

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

Time-Space Evaluation Mass Movement Susceptibility Using Orthophotomaps and Multicriteria Space Modeling in the Dynamics of Risk Areas in Micro-regions of Jordão and Ibura, Recife-PE

André Pinto Rocha^{1,2} & Carlos Alberto Borba Schuler¹

¹Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

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

Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife/PE, CEP: 50670-901, Brasil

andr3.ifal@gmail.com; cschuler@ufpe.br

²Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Campi Coruripe

Rua Prof^ª. Maria Petrócia dos Santo, s/n – Zequinha Azevedo, Coruripe/AL, CEP:57230-000, Brasil

andr3.ifal@gmail.com

Recebido em 6 de Outubro, 2015/ Aceito em 7 de Abril, 2016

Received on October 6, 2015/ Accepted on April 7, 2016

RESUMO

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 movimentos 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 subnormais. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica da suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE, empregando modelagem espacial multicritério baseado no Processo Analítico Hierárquico (AHP), utilizando ortofotocartas para obter informações sobre a dinâmica do uso e cobertura do solo. Após a análise da modelagem multitemporal (2007 - 2013) da suscetibilidade a movimentos de massa, obtiveram-se os seguintes resultados: áreas com suscetibilidade baixa obtiveram redução de 4,42%, áreas com suscetibilidade média tiveram acréscimo de 0,57% e áreas com suscetibilidade alta tiveram elevação de 3,84%.

Palavras chaves: Avaliação Multitemporal, Áreas de Risco a Escorregamentos, Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos de Massa, Modelagem Espacial Multicritério.

ABSTRACT

The expansion of urban spot without control produces intense distortions in the composition of the landscape, generating diverse liability as the degradation of the natural resources, the worsening and elevation of the risk areas sectors, as well as mass movement problems. The Metropolitan Region of Recife is the greatest urban aggregation of the north-northeast of Brazil, being Recife as nucleus city with the higher percentage and density of sectors with subnormal agglomerates. Thus, this study has as aim to evaluate the dynamics of the susceptibility to mass movements in the risk areas placed

in the district of Jordão and Ibura, Recife-PE, applying spatial modeling multicriteria based in the Hierarchical Analytic Process (AHP), using orthophotomaps to obtain information about the soil use dynamics and coverage. After the analysis of the multitemporal modeling (2007 – 2013) of the susceptibility to mass movements, it were obtained the following results: areas with low susceptibility obtained reduction of 4,42%, areas with medium susceptibility had increase of 0,57% and areas with high susceptibility had increase of 3,84%.

Keywords: Multitemporal Evaluation, Risk Areas to Landslide, Mapping of the Susceptibility to Mass Movements, Spatial Modeling Multicriteria.

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana acelerada e sem controle origina transformações espaciais determinantes no processo de reestruturação da mancha urbana. O crescimento urbano 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 a 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 & 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: (a) 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; (b) ocupações em áreas de médio risco natural, com capacidade de receber ocupações urbanas, porém

realizadas de formas tecnicamente inadequadas, que mesmo em condições topográficas 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).

O uso de geotecnologias como ferramenta de mapeamento de uso e ocupação do solo, baseado em informações espaciais, aplicadas em ambientes densamente urbanizados, tendo como dados primários imagens de satélites ou aerofotogramétricas de alta resolução espacial, produz respostas de suporte a decisão mais eficiente em análises de paisagem, neste sentido, tem-se a Fotogrametria digital como sendo uma tecnologia com objetivo de reconstrução de espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de um conjunto não vazios de imagens bidimensionais (espaço-imagem) (COELHO & BRITO, 2007). 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 (TOMMASELLI, 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 e as técnicas de fotogrametria e fotointerpretação oferecem ferramentas de análise quantitativa e qualitativa no mapeamento da expansão das cidades e seus efeitos na paisagem integrados com Sistema de Informação Geográfica (SIG),

formas de leitura e controle da dinâmica destas evoluções.

O Processo Analítico Hierárquico (Hierarchical Analytic Process - AHP) consiste de uma metodologia de suporte a decisão, baseada na comparação pareada das variáveis e seus atributos em função de escalas prioritárias, tendo como característica a capacidade de mensurar a consistência dos julgamentos (SAATY, 2008). Associar SIG com modelagem espacial multicritério, consiste numa metodologia investigativa que combina diferentes variáveis, que permite classificar o espaço de forma contínua em áreas com maior ou menor potencial para uma finalidade, tendo como produto final uma superfície de decisão no formato de grade numérica, desta forma, tem-se a possibilidade a construção de cenários, com a vantagem de flexibilidade e um entendimento maior sobre problemas espaciais (CÂMARA *et al.*, 2001). 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. Esses conceitos são também amplamente tratados em Lima, Ramos e Fernandes Júnior (2008), Santos, Louzada e Eugênio (2010), Kumar e Shaikh (2012), Benavides Silva e Machado (2014), Feizizadeh *et al.* (2014), Torres (2014), entre outros.

Assim, o objetivo deste estudo é a avaliação multitemporal da suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013) da dinâmica de áreas de risco nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE, empregando ortofotocartas digitais de alta resolução espacial e modelagem espacial multicritério (Hierarchical Analytic Process - AHP) em ambiente ArcGIS©.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta uma síntese da literatura abordando conceitos e definições da temática da suscetibilidade a movimentos de massa a partir de modelagem de dados geoespaciais em áreas de risco.

2.1 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. Estes 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 & ROBAINA, 2005).

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 às 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).

2.2 Aglomerados subnormais: Região Metropolitana do Recife (RMR)

O Censo Demográfico do IBGE (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.

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

O relatório do plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município do Recife-PE, elaborado em 2006, possuía como premissa, oferecer subsídios para prevenção e erradicação de riscos em assentamentos precários (favelas, loteamentos irregulares, alagados, entre outros) em áreas de risco à escorregamentos e inundações.

A setorização em classes de graus de riscos à escorregamentos foram delimitados cartograficamente em escala 1:2.000 e caracterizados de acordo com tipo de relevo (encosta, baixada de córregos, planície costeira, entre outros), a forma de ocupação presente (favela, loteamento, alagado, entre outros) e o processo predominante gerador do risco (erosão, escorregamentos estrito senso, queda de blocos). Segue abaixo a caracterização qualitativa dos graus de risco à escorregamentos, relativos ao período de 1 ano:

- 1. Risco R1 (Baixo à inexistência): Os condicionantes geológico-geotécnicos

presentes (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;

- 2. R2 (Médio): Os condicionantes geológico-geotécnicos presentes (declividade, tipo de terreno, entre outros) 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;
- 3. R3 (Alto): Os condicionantes geológico-geotécnicos presentes (declividade, tipo de terreno, entre outros) 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;
- 4. R4 (Muito Alto): Os condicionantes geológico-geotécnicos presentes (declividade, tipo de terreno, entre outros) 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.

