, através da ferramenta *Analyst Tools/Extraction/Extract by mask* (Fig. 27):

- ❖ Mosaico de 1975 e 1986: formado pelas ortofotocartas 80-50 e 89-55, em escala 1:10.000, em formato digital TIFF, com GSD de 85 cm, apresentada em nível de cinza, com Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, Projeção Cartográfica UTM;

- ❖ Mosaico de 2007 e 2013: formado pelas ortofotos 80-50-00, 80-50-05, 80-51-00, 80-51-05, 80-52-00, 80-60-00, 80-60-05, 80-61-00, 80-61-05, 80-62-00, 80-70-00, 89-59-05, 89-69-05, 89-79-05, em escala 1:2.000, em formato digital ECW, com GSD de 8,9 cm (2007) e 8,0 cm (2013), apresentada em composição colorida (RGB), com Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, Projeção Cartográfica UTM.

Figura 27: Recorte da área de estudo - ortofotocarta 80-50 (1975).



(a) Ortofotocarta (1975)



(b) Recorte da área gráfica da ortofotocarta (1975)



(c) Recorte da área de interesse usando como máscara de extração os setores de risco de Jordão e Ibura.

5.4.3. Classificação e vetorização do uso e ocupação do solo

Para representar as feições espaciais da morfologia da área de estudo inseridas nos mosaicos formados por ortofotocartas e ortofotos que definem o uso e ocupação do solo da série multitemporal de 1975, 1986, 2007 e 2013, foi executada a técnica da Fotointerpretação e transporte das feições geográficas das imagens digitais para a base de dados de trabalho, através da vetorização manual em tela, formando um banco de dados espaciais em formato de arquivos *shapefile*.

Para série temporal de 1975 e 1986, foram consideradas apenas três classes, devido as características das ortofotocartas (mosaico formados por ortofotocartas em escala 1:10.000, GSD de 85 cm, apresentada em nível de cinza):

- ❖ Áreas antropizadas: definidas pelas áreas urbanas consolidadas, solo exposto, sistema viário, ou seja, exceto a cobertura vegetal;
- ❖ Cobertura vegetal: abrange as vegetações rasteira e arbórea, tais como formações florestais de proteção, como, mata de galeria, mata de encosta, cerradão, formações florestais savânicas densa, com extrato predominantemente de caráter natural ou antropizado;
- ❖ Corpos d'água: correspondem aos rios, córregos ou lagoas.

Para série temporal de 2007 e 2013, devido a uma maior capacidade na identificação das feições geográficas, a partir de mosaicos formados por ortofotocartas em escala 1:2.000, GSD de 8,9 cm (2007) e 8,0 cm (2013), apresentada em composição colorida (RGB), foi considerada oito classes de uso e ocupação do solo:

- ❖ Edificações: definidas pelas áreas urbanas consolidadas;
- ❖ Escadaria: definida pelas vias de acesso para pedestres;
- ❖ Obras de contenção: definida pelas estruturas de engenharia de contenção do risco a escorregamentos;
- ❖ Solo exposto (desmatamento): compreende o solo exposto desprovido de cobertura vegetal, com exposição direta do solo às intempéries;
- ❖ Cobertura vegetal: abrange as vegetações rasteira e arbórea, tais como formações florestais de proteção, como, mata de galeria, mata de encosta, cerradão, formações florestais savânicas densa, com extrato predominantemente de caráter natural ou antropizado;
- ❖ Vias pavimentadas: definidas pelos sistemas viários, constituídas por estruturas de asfaltos, concretos e paralelepípedo;
- ❖ Vias não pavimentadas: definidas pelos sistemas viários, que não são constituídas por estruturas de asfaltos, concretos e paralelepípedo;
- ❖ Corpos d'água: correspondem aos rios, córregos ou lagoas.

5.4.4. Análise espaço-temporal e caracterização da ocupação urbana

Para realizar a caracterização da antropização nos setores de risco, foi necessário converter as feições geográficas do formato vetorial obtido pela

vetorização para o formato matricial, através da ferramenta *Conversion Tools/To Raster/Polygon to Raster*, obtendo imagens raster de 20.577 colunas por 26.198 linhas e resolução do *pixel* de 10 x 10 cm.

A representação da topografia da região, através do MDT, foi obtida pelo modelo TIN, utilizando a ferramenta *3D Analyst Tools/TIN Management/Creat TIN*, empregando 40 arquivos vetoriais na estrutura de *Group Layer* (formato .dgn) contendo curvas de nível com equidistância de 1 m.

A reclassificação das variáveis que caracteriza as condições da área de estudo, seguindo as classes das análises indicadas para modelagem, foi obtido pela ferramenta *Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify*. As variáveis para a caracterização da dinâmica da antropização foram:

- ❖ Altimetria: a espacialização das áreas antropizadas foi obtida pelos seguimentos altimétricos com intervalos de 10 metros, através das ferramentas *3D Analyst Tools/Conversion/From TIN/TIN to Raster* e *Map Algebra/Raster Calculator*;
- ❖ Declividade: o mapeamento da declividade foi obtido pela ferramenta *3D Analyst Tools/Raster Surface/Slope* e *Map Algebra/Raster Calculator*, tendo como base de dados o MDT. As classes de relevo foram baseados no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Embrapa (Tab. 20);

Tabela 20: Características de declividade (Classes de solo - Embrapa).

Classes de Relevo	Declividade (%)	Morfologia
Plano	0 - 3	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos. Planície aluvial (várzea), terraço fluvial
Suave ondulado	3 - 8	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declividades suaves. Ondulações suaves, fundos de vale, superfície tabulares.

Ondulado	8 - 20	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives acentuados. Encostas de morros, relevos estruturais monoclinais do tipo cuesta.
Forte ondulado	20 - 45	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros, com declividades fortes. Encostas serranas
Montanhoso	45 - 75	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas e maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes.
Escarpado	> 75	Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos, tais como: aparado, itaimbé, frente de costa, falésia, flanco de serras alcantiladas e vertentes de declives muito fortes de vales encaixados.

Fonte: BENAVIDES SILVA e MACHADO, 2014.

- ❖ Dinâmica das ocupações urbanas: a espacialização espaço-temporal da dinâmica das áreas antropizadas foi obtida pelo mapeamento das áreas extintas no período de tempo inicial, áreas antropizadas remanescentes referente ao período de tempo inicial e novas superfícies antropizadas referente ao período de tempo final, empregando a ferramenta *Map Algebra/Raster Calculator*;
- ❖ Dinâmica das ocupações urbanas nos setores de risco: a espacialização das áreas antropizadas inseridas nos setores de risco foi obtida pelos cruzamentos das camadas das áreas antropizadas em

combinação com o grau de risco da camada de setores de risco, através da ferramenta *Map Algebra/Raster Calculator*;

- ❖ Compartimentos e subcompartimentos geomorfológicos: a dinâmica das áreas antropizadas confrontando os compartimentos e subcompartimentos geomorfológicos foi obtida através da ferramenta *Map Algebra/Raster Calculator*, tendo como entrada as variáveis da unidade geológica, relevo e unidade de relevo.

Como cenários de análise espaço temporal foram empregados três períodos de análise: (a) 1975 e 1986, focando nas classes das áreas antropizadas e cobertura vegetal; (b) 2007 e 2013, inicialmente analisando as mudanças referente as classes Edificações, Escadaria, Obras de contenção, Solo exposto, Cobertura vegetal, Sistema viário e Corpos d'água, posteriormente analisando somente quatro classes, Solo exposto, Cobertura vegetal, Corpos d'água e Áreas urbanas, essas formada pela união das classes Edificações, Escadaria, Obras de contenção e Sistema viário; (c) 1975 e 2013, foi necessário padronizar os dois períodos, igualando 2013 a 1975, ou seja, criando a classe das áreas antropizadas referente ao período de 2013, formada pela união das classes Edificações, Escadaria, Solo exposto, Obras de contenção e Sistema viário.

5.4.5. Modelagem multicritério do movimento de massa

Para definir o grau de suscetibilidade, foram utilizadas as variáveis de Unidade de Relevo (UR), Relevo (R), Unidade Geológica (UG), Uso e cobertura do Solo (US), Declividade (D), Proximidade de Vias (PV), Proximidade para rede de Escoamento pluviométrico (PE) e Curvatura das Encostas (CE), atribuindo pesos aos intervalos de classificação, de acordo com os valores da Tabela 21, através da ferramenta *Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify*.

Tabela 21: Correlação entre a suscetibilidade e os graus adotados.

Suscetibilidade*	Grau
Alta	3
Média	2
Baixa	1

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

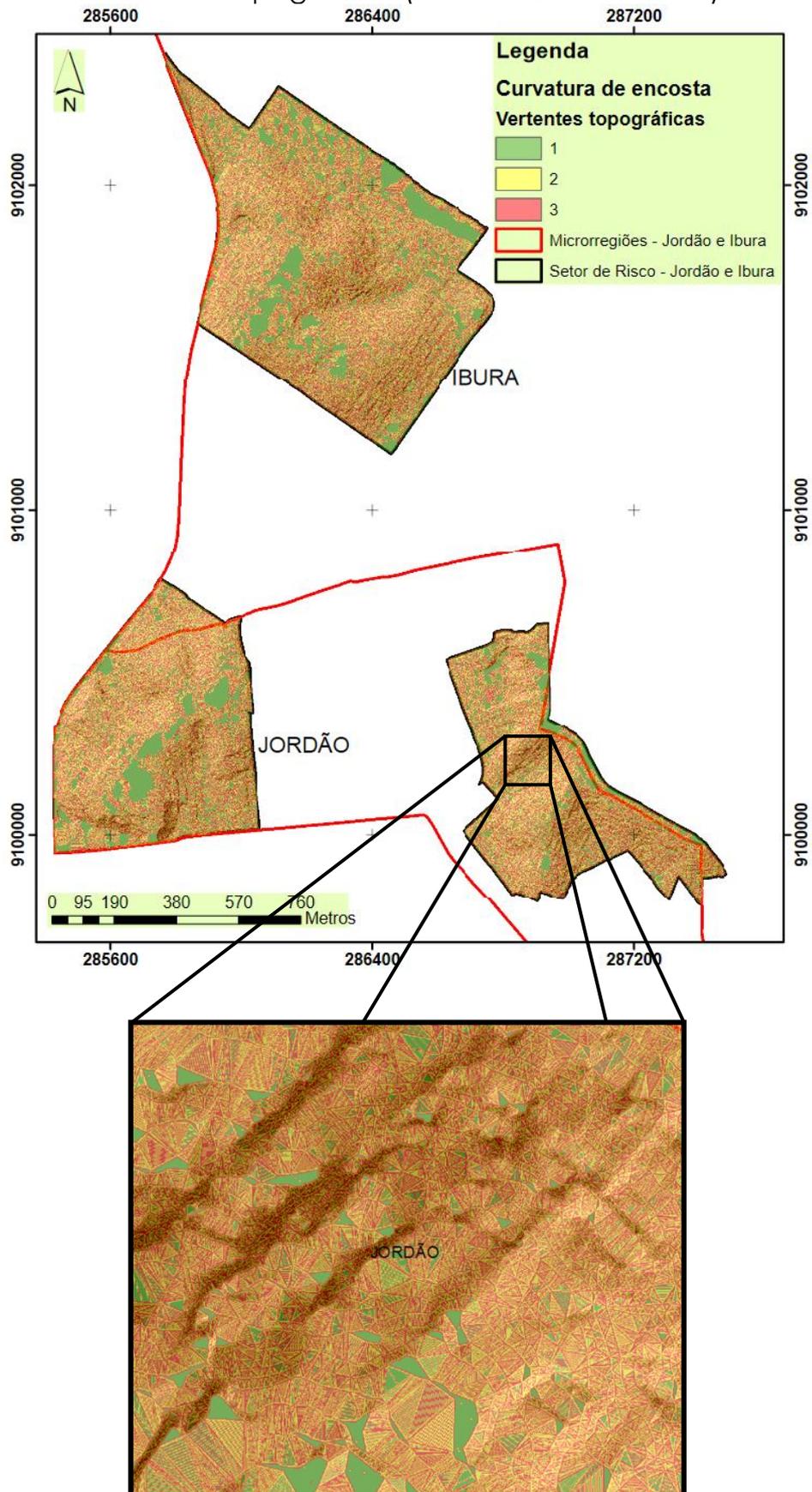
- ❖ Perfil do MDT (Curvatura): variável se relaciona com os deslizamentos na medida em que indica o grau de dispersão ou concentração da drenagem superficial. Nas zonas côncavas, o fluxo se concentra, enquanto nas convexas se dispersa. Os deslizamentos superficiais ocorrem principalmente em locais côncavos, pois devido a concentração do fluxo subterrâneo, a saturação do terreno o torna instável. Operação realizada através da ferramenta *3D Analyst Tools/Raster Surface/Curvatura* (Fig. 28), seguindo a classificação do grau de suscetibilidade para as vertentes topográficas da Tabela 22;

Tabela 22: Classificação do grau de suscetibilidade referente as vertentes topográficas (Curvatura de encosta).

Curvatura horizontal X Verticais do terreno	Características	Grau de Suscetibilidade*
Côncavo	Aumento do fluxo hídrico para uma determinada direção, resultando no desgaste excessivo do solo com o escoamento superficial concentrado.	3
Convexa	Dispersão do fluxo hídrico ao longo da encosta.	2
Retilínea	Forma pouco excessiva em relação ao fluxo hídrico, onde o escoamento superficial é bem disperso sem causar danos a encosta.	1

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 28: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com as vertentes topográficas (Curvatura de encosta)



- ❖ Uso e cobertura do solo: componente importante nas áreas com suscetibilidade a deslizamentos, tendo feições geográficas que auxiliam na proteção das encostas, como no caso da cobertura vegetal, por outro lado, têm-se feições como solo exposto que são mais suscetíveis aos processos erosivos. Áreas urbanas possuem alteração intensa no solo, gerando áreas impermeáveis, aumentando a velocidade de escoamento das águas das chuvas. A suscetibilidade a movimentos de massa referente ao uso e cobertura do solo (Fig. 29), foi empregada a partir do grau de suscetibilidade a movimentos de massa da Tabela 23;

Figura 29: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com o uso e cobertura do solo (2013).

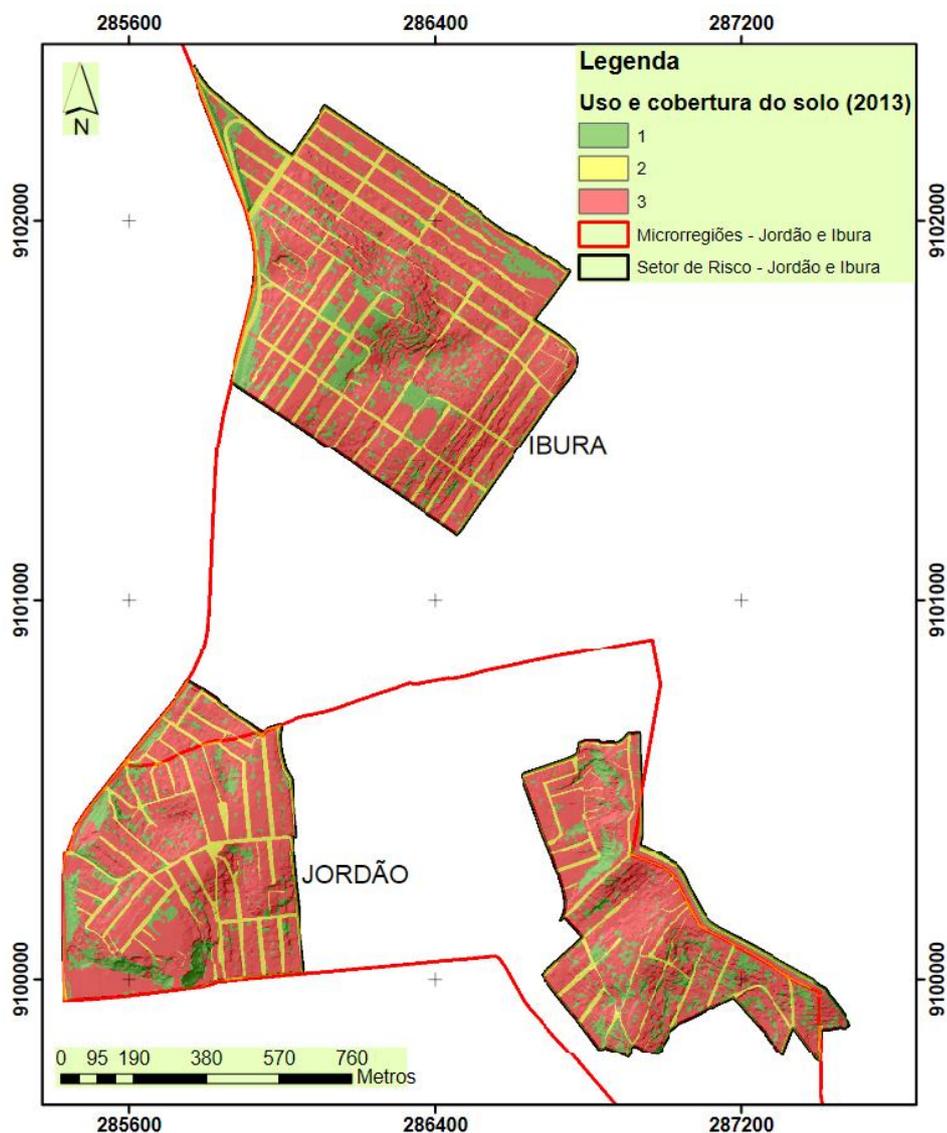


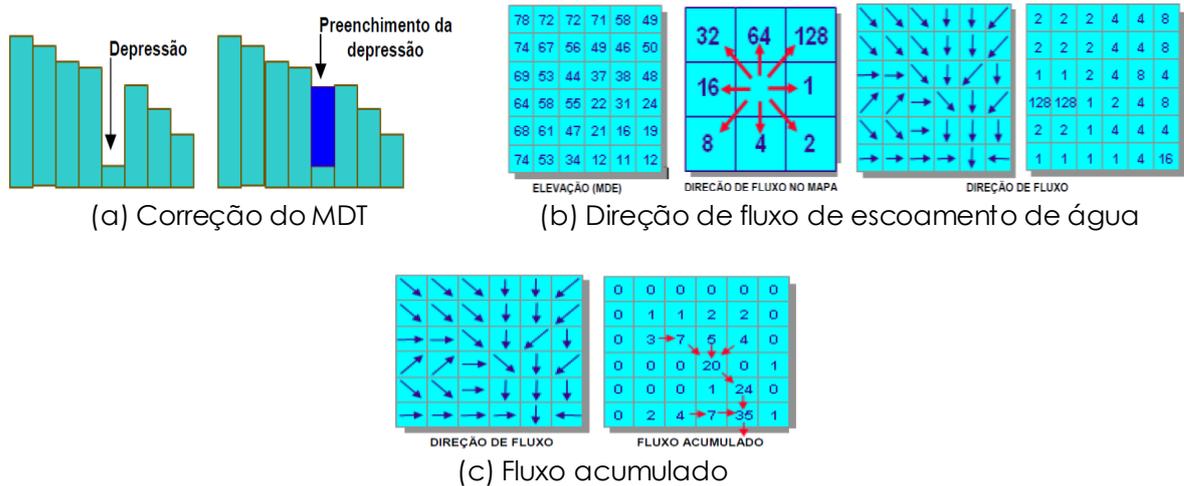
Tabela 23: Classificação do grau de suscetibilidade referente ao uso e cobertura do solo.

Uso e cobertura do solo	Grau de Suscetibilidade*
Corpos d' água	1
Cobertura vegetal	
Edificações	3
Escadaria	
Obras de contenção	
Solo exposto	
Vias pavimentada	2
Vias não pavimentada	

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- ❖ Proximidade da rede de escoamento pluviométrico: os processos erosivos e de deslizamentos estão relacionados à rede de drenagem do terreno, através da contribuição no aumento da velocidade e a carga de transporte de massas, ao longo da rede de drenagem. Para obter esta variável foi necessário: (a) corrigir o modelo digital do terreno, removendo as depressões fechadas que interrompem o escoamento da rede hidrográfica ou os picos nos valores das células que compõem o MDT, através da ferramenta *Spatial Analyst Tools/Hidrology/Fill* (Fig. 30a); (b) determinar a direção do fluxo de escoamento da água baseada nas direções do escoamento em função das células que compõem o MDT corrigido, empregando a ferramenta *Spatial Analyst Tools/Hidrology/Flow Direction* (Fig. 30b); (c) determinar o fluxo acumulado de escoamento da água, em função da direção de fluxo, onde o fluxo acumulado para cada célula depende do número de vetores que está direcionado para esta célula, utilizando a ferramenta *Spatial Analyst Tools/Hidrology/Flow Accumulation* (Fig. 30c); Para gerar as zonas de influência vinculadas à rede de drenagem pluviométrica (Fig. 31), foi utilizada a ferramenta *Analyst Tools/Proximity/Multiple Ring Buffer*, onde quanto mais próximas das rede de drenagem de escoamento, maior será o risco devido ao aumento do fluxo hídrico concentrado e processos erosivos, seguindo a classificação do grau de suscetibilidade da Tabela 24;

Figura 30: Etapas para determinar a rede de escoamento pluviométrico.



Fonte: SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010.

Figura 31: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a proximidade da rede de escoamento pluviométrico.

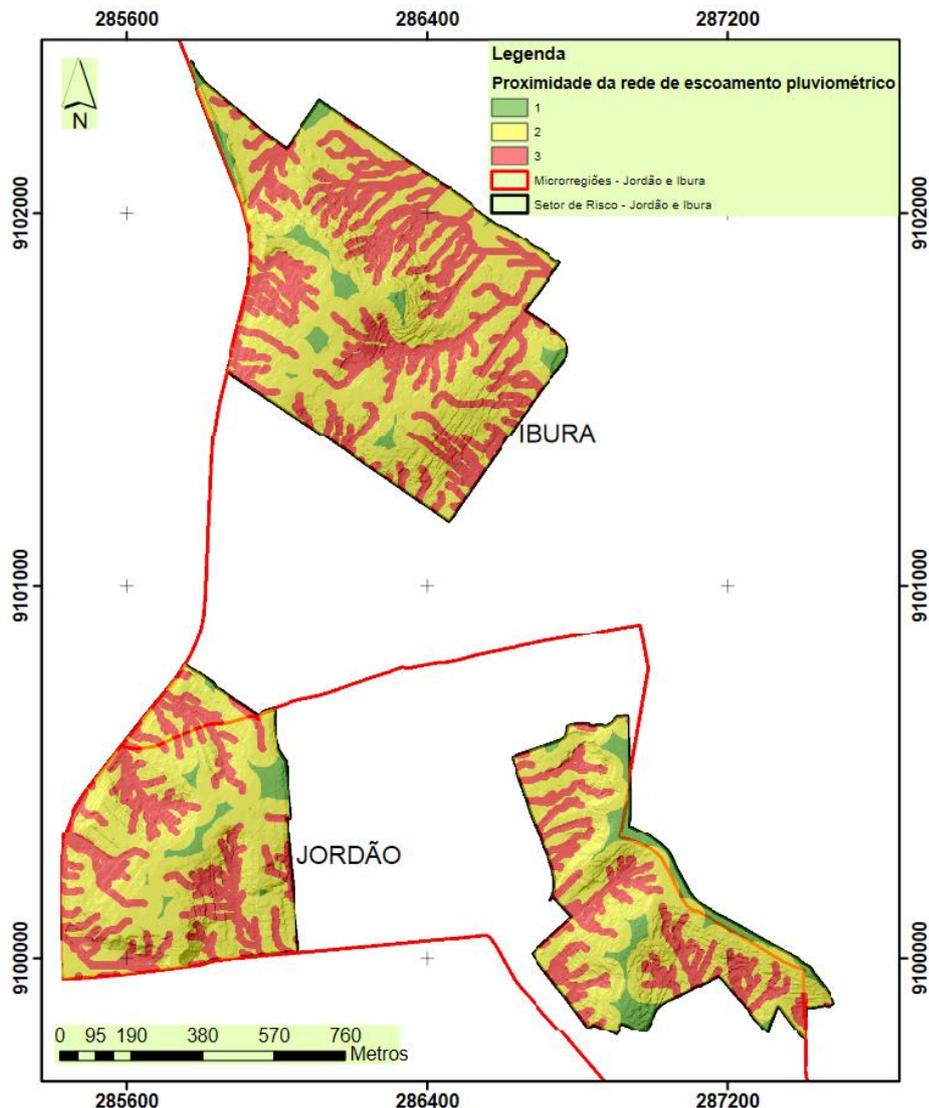


Tabela 24: Classificação do grau de suscetibilidade referente a proximidade para rede de escoamento pluviométrico.

