

Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos

Francielle da Silva Cardozo¹
Maria Lúcia de Paula Herrmann²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
cardozo@dsr.inpe.br

²Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Campus Universitário Trindade - Caixa Postal 476
88040-040 - Florianópolis - SC, Brasil
herrmann@cfh.ufsc.br

Abstract. The present work has as main objective the use of AHP technique to map and analyze the susceptible areas to landslides in the Forquilhas river basin, located in São José, Santa Catarina. For this study, were analyzed the natural features that can promote the occurrence of landslides, supported by interpretation of digital planialtimetric letters, aerial photographs, satellite images and field work. The map of susceptible areas of landslides was originated from the intersection of the geology, geomorphology, soil, slope forms and declivity thematic maps, using the AHP technique (Analytic Hierarchical Process) program implemented in the SPRING, where weights were assigned to each of the identified characteristics. The analysis results show that 24.80% of the total study area has zero susceptibility to landslides and areas of low and moderate susceptibility totaling 13.21% and 21.26%, covering 2833 and 3691 households, respectively. The high susceptibility class encompasses most of the study area, with 33.84% comprising 1118 households and, finally, very high class totals 6.84% of the basin area, not presenting any residence, mainly due to the physical limitation that difficult the installation of homes in those regions. Thus, approximately 49.42% of a total of 24227 residents of Forquilhas river basin are installed in susceptible areas of landslides, and between 1980 and 2008 there were 11 episodes of landslides in the study area, causing 10998 homeless and 9 deaths.

Palavras-chave: natural disasters, precipitation, geomorphology, impacts, desastres naturais, precipitação, geomorfologia, impactos.

1. Introdução

O processo de expansão urbana ocorrido no país foi bastante intensificado a partir da década de 70, e um dos resultados desse grande aumento populacional foi a ocupação de áreas de risco, referentes tanto a escorregamentos, principalmente em setores de encostas declivosas, quanto a inundações ao longo das planícies aluviais. Geralmente essas ocupações ocorrem sem a infra-estrutura adequada, originando degradações ambientais, como o desmatamento de encostas, a impermeabilização do solo, a retificação de canais, a supressão da mata ciliar, entre outros, que propiciam o surgimento de novas áreas de riscos e aumentam a probabilidade de ocorrência de escorregamentos.

Os escorregamentos podem ser definidos como movimentos de massa rápidos e de curta duração, com plano de ruptura bem definido, o que permite a distinção entre o material deslizado e o material não movimentado (Fernandes e Amaral, 1996).

Os fatores condicionantes aos escorregamentos estão relacionados, principalmente, à estrutura geológica, geomorfologia, declividade da vertente, intensidade de chuvas e atividade antrópica, sendo que este último constitui-se como um dos maiores potencializadores dos escorregamentos, destacando-se o uso indevido das áreas declivosas, os desmatamentos, os cortes e aterros mal executados para a construção de casas e estradas, o lançamento direto de águas servidas, o vazamento da rede de abastecimento de água, as fossas sépticas e o acúmulo de lixo (Herrmann et al., 2005).

O Estado de Santa Catarina possui alguns fatores peculiares que, aliados ao crescimento urbano, auxiliam no aumento das ocorrências de escorregamentos, como a presença de

elevados e extensos maciços montanhosos, o clima subtropical, que geram altos índices pluviométricos, e a ocorrência de episódios pluviais irregulares decorrentes do fenômeno *El Niño* que provoca, em determinados períodos, chuvas intensas que podem agravar a situação frente aos riscos naturais (Herrmann et al., 2005).

No município de São José, o processo de expansão urbana ocorreu com a proposta do governo do Estado na década de 60, no qual foram criados conjuntos habitacionais para a população de baixa renda, disponibilizadas para suprir a demanda do uso residencial. Ainda, o crescimento urbano nessa época também esteve ligado com a construção da BR-101, que propiciou a abertura de loteamentos perpendiculares à rodovia, uma maior circulação de mercadorias e expansão do comércio local. Porém, na medida em que evoluíam os aspectos sociais, econômicos e culturais, também aumentavam os problemas relacionados ao inadequado uso da terra e à infra-estrutura urbana, passando a interferir na qualidade de vida e no bem estar das pessoas (Herrmann, 1999).