Foram mapeados setores de risco pelo PMRR (2006) no município do Recife, tendo 1.069,03 ha (60,9%) do risco R1; 389,29 ha (22,2%) do risco R2; 235,39 ha (13,4%) do

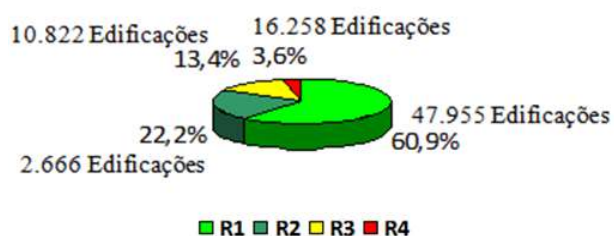


Fig. 1 - Setores de risco - Região Metropolitana do Recife (RMR).

risco R3 e 62,96 ha (3,6%) do risco R4 (Figura 1), demonstrando a importância deste trabalho frente ao número de moradias expostas aos principais riscos de escorregamentos R3 e R4 (27.080 edificações, equivalente 34,8%).

Para realizar o diagnóstico dos setores e descrição do processo de instabilização em processos de escorregamentos, podem-se utilizar a seguinte caracterização: (a) caracterização do local (declividade, presença de blocos de rocha/matacões, talude natural, entre outros); (b) vegetação no talude ou proximidades (presença de árvores, vegetação rasteira, área desmatada ou área de cultivo, entre outros); (c) evidências de movimentação (trincas moradia/aterro, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, entre outros); (d) caracterização da ocupação urbana (ALHEIROS, 1998).

2.4 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 é o processo mais marcante na evolução natural das encostas, seja pela capacidade potencial de causar danos ao homem, 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 & NIEBLE, 1984).

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).

As contribuições de fatores internos e externos podem atuar de maneira isolada ou em conjunto em um único evento de escorregamento. As precipitações pluviométricas é o principal fator externo deflagrador de escorregamentos de massa e como agentes internos, têm-se (GRAMANI, 2001):

- 1. 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;
- 2. Condicionantes das drenagens: perfil do canal de drenagem com elevadas declividades, vales encaixados com alto raio hidráulico e estrangulamento dos canais;
- 3. 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.

2.5 Suscetibilidade a deslizamentos de terra

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 semaforicas (verde, amarelo e vermelho), devido a sua relação imediata com a noção implícita de referencial de perigo (AUGUSTO FILHO, 1994).

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 (LOPES & ARRUDA JUNIOR, 2015).

2.6 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas - SIG

Geoprocessamento é um termo amplo que consiste em um conjunto de técnicas e metodologias implementadas em ambiente computacional que possibilita analisar espacialmente informações geográficas, desta forma, encontra-se vinculado a diversas disciplinas científicas e tecnologias para o tratamento de informações espaciais, como: Geodésia, Topografia, Sensoriamento Remoto, Cartografia, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Ciência da Computação dentre outras. Esse conjunto de disciplinas e tecnologias possibilitam a representação espacial computacional e a análise de informações espaciais aplicadas em estudos de fenômenos ambientais, sociais, econômicos e outros (BENAVIDES SILVA & MACHADO, 2014).

SIG é um sistema computacional de gerenciamento de dados espaciais, onde é

possível realizar manipulações e análise das camadas (layers) individuais de dados espaciais, bem como, fornecerem disponibilizarem ferramentas para análise e modelagem das inter-relações entre as camadas (BONHAM-CARTER, 1994). Nestes sistemas também é possível realizar análises complexas, ao integrar dados de fontes variadas e ao criar banco de dados georreferenciados (CÂMARA & DAVIS, 2001).

SIG emprega dois tipos de implementação para solução dos problemas propostos: (1) Data-driven, baseado na avaliação dos dados coletados (ocorrências conhecidas); (2) Knowledge-driven, baseado no conhecimento dos processos e seus condicionantes por especialistas (BONHAM-CARTER, 1997).

Em projetos desenvolvidos em plataformas SIG é possível combinar dados espaciais, com intuito de descrever e analisar interações, para realizar previsões através de modelos, e fornecer apoio nas tomadas de decisões por especialistas (PENDOCK & NEDELJKOVIC, 1996). Neste contexto, podem ser empregadas diferentes técnicas de modelagem geográfica, para produção de novos mapas a partir de dados já existentes, através de técnicas: Booleano, Média Ponderada, Fuzzy, Bayesiano e Redes Neurais (CÂMARA *et al.*, 2001).

As ferramentas SIG para o mapeamento de áreas, susceptíveis a escorregamentos, tornam-se interessante 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 as variáveis de acordo com o grau de importância dentro do processo, utilizando uma equação final para determinar o modelo matemático da suscetibilidade (LOPES & ARRUDA JUNIOR, 2015). Nos últimos anos a aplicação de imagens de satélites e/ou aerofotogramétricas integrados a SIG objetivando análises ambientais tem se apresentado como uma importante ferramenta de suporte a decisão, nesse contexto, diversos estudos para mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos vem sendo desenvolvidas, tais como em: Kumar e Shaikh (2012), Torres (2014), Benavides Silva e Machado (2014), Feizizadeh *et al.* (2014), entre outros.

2.7 Modelagem multicritério - Processo Analítico Hierárquico - AHP

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 (x1) até (xn). 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 (Wi) (LONGLEY *et al.*, 2013):

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

A partir do desafio da criação de novas informações em ambiente SIG, baseado na capacidade de comparar e ponderar das diferentes formas de criação de novos mapas, devido a grande quantidade de técnicas de análise espacial, nesse contexto, é fundamental dispor de ferramentas de suporte à decisão, que ofereça capacidade de organização e definição de uma modelagem racional de combinação de dados (CÂMARA *et al.*, 2001). Nesta conjuntura, tem-se uma modelagem útil denominada de 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).

Neste método, cada variável (mapa) de entrada será empregado como uma evidência, onde receberá um peso vinculado à importância relacionado a hipótese em consideração. Cada plano de informação aplicado na modelagem receberá pesos definidos empiricamente, gerando mapas com áreas que expressam um grau de importância relativa através dos valores numéricos de saída (CÂMARA *et al.*, 2001).

Primeiramente é necessário definir a forma de avaliação do grau de importância de cada variável, podendo ser empregado: (a) comparar as variáveis, com base na experiência do avaliador, e em visitas de campo; (b) com base em meio bibliográfico corroborar a relevância de

importância das variáveis entre si; (c) uma equipe multidisciplinar, trabalhando em conjunto, com visitas de campo, debates, entre outros, poderá definir a escala que mais se aproxima da realidade (SANTOS, LOUZADA & EUGENIO, 2010).

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 & FERNANDES JÚNIOR, 2008).

Esta metodologia consiste na determinação dos pesos estatísticos que fazem parte da modelagem, a partir da elaboração de uma matriz de decisão quadrada (Tabela 1), na qual os critérios Cn 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 (Tabela 2) (SANTOS, LOUZADA & EUGENIO, 2010).

Tabela 1: Matriz quadrada de correlação pareada

Critérios	C ₁	C ₂	C ₃	C _n
C ₁	1	C ₂₁ =1/C ₁₂	C ₃₁ =1/C ₁₃	C _{n1} =1/C _{1n}
C ₂	C ₁₂	1	C ₃₂ =1/C ₂₃	C _{n2} =1/C _{2n}
C ₃	C ₁₃	C ₂₃	1	C _{n3} =1/C _{3n}
C _n	C _{1n}	C _{2n}	C _{3n}	1

Tabela 2: Níveis de intensidade de importância

Intensidade de 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 (Tabela 3), 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 analisados na matriz (n), ou pela multiplicação da matriz de comparação pareada (AW) pela matriz de pesos calculados (W_i) (SANTOS, LOUZADA & EUGENIO, 2010).