Proximidade para rede de escoamento pluviométrico	Grau de Suscetibilidade*
Buffer de 5 m	3
Buffer de 10 m	
Buffer de 25 m	2
Buffer de 50 m	
Buffer acima de 50 m	1

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- ❖ Unidade de relevo: representa detalhes morfológicos das formas de relevo de Planalto, dividindo em Encosta e Topo de encosta. Foram adotados os pesos da Tabela 25 para obter o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a unidade de relevo (Fig. 32);

Figura 32: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a unidade de relevo.

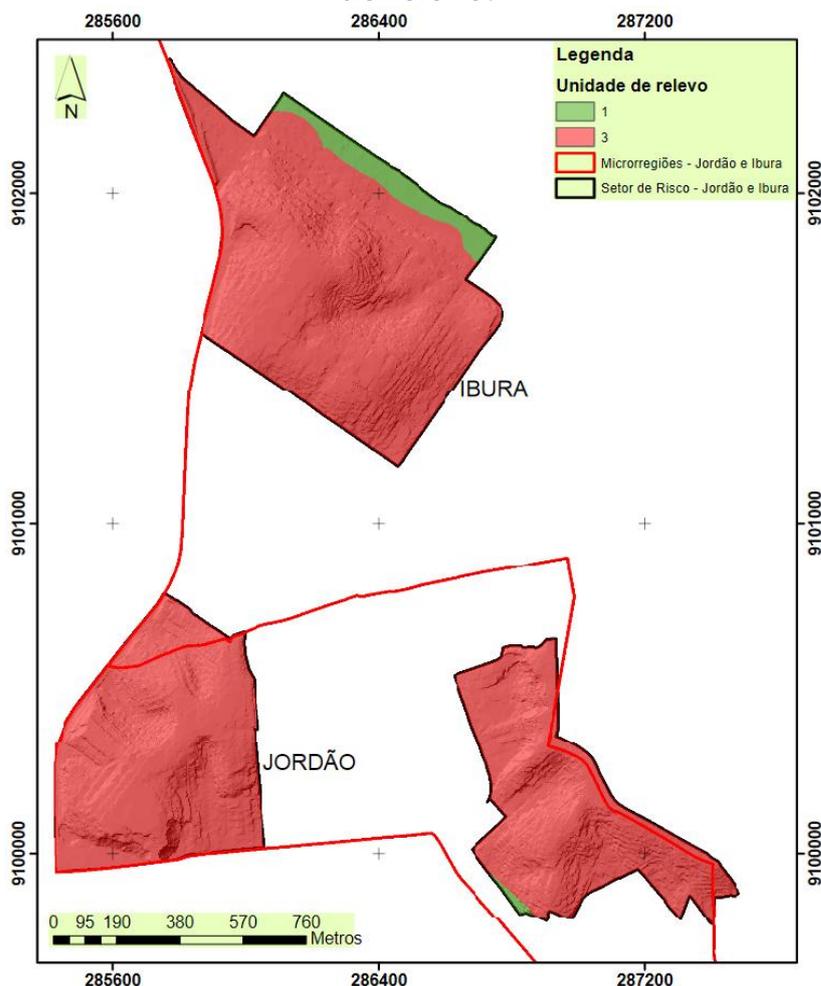


Tabela 25: Classificação do grau de suscetibilidade referente à unidade de relevo.

Classes de unidade de relevo	Grau de Suscetibilidade*
Planície	1
Encosta	3
Topo de encosta	3

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- ❖ Unidade geológica: foram extraídas primeiramente as classes geológicas do mapa geológico do Recife (1995), posteriormente a atualização seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos divulgado pela Embrapa (2006), de acordo com as Tabela 26 e 27, obtendo o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a tipologia dos solos (Fig. 33);

Tabela 26: Classes de unidades geológicas - Área de estudo (1995).

Classes de unidades geológicas		Rochas/Sedimentos	Solos residuais
Sedimentos Terciários	Qfl	Depósitos flúvio-lagunares	Areias, siltes e argilas orgânicas
Sedimentos Quaternários	Tb	Formação Barreiras	Areias e argilas com lateritização

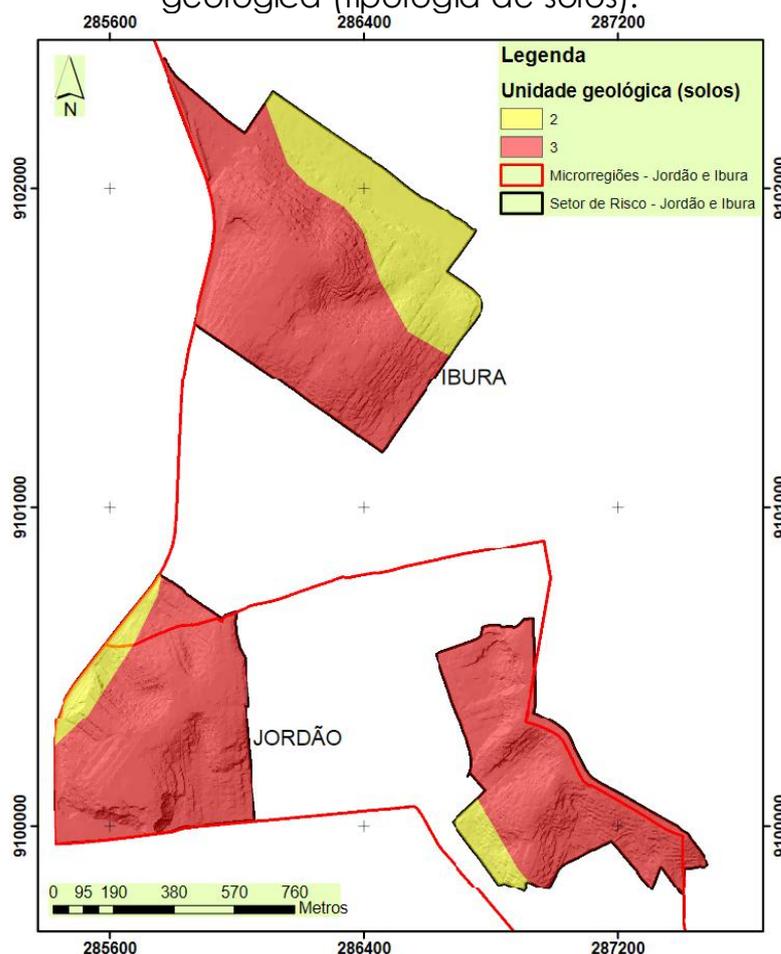
Fonte: Carta Geotécnica do Recife, 1995.

Tabela 27: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com os solos.

Classificação Embrapa (2006)	Classificação (1995)	Características Gerais	Grau de Suscetibilidade*
Neossolo Flúvico	Depósitos flúvio-lagunares	Solos formados por estratos com granulometria diversificadas, variando de acordo com o ambiente e regime hídrico regional, apresentando em menor proporção argila com atividade alta	2
Podzólico Vermelho-Amarelo	Formação Barreiras	Solos com teor substancial de argila com atividade alta limitando sua drenagem natural e por isso tornando-o suscetível aos processos erosivos durante as chuvas	3

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 33: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a unidade geológica (tipologia de solos).



- ❖ Relevo: de acordo com dois conjuntos topograficamente distintos, Planalto e Planície que definem as formas e geometria dos terrenos, foi definido o grau de suscetibilidade a movimentos de massa segundo a Tabela 28, obtendo o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa vinculado as formas de relevo (Fig. 34);

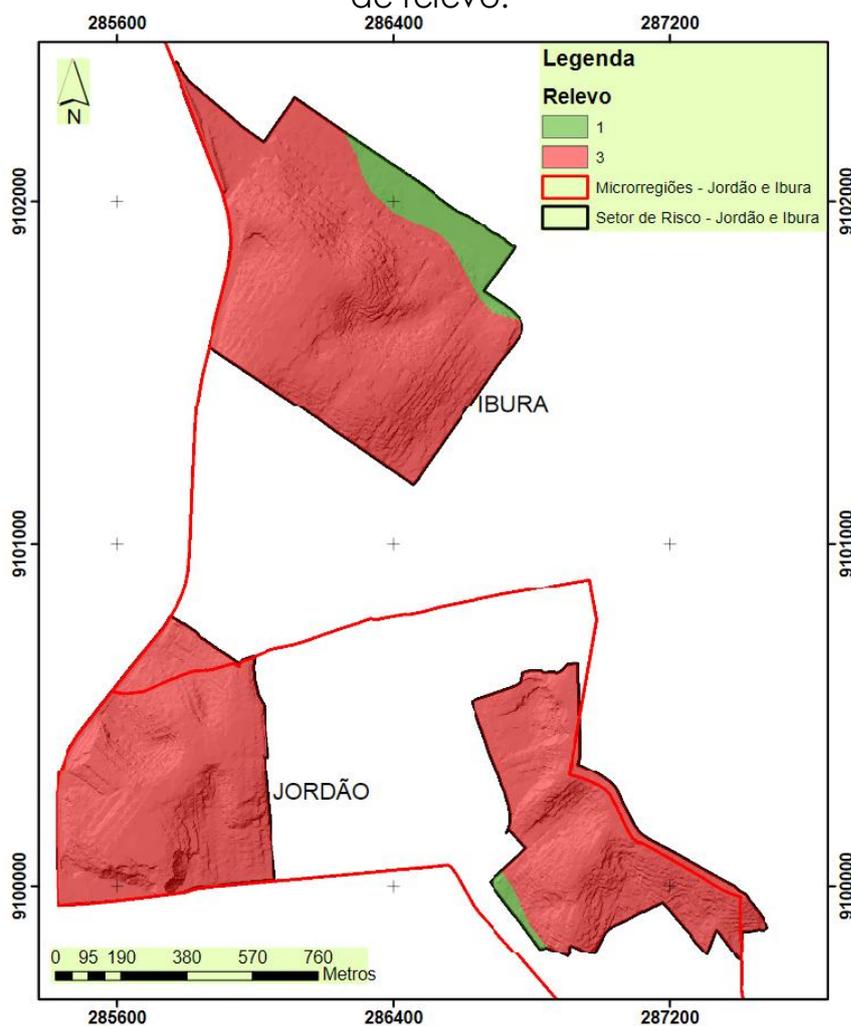
Tabela 28: Classificação do grau de suscetibilidade referente as formas de relevo.

Classes de Relevo	Características Gerais	Grau de Suscetibilidade*
Planícies	É uma superfície extremamente plana, sua formação ocorre em virtude da sucessiva depressão de material de origem marinha, lacustre ou fluvial em áreas planas. Normalmente, estão localizadas próximas do litoral ou dos cursos dos grandes rios e lagoas	1

Planaltos	São formas de relevo elevadas. Podem ser encontradas em qualquer tipo de estrutura geológica. Nas bacias sedimentares, os planaltos caracterizam-se pela formação de escarpas em áreas de fronteira com as depressões. Formam também as chapadas, extensas superfícies planas de grande altitude	3
-----------	--	---

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 34: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com as formas de relevo.



- ❖ Proximidade de vias: para criar as zonas de distâncias para o sistema viário da suscetibilidade a movimentos de massa (Fig. 35), foi utilizada a ferramenta *Analyst Tools/Proximity/Multiple Ring Buffer*, segundo a qual quanto mais próximas das vias, maior será o risco, devido ao acesso e circulação do processo de antropização, segundo a classificação do grau de suscetibilidade da Tabela 29;

Figura 35: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com à proximidade do sistema viário (2013).

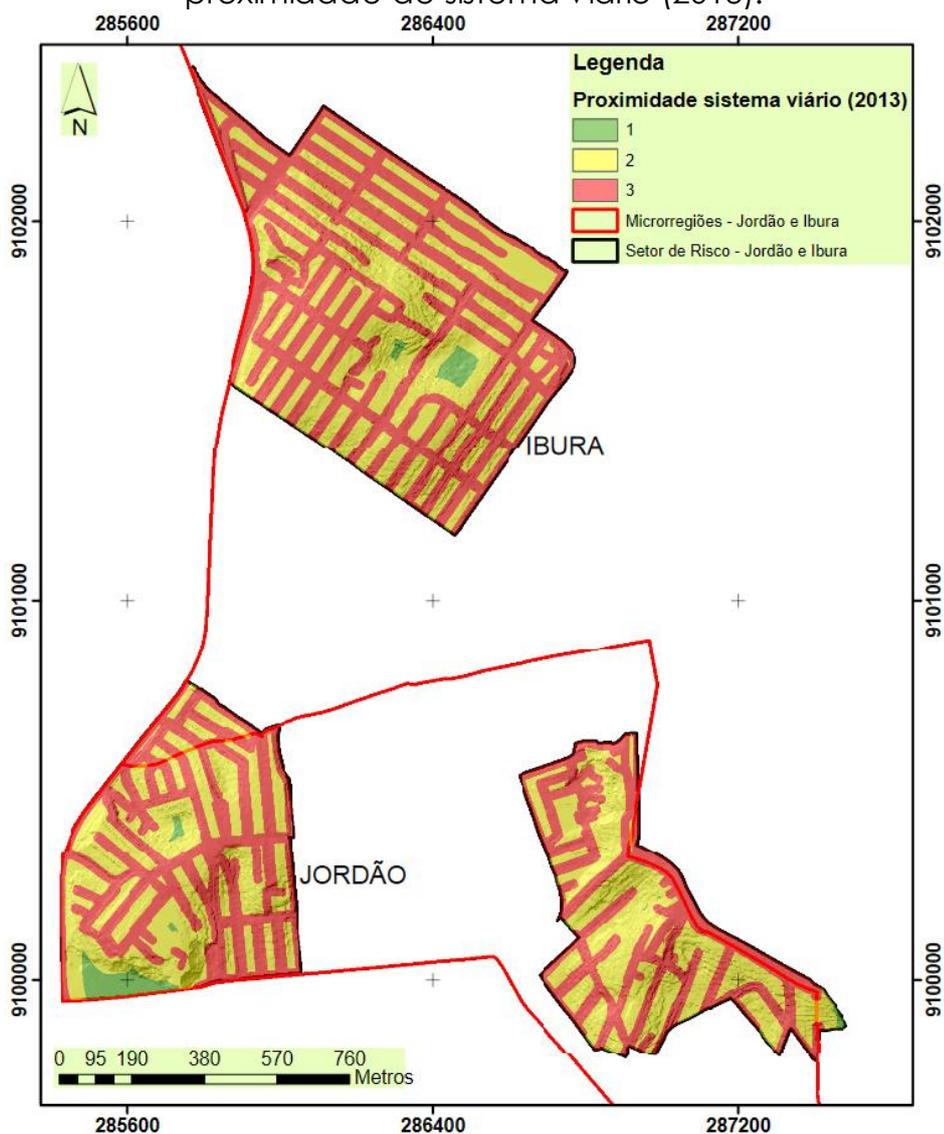


Tabela 29: Classificação do grau de suscetibilidade referente à proximidade do sistema viário.

Proximidade de vias	Grau de Suscetibilidade*
Buffer de 5 m	3
Buffer de 10 m	
Buffer de 25 m	
Buffer de 50 m	2
Buffer acima de 50 m	1

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- ❖ Declividade: fator de extrema importância com respeito à fragilidade da encosta, pois atua em diferentes formas de relevo, tendo seu risco elevado à medida que a declividade aumenta. Classificada de

acordo com o grau de suscetibilidade de movimentos de massa da Tabela 30, gerando o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com as classes de declividade (Fig. 36).

Figura 36: Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com a declividade.

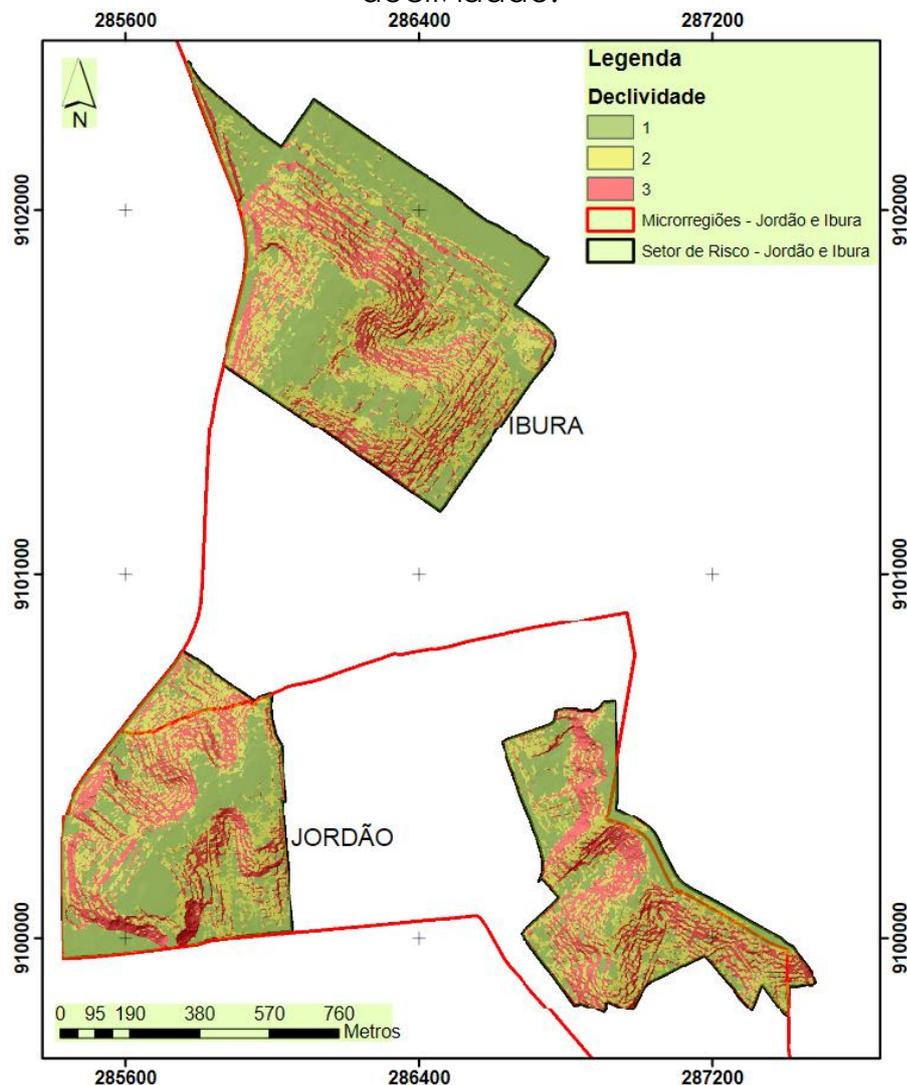


Tabela 30: Classificação do grau de suscetibilidade referente à declividade.

Classes de Declividade (%)	Feições morfológicas	Grau de Suscetibilidade*
> 45	Relevo forte ondulado onde pode ocorrer instabilização do material devido à saturação hídrica e inclinada da vertente	3
27 - 45		
17 - 27	Relevo ondulado. Índice moderado de deslizamentos	2
11 - 17		
7 - 11	Relevo plano a suave ondulado. Baixo índice de deslizamentos	1
0 - 7		

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

5.4.6. Análise multicritério - Processo Analítico Hierárquico (AHP - *Analytic Hierarchy Process*)

Para elaborar o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massas referente aos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura (2007 e 2013), foi implementada a modelagem ambiental multicritério.

Essa metodologia consiste na determinação dos pesos estatísticos que fazem parte da modelagem, a partir da elaboração de uma matriz de decisão quadrada (Tab. 31), onde os mapas temáticos são definidos pelos critérios C_n , realizando uma comparação pareada entre os mesmos, a partir da indicação da intensidade que o fator da coluna da esquerda atua em relação a cada fator correspondente na linha superior. Essa ponderação está relacionada com a intensidade de um critério em relação ao outro, através de aplicação de valores de importância da Tabela 9 (pg. 48).

Tabela 31: Matriz quadrada de correlação pareada das variáveis ambientais aplicadas na modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa.

Critérios	R	UR	UG	PV	CE	PE	D	US
R	1	1,00	0,33	0,33	0,20	0,20	0,14	0,11
UR	1	1	0,33	0,33	0,20	0,20	0,14	0,11
UG	3	3	1	1,00	0,20	0,20	0,14	0,11
PV	3	3	1	1	0,33	0,20	0,14	0,11
CE	5	5	5	3	1	1,00	0,14	0,11
PE	5	5	5	5	1	1	1,00	0,11
D	7	7	7	7	7	1	1	1,00
US	9	9	9	9	9	9	1	1

Empregando a escala de intensidade, foi realizada a comparação entre as variáveis de cada coluna com relação às linhas da matriz de correlação, tendo os seguintes valores na comparação pareada:

- ❖ Unidade de Relevô (UR) foi considerada de igual importância (1) na comparação com Relevô (R);
- ❖ Unidade Geológica (UG) foi classificada como moderadamente mais importante (3) com relação às variáveis de Relevô (R) e Unidade de Relevô (UR);

- ❖ Proximidade de Vias (PV) obteve valor moderado (3) para as variáveis de Relevô (R) e Unidade de Relevô (UR), porém de igual importância (1) com relação à Unidade Geológica (UG);
- ❖ Curvatura da Encosta (CE) foi classificada como fortemente mais importante (5) que Relevô (R), Unidade de Relevô (UR), Unidade Geológica (UG) e obteve classificação moderada (3) relação à Proximidade de Vias (PV);
- ❖ Proximidade para rede de Escoamento (PE) foi considerada fortemente mais importante (5) com relação as variáveis de Relevô (R), Unidade de Relevô (UR), Unidade Geológica (UG), Proximidade de Vias (PV) e atribuído valor de mesma importância (1) na comparação com Curvatura da Encosta;
- ❖ Declividade (D) obteve a classificação de muito fortemente (7) para as variáveis de Relevô (R), Unidade de Relevô (UR), Unidade Geológica (UG), Proximidade de Vias (PV), Curvatura da Encosta (CE) e classificada de igual importância (1) para Proximidade para rede de Escoamento (PE);
- ❖ Uso e ocupação do Solo (US) foi considerada extramente importante (9) para Relevô (R), Unidade de Relevô (UR), Unidade Geológica (UG), Proximidade de Vias (PV), Curvatura da Encosta (CE) e Proximidade para rede de Escoamento (PE), contudo classificada com igual importância (1) com a classe de Declividade (D).