De acordo com o levantamento dos desastres naturais no Estado de Santa Catarina a partir do ano de 1980 (Herrmann et al., 2005), e com a atualização até a presente data (outubro de 2010), ocorreram no município de São José 11 episódios de escorregamentos, representando um dos municípios mais impactados por desastres naturais, com um total de 44 ocorrências ao longo de 30 anos, afetando especialmente os bairros localizados na bacia do rio Forquilhas, pois a mesma possui características físicas que limitam as ocupações urbanas, apresentando muitas áreas suscetíveis a escorregamentos, originadas principalmente por episódios pluviais intensos.

Para o presente trabalho, utilizou-se a técnica AHP no mapeamento e análise das áreas suscetíveis a escorregamentos da bacia do rio Forquilhas, elaborado a partir do mapeamento das áreas que possuem características físicas propícias à ocorrência de escorregamentos, sendo um passo importante para a realização de futuras pesquisas pontuais.

2. Metodologia de Trabalho

A bacia do rio Forquilhas está situada integralmente no município de São José, nos paralelos 27°31'/27°35' de latitude Sul e entre os meridianos 48°38'/ 48°44' de Longitude Oeste de Greenwich, conforme Figura 1. O rio Forquilhas se desenvolve no sentido geral Noroeste-Sudeste, possui extensão de aproximadamente 12 km (quilômetros), apresenta uma área de 52,47 km² (quilômetros quadrados) e representa o principal sistema de drenagem que banha o município de São José. A área de estudo é composta basicamente pelos bairros de Forquilhas, Forquilha, Flor de Nápoles, Picadas do Sul e Potecas, sendo que as maiores altitudes chegam a 515 metros, localizadas no alto vale.

A elaboração do mapa das áreas suscetíveis a escorregamentos teve como base o cruzamento de cinco mapas temáticos (geologia, geomorfologia, solos, formas das encostas e declividade), a partir da definição dos critérios do cruzamento dos mapas temáticos e posterior manipulação da técnica AHP (Processo Analítico Hierárquico). Existem vários métodos de inferência espacial que possuem o objetivo de reduzir o espaço de interpretação, geralmente presente em análises individuais. Desta forma, a integração dos dados através destas técnicas possibilitam obter resultados que definem possíveis soluções que retratam o problema físico em estudo. Portanto, a etapa operacional realizada para originar o cruzamento dos mapas temáticos foi feita com a escolha e utilização da técnica AHP do SPRING, proposta por Thomas Saaty em 1978.