Tabela 3: Matriz de normalização dos critérios analisados

Critérios	C_1	C_2	C_n	W_i
C_1	$1/\Sigma C_1$	$C_{21}/\Sigma C_2$	$C_{n1}/\Sigma C_n$	$\Sigma L_1/n$
C_2	$C_{12}/\Sigma C_1$	$1/\Sigma C_2$	$C_{n2}/\Sigma C_n$	$\Sigma L_2/n$
C_n	$C_{1n}/\Sigma C_1$	$C_{2n}/\Sigma C_2$	$1/\Sigma C_n$	$\Sigma L_n/n$

Para validação do método AHP é necessário determinar a razão de consistência (RC), medida esta que mensura a consistência dos julgamentos, através das fórmulas abaixo (KUMAR & SHAIKH, 2012):

$$RC = \frac{IC \text{ (Índice de consistência)}}{IR \text{ (Índice randômico)}} \quad (2)$$

O índice de consistência é determinado através da fórmula:

$$IC = \frac{\varphi_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$\varphi_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[AW]_i}{W_i} \quad (4)$$

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 4.

Tabela 4: Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada

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

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. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta algumas feições morfológicas da área de estudo - Microrregiões de Ibura e Jordão, localizadas no município de Recife-PE, bem como o tratamento para modelagem dos dados geoespaciais objetivando avaliação multitemporal da suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013).

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é formada pelos setores de risco inseridos nas microrregiões Jordão e Ibura, Recife-PE (Tabela 5) e (Figura 2) 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 134,67 ha correspondendo a 0,62% do município do Recife. A escolha dessas microrregiões foi baseada no relatório de ocorrências da Defesa Civil do Recife (2013), através do monitoramento de ocorrências de deslizamentos de encostas.

Tabela 5: Setores de risco - Jordão e Ibura

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 de Recife-PE, 2006.

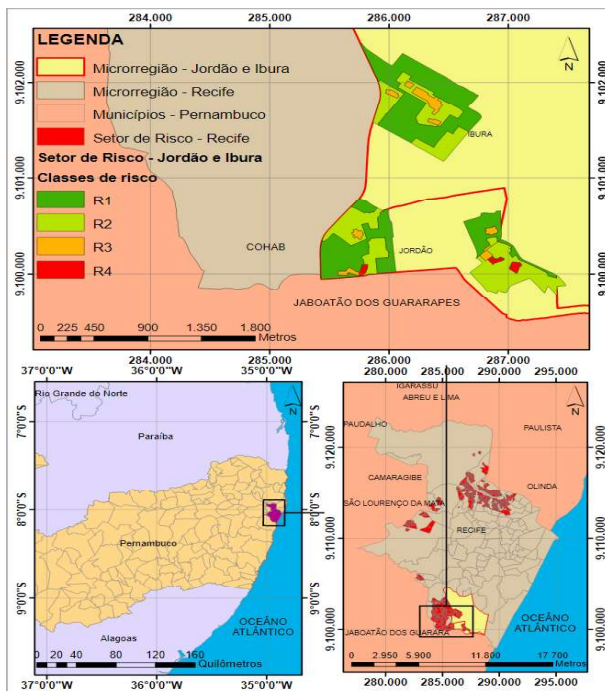


Fig. 2 - Mapa de localização da área de estudo, setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura, Recife-PE.

As imagens das figuras 3, 4 e 5 ilustram situações de risco de exposições dos aglomerados subnormais, localizadas nos setores de risco de Jordão e Ibura referente ao período de 2013.



Fig. 3 - Setor de risco R4: Aglomerados subnormais em encosta de alta declividade desprovida de cobertura vegetal sobre processo erosivo.



Fig. 4 - Setor de risco R3: Aglomerados subnormais em encostas com cobertura de lonas plásticas.



Fig. 5 - Setor de risco R3: Aglomerados subnormais em encostas com falta de cobertura vegetal.

3.1.1 Zoneamento geomorfológico

O zoneamento geomorfológico da área de estudo apresenta os compartimentos e subcompartimentos definidos pela unidade geológica, relevo e unidades de relevo, a partir da Carta Geotécnica do Recife (1995), sendo a mesma elaborada 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.

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, deltáicos 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 às 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. 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).

3.2 Materiais cartográficos

- 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: 8,9 cm) e 2013 (GSD: 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.

3.3 Procedimentos metodológicos

O processo metodológico foi dividido de acordo com o fluxograma da Figura 6. A etapa 1 refere-se a organização e preparação dos dados de entrada. A etapa 2, modelagem multicritério da suscetibilidade de movimentos de massa empregando o processo analítico hierárquico. Na etapa 3, validação do mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa através da correlação entre o mesmo com ocorrências de deslizamentos da Defesa Civil - PE e o inventário de áreas impermeabilizadas com aplicação de lonas plásticas referente ao ano de 2013.

3.3.1 Classificação e vetorização do uso e cobertura do solo

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, 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.

O uso e cobertura do solo, referente aos períodos de 2007 e 2013, foi obtido a partir de técnicas de Fotointerpretação dos mosaicos, formados pelas ortofotos 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*, considerando 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: definidas pelas estruturas de engenharia de contenção do risco a escorregamentos;