Possuindo os valores de importância relativa das variáveis ambientais, foi possível determinar os pesos estatísticos de cada variável em ambiente Microsoft Office Excel 2010, através do cálculo da matriz de normalização das variáveis analisadas (Tab. 32). Nesta etapa, o valor de importância para cada par de variáveis é determinado pela divisão de cada variável pelo somatório das variáveis da coluna que ela pertence. O peso (W_i) de cada variável é determinado pela divisão do somatório de cada linha (ΣL) pelo número de variáveis analisados na matriz, neste caso totalizando 8.

A matriz foi organizada de acordo com o potencial de intensidade para suscetibilidade a movimentos de massa referente às variáveis

ambientais disponíveis para determinar o peso estatístico, tendo auxílio por parte dos Técnicos da Defesa Civil, do Estado de Alagoas na hierarquização das potencialidades das mesmas na modelagem multicritério, adotando a seguinte disposição: dispostos em ordem crescente de potencialidade para suscetibilidade a movimentos de massa em áreas antropizadas: Relevo (R), Unidade de Relevo (UR), Unidades Geológicas (UG), Proximidade das Vias (PV), Curvatura das Encostas (CE), Proximidade para rede de Escoamento pluviométrico (PE), Declividade (D) e Uso e cobertura do Solo (US).

Tabela 32: Matriz de normalização das variáveis ambientais aplicadas na modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa.

Crítérios	R	UR	UG	PV	CE	PE	D	US	W_i
R	$1/\Sigma C_1$	$C_{21}/\Sigma C_2$	$C_{31}/\Sigma C_3$	$C_{41}/\Sigma C_4$	$C_{51}/\Sigma C_5$	$C_{61}/\Sigma C_6$	$C_{71}/\Sigma C_7$	$C_{81}/\Sigma C_8$	$\Sigma L_1/8$
UR	$C_{12}/\Sigma C_1$	$1/\Sigma C_2$	$C_{32}/\Sigma C_3$	$C_{42}/\Sigma C_4$	$C_{52}/\Sigma C_5$	$C_{62}/\Sigma C_6$	$C_{72}/\Sigma C_7$	$C_{82}/\Sigma C_8$	$\Sigma L_2/8$
UG	$C_{13}/\Sigma C_1$	$C_{23}/\Sigma C_2$	$1/\Sigma C_3$	$C_{43}/\Sigma C_4$	$C_{53}/\Sigma C_5$	$C_{63}/\Sigma C_6$	$C_{73}/\Sigma C_7$	$C_{83}/\Sigma C_8$	$\Sigma L_3/8$
PV	$C_{14}/\Sigma C_1$	$C_{24}/\Sigma C_2$	$C_{34}/\Sigma C_3$	$1/\Sigma C_4$	$C_{54}/\Sigma C_5$	$C_{64}/\Sigma C_6$	$C_{74}/\Sigma C_7$	$C_{84}/\Sigma C_8$	$\Sigma L_4/8$
CE	$C_{15}/\Sigma C_1$	$C_{25}/\Sigma C_2$	$C_{35}/\Sigma C_3$	$C_{45}/\Sigma C_4$	$1/\Sigma C_5$	$C_{65}/\Sigma C_6$	$C_{75}/\Sigma C_7$	$C_{85}/\Sigma C_8$	$\Sigma L_5/8$
PE	$C_{16}/\Sigma C_1$	$C_{26}/\Sigma C_2$	$C_{36}/\Sigma C_3$	$C_{46}/\Sigma C_4$	$C_{56}/\Sigma C_5$	$1/\Sigma C_6$	$C_{76}/\Sigma C_7$	$C_{86}/\Sigma C_8$	$\Sigma L_6/8$
D	$C_{17}/\Sigma C_1$	$C_{27}/\Sigma C_2$	$C_{37}/\Sigma C_3$	$C_{47}/\Sigma C_4$	$C_{57}/\Sigma C_5$	$C_{67}/\Sigma C_6$	$1/\Sigma C_7$	$C_{87}/\Sigma C_8$	$\Sigma L_7/8$
US	$C_{18}/\Sigma C_1$	$C_{28}/\Sigma C_2$	$C_{38}/\Sigma C_3$	$C_{48}/\Sigma C_4$	$C_{58}/\Sigma C_5$	$C_{68}/\Sigma C_6$	$C_{78}/\Sigma C_7$	$1/\Sigma C_8$	$\Sigma L_8/8$

Para determinar a consistência do resultado obtido é necessário definir a razão de consistência (RC), que deverá apresentar um valor menor que 0,10 ou 10%. O RC foi determinado pela equação abaixo:

$$RC = \frac{IC \text{ (Índice de consistência)}}{IR \text{ (Índice randômico)}} \quad (3)$$

O índice de consistência é determinado através da fórmula:

$$IC = \frac{\varphi_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Onde, n = número de variáveis testadas que correspondem ao número de linhas ou de colunas; φ_{max} = autovetor, calculado pela seguinte equação:

$$\varphi_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[AW]_i}{W_i} \quad (5)$$

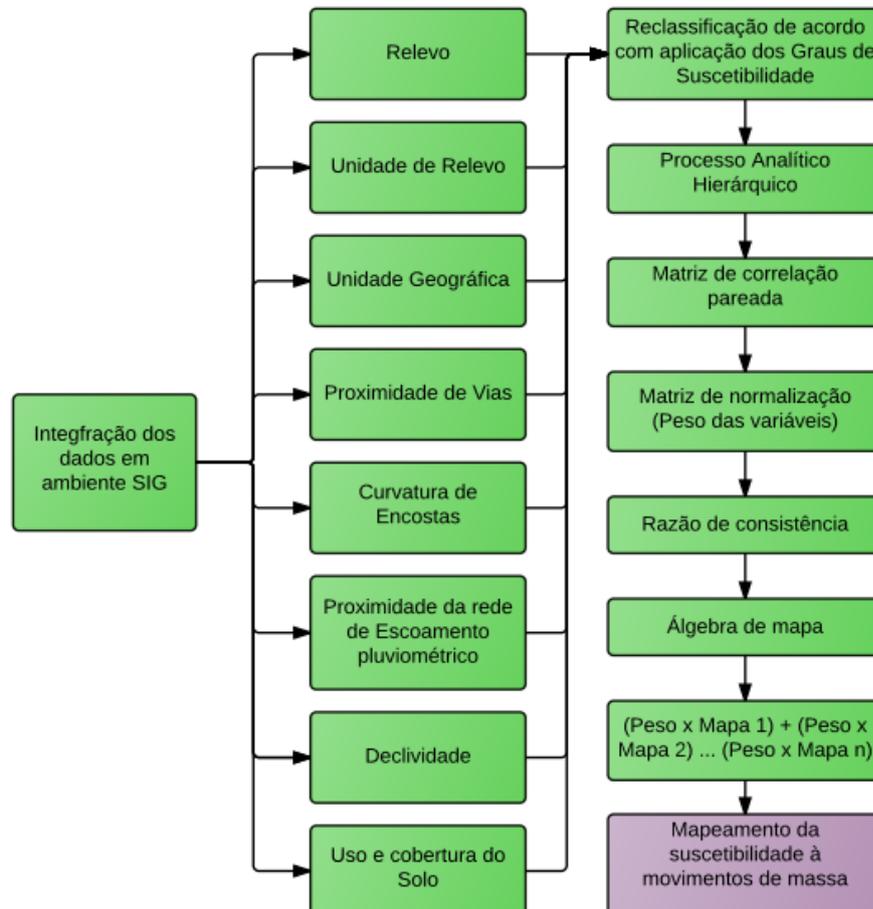
Onde, $[AW]_i$ = matriz resultante do produto da matriz de comparação pareada pela matriz de pesos calculados (W_i); W_i = pesos calculados.

O Índice Randômico é um valor encontrado para matrizes quadradas de ordem n , segundo o Laboratório Nacional de Oak Ridge (EUA) e pode ser adquirido na Tabela 11 (pg. 49), onde para a modelagem da suscetibilidade a movimentos de massa foi aplicado $n(8) = 1,41$.

Para elaboração do mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, foram aplicados os pesos (P) estatísticos calculados pelo processo analítico hierárquico no modelo matemático (6), utilizando a ferramenta *Map Algebra/Raster Calculator* para realizar a sobreposição de mapas temáticos, seguindo o fluxograma da Figura 37.

Suscetibilidade a movimentos de massa = $P \cdot R + P \cdot UR + P \cdot UG + P \cdot PV + P \cdot CE + P \cdot PE + P \cdot D + P \cdot US$ (6)

Figura 37: Fluxograma aplicado para o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa, microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.



5.4.7. Relacionamentos entre a suscetibilidade a movimentos de massa com quantitativo de ocorrências de deslizamentos da Defesa Civil e o inventário de áreas com serviços impermeabilizantes de colocação de lonas plásticas (2013)

Para avaliar a qualidade temática do mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massas (2013), foram empregados indicadores qualitativos e quantitativos obtidos pelas ferramentas *Selection/Selection By Location* e *Map Algebra/Raster Calculator*:

- ❖ Ocorrências de deslizamentos levantadas pela Defesa Civil do Recife referente ao período de 2013, empregando pontos georreferenciados no formato *kmz* divididos pelo grau de risco (R1, R2, R3 e R4) inseridos na área de estudo (Tab. 33), através da correlação com o produto cartográfico final elaborado pela metodologia multicritério da suscetibilidade a movimentos de massa (2013) e as variáveis ambientais (Uso e cobertura do solo, Declividade, Proximidade para rede de escoamento pluviométrico, Curvatura da encosta, Proximidade para vias, Unidade geológica, Unidade de relevo e Relevo) utilizadas na modelagem espacial multicritério.

Tabela 33: Ocorrências de deslizamentos, microrregiões de Jordão e Ibura.

Grau de risco	Quantitativo de ocorrências à deslizamentos
R1	435
R2	128
R3	204
R4	4
Total	771

Fonte: Relatório de ocorrências de deslizamentos, Defesa Civil do Recife-PE, 2013.

- ❖ Inventário de áreas impermeabilizadas através da colocação de lonas plásticas (Tab. 34) pela Defesa Civil do Recife, a partir da fotointerpretação, vetorização e geração de um banco de dados espaciais das áreas impermeabilizadas com lonas plásticas identificadas no mosaico formado pelas ortofotocartas de 2013,

correlacionado com o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa gerados pela modelagem espacial multicritério, utilizando como parâmetro de qualidade o quantitativo de *pixels* das áreas impermeabilizadas vinculado ao alto risco de suscetibilidade a movimentos de massa.

Tabela 34: Inventário de áreas impermeabilizadas através da colocação de lonas plásticas, inseridos nos setores de risco de Jordão e Ibura (2013).

Setor de risco	Rótulo	Área	
		(m ²)	(%)
R1	-	-	-
R2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11	879,31	67,83
R3	-	-	-
R4	12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18	417,01	32,17
Total	18	1.296,32	100,00

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da avaliação espaço-temporal e caracterização da ocupação urbana para os cenários de 1975, 1986, 2007 e 2013. Além da modelagem espaço-temporal da dinâmica espacial da suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco referente aos períodos de 2007 e 2013, utilizando análise SIG multicritério (Processo Analítico Hierárquico - AHP), validados pelas ocorrências de deslizamentos de 2013 levantadas pela Defesa Civil do Recife.

6.1. Dinâmica da expansão urbana

Através da fotointerpretação da cobertura aerofotogramétrica, pode-se mapear as classes de uso e ocupação do solo inseridas nos setores de risco localizados nas microrregiões do Jordão e Ibura para os cenários de 1975, 1986, 2007 e 2013, tendo como objetivo o estudo espaço-temporal e caracterização da dinâmica das ocupações urbanas em áreas suscetíveis a movimentos de massas.

6.1.1. Cenário: 1975 e 1986

O uso e cobertura do solo foram fotointerpretados a partir do mosaico formado por ortofotocartas referente ao período de 1975 e 1986 na escala 1:10.000, com resolução espacial de 85 cm, em nível de cinza e classificados em: área antropizada, cobertura vegetal e corpos d'água, devido a qualidade do material cartográfico, no que diz respeito a capacidade de identificação em classes variadas, optou-se pelo agrupamento das feições geográficas urbanas na classe área antropizada.

A classe de cobertura vegetal corresponde às áreas com vegetação arbórea e rasteira, sendo mais frequentes na porção central, afastadas dos sistemas viários, tendo no período de 11 anos uma redução de 223.879,00 m² (23,17%) da cobertura vegetal inicial e uma diminuição de 16,63% da área total dos setores de risco. Áreas antropizadas correspondem por vias

pavimentadas ou não, áreas edificadas e solo exposto, tendo em 1986, um aumento de 58,86% da área antropizada inicial, passando a ocupar cerca de 44,87% da superfície total dos setores de risco (Tab. 35), principalmente motivada pela abertura de novas vias de acesso, proporcionando o aumento de áreas edificadas, tendo como característica a ocupação desordenada em áreas de encostas, com declividades variadas. Os corpos d'águas permaneceram com a mesma estrutura em ambos os períodos.

Tabela 35: Uso e cobertura do solo (1975 e 1986).

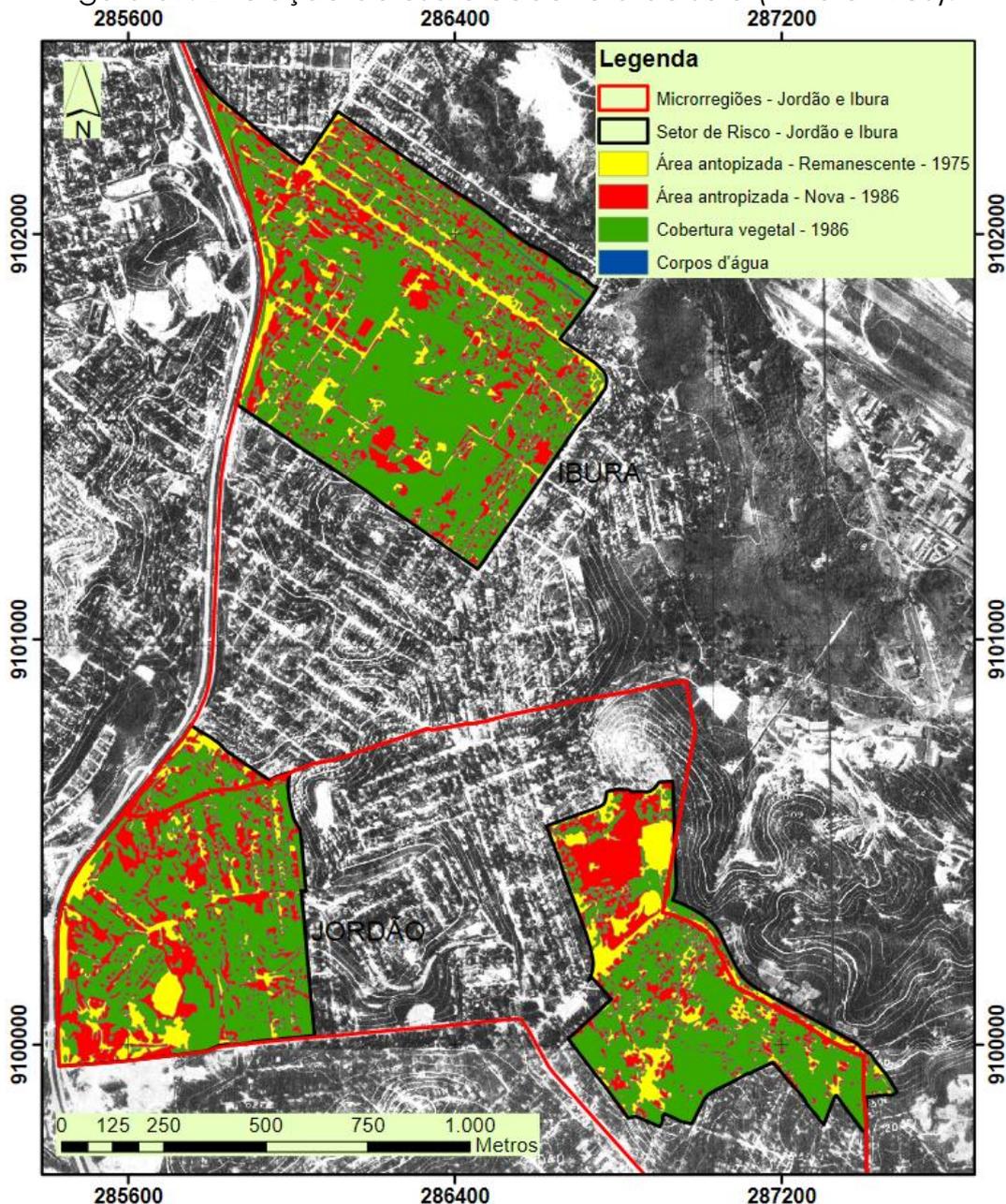
Classes de usos do solo	1975		1986	
	Área (m ²)	(%)	Área (m ²)	(%)
Área antropizada	380.366,16	28,24	604.245,16	44,87
Cobertura vegetal	965.409,19	71,69	741.530,18	55,06
Curso d' água	956,86	0,07	956,86	0,07
Total	1.346.732,21	100,00	1.346.732,21	100,00

O gráfico da Figura 38 e a Figura 39 apresentam a quantificação percentual e o mapeamento da evolução do uso e cobertura do solo, referente ao período de 1975 e 1986. Aplicando técnicas de álgebra de mapas entre as camadas de mapeamentos de uso e cobertura do solo, obteve-se a evolução espaço-temporal das áreas antropizadas, tendo 144.265,34 m², equivalente a 10,71% das áreas de expansão urbanas existentes nos setores de risco referentes ao período de 1975 sendo extintas passando para classe da cobertura vegetal, totalizando 55,13% da ocupação vegetal e em 1986, restou cerca de 229.989,91 m² de áreas antropizadas remanescentes, correspondendo a 17,08%. Surgiram 374.255,25 m², equivalente a 27,79% de novas superfícies antropizadas em 1986.

Figura 38: Evolução da área antropizada (1986).



Figura 39: Evolução do uso e cobertura do solo (1975 e 1986).



A Tabela 36 e as Figura 40 e 41 apresentam o quantitativo das ocupações das áreas antropizadas correlacionadas com os setores de risco no período de 1975 e 1986: (a) setor de risco R1, ocorreu uma ampliação de 152.582,69 m² (49,26%); (b) setor de risco R2, uma elevação de 56.037,28 m² (39,19%) da área de estudo; (c) setor de risco R3, um aumento de 13.816,67 m² (46,49%) dos setores de risco; (d) setor de risco R4, tendo acréscimo de 1.442,37 m² (29,85%) de ocupação desta classe na área de estudo.

Tabela 36: Área antropizada e vegetação nos Setores de risco (1975 e 1986).

Série Temporal	Setor Risco	Área antropizada		Cobertura vegetal	
		Área (m ²)	(%)	Área (m ²)	(%)
1975	R1	206.654,50	28,34	522.667,30	71,66
	R2	153.392,53	28,71	380.951,12	71,29
	R3	16.312,24	25,17	48.501,69	74,83
	R4	4.006,89	21,95	13.289,08	72,81
	Total	380.366,16	-	965.409,19	-
1986	R1	359.237,19	49,26	370.085,93	50,74
	R2	209.429,81	39,19	324.913,86	60,81
	R3	30.128,91	46,49	34.685,01	53,51
	R4	5.449,25	29,85	11.845,38	64,90
	Total	604.245,16	-	741.530,18	-

Figura 40: Uso e cobertura do solo nos setores de risco (1975).