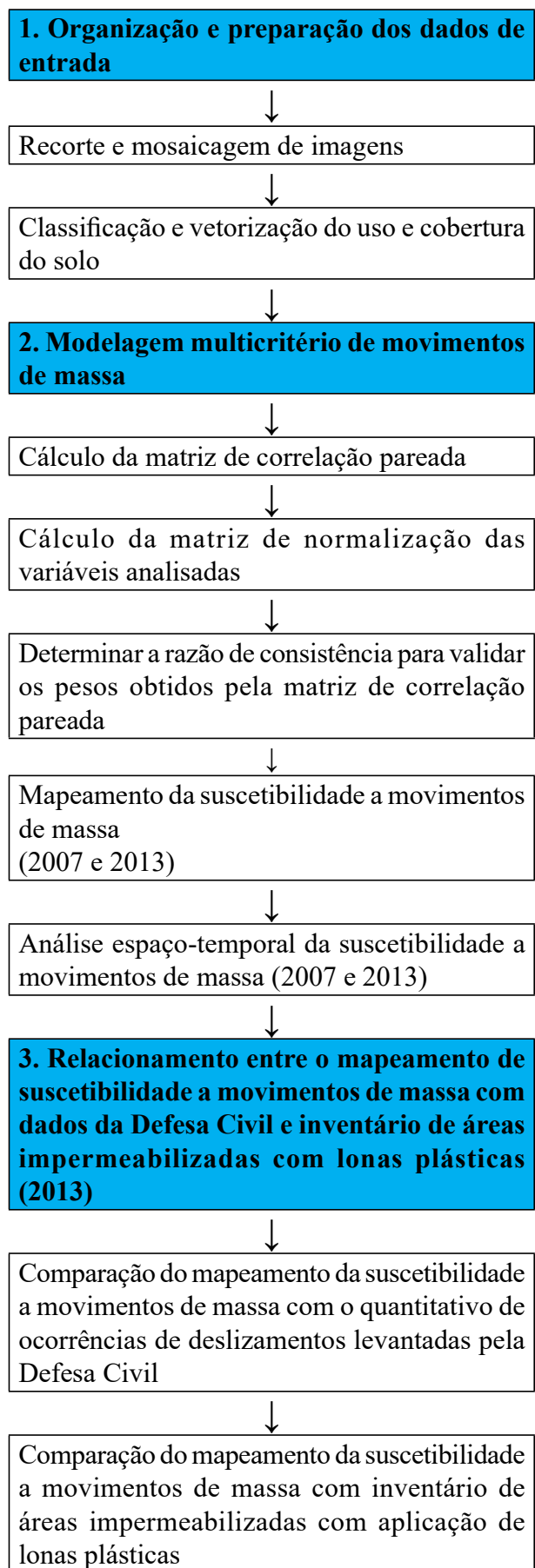


Fig. 6 - Fluxograma de trabalho.

- 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.

Para realizar a caracterização do uso e cobertura do solo nos setores de risco, foi necessário converter as feições geográficas do formato vetorial, obtido pela vetorização para o formato matricial, tendo como produto final imagens *raster* de 20.577 colunas por 26.198 linhas e resolução do *pixel* de 10 x 10 cm.

3.3.2 Grau de suscetibilidade a movimentos de massa

Para definir o grau de suscetibilidade, foram utilizadas as variáveis de Unidade de Relevo (UR), Relevo (R), Unidade Geológica (UG), Uso e ocupação 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 6.

Tabela 6: Correlação entre a suscetibilidade a movimentos de massa e os graus adotados

Suscetibilidade a movimentos de massa	Grau
Alta	3
Média	2
Baixa	1

- Relevo (R): definido por dois conjuntos topograficamente distintos, os planaltos e as planícies, que definem as formas e geometria dos terrenos (Tabela 7);

Tabela 7: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com o relevo

Classes de Relevo	Características Gerais	Grau de
Planícies	É uma superfície extremamente plana.	1
Planaltos	São formas de relevo elevadas.	3

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- Unidade de Relevo (UR): representa detalhes morfológicos das formas de relevo de Planaltos, dividindo em Encosta e Topo de encosta (Tabela 8);

Tabela 8: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com a unidade de relevo

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

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- Proximidade da rede de escoamento pluviométrico (PE): 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; (b) determinar a direção do fluxo de escoamento da água, baseada nas direções do escoamento em função das células que compõem o MDT corrigido; (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 direcionados para esta célula; Para gerar as zonas de influência vinculadas a rede de drenagem, foi utilizado *Buffers*, onde

quanto mais próximas das rede de drenagem de escoamento, maior será o risco devido o aumento do fluxo hídrico concentrado e processos erosivos (Tabela 9);

Tabela 9: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com a proximidade da rede de escoamento pluviométrico

Rede de drenagem	Grau de Suscetibilidade*
<i>Buffer</i> de 5 m	3
<i>Buffer</i> de 10 m	
<i>Buffer</i> de 25 m	2
<i>Buffer</i> de 50 m	
<i>Buffer</i> acima de 50 m	1

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- Curvatura de encosta (CE): 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 que nas convexas se dispersa. Os deslizamentos superficiais ocorrem principalmente em locais côncavos, pois devido à concentração do fluxo subterrâneo, a saturação do terreno o torna instável (Tabela 10);

Tabela 10: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com as vertentes do terreno

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.

- Proximidade de vias (PV): para criar as zonas de influência para o sistema viário, foram empregadas entidades *Buffers*, na qual quanto mais próximas das vias, maior será o risco, devido o acesso e circulação do processo de antropização (Tabela 11). Foi elaborada a classe temática para a série multitemporal de 2007 e 2013;

Tabela 11: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com a proximidade de vias

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

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

- Declividade (D): 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 (Tabela 12);

Tabela 12: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com a 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 movimentação de massa.

- Uso e cobertura do solo (US): 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 (Tabela 13). Foi elaborada a classe temática para a série multitemporal de 2007 e 2013;

Tabela 13: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com o uso e cobertura do solo

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

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

Unidade geológica (UG): foram extraídas primeiramente as classes geológicas do mapa geológico do Recife (1995), posteriormente a vinculação seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos referente à Embrapa (2006), atribuindo o grau de importância de acordo com as características dos solos para a suscetibilidade erosiva (Tabela 14);

3.3.3 Modelagem multicritério da suscetibilidade a movimentos de massa

Para a comparação pareada das variáveis ambientais analisadas, foi utilizada a matriz de decisão quadrada (Tabela 15) a fim de estabelecer os pesos hierárquicos das variáveis que foram empregadas na modelagem multicritério da suscetibilidade a movimentos de massa para a série multitemporal de 2007 e 2013.

Empregando a escala de intensidade com auxílio de equipe multidisciplinar (Técnicos da Defesa Civil do Estado de Alagoas) e em meio bibliográfico, foi realizada a comparação entre as variáveis de cada coluna com relação às linhas da matriz de correlação, tendo os seguintes valores de comparação pareada:

Tabela 14: Classificação do grau de suscetibilidade de acordo com a unidade geológica (Tipo de solo)

Classificação Embrapa (2006)	Características Gerais	Grau de Suscetibilidade*
Neossolo Flúvico (Aluviões e Terras úmidas)	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.

Tabela 15: 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

- 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 as 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 a 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) para 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).

Para elaboração do mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2007 e 2013), foram aplicados os pesos (P) estatísticos calculados pela metodologia (AHP), através da sobreposição de mapas temáticos empregando o modelo matemático (5).

$$\begin{aligned} \text{Suscetibilidade a movimentos de massa} = & P^*R + P^*UR + P^*UG + P^*PV + P^*CE + P^*PE \\ & + P^*D + P^*US \end{aligned} \quad (5)$$

4. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos da modelagem multitemporal da suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013). Além disso, como indicador qualitativo dos resultados, os mesmos foram confrontados com dados obtidos pela Defesa Civil do Recife-PE, referente ao período de 2013, no monitoramento de áreas de risco de encostas: (a) Quantitativos de

ocorrências de deslizamentos; (b) Inventário de áreas impermeabilizadas com aplicação de lonas plásticas.

4.1 Pesos das variáveis ambientais e validação da modelagem multicritério

O peso estatístico (W_i) das variáveis ambientais aplicadas na modelagem multicritério da suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013), foi determinado pela matriz de normalização (Tabela 16) aplicado à modelagem matemática da equação (5):

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

Tabela 16: Matriz de normalização das variáveis ambientais aplicadas na modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa

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

Posteriormente foi calculado o autovetor, definido pela equação (4), onde foi obtido o valor de 8,94, em seguida foi determinado o índice de consistência (IC) pela equação (3), onde foi calculado o valor de 0,13, finalmente determinado à razão de consistência (RC) pela equação (2), calculando o valor de 0,095, sendo este menor que 0,10, a determinação dos pesos pode ser considerada consistente.