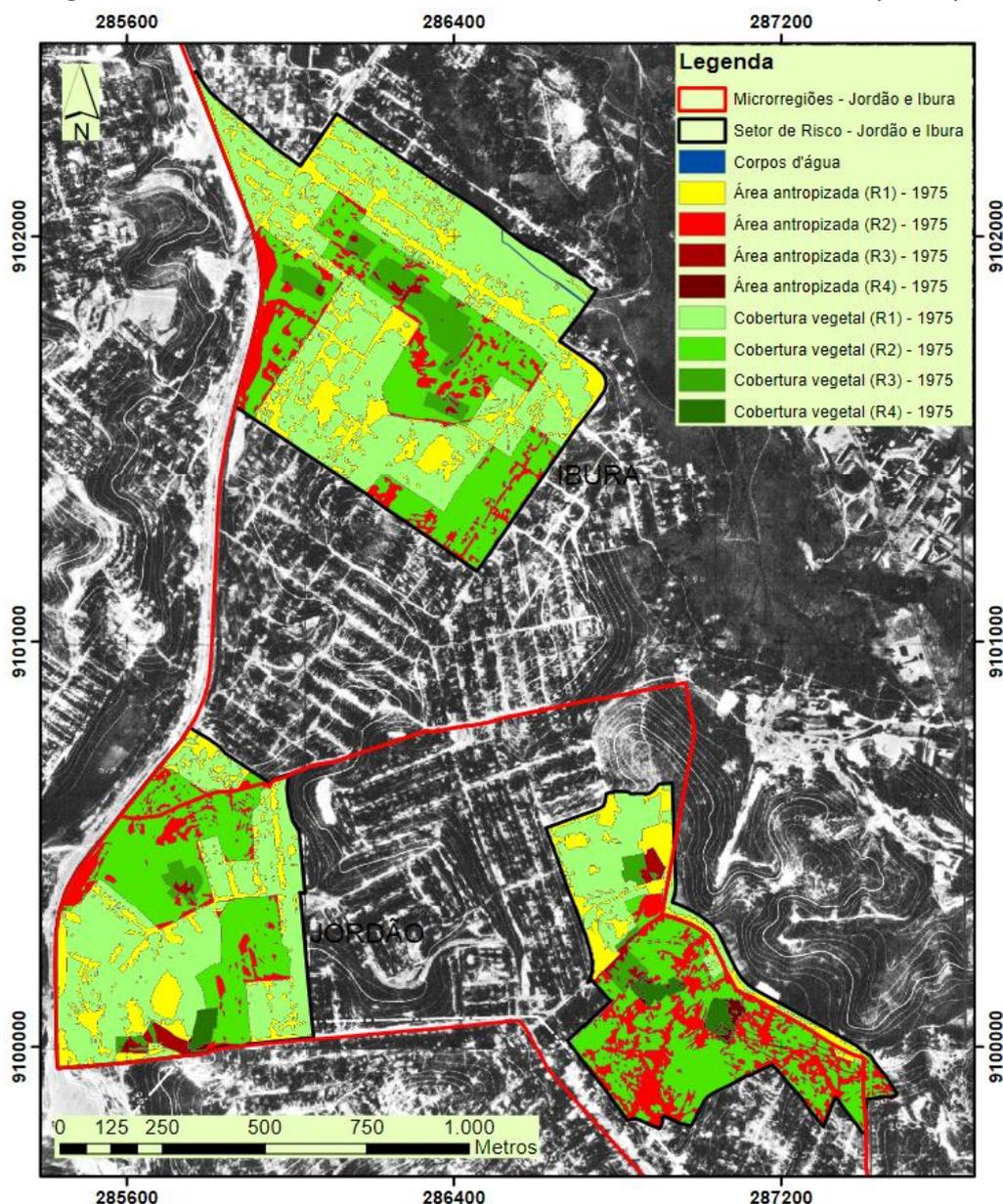
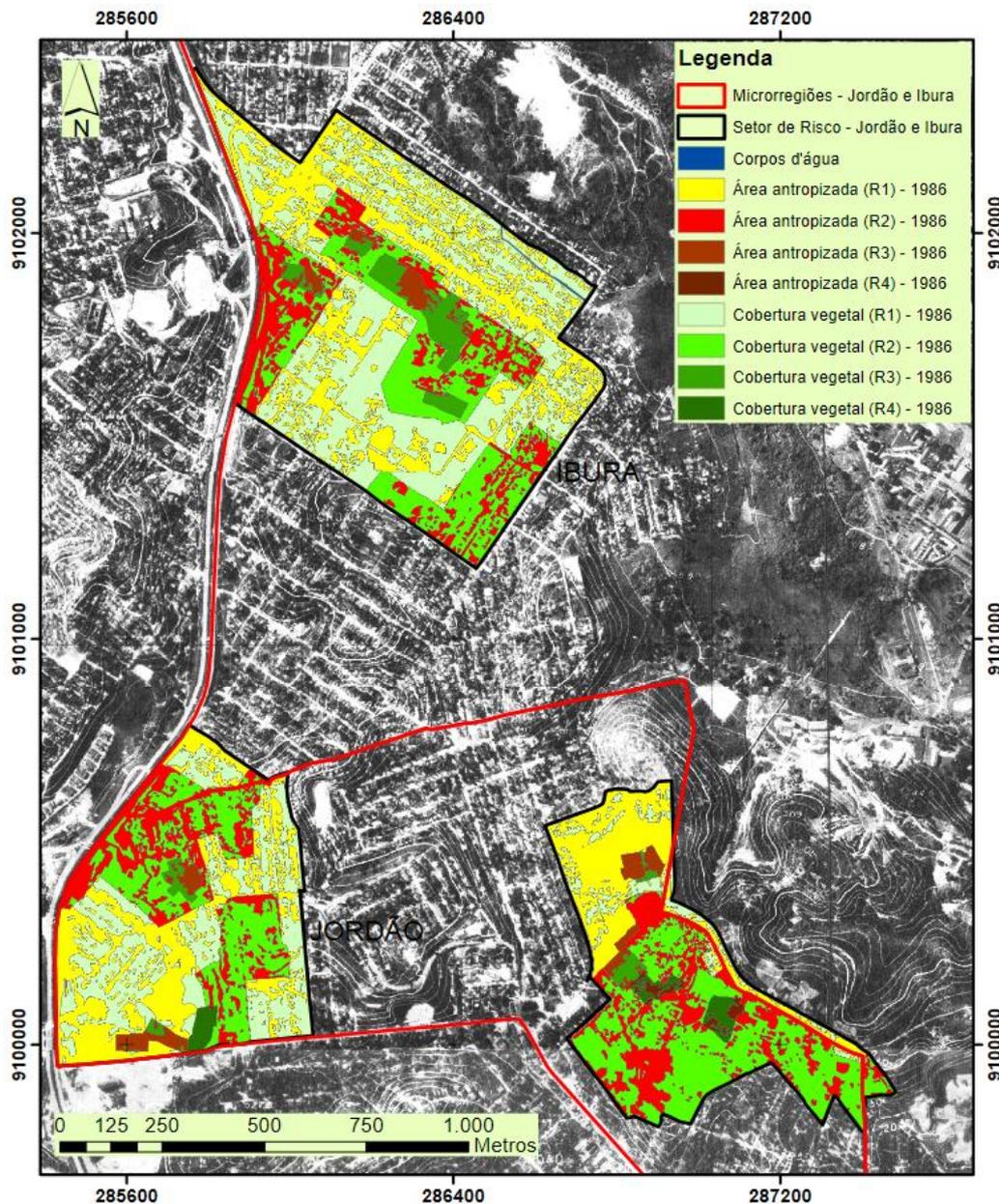
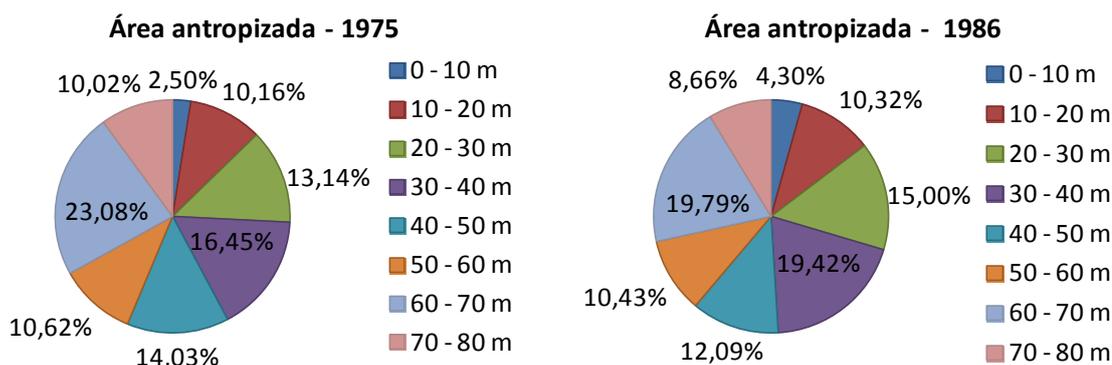


Figura 41: Uso e cobertura do solo nos setores de risco (1986).



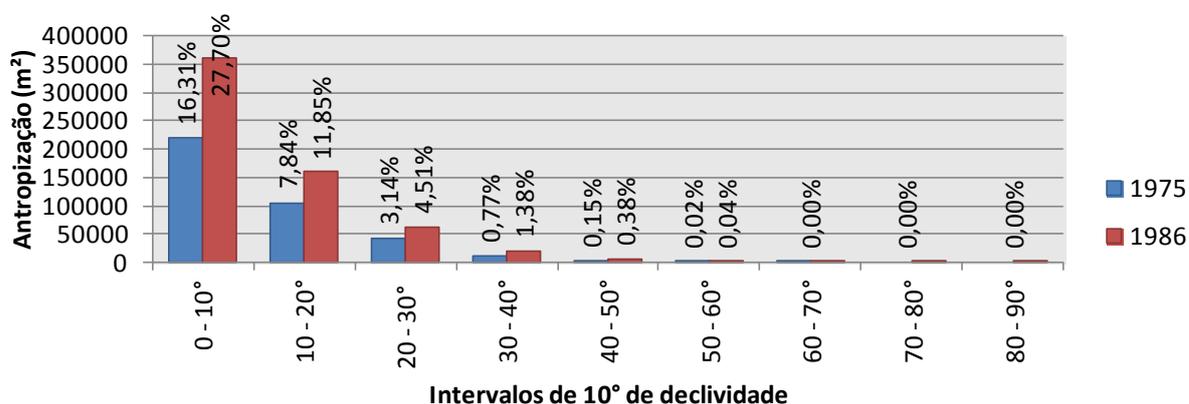
Os gráficos da Figura 42 apresentam as áreas antropizadas relacionadas a segmentos altimétricos com intervalos de 10 metros. Observe-se que, em ambos os períodos, as mesmas predominam nas médias e altas encostas, com altitude entre 30-40 m e 60-70m, totalizando 39,53% e 39,21%, respectivamente das antropizadas referente aos períodos de 1975 e 1986.

Figura 42: Áreas antropizadas por intervalos altimétricos (1975 e 1986).



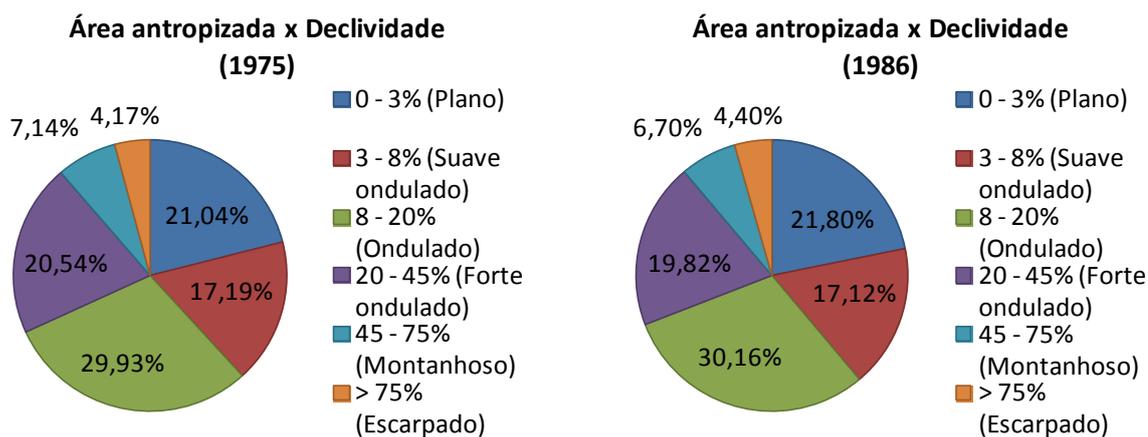
Analisando as áreas antropizadas em agrupamentos por intervalos de declividade, foi verificado que a maioria das áreas urbanas ocorrem no intervalo de 0-10°, porém apresentam também um quantitativo elevado no intervalo de 10-20°, 20-30° e 30-40°. Agrupando as áreas urbanas em intervalos de 10° de declividade, pode-se observar no gráfico da Figura 43 que no período de 11 anos, ocorrem aumento da espacialização de áreas antropizadas em níveis de declividade acentuada.

Figura 43: Área antropizada por intervalos de 10° de declividade (1975 e 1986).



Os gráficos da Figura 44 apresentam as classes de relevo definidas pela declividade, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Embrapa (Tab. 16) caracterizada pela antropização da área. Verifica-se que a espacialização das áreas antropizadas nos dois períodos manteve-se proporcional entre as classes de declividade.

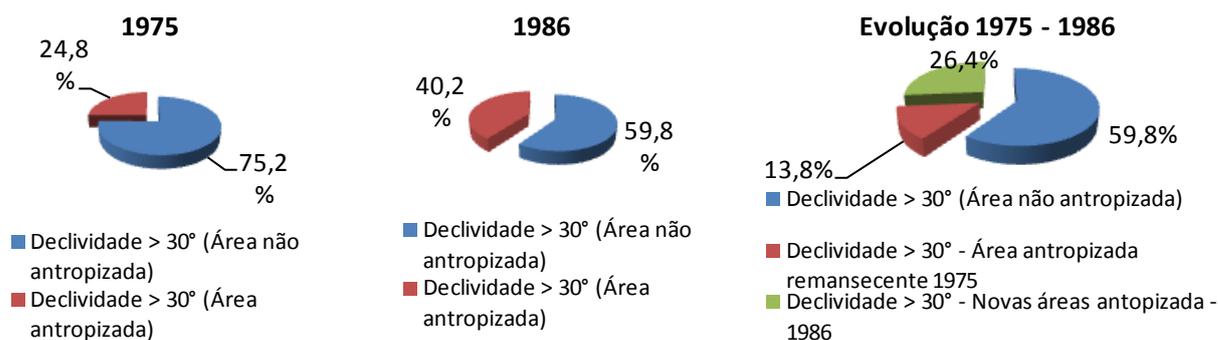
Figura 44: Áreas antropizadas por classes de declividade (1975 e 1986).



Ainda de acordo com os gráficos da Figura 44, observa-se que a antropização ocupou em ambos os períodos de análise as formas de relevo ondulada com 29,93% e 30,16%, plano 21,04% e 21,80% e forte ondulado com 20,54% e 19,82%, nos períodos de 1975 e 1986 respectivamente.

Analisando a expansão da antropização a partir da limitação para ocupação urbana associada aos níveis de declividade, tendo como base o Código Florestal e seu limite de restrição para ocupação urbana em regiões tropicais úmidas de relevo mais acidentado, tendo declividade superior a 30°, equivalente a 57,5%, devido a ocorrência natural de deslizamentos. Os gráficos da Figura 45 apresentam a evolução antrópica de 1975 - 1986, tendo as seguintes ocupações: (a) área urbana em 1975, possuía uma ocupação de 27.717,42 m² (24,80%) em terrenos com declividade acima de 30°, correspondendo a 2,1% da área total; (b) área urbana em 1986, havia uma ocupação de 44.819,55 m² (40,20%) em áreas com declividade superior a 30°, equivalente a 3,32% da área total, sendo dividida em áreas antropizadas remanescentes de 1975 com 15.366,98 m² (13,80%) e novas áreas de antropização em 1986 com 29.452,54 m² (26,4%).

Figura 45: Área antropizada - declividade acima de 30° (1975 e 1986).



A Tabela 37 apresenta a quantificação da expansão antrópica relacionada com os compartimentos e subcompartimentos geológicos, tendo como destaque as novas áreas antrópicas em 1986 quantificada com relação ao zoneamento geomorfológico: (a) novas áreas antrópicas em 1986, com 354.430,51 m² (27,74%) em relevos de planaltos, 43.865,69 m² (26,85%) em unidade de relevo de topo de encosta e 314.421,13 m² (27,70%) em unidade de relevo de encosta e 296.264,21 m² (27,13%) em unidade geológica com formação de barreiras.

Tabela 37: Área antropizada relacionada com zoneamento geomorfológico.

Compartimentos e subcompartimentos geomorfológico		1975		1986	
		(m ²)	(%)	(m ²)	(%)
Relevo	Planícies	13.174,37	19,00	27.045,92	39,01
	Planaltos	367.191,79	28,75	577.199,24	45,18
Unidades de Relevo	Topo de encosta	47.984,70	29,37	78.794,23	48,23
	Encosta	324.278,73	28,57	504.273,69	44,42
	Planície	8.102,73	16,74	21.177,24	43,76
Unidade Geológica	Neossolo Flúvico (Aluviões e Terras Úmidas)	69.230,38	27,14	122.486,66	48,02
	Podzólico Vermelho-Amarelo (Formação Barreiras)	311.135,78	28,50	481.758,50	44,13

6.1.2. Cenário: 2007 e 2013

As microrregiões do Jordão e Ibura caracterizam-se como regiões predominantemente urbana. Através da análise da cobertura aerofotogramétrica, pode-se identificar que a maior parte de sua superfície

encontra-se sob uso e ocupação de solo urbano, tendo sua paisagem nitidamente definida entre urbano e o não urbano, apresentando poucas superfícies com cobertura vegetal.

O uso e cobertura do solo foram fotointerpretados a partir do mosaico formado por ortofotos referente ao período de 2007 (GSD de 8,9 cm) e 2013 (GSD de 8,0 cm), na escala 1:2.000, apresentada em composição colorida (RGB). Devido a qualidade destes produtos cartográficos, no aspecto da resolução espacial e escala, foi possível identificar uma variação maior de feições geográficas e classificados em: Edificações, Escadaria, Solo exposto, Obras de contenção, Vegetação, Vias pavimentadas, Vias não pavimentadas e Corpos d'água (Tab. 38).

Tabela 38: Uso e cobertura do solo nos setores de risco (2007 e 2013).

Classes de usos do solo	2007		2013	
	Área (m ²)	(%)	Área (m ²)	(%)
Edificações	529.645,07	39,33	634.139,86	47,09
Escadaria	2.040,83	0,15	2.757,22	0,20
Solo exposto	281.894,01	20,93	248.254,76	18,43
Obras de contenção	473,86	0,04	1.864,91	0,14
Vegetação	307.103,78	22,80	221.698,82	16,46
Vias pavimentadas	144.383,98	10,72	171.039,37	12,70
Vias não pavimentadas	81.002,10	6,01	66.598,30	4,95
Corpos d'água	188,59	0,01	378,98	0,03
Total	1.346.732,21	100,00	1.346.732,21	100,00

A caracterização da análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no período de 2007 (Fig. 46) e 2013 (Fig. 47), obteve:

- ❖ Cobertura vegetal corresponde às áreas com vegetação arbórea e rasteira, sendo mais frequentes na porção central, áreas próximas à BR-101 e localizadas em regiões com declividades variadas, sofreu uma redução de 85.404,96 m², equivalente a 27,81% da cobertura vegetal inicial e uma redução de 6,34% da área total de estudo, motivada pela expansão das ocupações urbanas;
- ❖ Solo exposto, corresponde às áreas desprovidas de cobertura vegetal, tendo exposição direta do solo às intempéries, atuando como

principal agente para processos erosivos, sendo mais frequentes principalmente entre aglomerados subnormais urbanos, sofreu uma diminuição de 33.639,25 m², correspondendo a 11,93% do solo exposto inicial e 2,50% da superfície total;

- ❖ Áreas edificadas, correspondem às áreas urbanas edificadas de uso comercial ou residencial, com áreas com características de aglomerados subnormais, sendo responsável direta na transformação da paisagem e aumento das unidades habitacionais expostas aos setores de riscos, teve um aumento de 104.494,80 m² (19,73%) das áreas edificadas do período inicial, passando a ocupar quase metade da superfície com 47,09% dos setores de risco em 2013;
- ❖ Escadaria, classe temática definida pelas vias de acesso para pedestres, estruturas que possibilitam o acesso às áreas edificadas localizadas em encostas com declividades variadas, tendo um aumento de cerca de 716,39 m², com cerca de 35,10% das escadarias do período de 2007, contribuindo com 0,20% das ocupações da área total de estudo;
- ❖ Obras de contenção, definidas pelas estruturas de engenharia de contenção do risco a escorregamentos, sofreram um aumento significativo, de quase 300% das obras de contenção identificadas em 2007, tendo um aumento de 1.391,05 m² (293,55%) da classe inicial e 0,10% da área total, fato que comprova a periculosidade da região aos problemas de movimentação de massa;
- ❖ Sistema viário, definido pelas feições geográficas constituídas por estruturas de asfaltos, concretos ou paralelepípedo (sistema viário pavimentado) e feições onde existem ausência de estruturas que permitam um tráfego confortável (sistema viário não pavimentado), o primeiro teve um aumento de 26.655,39 m² (18,46%) do sistema viário em 2007, devido ao investimento por parte do poder público em projetos de pavimentação e abertura de novas vias; o segundo obteve um aumento 14.403,80 m² (17,78%) do sistema viário não pavimentado no período de 2007;

- ❖ Corpos d'água, definidos pelas superfícies hídricas correspondentes aos rios, córregos ou lagos, tendo o corpo hídrico do Rio do Óleo como elemento gráfico mapeado com aumento de 190,39 m², equivalente a mais que o dobro da classe inicial e passando a ocupar 0,03% dos setores de risco em 2013, sendo caracterizadas pela expansão das áreas edificadas e redução da cobertura vegetal ciliar no entorno do corpo hídrico.

Figura 46: Uso e cobertura do solo (2007).

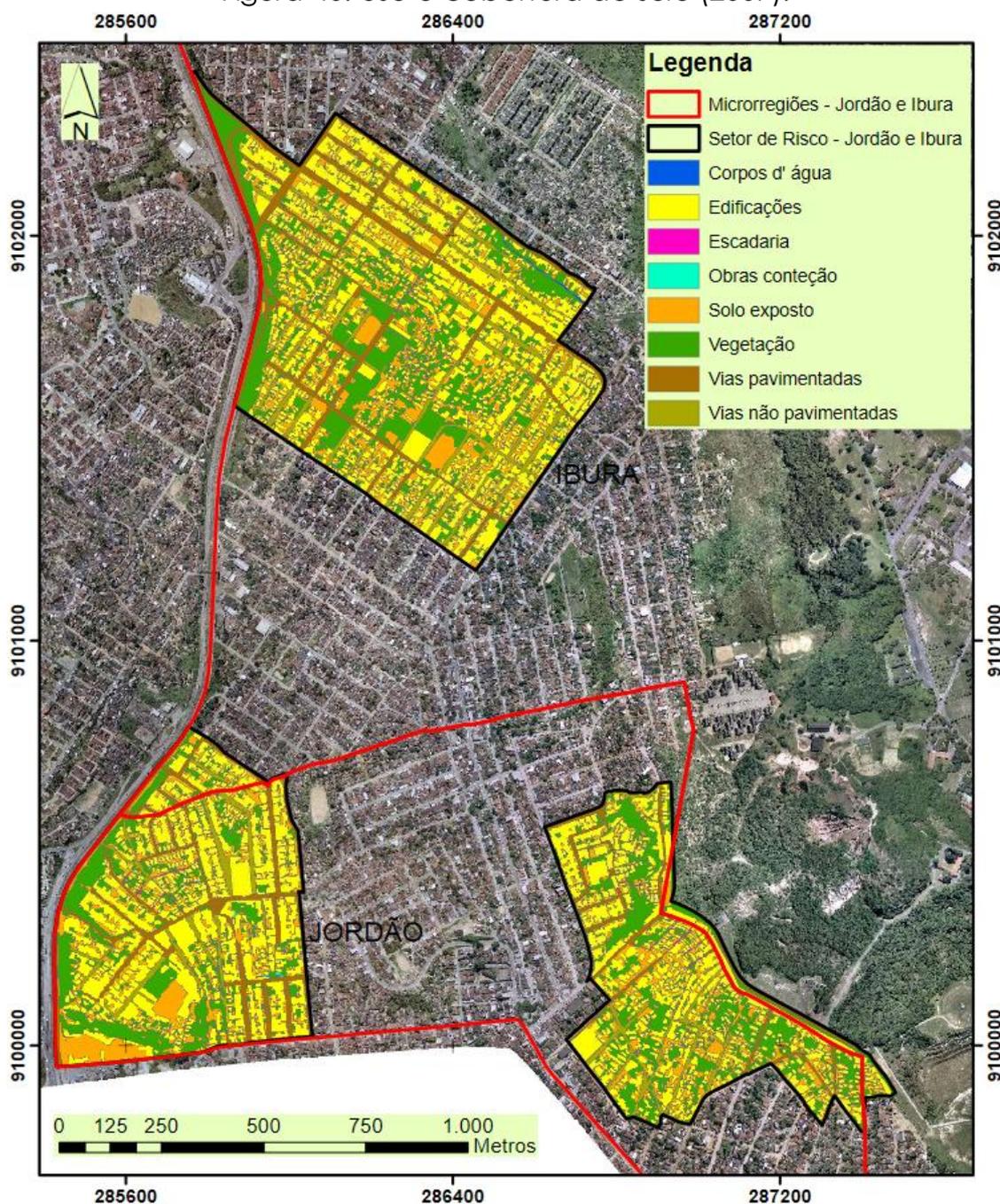
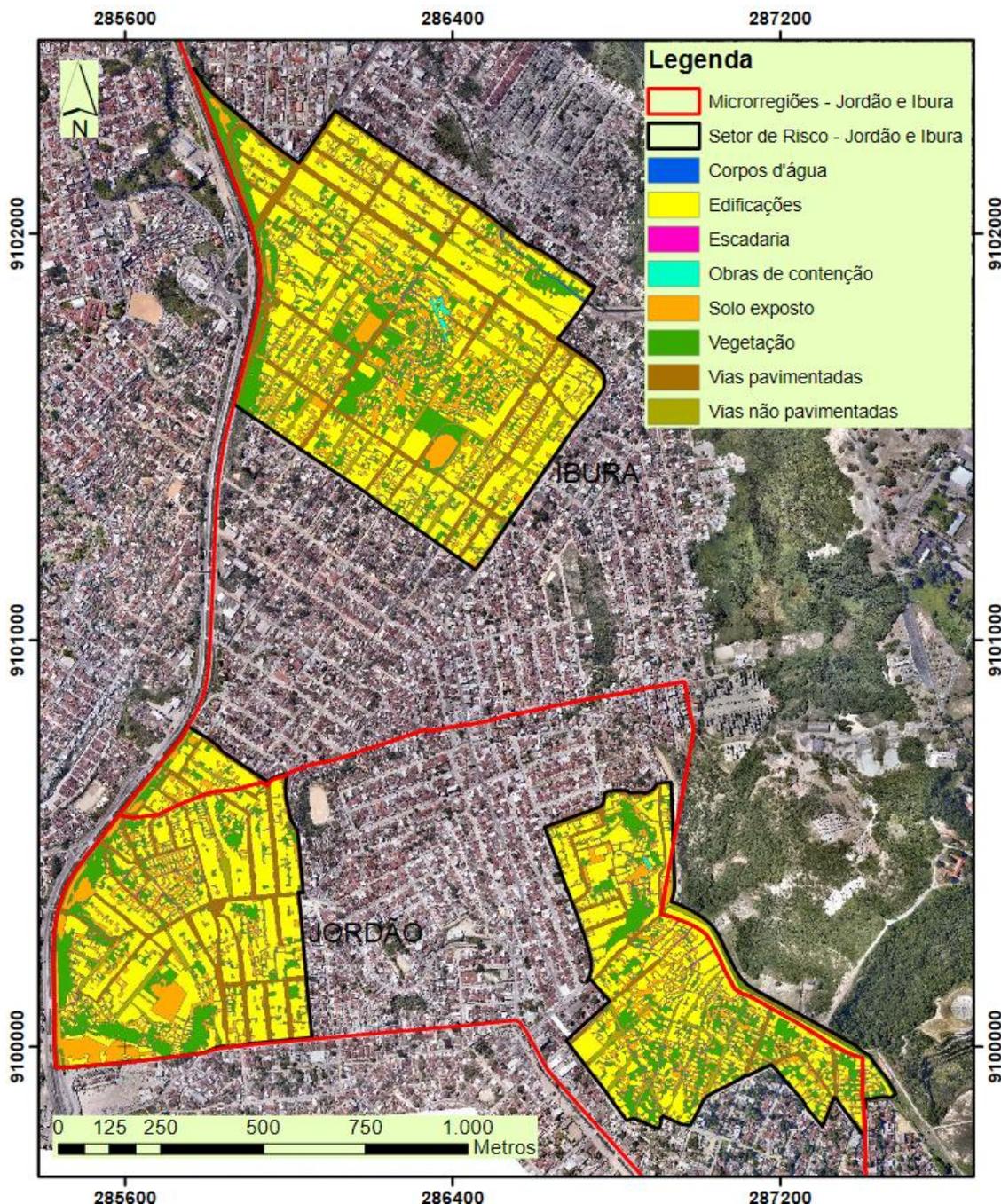


Figura 47: Uso e cobertura do solo (2013).