4.2 Mapeamento multitemporal da suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013)

A sobreposição das variáveis ambientais obtida pela álgebra de mapas para determinar a espacialização da suscetibilidade a movimentos de massa referente aos dados multitemporais de 2007 e 2013 (figuras 7 e 8), foi caracterizada na escala de 1:12.000 em formato *raster* de 20.577 colunas por 26.198 linhas com resolução de *pixel* de 10 cm em três classes: Baixa, Média e Alta

suscetibilidade a movimentos de massa.

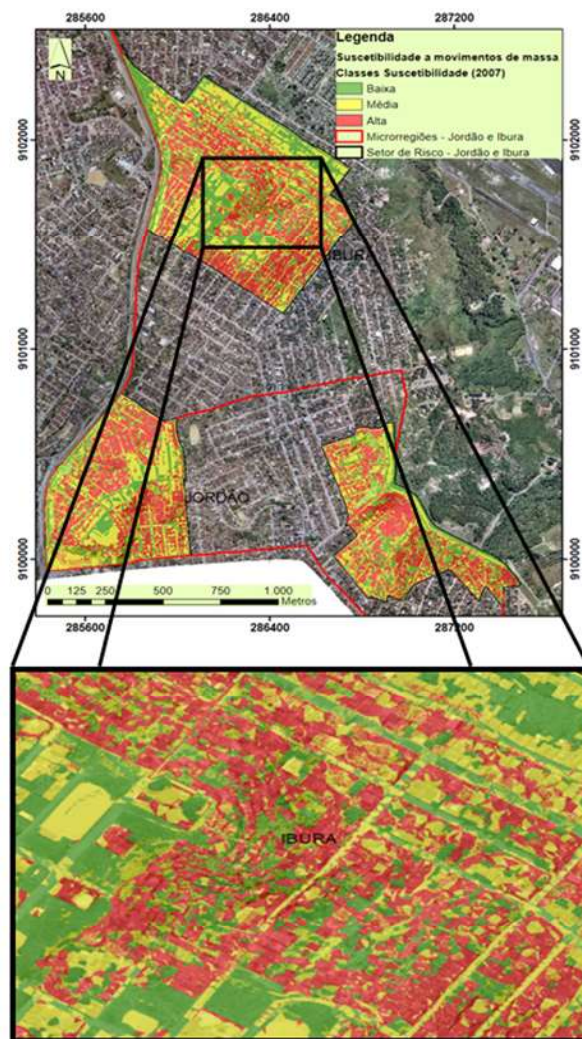


Fig. 7 - Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa (2007).

O gráfico da Figura 9 apresenta os percentuais das mudanças espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa ocorridos em 6 anos da dinâmica urbana nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura: tendo no período de 2013 uma redução de 59.574,51 m² (4,42%), acréscimo de 7.774,93 m² (0,57%) para áreas com média suscetibilidade e um aumento de 51.687,65 (3,84%) para regiões com alta suscetibilidade.

As áreas com baixa suscetibilidade a movimentação de massa estão caracterizadas pelas superfícies com 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 Planície, com formas de relevo plano e suave ondulado, afastadas de sistemas viários (>50 m).

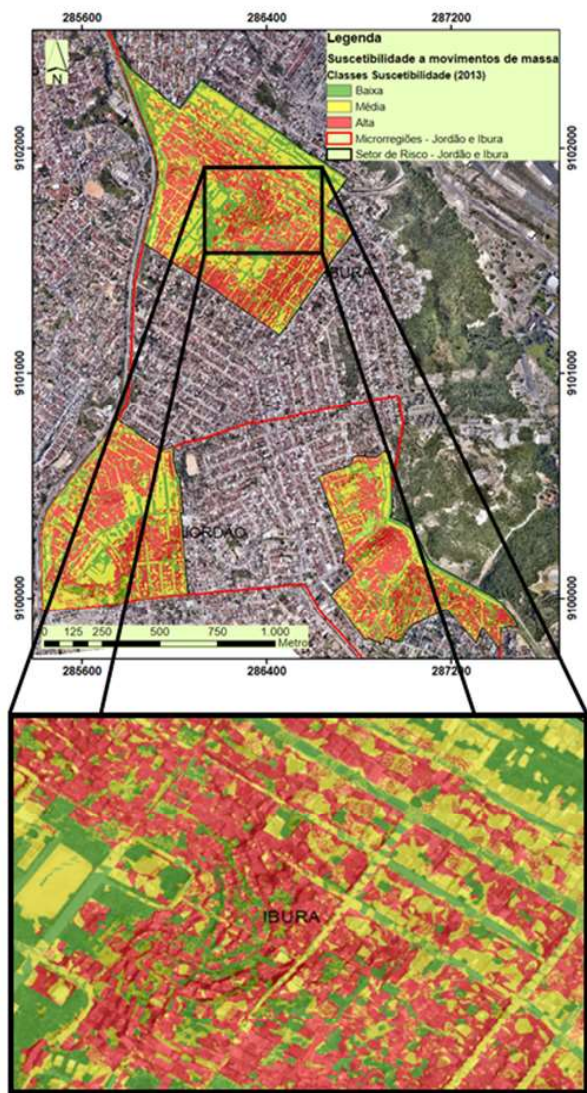


Fig. 8 - Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa (2013).

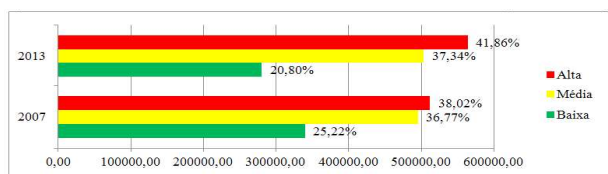


Fig. 9 - Áreas de suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013).

A média suscetibilidade a movimentação de massa foi caracterizada pelas áreas com declividade com variação de 11 a 27%, encostas com perfil convexo, 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.

A suscetibilidade alta abrange, predominantemente, superfícies com declividade altas (acima de 27%), encostas com perfil côncavo, áreas com uso e ocupação do solo edificados ou solo exposto, próximas da rede de drenagem de escoamento pluviométrico (<10 m) que propiciam concentração do escoamento hídrico superficial, causando excessivo desgaste superficial do solo, com unidade de relevo de encostas e topo de encostas, solos do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo (Formação Barreiras) com teor substancial de argila (limitador da drenagem natural), com formas de relevo de Planalto caracterizados por formações morfológicas forte e ondulado, situadas próximas a sistemas viários (<10 m).

Analisando a evolução multitemporal das áreas de expansão urbana no período de 2007 a 2013, a partir da variável do uso e cobertura do solo, caracterizada com maior peso estatístico na modelagem multicritério (0,38 ou 38%) da suscetibilidade a movimentos de massa, tem-se o aumento das áreas urbanas de 8,83%, redução do solo exposto de 2,5% e 6,34% da vegetação (Figura 10), mudanças de cenário que potencializa a suscetibilidade a movimentos de massa (2007 e 2013).

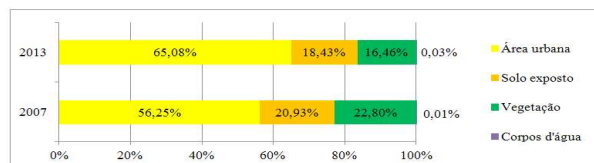


Fig. 10 - Quantificação do uso e cobertura do solo (2007 e 2013).

4.3 Comparação do mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa com o quantitativo de ocorrências de deslizamentos (2013)

A Tabela 17 e Figura 11 apresentam o quantitativo de ocorrências de deslizamentos registradas no período de 2013 pela Defesa Civil do Recife-PE, inseridos nos setores de risco das microrregiões de Jordão e Ibura. Estas ocorrências estão distribuídas em sua maioria ao longo dos sistemas viários, principalmente na região central dos setores de risco, totalizando 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 nos setores de risco das mesmas.

Tabela 17: Quantitativo das ocorrências de deslizamentos nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013)

Setor de risco	Quantitativo	%
R1	435	77,81
R2	128	16,57
R3	204	29,19
R4	4	0,38
Total	771	100,00

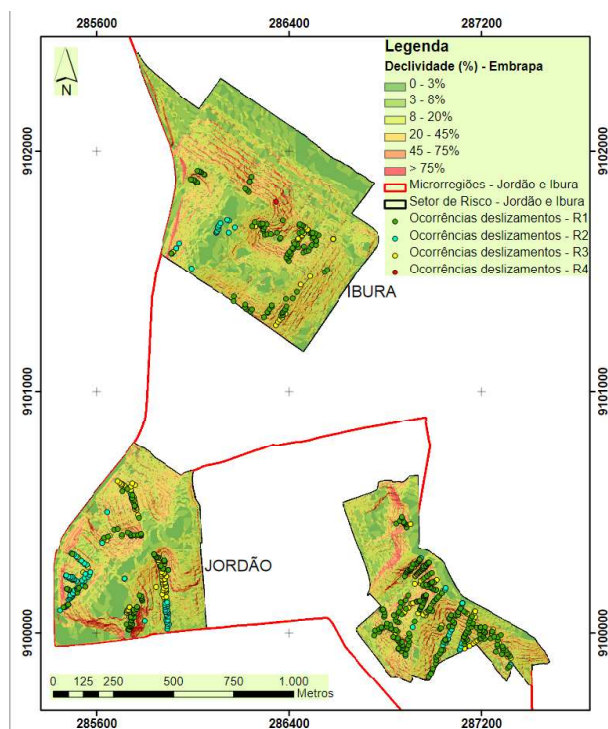


Fig. 11 - Ocorrências de deslizamentos nos setores de risco inseridos nas microrregiões de Jordão e Ibura, Defesa Civil de Recife-PE (2013).

- Relevo: confrontando o número de ocorrências de deslizamentos com as formas de relevo, verificou-se uma distribuição espacial na morfologia de Planalto correspondendo a 100% (Tabela 18);

Tabela 18: Ocorrências de deslizamentos por classes de relevo

Relevo	R1	R2	R3	R4	Total
Planície	0	0	0	0	0
Planalto	435	128	204	4	771
Total	435	128	204	4	771

- Unidade de Relevo: vinculando o quantitativo de ocorrências de deslizamentos com as unidades de relevo (Tabela 19), 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 19: Ocorrências de deslizamentos por classes de unidade de relevo

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 comparação do quantitativo das ocorrências de deslizamentos com os tipos de solos (Tabela 20), 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 20: Ocorrências de deslizamentos por classes de unidade geológica

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

- 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%) (Tabela 21);

Tabela 21: Ocorrências de deslizamentos por classes de 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

- 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 (Tabela 22), 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 22: Ocorrências de deslizamentos por classes de proximidade de vias

Proximidade de vias	R1	R2	R3	R4	Total
Buffer 5 m	195	108	121	1	425
Buffer 10 m	43	5	16	1	65
Buffer 25 m	96	11	27	1	135
Buffer 50 m	79	4	27	1	111
Buffer > 50 m	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 (Tabela 23), observaram-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%);
- Uso e cobertura do solo: as ocorrências de deslizamentos relacionados 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 (Tabela 24);

Tabela 23: Ocorrências de deslizamentos por classes de proximidade da rede de escoamento pluviométrico

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

Tabela 24: Ocorrências de deslizamentos por classes de uso e cobertura do solo

Uso e cobertura do solo	R1	R2	R3	R4	Total
Áreas urbanas	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

- Declividade: relacionando o quantitativo de ocorrências de deslizamentos com níveis de declividade (Tabela 25), pode-se verificar que nos intervalos de declividade com 8-20%, 20-45% e 45-75%, ocorrem as maiores ocorrências de deslizamentos com 177 (22,95%), 299 (38,78%) e 155 (20,10%) respectivamente, merecendo cuidados com relação aos registros de ocorrências nas regiões com inclinação maior que 75%, tendo 4,92%. 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 25: Ocorrências de deslizamentos por classes de declividade

Declividade	Área (%)	Pontos de risco				
		R1	R2	R3	R4	Total
0 - 3% (Plano)	18,75	28	22	18	0	68
3 - 8% (Suave ondulado)	14,23	5	17	12	0	34
8 - 20% (Ondulado)	31,45	74	44	59	0	177
20 - 45% (Forte ondulado)	22,94	199	24	74	2	299
45 - 75% (Montanhoso)	7,82	98	18	39	0	155
> 75% (Escarpado)	4,81	31	3	2	2	38
Total	100,00	435	128	204	4	771

Suscetibilidade a movimentos de massa: referenciando o mapeamento da suscetibilidade de movimentos de massa (2013) com o número de ocorrências de deslizamentos (Tabela 26), verificamos que nas áreas com baixa suscetibilidade foram registrados 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. Área com média suscetibilidade registrou 220 (28,53%) 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 totalizou 425 (55,12%), divididos em 269 (61,83%) R1, 40 (31,25%) R2, 114 (55,88%) R3 e 2 (50%) R4.

Analisando o ponto de risco R4, pode-se verificar correlação espacial da modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa de risco alto e médio com 50% cada uma das ocorrências de deslizamentos e 0% referente ao baixo risco de suscetibilidade, apontando uma coerência espacial entre os dados modelados.

4.4 Comparação do mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa com inventário de áreas impermeabilizadas com aplicação de lonas plásticas (2013)

A Tabela 27 e Figura 12 apresentam características do 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 identificadas 11 serviços de impermeabilização, com colocação de lonas plásticas no setor R2, com uma superfície de 879,31 m² (67,82%) e 7 no setor R4, tendo área de 417,01 m² (32,18%).

Tabela 26: Ocorrências de deslizamentos por classes de suscetibilidade a movimentos de massa (2013)

Grau de suscetibilidade*	Área (%)	Pontos de risco				
		R1	R2	R3	R4	Total
Alto	41,86	269	40	114	2	425
Médio	37,34	112	45	61	2	220
Baixo	20,80	54	43	29	0	126
Total	100,00	435	128	204	4	771

* Suscetibilidade a movimentos de massa.

Tabela 27: Inventário de áreas impermeabilizadas através da colocação de lonas plásticas, inseridos nos setores de risco de Jordão e Ibura (2013)

Sector de risco	Rótulo de inventário de lonas plásticas	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

Confrontando 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 a movimentos de massa (Tabela 28).