Agrupando as classes das áreas edificadas, escadaria, obras de contenção e sistema viário (pavimentado e não pavimentado) na classe área urbana e comparando com a mudança espaço temporal vinculado ao solo exposto e cobertura vegetal, tem-se a quantificação da evolução das áreas de expansão urbana no período de 2007 e 2013, através de técnicas de álgebras de mapas entre os mapeamentos de uso e cobertura do solo (Fig. 48), tendo 65.611,89 m² (4,87%) da área total dos setores de risco

no período de 2007 sendo extintas e 691.933,95 m² (51,38%) se mantiveram ocupadas com áreas urbanas. No período de 2013 surgiram 184.423,73 m² (13,69%) de novas superfícies ocupadas com áreas urbanas nos setores de risco. As áreas urbanas em 2007 ocupavam 56,25% da área e em 2013 apresenta 65,08% de ocupação, tendo um incremento de 8,83% ao longo de 06 anos e um aumento de 15,69% de áreas urbanas, considerando a paisagem inicial, ver gráfico da Figura 49.

Figura 48: Evolução do uso e cobertura do solo (2007 e 2013).

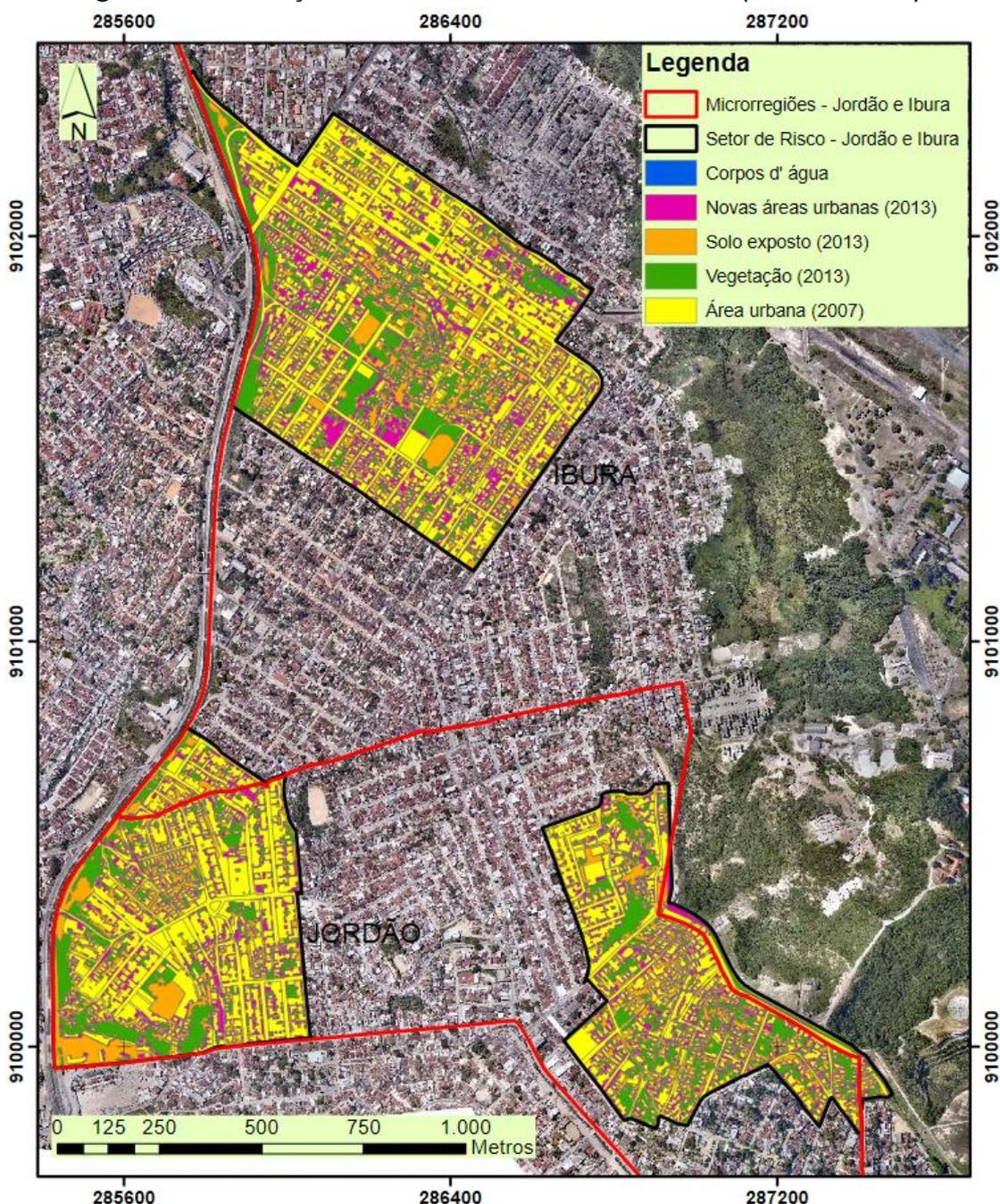
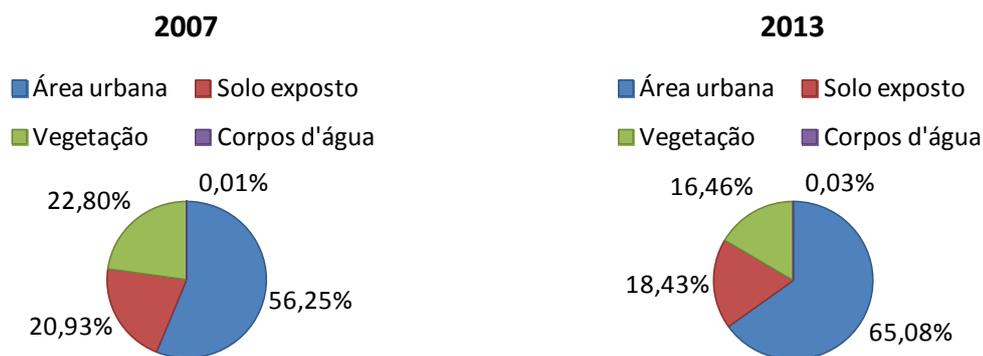


Figura 49: Quantificação do uso e cobertura do solo (2007 e 2013).



Os gráficos da Figura 50 e Tabela 39 apresentam o quantitativo das classes nos setores de risco no período de 2007 e 2013, tendo: (a) área urbana, um acréscimo de 9,41% no setor R1, 8,40% no setor R2, 6,41% no setor R3 e 6,75% no setor R4; (b) solo exposto, uma diminuição de 3,68% no setor R1, uma redução de 2,13% no setor R2, um aumento de 6,18% no setor R3 e uma elevação de 2,62% no setor R4; (c) cobertura vegetal sofreu o maior processo de redução na sua ocupação, tendo uma diminuição de 5,79% no setor R1, 6,28% no setor R2, 12,59% no setor R3 e 9,37% no setor R4. A classe da cobertura vegetal foi a que sofreu as maiores mudanças, totalizando uma alteração de 34,03%, seguida pela classe da área urbana, com um total de 30,97% e por último a classe de solo exposto, com uma alteração de 14,61%.

Figura 50: Quantificação do uso e cobertura do solo nos setores de risco (2007 e 2013).

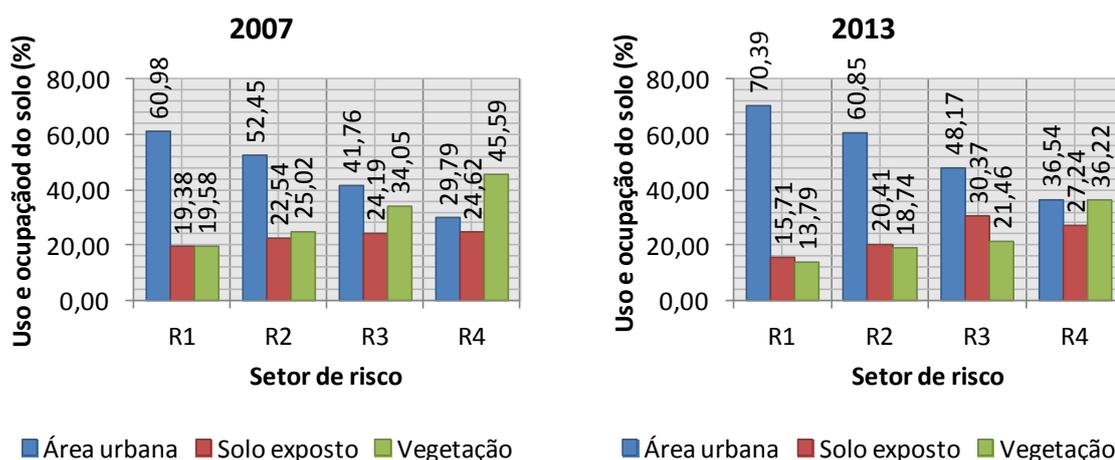
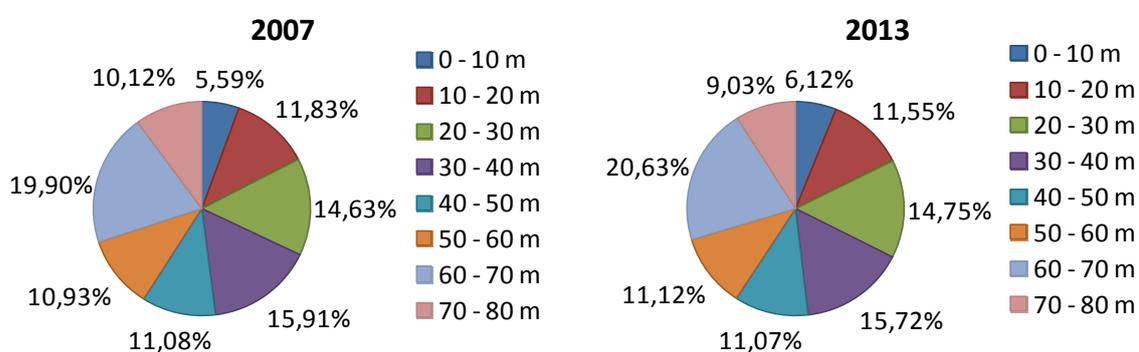


Tabela 39: Uso e cobertura do solo nos Setores de risco (2007 e 2013).

Série Temporal	Setor Risco	Área urbana	Solo exposto	Vegetação
		Área (m ²)	Área (m ²)	Área (m ²)
2007	R1	444.747,59	141.306,83	142.765,10
	R2	280.248,52	120.415,38	133.679,78
	R3	27.066,09	15.676,94	22.070,89
	R4	5.483,64	4.494,87	8.321,13
	Total	757.498,98	281.893,78	306.836,90
2013	R1	513.341,74	114.558,37	100.562,33
	R2	325.169,81	109.038,74	100.135,12
	R3	31.217,92	19.686,55	13.909,45
	R4	6.670,18	4.971,10	6.611,27
	Total	876.399,66	248.254,76	221.218,17

Analisando as áreas de expansão urbana relacionada à altimetria da região em intervalos de 10 metros, observa-se que nos gráficos da Figura 51, tem-se em ambos períodos manutenção dos padrões de ocupações, tendo as áreas urbanas exercendo domínio em encostas de médias e altas altitudes, com as maiores representatividade os intervalos de 60-70m (19,90%), 30-40m (15,91%) e 20-30m (11,83%) para o ano de 2007 e os intervalos de 60-70m (20,63%), 30-40m (15,72%) e 20-30m (11,55%) referentes ao período de 2013.

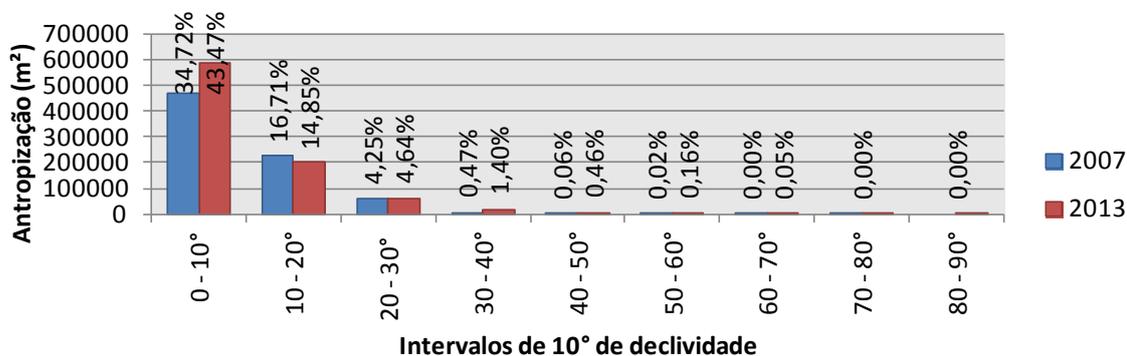
Figura 51: Área urbana por intervalos de 10 m de altimetria (2007 e 2013).



Decompondo as ocupações urbanas em intervalos de declividade, tem-se o maior número das áreas urbanas ocupando as faixas de 0-10°, com uma representatividade elevada também nas faixas de 10-20°, 20-30°, 30-40°, 40-50°, 50-60° e 60-70°. O gráfico da Figura 52 apresenta áreas urbanas em

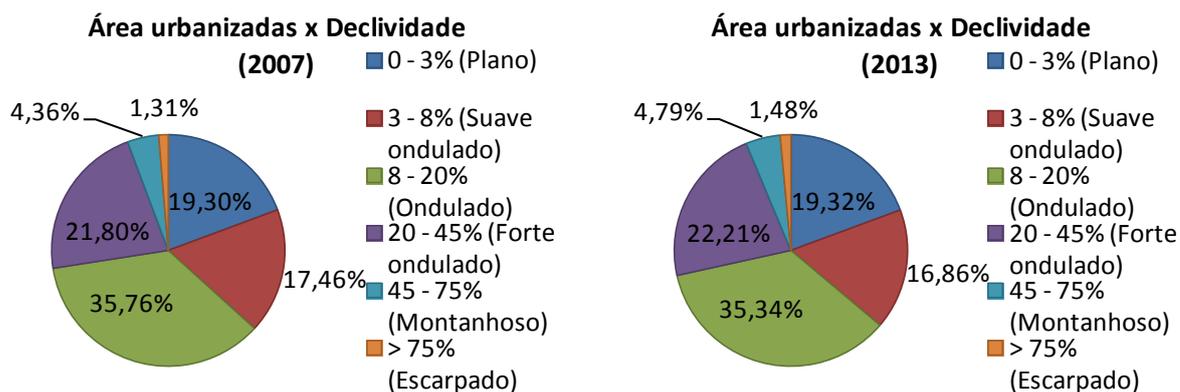
faixas de 10° de níveis de declividade. Verifica-se um processo de aumento no período de 6 anos do quantitativo de áreas urbanas dentro de seguimentos de declividade acentuada.

Figura 52: Área urbana por intervalos de 10° de declividade (2007 e 2013).



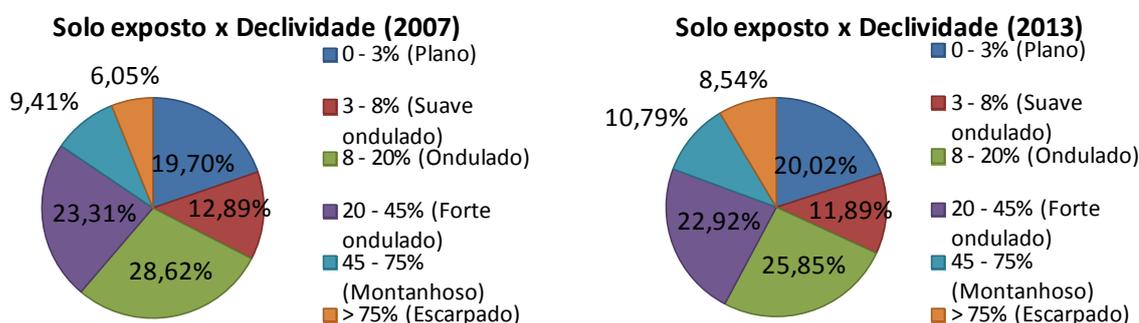
Os gráficos da Figura 53 apresentam as classes de relevo caracterizadas pela declividade, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Embrapa (Tab. 16) associada às áreas urbanizadas (edificadas). Verifica-se que a espacialização do uso e ocupação do solo nos dois períodos manteve-se proporcionais entre as classes de declividade, tendo em 2013 a cadeia de morfologia de maiores expressões o relevo ondulado (35,34%), forte e ondulado (22,21%) seguido por plano (19,32%), devendo tomar cuidados no uso e ocupação do solo destas áreas principalmente pelo aumento das ocupações edificadas em regiões montanhosas (4,79%) e escarpadas (1,48%).

Figura 53: Área urbana por classes de declividade (2007 e 2013).



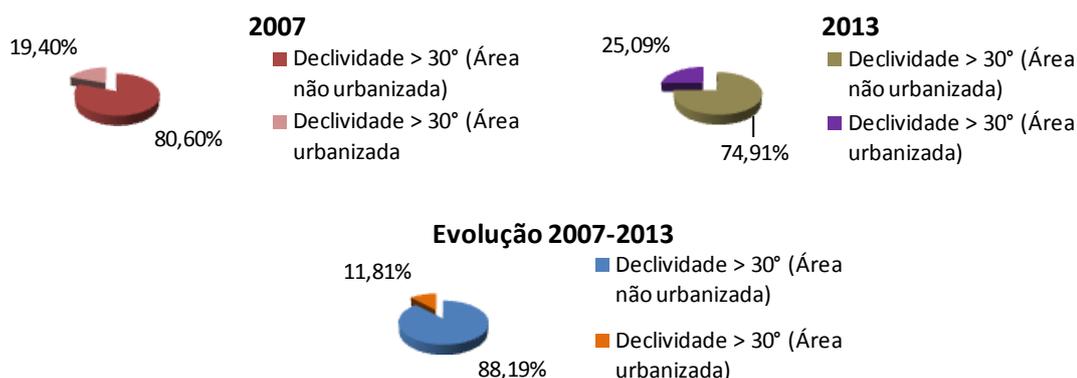
Os gráficos da Figura 54 apresentam o solo exposto caracterizado pelas classes de relevo em função da declividade, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Embrapa (Tab. 16, pg. 76). A espacialização do solo exposto em ambos os períodos se manteve proporcional entre as classes de declividade. Foi verificado que as maiores expansões ocorreram em regiões que precisam de proteção vegetal devido a sua condição de alta suscetibilidade a processos erosivos, tendo elevação nas classes de relevo ondulado (2,80%), escarpado (2,49%) e montanhoso (1,38%).

Figura 54: Solo exposto por classes de declividade (2007 e 2013).



Analisando as áreas urbanizadas a partir do limite de declividade de 30° (~57,5%), para ocupação urbana em regiões tropicais úmidas de relevo mais acidentado, devido à ocorrência natural de deslizamentos, baseado no Código Florestal, têm-se áreas *non aedificandi* invadidas com áreas antropizadas. Os gráficos da Figura 55 apresentam a percentagem das ocupações das áreas urbanizadas relacionada à limitação de 30° de declividade, tendo em 2007, área urbana ocupando uma superfície de 21.652,11 m², correspondendo a 19,40% de áreas acima de 30° de declividade e 1,61% da área total; Área urbana em 2013, havia uma área de 27.992,18 m² (25,09%) em superfícies com declividade superior a 30°, equivalente a 2,08% da área total; A evolução da área urbana no período de 6 anos (2007-2013) sofreu um acréscimo de 13.183,34 m², equivalente a 11,81% desta superfície em regiões com declividade maior que 30°.

Figura 55: Área urbanizada com declividade acima de 30° (2007 e 2013).



A Tabela 40 apresenta a quantificação da expansão da dinâmica urbana relacionada com os compartimentos e subcompartimentos geológicos, tendo como destaque as novas áreas urbanas em 2013, associada ao zoneamento geomorfológico: (a) novas áreas urbanas em 2013, com acréscimo de 110.599,21 m² (8,66%) em com formas de relevos de planaltos, 12.331,60 m² (7,55%) em unidade de relevo de topo de encosta e 101.557,23 m² (8,95%) em unidade de relevo de encosta, e 142.570,87 m² (8,94%) em solos com alta concentração de argila.

Tabela 40: Área urbana relacionada com zoneamento geomorfológico.

Compartimentos e subcompartimentos geomorfológico		2007		2013	
		(m ²)	(%)	(m ²)	(%)
Relevo	Planícies	44.776,25	64,59	53.077,72	76,57
	Planaltos	712.722,73	55,79	823.321,94	64,45
Unidades de Relevo	Topo de encosta	100.064,40	61,25	112.396,00	68,80
	Encosta	625.538,47	55,11	727.095,70	64,06
	Planície	31.896,11	65,91	36.907,96	76,26
Unidade Geológica	Neossolo Flúvico (Aluviões e Terras Úmidas)	163.355,59	64,04	184.685,40	72,40
	Podzólico Vermelho-Amarelo (Formação Barreiras)	594.143,39	54,42	691.714,26	63,36

Através da cobertura aerofotogramétrica foi possível também identificar e quantificar as edificações contidas nos diversos setores de risco no período de 2007 e 2013 (Tab. 41). No período de 6 anos, tem-se o aumento das unidades edificadas nos quatro setores de risco: setor R1,

elevação de 249 unidades, equivalente a 9,29%; setor R2, acréscimo de 200 edificações, correspondendo a 9,74%; setor R3, aumento de 18 unidades, correspondendo a 6,33%; setor R4, elevação de 14 edificações, equivalente a 20,58%, índice que aponta o agravamento da exposição da população da região em áreas com alta suscetibilidade as movimentações de massa.