As figuras 13, 14, 15, 16 e 17 apresentam a confrontação espacial entre o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa (2013) com o inventário dos rótulos das 18 áreas impermeabilizadas com lonas plásticas inseridas na área de estudo.

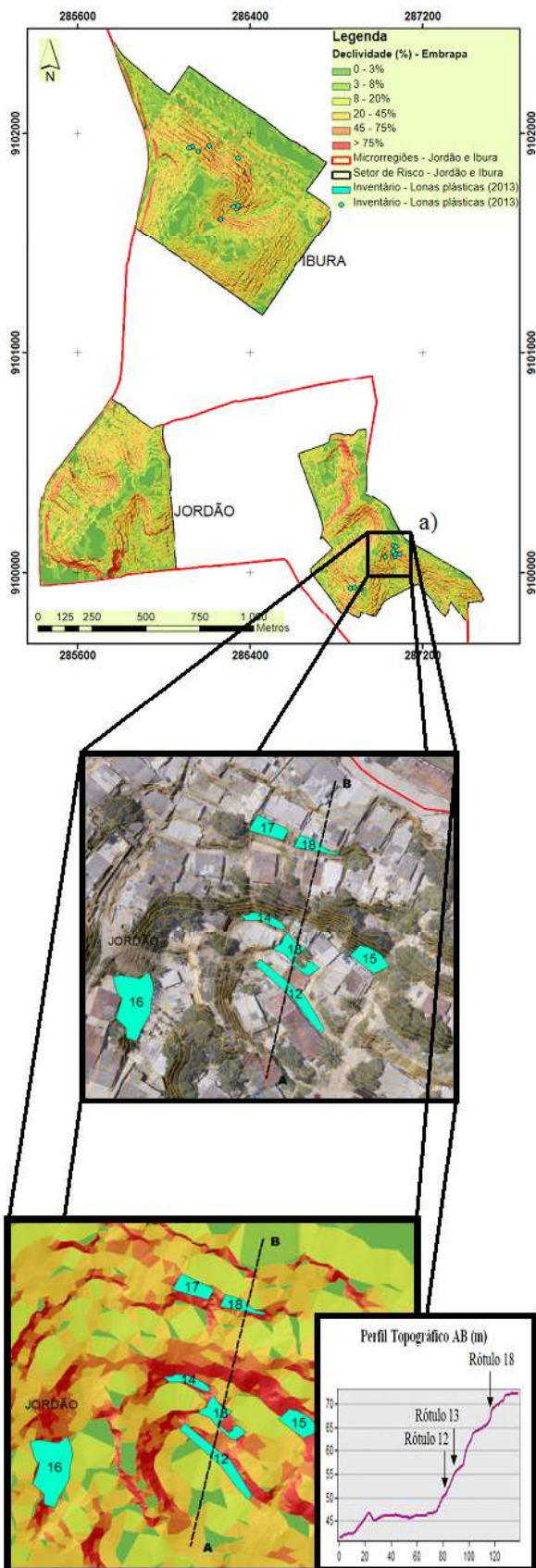


Fig. 12 - Mapeamento do inventário de serviços de impermeabilização com aplicação de lonas plásticas nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura.

Tabela 28: Confrontação 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 (2013)	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.

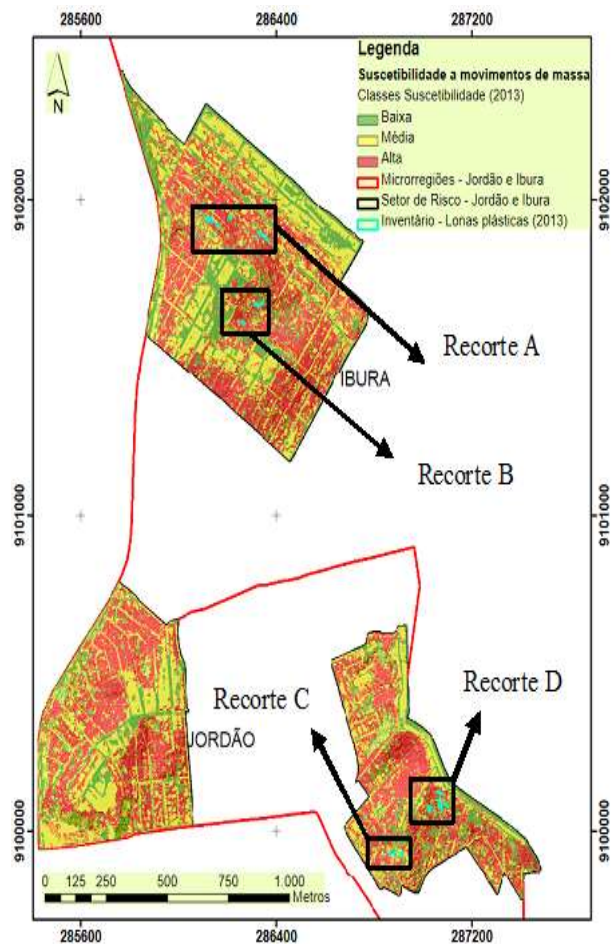


Fig. 13 - Confrontação do inventário de serviços de impermeabilização através de lonas plásticas com o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, inseridos nos setores de risco nas microrregiões de Jordão e Ibura (2013).



Fig. 14 - Lonas plásticas rótulo 1, 2, 3, 4 e 5, associado ao grau alto de suscetibilidade a movimentos massa correlacionado aos *pixels* (Recorte A).

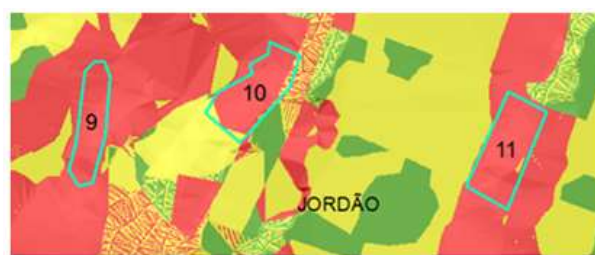


Fig. 16 - Lonas plásticas rótulo 9, 10 e 11, associado ao risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos *pixels* (Recorte C).

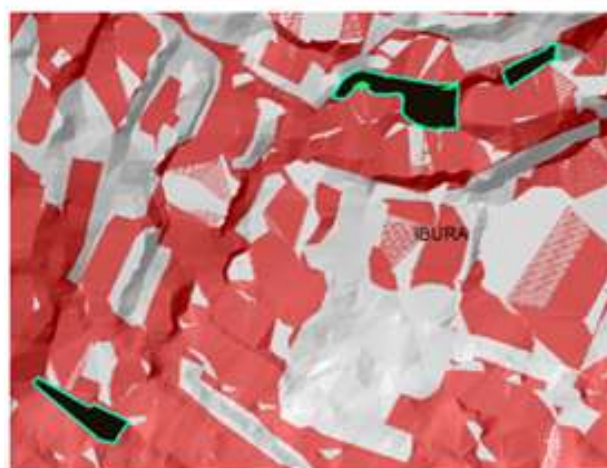
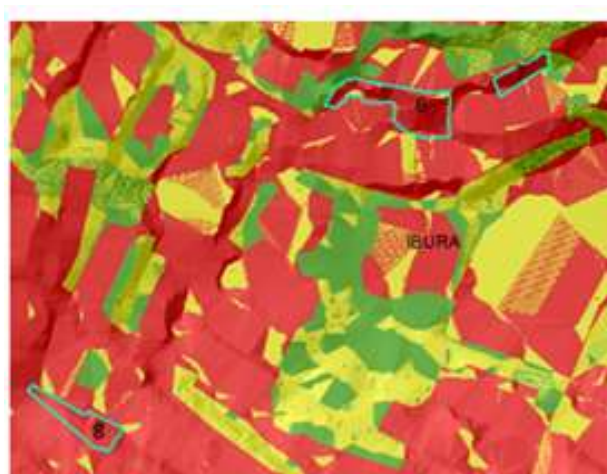


Fig. 15 - Lonas plásticas rótulo 6, 7 e 8, associado ao grau alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionado aos *pixels* (Recorte B).