Tabela 41: Quantificação de edificações nos setores de risco (2007 e 2013).

Setor de Risco	Período			
	2007	%	2013	%
R1	2679	52,71	2928	52,62
R2	2052	40,37	2252	40,47
R3	284	5,59	302	5,43
R4	68	1,34	82	1,47
Total	5083	100,00	5564	100,00

6.1.3. Cenário: 1975 e 2013

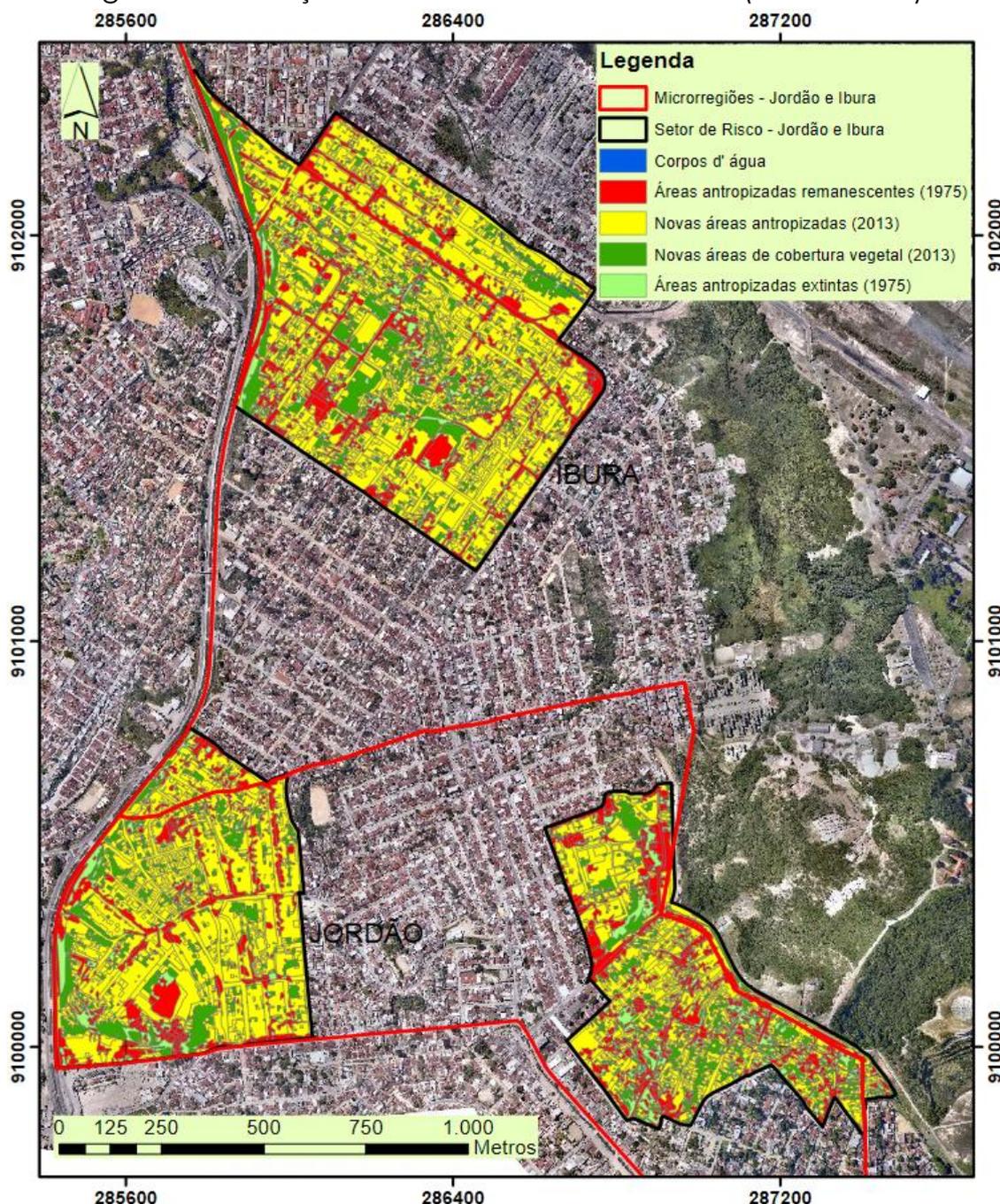
Para analisar os efeitos das mudanças no cenário urbano, considerando o período de tempo inicial (1975) e final (2013), tendo como elemento transformador o processo da antropização da área de estudo, foram igualadas as classes temáticas ao período de 1975, classificando em áreas antropizadas e cobertura vegetal (Tab. 42). A evolução na dinâmica da antropização nos setores de risco no período de 1975 a 2013, apontou que áreas antropizadas em 1975 ocupava 28,24% da área e em 2013 apresenta 83,51% de ocupação, tendo um incremento de 55,27% ao longo de 38 anos e um aumento de cerca de 295,67% de áreas antropizadas comparando com a paisagem inicial.

Tabela 42: Uso e cobertura do solo (1975 e 2013).

Classes de usos do solo	1975		2013	
	Área (m ²)	(%)	Área (m ²)	(%)
Áreas antropizadas	380.366,16	28,24	1.124.654,41	83,51
Cobertura vegetal	965.409,19	71,69	221.698,82	16,46
Corpos d' água	956,86	0,07	378,98	0,03
Total	1.346.732,21	100,00	1.346.732,21	100,00

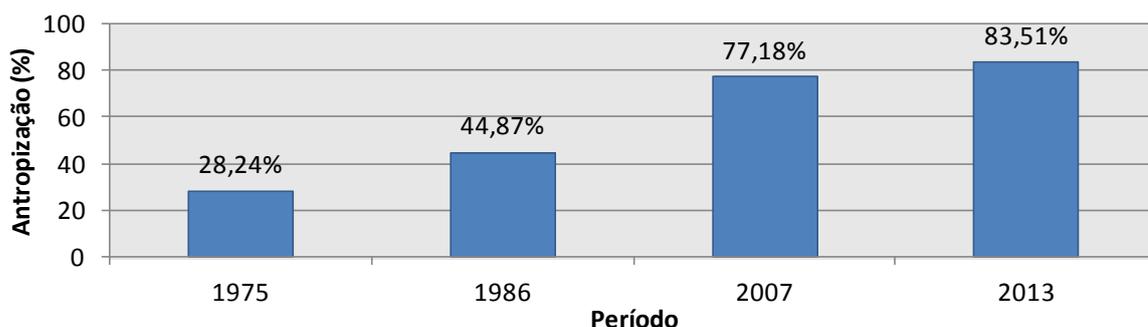
A Figura 56 apresenta a evolução entre os mapeamentos de uso e cobertura do solo de 1975 e 2013. Obteve-se a evolução das áreas antropizadas, tendo 61.318,38 m², equivalente a 4,55% da área total dos setores de risco no período de 1975 sendo extintas, alterando para cobertura vegetal em 2013 e 319.047,78 m², correspondendo a 23,69% se mantiveram ocupadas com áreas antropizadas. No período de 2013 surgiram 805.479,63 m² (59,81%) de novas superfícies antropizadas nos setores de risco.

Figura 56: Evolução do uso e cobertura do solo (1975 e 2013).



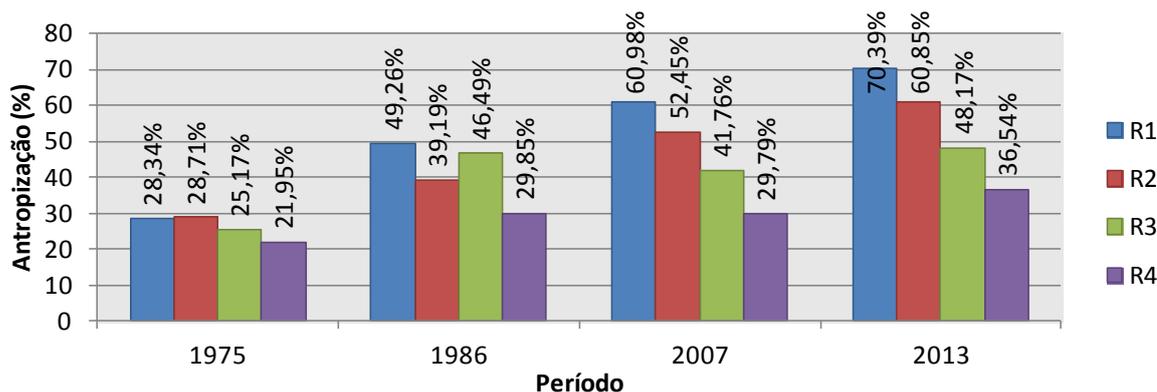
- ❖ Expansão da antropização: o gráfico da Figura 57 demonstra o percentual das áreas derivadas do processo da antropização nos períodos de 1975, 1986, 2007 e 2013, agrupando as classes edificações, escadaria, solo exposto, obras de contenção, sistema viário, com exceção das classes corpos d'água e cobertura vegetal, tendo em 11 anos (1975-1986) uma elevação de 16,63%, em 21 anos (1986-2007) um aumento de 32,31% e em 6 anos um acréscimo de 6,33%.

Figura 57: Evolução da antropização (1975, 1986, 2007 e 2013).



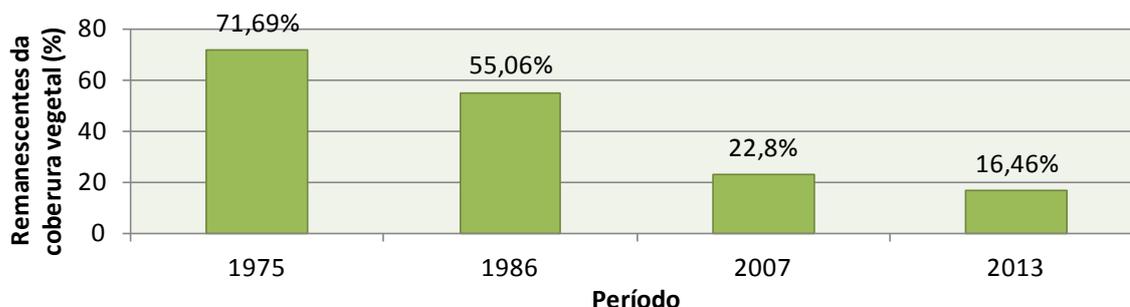
O gráfico da Figura 58 apresenta o percentual da antropização por setor de risco, tendo aumento nos 4 setores ao longo de 38 anos: (a) setor R1, aumento de 42,05%; (b) setor R2, elevação de 32,14%; (c) setor R3, acréscimo de 23,00%; (d) setor R4, aumento de 14,60%. O reflexo do processo da expansão das áreas antropizadas sem o devido ordenamento territorial é o aumento da população atingida aos riscos das ocupações em áreas sujeitas a suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 58: Evolução da antropização por setor de risco (1975, 1986, 2007 e 2013).



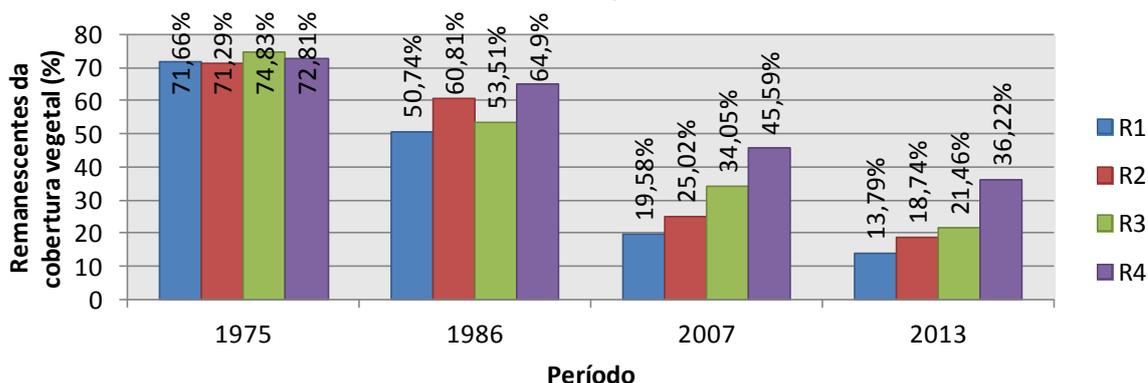
- ❖ Cobertura vegetal remanescente: o gráfico da Figura 59 apresenta a cobertura vegetal remanescente, tendo uma redução significativa da cobertura vegetal, em quase 4 décadas com uma diminuição de 55,23% da cobertura vegetal original. Mantendo esse ritmo de mudanças, em poucos anos a quantidade da cobertura vegetal remanescente poderá ser muito reduzida na área de estudo.

Figura 59: Remanescentes da cobertura vegetal (1975, 1986, 2007 e 2013).



Considerando a cobertura vegetal remanescente por setor de risco, ocorreram diminuições nos 4 setores, ver o gráfico da Figura 60: (a) setor R1, redução de 57,87%; (b) setor R2, diminuição de 52,55%; (c) setor R3, redução de 53,37%; (d) setor R4, uma eliminação de 36,59%, sendo a cobertura vegetal feição que contribui como proteção do solo contra a erosão e, por conseguinte, atuando como um dos elementos de impedimento da suscetibilidade de movimentação de massa, mantendo esse padrão de redução, ocorrerá a proliferação acelerada e adensamento das áreas de risco.

Figura 60: Remanescentes da vegetação por setor de risco (1975, 1986, 2007 e 2013).



6.2. Modelagem multicritério

Para estabelecer os pesos hierárquicos das variáveis ambientais que foram empregadas na modelagem multicritério para suscetibilidade as movimentações de massa para a série multitemporal de 2007 e 2013, foi preciso utilizar a matriz de normalização (Tab. 43).

Tabela 43: Matriz de normalização.

Critérios	R	UR	UG	PV	CE	PE	D	US	Peso(W_i)
R	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02
UR	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02
UG	0,09	0,09	0,03	0,04	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04
PV	0,09	0,09	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05
CE	0,15	0,15	0,17	0,11	0,05	0,08	0,04	0,04	0,10
PE	0,15	0,15	0,17	0,19	0,05	0,08	0,27	0,04	0,14
D	0,21	0,21	0,24	0,26	0,37	0,08	0,27	0,38	0,25
US	0,26	0,26	0,31	0,34	0,48	0,70	0,27	0,38	0,38

Para avaliar a consistência na obtenção dos pesos foi necessário definir a razão de consistência (RC), que deverá apresentar um valor inferior a 0,10 ou 10%, utilizando as equações (3), (4) e (5), onde primeiramente foi necessário calcular a matriz $[AW]_i$ (Tab. 44).

Tabela 44: Matriz $[AW]_i$

0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02	0,2021
0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02	0,2021
0,09	0,09	0,03	0,04	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04	0,3565
0,09	0,09	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05	0,3697
0,15	0,15	0,17	0,11	0,05	0,08	0,04	0,04	0,10	0,9083
0,15	0,15	0,17	0,19	0,05	0,08	0,27	0,04	0,14	1,2142
0,21	0,21	0,24	0,26	0,37	0,08	0,27	0,38	0,25	2,4160
0,26	0,26	0,31	0,34	0,48	0,70	0,27	0,38	0,38	3,9859

Posteriormente foi calculado o autovetor (φ_{max}), definido pela equação (5), onde foi obtido o valor de 8,94, em seguida foi determinado o índice de consistência (IC) pela equação (4), onde foi calculado o valor de 0,13, finalmente determinado a razão de consistência (RC) aplicando a equação (3), calculando o valor de 0,095, sendo esse menor que 0,10, a determinação dos pesos pode ser considerada consistente.

6.2.1. Mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa

No mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, foi utilizado o modelo matemático (6) com os pesos (W_i) calculados pela modelagem multicritério, empregando técnicas de álgebra de mapas para determinar a quantificação da suscetibilidade a movimentos de massa referente aos dados multitemporais de 2007 (Fig. 61) e 2013 (Fig. 62), sendo caracterizadas nas classes: Baixa, Média e Alta Suscetibilidade a movimentos de massa de acordo com as características da Tabela 45, na escala 1:12.000 em formato raster de 20.577 linhas por 26.198 colunas com resolução de pixel de 10 cm.

$$\text{Suscetibilidade a movimentos de massa} = 0,02*R + 0,02*UR + 0,04*UG + 0,05*PV + 0,10*CE + 0,14*PE + 0,25*D + 0,38*US \quad (6)$$

Tabela 45: Características para classificação de movimentos de massa.

Grau de Suscetibilidade*		Características
3	Alto	Predomínio de declividade altas (>27%), encostas com perfil côncavo, áreas com uso e ocupação do solo edificadas ou solo exposto, próximas da rede de drenagem de escoamento pluviométrico (<10 m), com unidade de relevo de encostas e topo de encostas, solos Podzólico Vermelho-Amarelo (Formação Barreiras) com teor substancial de argila (limitador da drenagem natural), com formas de relevo de Planaltos caracterizados por formações morfológicas forte e ondulado, situadas próximas a sistemas viários (<10 m).
2	Médio	Declividade com variação de 11 a 27%, encostas com perfil convexa, áreas com uso e ocupação do solo de sistemas viário, com proximidade mediana da rede de drenagem de escoamento pluviométrico (entre 10 e 25 m), solos Neossolo Flúvico (Aluviões e Terras úmidas) com proporção menor de argila, com médio afastamento de sistemas viários (entre 10 e 50 m), forma de relevo ondulado.
1	Baixo	Declividade baixa (<11%), encostas com perfil retilíneo, uso e ocupação do solo de corpos d'água ou cobertura vegetal, afastadas da rede de drenagem de escoamento pluviométrico (>50 m), com unidade de relevo de Planícies, com formas de relevo plano e suave ondulado, afastadas de sistemas viários (> 50 m).

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 61: Suscetibilidade a movimentos de massa (2007).

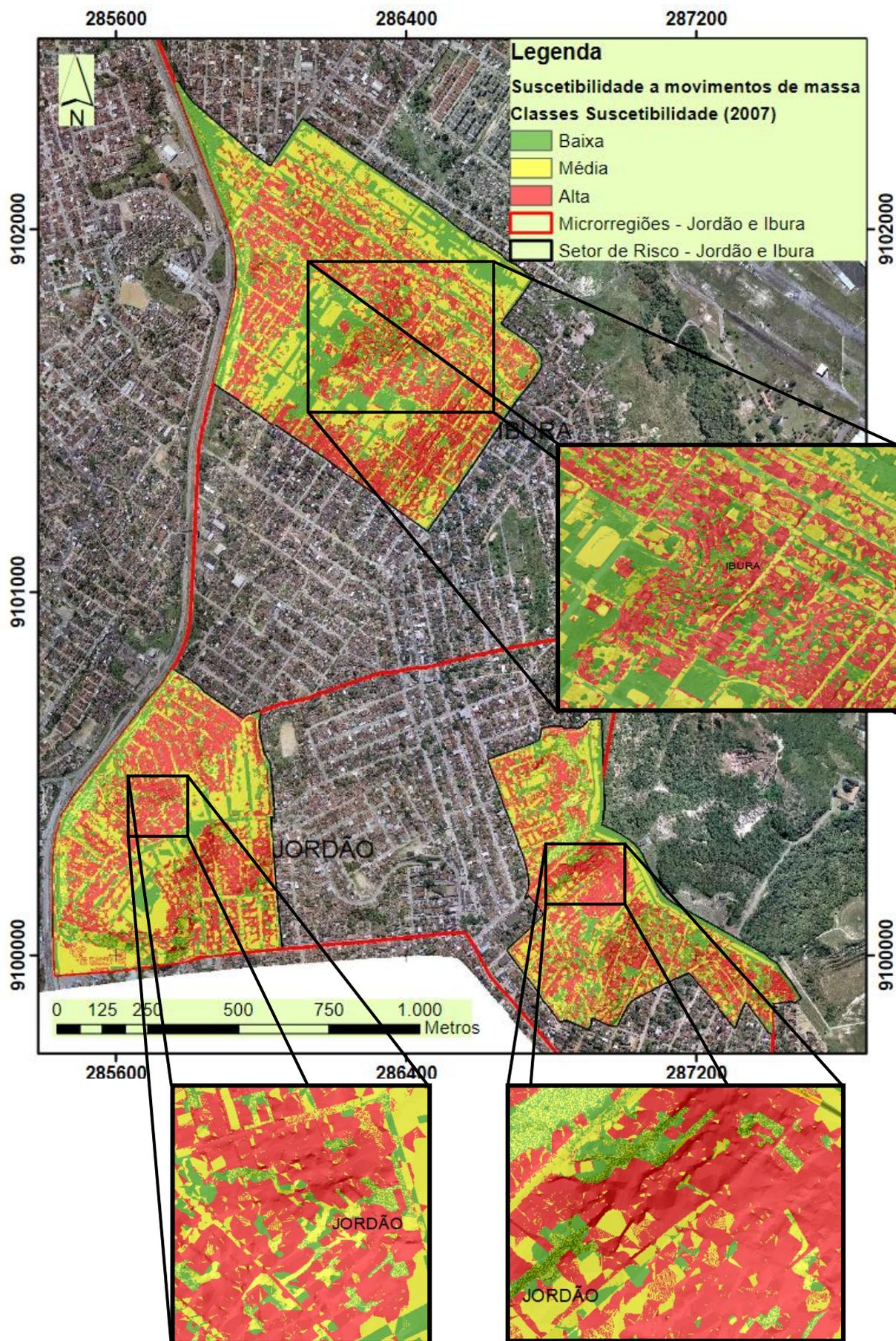
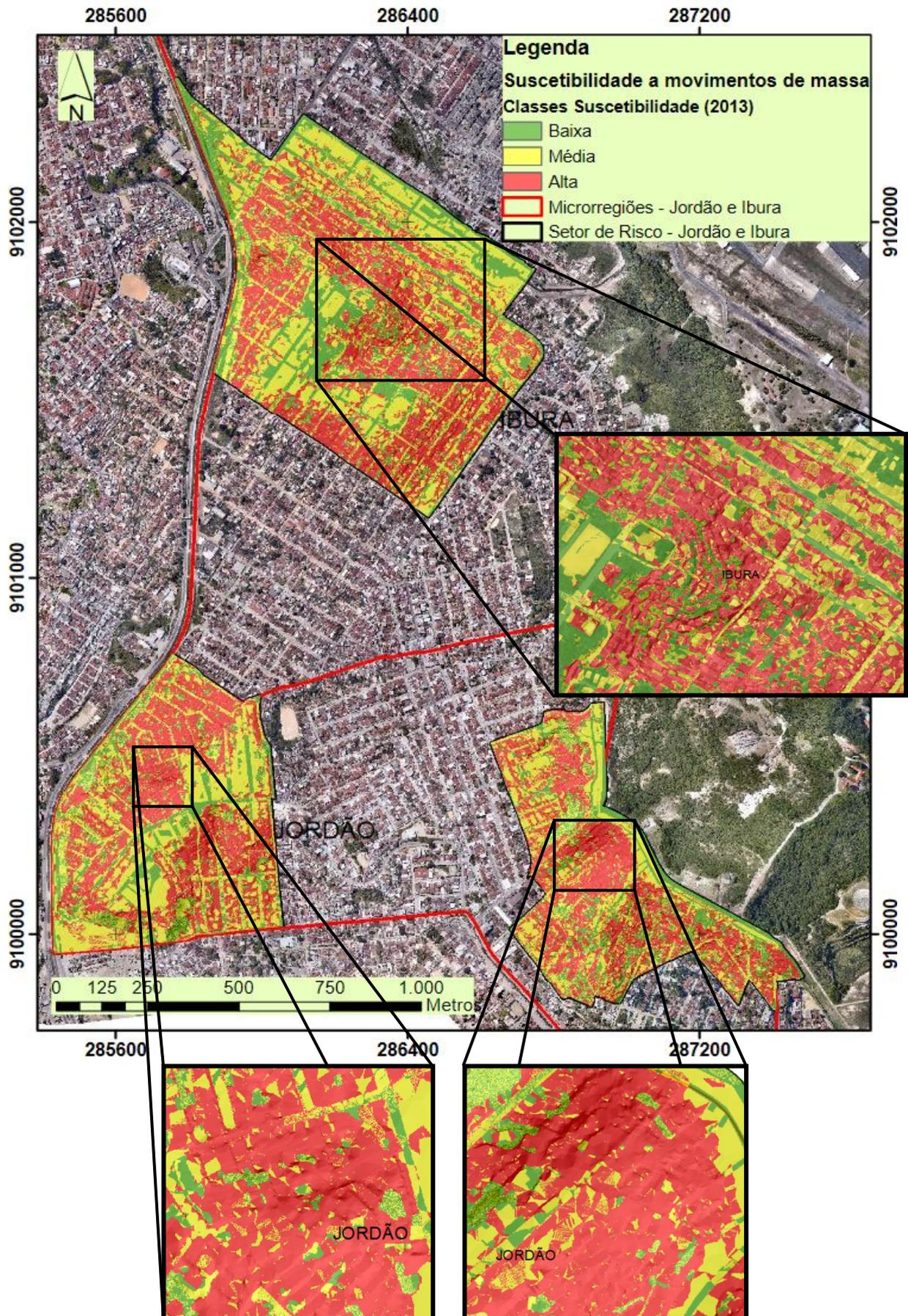
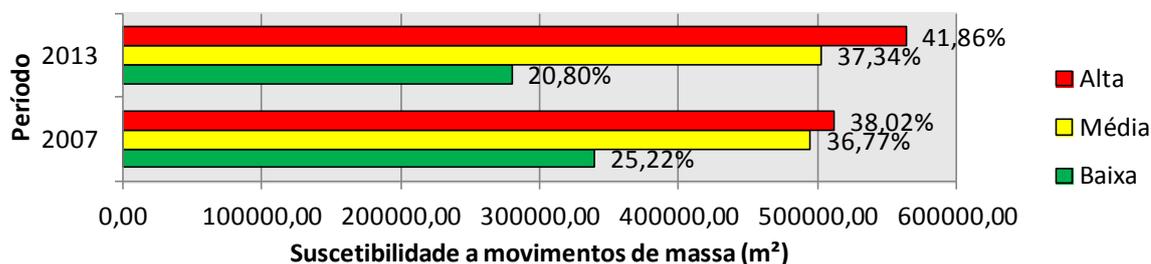


Figura 62: Suscetibilidade a movimentos de massa (2013).