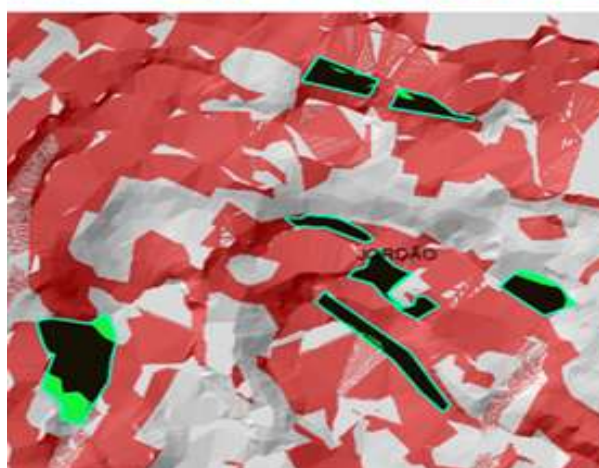
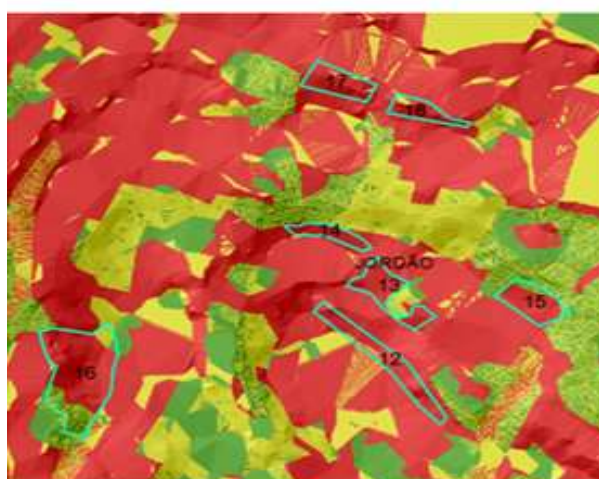


Fig. 17 - Lonas plásticas rótulo 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, associado ao risco alto de suscetibilidade a movimentos de massa correlacionados aos *pixels* (Recorte D).

Analisando a comparação espacial entre *pixels* do inventário de impermeabilização por lonas plásticas com a mancha de alto risco de suscetibilidade a movimentos de massa (2013), foi verificado que os rótulos do inventário possuem 125.336 *pixels* (1.253,36 m²), equivalente a 96,68% no formato vetorial e correlação de 112.728 *pixels* (1.127,28 m²), correspondendo a 89,94% de *pixels* sobrepostos com o alto risco de suscetibilidade a movimentos de massa.

5. 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.

Ao analisar a dinâmica espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa nos períodos de 2007 e 2013, foi verificada a redução de 4,42% com áreas de suscetibilidade baixa, uma elevação de 0,57% com suscetibilidade média e o acréscimo de 3,84% com suscetibilidade alta, apontando justamente a necessidade de um monitoramento sistemático para áreas com impedimento da ocupação urbana, devido à 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 com lonas plásticas, além da alta correlação espacial para as variáveis ambientais utilizada na modelagem multicritério.

O uso de ortofotocartas digitais multi-temporal de alta resolução espacial permitiu a extração de informações semânticas do uso e cobertura do solo conjuntamente com técnicas de análise espacial SIG 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 indica áreas onde 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.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Eng. Cartógrafo Aurélio L. de Melo e S. Júnior, Analista de Desenvolvimento Urbano da Secretaria de Mobilidade e Controle Urbano do Recife, à Eng^a. Civil Flaviana Gomes, Gerente Geral de Planejamento e Projetos da Secretaria de Urbanização do município do Recife, e ao Gestor de TI Abimael Filho, Chefe de Georreferenciamento da Secretaria Executiva de Defesa Civil do Recife, pela atenção e presteza na disponibilização de dados imprescindíveis na elaboração deste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na região metropolitana do Recife.** (Tese de Doutorado em Geologia). Salvador: UFBA, 1998. 135p.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP.** (Dissertação de Mestrado em Engenharia de solos). São Paulo: USP, 1994. 168p.

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, n° 2, p.66-87, 2014.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists – Modelling with GIS.** Pergamon, 1994. 400p.

BONHAM-CARTER, G. F. GIS methods for integrating exploration data sets. **Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral**

Exploration. p.59-64, 1997.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C. C.; ALMEIDA FILHO, R.; BÖNISCH, S. Inferência geográfica e suporte à decisão. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 1-49p. Disponível em: <<http://www.dpi.in-pe.br/gilberto/livro/introd/cap9-inferencia.pdf>>. Acesso em: fev. 2016.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 1-5p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-intro-ducao.pdf>>. Acesso em: fev. 2016.

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.; BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: UERJ, 2007. 196p.

DEFESA CIVIL DO RECIFE. **Registros de ocorrências**. Recife, PE: 2013, Relatório. 18p.

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.

FEIZIZADEH, B.; ROODPOSHTI, M. S.; JANKOWSKI, P.; BLASCHKE, T. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. **Journal Computers & Geosciences**, n° 73, p.208-221, 2014.

FIGUEIREDO, R. B. **Engenharia social: soluções para áreas de risco**. São Paulo: Makron Books, 1994. 252p.

GRAMANI, M. F. **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos (Debris flows) no Brasil, em comparação com alguns casos internacionais**. (Dissertação de Mestrado

em Engenharia de solos). São Paulo: USP, 2001. 372p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: USP, 1984. 194p.

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, n° 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, n° 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. 560p.

LOPES, E. S. S.; ARRUDA JUNIOR, E. R. de. Sensoriamento Remoto para deslizamentos. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 213-248p.

PENDOCK, V.; NEDELJKOVIC, N. Integrating geophysical data sets using probabilistic methods. **Thematic Conference and Workshop on Applied Geologic Remote Sensing**, 11°, Las Vegas, 1996. Proceedings. Nevada, v.2, p.621-628.

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. 92p.

PREFEITURA DO RECIFE. **Plano municipal de redução de riscos em assentamentos precários do município de Recife-PE (PMRR)**. Recife, PE: 2006, Relatório. 24p.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Journal Services Sciences**, n° 01, p.83-98, 2008.

SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções-áreas de risco no Brasil**. São Paulo: Pini, 2012. 136p.

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. 184p.

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. 106p.