O gráfico da Figura 63 apresenta os percentuais das mudanças espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa transcorridos 6 anos da dinâmica urbana nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura, tem-se que em 2007 a área de estudo, apresentava 25,22% de áreas com baixa suscetibilidade, 36,77% com áreas de média suscetibilidade e 38,02% de regiões com alta suscetibilidade. No período de 2013 as áreas com baixa suscetibilidade sofreram uma redução de 4,42%, um pequeno acréscimo de 0,57% para áreas com média suscetibilidade e um aumento de 3,84% para regiões com alta suscetibilidade.

Figura 63: Quantificação da suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013).



As áreas com suscetibilidade baixas sofreram a maior alteração de cenário, tendo uma redução de 4,42% na evolução da dinâmica urbana, principalmente, motivada pelo aumento da expansão urbana em regiões com alta suscetibilidade a movimentos de massa, devido estas expansões ocorrerem nos fatores de eclosão de processos a movimentos de massa. Essas áreas estão localizadas em sua maioria na periferia dos setores de risco.

As áreas de suscetibilidade média se mantiveram proporcionais, tendo um pequeno aumento de 0,57%, estando distribuídas nas regiões com níveis de declividade variando entre 11 a 27%, em solos do tipo Neossolo Flúvico, com distância média da rede de escoamento pluviométrico e viário, alocadas em encostas com formas convexo e formas de relevo ondulado, localizadas em sua maior extensão na região norte do setor de risco de Ibura e região central e sudoeste do setor de risco às margens da BR-101.

A suscetibilidade alta abrange, principalmente, os valores das variáveis de uso e ocupação do solo, declividade, distâncias para a rede de

escoamento pluviométrico e encostas, devido estas apresentarem maiores pesos na probabilidade de movimentos de massa. Assim, verifica-se que as áreas com alta suscetibilidade localizam-se em regiões com uso e ocupação de solo edificado e solo exposto devido às constantes alterações na paisagem e retirada da proteção natural da vegetação, em regiões com declividade acima de 27%, próximas à rede de escoamento pluviométrico e com encostas côncavas que propiciam a concentração do escoamento hídrico superficial causando excessivo desgaste superficial do solo.

6.3. Correlação da suscetibilidade a movimentos de massa com o quantitativo de ocorrências de deslizamentos (2013)

A Tabela 46 apresenta o quantitativo de ocorrências de deslizamentos registrado no período de 2013 pela Defesa Civil do Recife-PE, inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura.

Tabela 46: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).

Setor de risco	Quantitativo	%
R1	559	53,85
R2	172	16,57
R3	303	29,19
R4	4	0,38
Total	1038	100,00

Considerando os setores de risco inseridos nestas mesmas microrregiões, tem-se: (a) R1, 435 registros, equivalente a 77,81%; (b) R2, 128 registros, correspondendo a 74,41%; (c) R3, 204 ocorrências, equivalente a 67,32%; (d) R4, com 4 registros, correspondendo a 100% das ocorrências, ver o gráfico da Figura 64 e Figura 65. Essas ocorrências estão distribuídas em sua maioria ao longo dos sistemas viários, principalmente na região central dos setores de risco, tendo no total 771 ocorrências (R1, R2, R3 e R4), equivalente a 74,27% dos registros de deslizamentos das microrregiões de Jordão e Ibura, evidenciando a alta suscetibilidade de movimentos de massa na área de estudo.

Figura 64: Quantificação das ocorrências de deslizamentos nos setores de risco, inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).

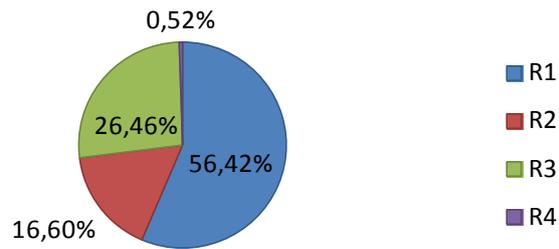
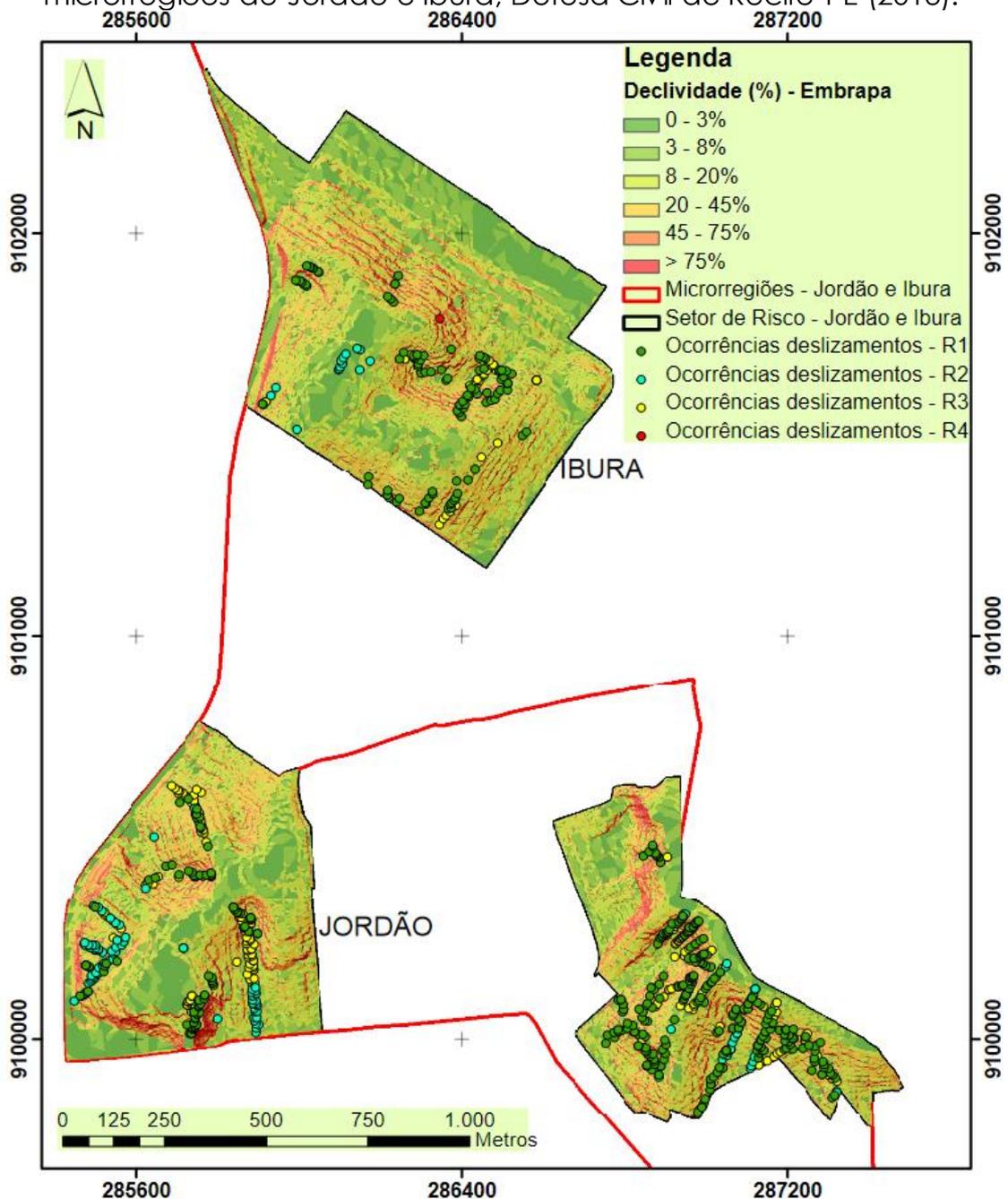


Figura 65: Ocorrências de deslizamentos nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura, Defesa Civil de Recife-PE (2013).



- ❖ Unidade de relevo: vinculando o quantitativo de ocorrências de deslizamentos com as unidades de relevo (Tab. 47), pode-se observar que a maioria das tipologias das ocorrências aconteceram nas classes das encostas (97,80%) e no topo de encosta (2,20%). Analisando os riscos R3 e R4, pode-se observar alta concentração nas classes de encosta com 99,51% e 100%, respectivamente;

Tabela 47: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos de acordo com a unidade de relevo (2013).

Unidade de relevo	R1	R2	R3	R4	Total
Planície	0	0	0	0	0
Encosta	431	116	203	4	754
Topo de encosta	4	12	1	0	17
Total	435	128	204	4	771

- ❖ Unidade geológica: realizando a correlação do quantitativo das ocorrências de deslizamentos com os tipos de solos (Tab. 48), verifica-se que em sua maior parte ocorreu nos solos com alta concentração de argila distribuídos pelo solo Podzólico Vermelho-Amarelo (95,85%) e uma pequena parcela no Neossolo Flúvico (4,15%). Analisando os riscos R3 e R4, pode-se observar alta concentração nas classes de solo Podzólico Vermelho-Amarelo com 94,11% e 100%, respectivamente;

Tabela 48: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos de acordo com a unidade geológica (2013).

Unidade geológica	R1	R2	R3	R4	Total
Neossolo Flúvico (Aluviões e Terras Úmidas)	18	2	11	0	31
Podzólico Vermelho-Amarelo (Formação Barreiras)	417	126	192	4	740
Total	435	128	204	4	771

- ❖ Relevo: correlacionando o número de ocorrências de deslizamentos com as formas de relevo, verificou-se uma distribuição espacial na morfologia de Planalto correspondendo a 100% (Tab. 49);

Tabela 49: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos por Relevo (2013).

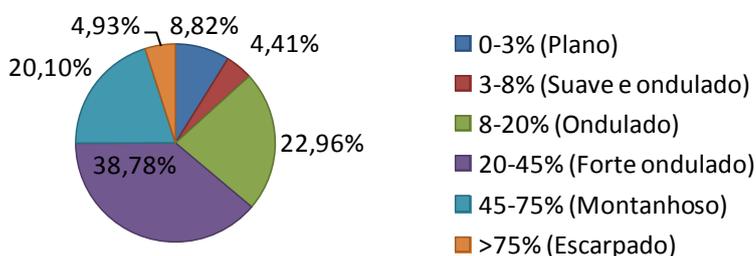
Relevo	R1	R2	R3	R4	Total
Planícies	0	0	0	0	0
Planaltos	435	128	204	4	771
Total	435	128	204	4	771

- ❖ Declividade: correlacionando com o quantitativo de ocorrências de deslizamentos com níveis de declividade (Tab. 50 e Fig.66), pode-se verificar que nos intervalos de declividade com 8-20%, 20-45% e 45-75%, ocorrem as maiores ocorrências de deslizamentos com 177 (22,96%), 299 (38,78%) e 155 (20,10%) respectivamente, merecendo cuidados com relação aos registros de ocorrências nas regiões com inclinação maior que 75%, tendo 4,93%. Com relação à tipologia dos riscos associados às ocorrências de deslizamentos, tem-se a classe de 8-20% com 59 (28,92%) registros do tipo R3, a classe de 20-45% com 74 (36,27%) e 2 (50%) dos registros para os tipos R3 e R4, respectivamente, a classe 45-75% com 39 (19,11%) dos registros do tipo R3 e a classe com inclinação maior que 75% com 2 (50%) dos registros para o tipo R4;

Tabela 50: Ocorrências de deslizamentos por classes de declividades (2013).

Classes de declividade	Área		Pontos de Risco				
	m ²	%	R1	R2	R3	R4	Total
0 - 3% (Plano)	252.452,57	18,75	28	22	18	0	68
3 - 8% (Suave ondulado)	191.685,03	14,23	5	17	12	0	34
8 - 20% (Ondulado)	423.508,63	31,45	74	44	59	0	177
20 - 45% (Forte ondulado)	308.937,65	22,94	199	24	74	2	299
45 - 75% (Montanhoso)	105.360,62	7,82	98	18	39	0	155
> 75% (Escarpado)	64.787,71	4,81	31	3	2	2	38
Total	1.346.732,21	100,00	435	128	204	4	771

Figura 66: Quantificação das ocorrências de deslizamentos por declividades (2013).



- ❖ Proximidade de vias: verificou-se que o número de ocorrências reduz à medida que se afasta do sistema viário, sendo diretamente proporcional à proximidade do sistema viário (Tab. 51), tendo afastamento de até 10 m (63,42%), até 25 m (17,50%), até 50 m (14,39%) e maior que 50 m (4,53%);

Tabela 51: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos relacionado as proximidades de sistemas viários (2013).

Proximidade de vias	R1	R2	R3	R4	Total
<i>Buffer 5 m</i>	195	108	121	1	425
<i>Buffer 10 m</i>	43	5	16	1	65
<i>Buffer 25 m</i>	96	11	27	1	135
<i>Buffer 50 m</i>	79	4	27	1	111
<i>Buffer > 50 m</i>	22	0	13	0	35
Total	435	128	204	4	771

- ❖ Proximidade da rede de escoamento pluviométrico: associando o número de ocorrências com as zonas de influência da rede de drenagem de escoamento pluviométrico (Tab. 52), observou-se que as maiores ocorrências se localizam próximas as zonas de influência da rede de drenagem superficial, tendo nas fronteiras de até 10m (49,29%), até 25 m (29,96%) e zonas maiores que 25 m (20,75%);

Tabela 52: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos por proximidade da rede de escoamento pluviométrico (2013).

Proximidade da rede de escoamento	R1	R2	R3	R4	Total
<i>Buffer 5 m</i>	118	30	84	2	234
<i>Buffer 10 m</i>	89	23	34	0	146
<i>Buffer 25 m</i>	135	43	52	1	231
<i>Buffer > 25m</i>	93	32	34	1	160
Total	435	128	204	4	771

- ❖ Curvatura de encosta: associando o número de ocorrências com vertentes do terreno, vincularam-se os maiores quantitativos relacionados às vertentes côncavo (55,51%), seguida por convexa (35,79%) e retilínea (8,69%) (Tab. 53);

Tabela 53: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos relacionado com as vertentes topográficas (Curvatura de encosta).

Curvatura de encosta	R1	R2	R3	R4	Total
Côncavo	233	76	117	2	428
Convexa	166	45	63	2	276
Retilínea	36	7	24	0	67
Total	435	128	204	4	771

- ❖ Uso e cobertura do solo: as ocorrências de deslizamentos relacionadas com o uso e cobertura do solo, tendo os maiores quantitativos de ocorrências em áreas urbanas (58,10%), solo exposto (30,60%) e cobertura vegetal (11,28%). Analisando os tipos de riscos R3 e R4, ainda permanece este padrão, 60,78% e 75% respectivamente vinculado às áreas urbanas (Tab. 54);

Tabela 54: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos referente ao uso e cobertura do solo (2013).

Uso e cobertura do solo	R1	R2	R3	R4	Total
Áreas edificadas	219	102	124	3	448
Solo exposto	155	17	63	1	236
Cobertura vegetal	61	9	17	0	87
Corpos d'água	0	0	0	0	0
Total	435	128	204	4	771

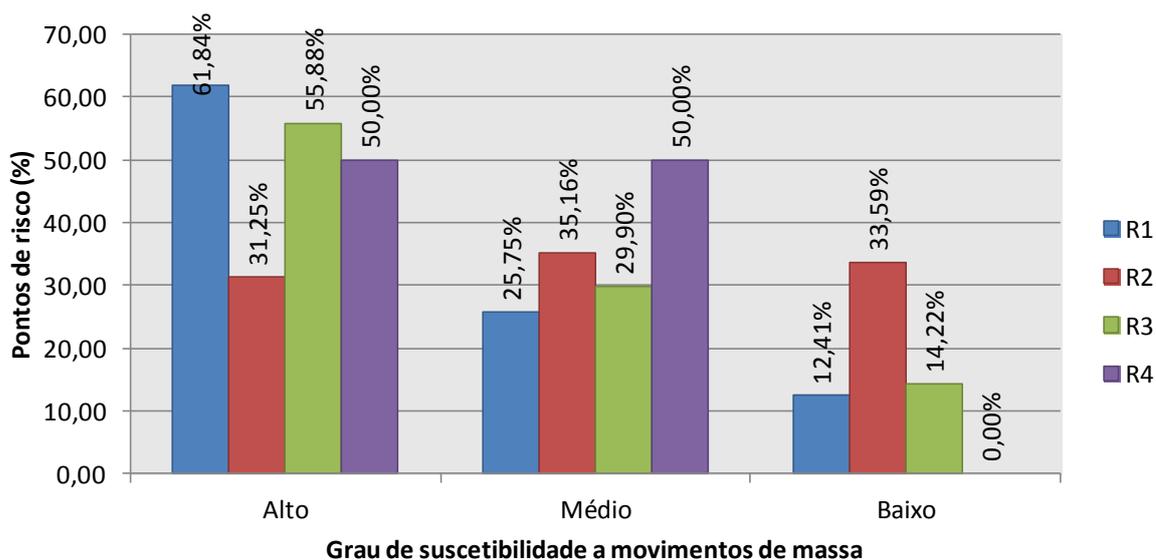
A Tabela 55 e o gráfico da Figura 67 apresenta a correlação do mapeamento da suscetibilidade de movimentos de massa gerado para 2013 com o número de ocorrências de deslizamentos, sendo verificado que nas áreas com baixa suscetibilidade foram registrados em termos quantitativos 126 (16,34%) pontos de risco, obtendo 54 (12,41%), 43 (33,59%), 29 (14,21%) e 0 (0%) nos riscos R1, R2, R3 e R4, respectivamente. Áreas com média suscetibilidade, registrou 219 (28,40%) dos pontos de risco, tendo 112 (25,74%), 45 (35,15%), 61 (29,90%) e 2 (50%) nos riscos R1, R2, R3 e R4, respectivamente. Áreas com alta suscetibilidade obtiveram um total de 425 (55,12%), divididos em 269 (61,83%) R1, 40 (31,25%) R2, 114 (55,88%) R3 e 2 (50%) R4.

Tabela 55: Pontos de risco relacionados com o grau de suscetibilidade a movimentos de massa (2013).

Grau de Suscetibilidade*	Área		Pontos de Risco				
	(m ²)	%	R1	R2	R3	R4	Total
Alto	563.768,35	41,86	269	40	114	2	425
Médio	502.906,32	37,34	112	45	61	2	220
Baixo	280.057,54	20,80	54	43	29	0	126
Total	1.346.732,21	100,00	435	128	204	4	771

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 67: Quantificação dos pontos de risco por grau de suscetibilidade a movimentos de massa (2013).



6.4. Correlação da suscetibilidade a movimentos de massa com inventário de áreas com serviços impermeabilizantes de colocação de lonas plásticas (2013)

A Figura 68 e a Tabela 56 apresentam o inventário de áreas com serviços impermeabilizantes de colocação de lonas plásticas, inseridas na área de estudo referente ao período de 2013, caracterizando áreas instáveis consolidadas com agravamento da suscetibilidade a movimentos de massa. Foram identificados 11 serviços de impermeabilização através de colocação de lonas plásticas no setor R2, com uma superfície de 879,31 m² (67,82%) e 7 no setor R4, tendo superfície de 417,01 m² (32,18%).

Figura 68: Inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).

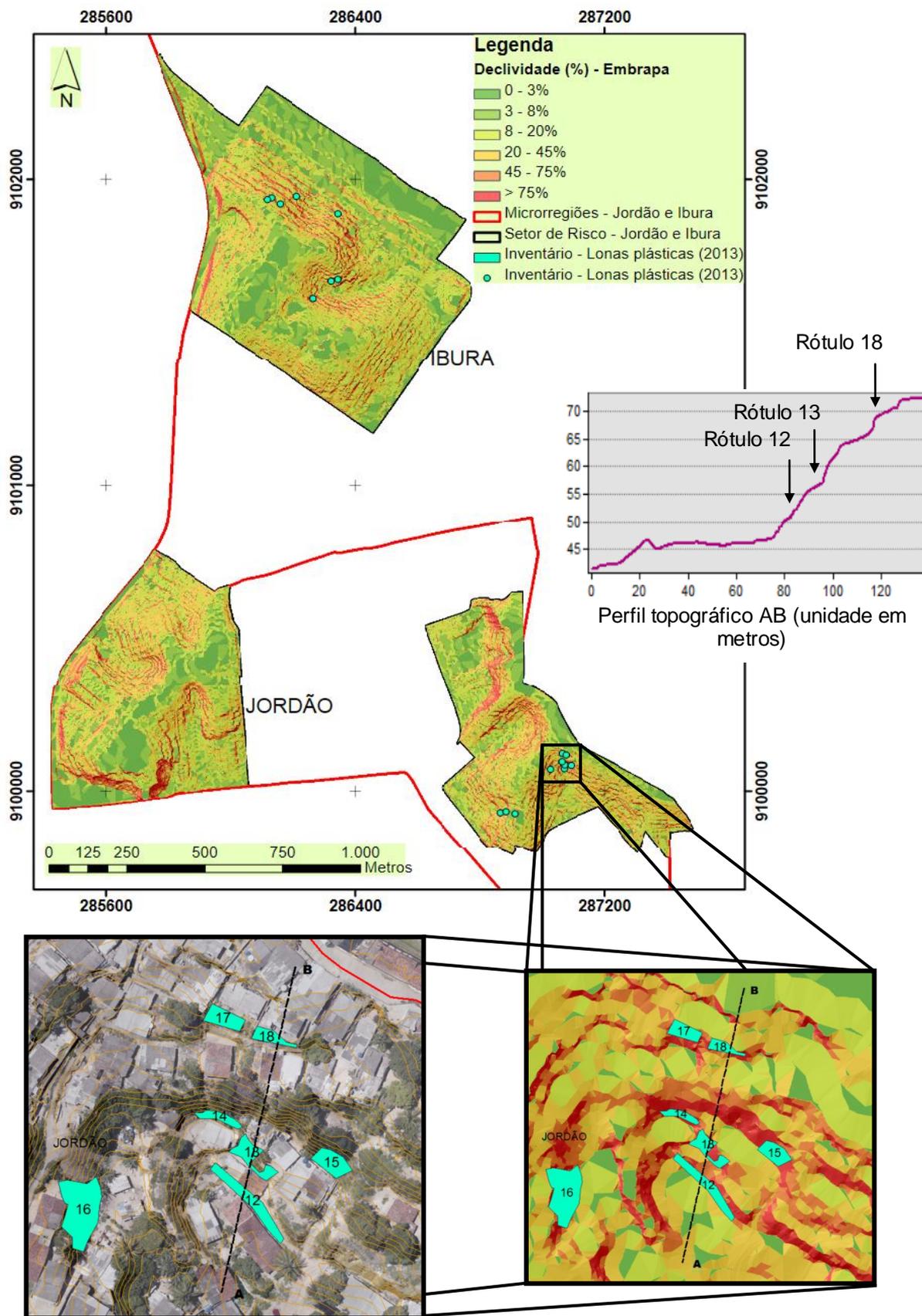


Tabela 56: Inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).

Setor de risco	Rótulo	Área (m ²)	%
R1	-	-	-
R2	1	42,61	3,29
	2	91,13	7,03
	3	29,02	2,24
	4	83,51	6,44
	5	222,38	17,15
	6	118,67	9,15
	7	31,40	2,42
	8	60,41	4,66
	9	40,98	3,16
	10	55,36	4,27
	11	61,00	4,71
R3	-	-	-
R4	12	68,79	5,31
	13	49,23	3,80
	14	25,00	1,93
	15	48,08	3,71
	16	154,32	11,90
	17	42,84	3,30
	18	28,75	2,22
Total	18	1.296,32	100,00

Correlacionando o inventário de áreas de serviços impermeabilizantes de colocação de lonas plásticas com o mapeamento da suscetibilidade de movimentos de massa, gerado pela metodologia de análise multicritério para 2013, obteve-se 18 (100%) áreas impermeabilizadas com lonas plásticas sobre influência do risco alto de suscetibilidade (Tab. 57).

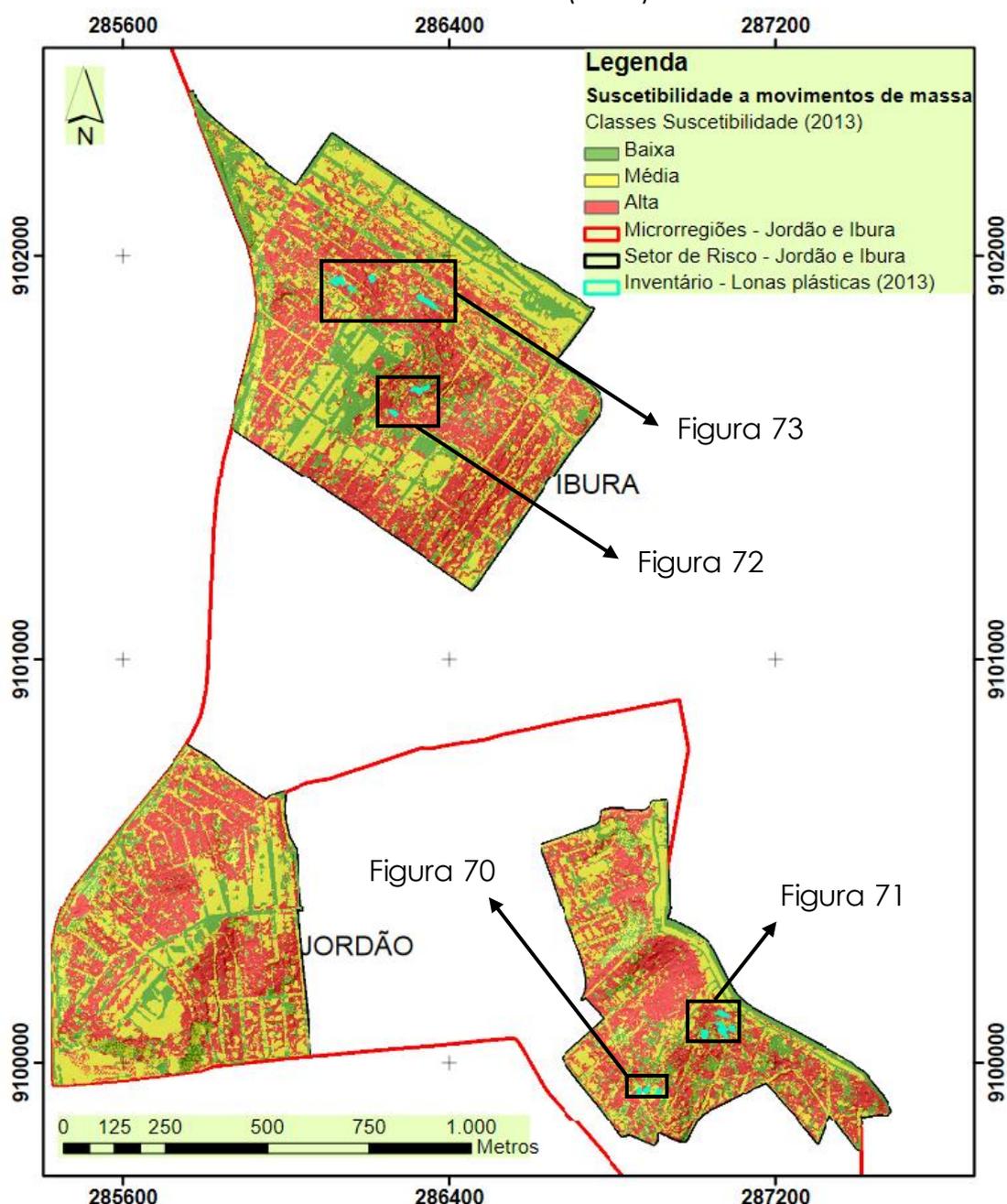
Tabela 57: Correlação do inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas com o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco, Jordão e Ibura (2013).

Grau de Suscetibilidade	Área		Quantidade de inventário*
	(m ²)	%	
Alto	563.768,35	41,86	18
Médio	502.906,32	37,34	0
Baixo	280.057,54	20,80	0
Total	1.346.732,21	100,00	18

* Inventário de serviços de impermeabilizantes através de lonas plásticas

A Figura 69 apresenta o inventário de serviços de impermeabilização com aplicação de lonas plásticas pela Defesa Civil extraídos do mosaico das ortofotocartas com sobreposição ao mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura referente ao período de 2013.

Figura 69: Correlação do inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas com o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, inseridos nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).



As Figuras 70, 71, 72 e 73 demonstram alta correlação espacial entre pixels do inventário de impermeabilização por lonas plásticas com a mancha de risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa (2013), tendo os rótulos do inventário 125.336 pixels (1.253,36 m²), equivalente a 96,68% no formato vetorial e correlação de 112.728 pixels (1.127,28 m²), equivalente a 89,94% de pixels sobreposto com o risco alto de suscetibilidade.

Figura 70: Lonas plásticas 9, 10 e 11, associadas ao risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos pixels.



Figura 71: Lonas plásticas 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, associadas ao risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos pixels.

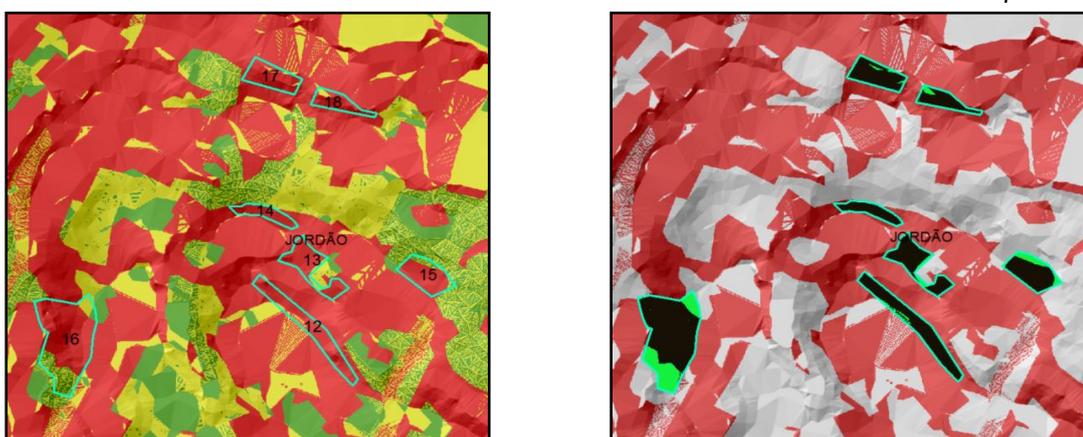


Figura 72: Lonas plásticas 6, 7 e 8, associadas ao grau alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos pixels.

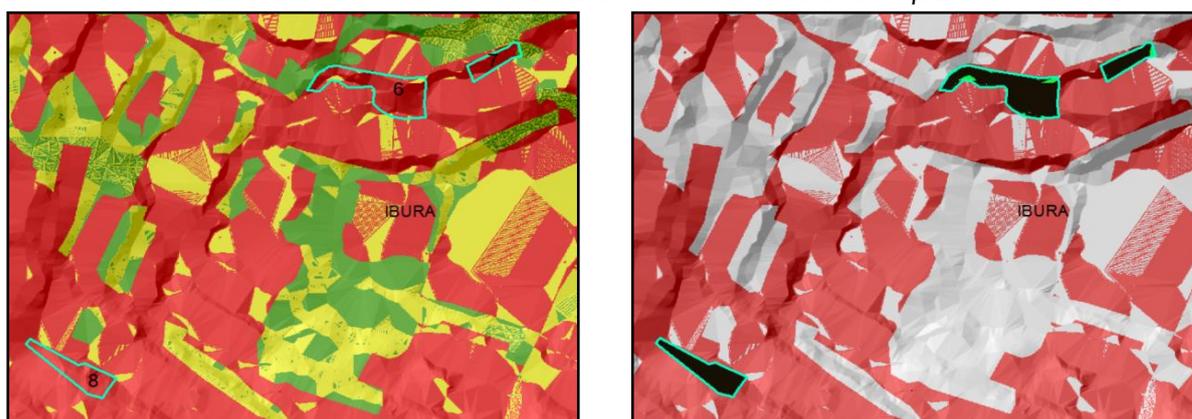
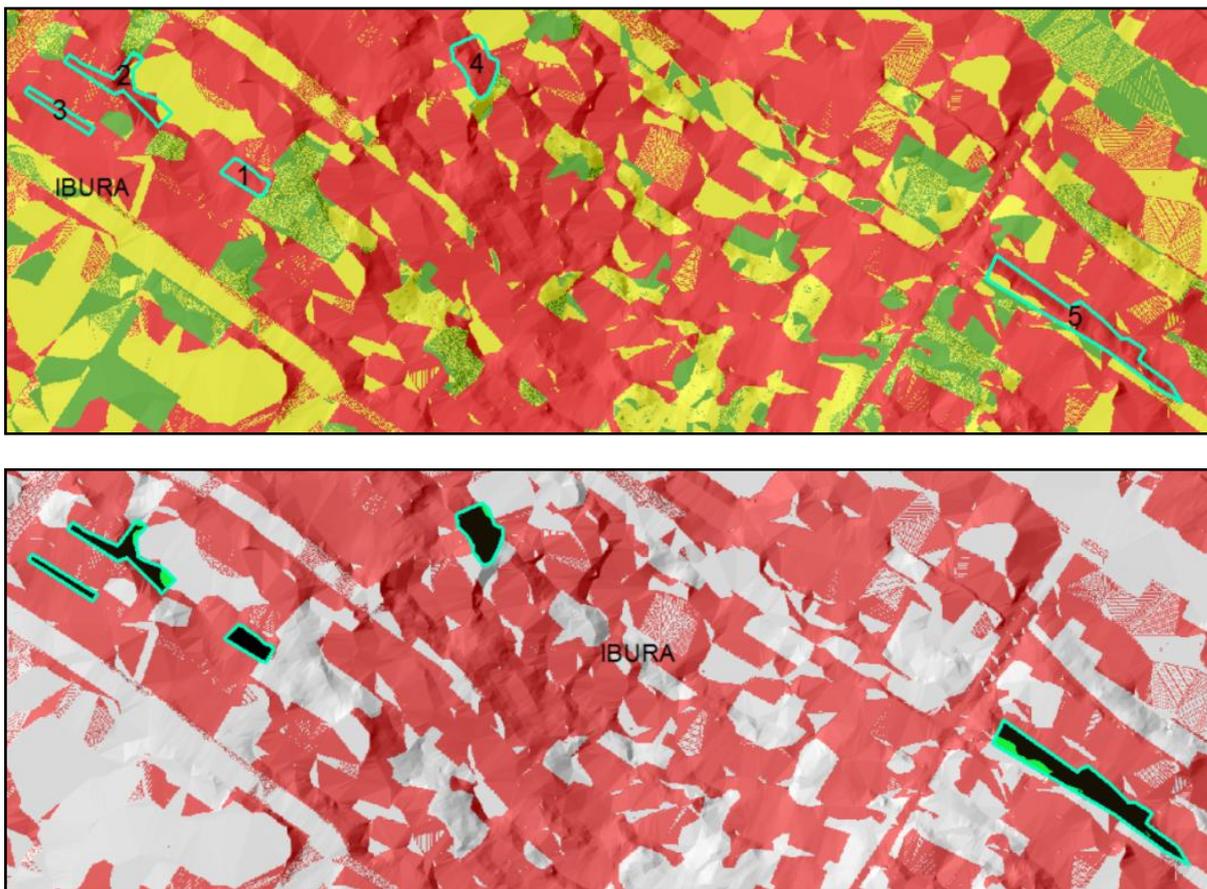


Figura 73: Lonas plásticas 1, 2, 3, 4 e 5, associadas ao grau alto de suscetibilidade a movimentos massa correlacionado aos pixels.



7. CONCLUSÕES

As microrregiões de Jordão e Ibura vêm apresentando ao longo do tempo um crescimento urbano nos setores de risco, tendo como característica a espacialização, em sua maioria localizada em áreas inadequadas para ocupação.

A dinâmica espacial da expansão urbana nos setores de risco apontou uma redução significativa da cobertura vegetal original, tendo, em quase quarenta anos (1975 - 2013) de evolução urbana, uma redução de 55,23%, sendo esta feição um importante inibidor em processos erosivos e mantendo este ritmo de desmatamento vinculado com o aumento desordenado das áreas urbanas em áreas inapropriadas, potencializando a suscetibilidade a movimentos de massa.

Ao analisar a dinâmica espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa nos períodos de 2007 e 2013, foi verificada redução de 4,42% em áreas de suscetibilidade baixa, elevação de 0,57% com suscetibilidade média e acréscimo de 3,84% com suscetibilidade alta, apontando justamente a necessidade de um monitoramento sistemático para áreas com impedimento da ocupação urbana, devido a natureza geológica, geotécnica e formas de interferência antrópica na área, com uma evolução da dinâmica urbana caracterizada pelo aumento da área urbana (8,83%), com redução do solo exposto (2,5%) e da cobertura vegetal (6,34%).

A validação do mapeamento da suscetibilidade, empregando atributos quantitativos e qualitativos levantados pela Defesa Civil, juntamente com o inventário de áreas impermeabilizadas com lonas plásticas (áreas fragilizadas) se mostrou eficiente, tendo uma vinculação com a classe de risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa, correspondendo a 89,94% dos *pixels* formados pelos 18 inventários de áreas impermeabilizadas com lonas plásticas, bem como alta correlação espacial entre as ocorrências de deslizamentos vinculadas com as variáveis

ambientais utilizadas na modelagem multicritério: (a) 100% das ocorrências nas formas de relevo Planaltos; (b) 97,80% ocorreram em unidades de relevo de tipologia de encostas; (c) 95,85% em solos argilosos como o Podzólico Vermelho-Amarelo; (d) 55,51% em vertentes topográficas côncavo; (e) 63,42% afastadas de até 10 m dos sistemas viários; (e) 49,29% afastadas de até 10 m da rede de escoamento pluviométrico; (f) 38,78% em áreas com declividades de 20-45% com morfologia forte ondulada; (g) 58,10% em áreas com uso e cobertura do solo urbano, demonstrando que essas feições geográficas potencializam a suscetibilidade a movimentos de massa.

O uso de ortofotocartas digitais multitemporal de alta resolução espacial permitiu a extração de informações semânticas do uso e cobertura do solo conjuntamente com técnicas de análise espacial de geoprocessamento e modelagem espacial multicritério, baseado na metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e combinação das variáveis ambientais visando a espacialização dos efeitos destas, permitiu realizar análise espaço-temporal qualitativas e quantitativas da suscetibilidade a movimentos de massa da área de estudo. Os resultados gerados pelo estudo tornam-se uma ferramenta poderosa no auxílio de gestão de risco, pois indicam áreas onde podem ser empregadas ações mitigadoras adequadas ao correto ordenamento territorial, ou apontando áreas nas quais necessitam ser cercadas de cuidados devido ao aumento do grau de suscetibilidade.

Recomendações

- ❖ Executar atualizações sistemáticas devido à evolução da dinâmica da expansão urbana em áreas inadequadas às ocupações urbanas, para identificação das zonas com maiores suscetibilidades aos movimentos de massa;
- ❖ Em áreas mais extensas, utilizar a variável do índice pluviométrico para obter um modelo de suscetibilidade à movimentação de massas com

maior precisão, onde essa variável é um fator catalisador do impacto dos processos de movimentação de massa;

- ❖ Para verificar a evolução da suscetibilidade de movimentos de massa em número maior de passos de tempo, empregar produtos cartográficos de uso e cobertura do solo multitemporais com resolução espacial homogêneo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na região metropolitana do Recife**. (Tese de Doutorado em Geologia). Salvador: UFBA, 1998.
- ALMEIDA, C. M. de; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 368p.
- ARAUJO, L. L. **Avaliação da dinâmica de áreas urbanas ocupadas por assentamentos irregulares utilizando visão estereoscópica por imagens anaglifo**. (Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Pernambuco: UFPE, 2005.
- BAGDANAVIČIŪTE, I.; VALIAŪNAS, J. **GIS-based land suitability analysis integrating multi-criteria evaluation for the allocation of potential pollution sources**. Journal Environ Earth Sci, nº 68, p. 1797 - 1812, 2013.
- BENAVIDES SILVA, V. C.; MACHADO, P. de S. **SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais**. Revista de Geografia, v. 31, nº 2, p. 66 - 87, 2014.
- CASACA, J.; MATOS, J.; BAILO, M. **Topografia geral**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 208p.
- CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6&uf=00>>. Acesso em: fev. 2014.
- CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Aglomerados subnormais: Informações territoriais. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/aglomerados_subnormais/agsn2010.pdf>. Acesso em: dez. 2013.
- COELHO, L. e BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: UERJ, 2007. 196p.

DAL'ASTA, A. P.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. de S. **Análise de áreas de risco geomorfológico em Santa Maria-RS: O caso do Morro Cechela**. Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XI, 2005, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2005. p. 896-905.

DEFESA CIVIL DO RECIFE. **Registros de ocorrências**. Recife, PE: 2013, Relatório.

FEIZIZADEH, B.; ROODPOSHTI, M. S.; JANKOWSKI, P.; BLASCHKE, T. **A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping**.

Journal Computers e Geosciences, nº 73, p. 208 - 221, 2014.

FIGUEIREDO, R. B. **Engenharia social: soluções para áreas de risco**. São Paulo: Makron Books, 1994.

GASPAR, J. A. **Cartas e Projeções Cartográficas**. Lisboa – Portugal: Lidel, 2005. 331p.

KUMAR, M.; SHAIKH, V. R. **Site Suitability Analysis for Urban Development Using GIS Based Multicriteria Evaluation Technique**. Journal Indian Society of Remote Sensing, v. 41, nº 2, p. 417 - 424, 2012.

LIMA, J. P.; RAMOS, R. A. R.; FERNADES JUNIOR, J. L. **Priorização de pavimentos com o uso da metodologia de análise multicritério e SIG**. Revista ENGVISTA, v. 10, nº 2, p. 132 - 144, 2008.

LONGLEY, P. A.; MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MARCHETTI, D. A. B. e GARCIA, G. J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1986. 253p.

OLIVEIRA, E. L. A.; ROBAINA, L. E. S.; RECKZIEGEL, B. W. **Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológico: bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria – RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, I, 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 248-261. (CD-ROM).

PEIXOTO, M. C. D. **Expansão urbana e proteção ambiental: um estudo a partir do caso de Nova Lima/MG**. Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, XI, 2005, Salvador. Anais... Salvador: UFMG, 2005.

PINA, M. de F. de, SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília, DF: OPAS, 2000. 122 p.

PINHEIRO JÚNIOR, N. X. **Aplicação de produtos fotogramétricos no estudo da expansão urbana no bairro de Vila Nova em Joinville**. (Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Florianópolis: UFSC, 2009.

Prefeitura do Recife. **Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE**. Recife, PE: 2006, Relatório.

PREOSCK, R. E. **Otimização da restituição fotogramétrica digital urbana: Relação escala da fotografia e a resolução geométrica da imagem**. (Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas). Curitiba: UFPR, 2006.

SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções-áreas de risco no Brasil**. São Paulo: Pini, 2012.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R. de O.; EUGENIO, F. C. **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 2010.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93143/1/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.

SANTOS, S. M.; BARCELLOS, C. **Abordagens espaciais na saúde pública**. Brasília, DF: FIOCRUZ, 2006. 138 p.

SANTOS, S. M.; SANTOS, R. S. **Sistemas de Informações Geográficas e análise espacial na Saúde Pública**. Brasília, DF: FIOCRUZ, 2007. 149 p.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. Presidente Prudente, SP: UNESP, 2009. 195p.

TORRES, F. S. de M. **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca-PE**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Recife: UFPE, 2014.