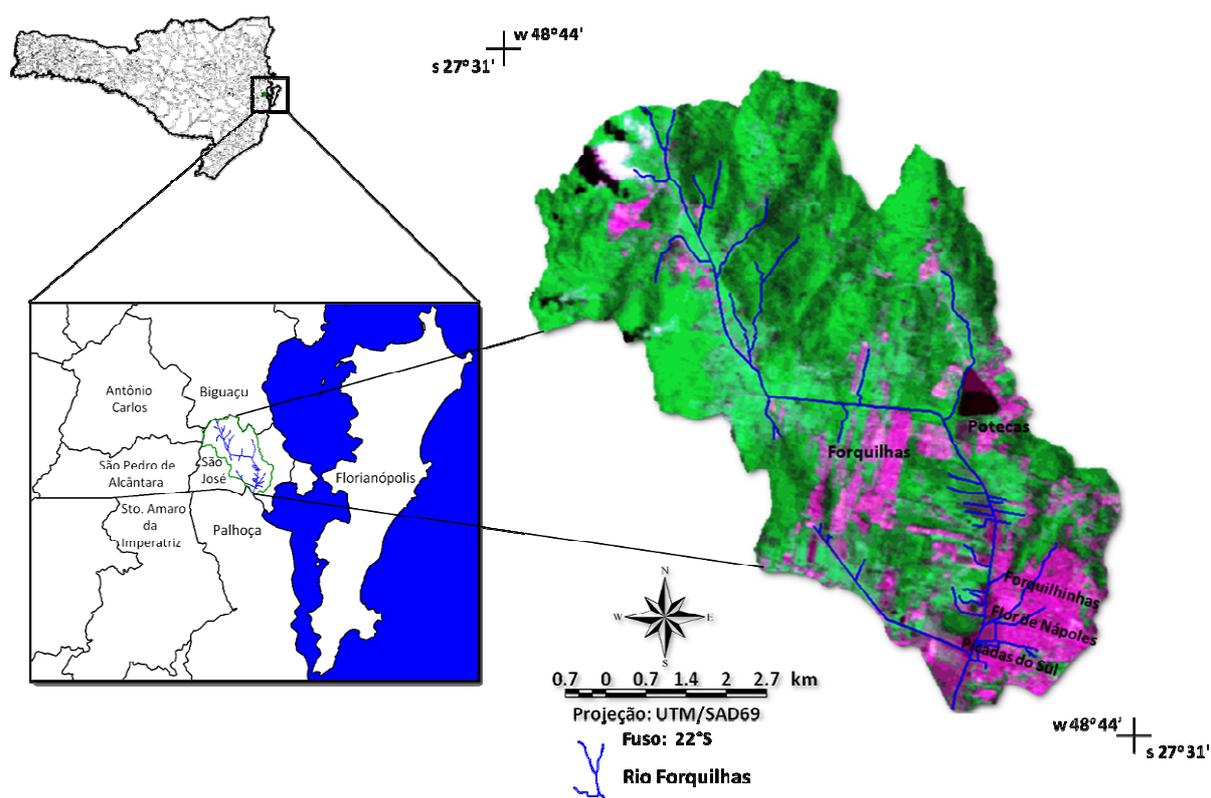


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: Imagem de Satélite CBERS 2B-CCD, dia 02/02/2008.

A técnica AHP possui base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos, sendo uma das ferramentas de múltiplos critérios de decisão mais usada. Muitos trabalhos têm sido publicados baseados na AHP, que incluem a aplicação em diferentes campos como o planejamento, seleção de melhor alternativa, alocação de recursos, solução de conflitos, entre outros. A especialidade da AHP é a flexibilidade para ser integrada com diferentes técnicas, que permitem extrair benefícios de todos os métodos combinados e, conseqüentemente, atingir o objetivo pretendido de uma maneira melhor (Vaidya e Kumar, 2004). Portanto, a escolha da utilização da técnica AHP ocorreu por ser considerada a mais promissora no contexto do processo de tomada de decisão.

Para cada mapa confeccionado foram aplicados pesos diferenciados em função de sua importância para a ocorrência de escorregamentos, sendo que os pesos finais de cada mapa foram: geologia (0,058); geomorfologia (0,131); forma das encostas (0,315); solos (0,039) e declividade (0,423). Para este estudo, a razão de consistência obtida foi de 0,078, considerando-se que o valor plausível situa-se abaixo de 0,10.

Posteriormente, foi gerado um script em extensão .alg, onde a ferramenta disponível no SPRING para o cálculo dos pesos gerou automaticamente um esboço de um programa em LEGAL, linguagem de programação, no qual outras informações requeridas foram completadas, inclusive com a escolha dos pesos para cada classe temática dos mapas escolhidos, fornecendo como resultado uma grade numérica referente a média ponderada das variáveis em questão.

Após a etapa de atribuição de pesos e ponderação das classes, realizou-se um fatiamento do resultado obtido. Foram definidas cinco classes hierárquicas da suscetibilidade aos escorregamentos, classificadas em nula, baixa, moderada, alta e muito alta. Finalmente, foi feita a quantificação das residências presentes em cada classe de suscetibilidade, de acordo

com o censo socioeconômico do IBGE (2000), podendo-se estimar o número de pessoas e de residências inseridas nas diferentes classes de suscetibilidade a escorregamentos.

3. Resultados e Discussão

As áreas suscetíveis a escorregamentos na bacia do rio Forquilhas estão identificadas na Figura 2.

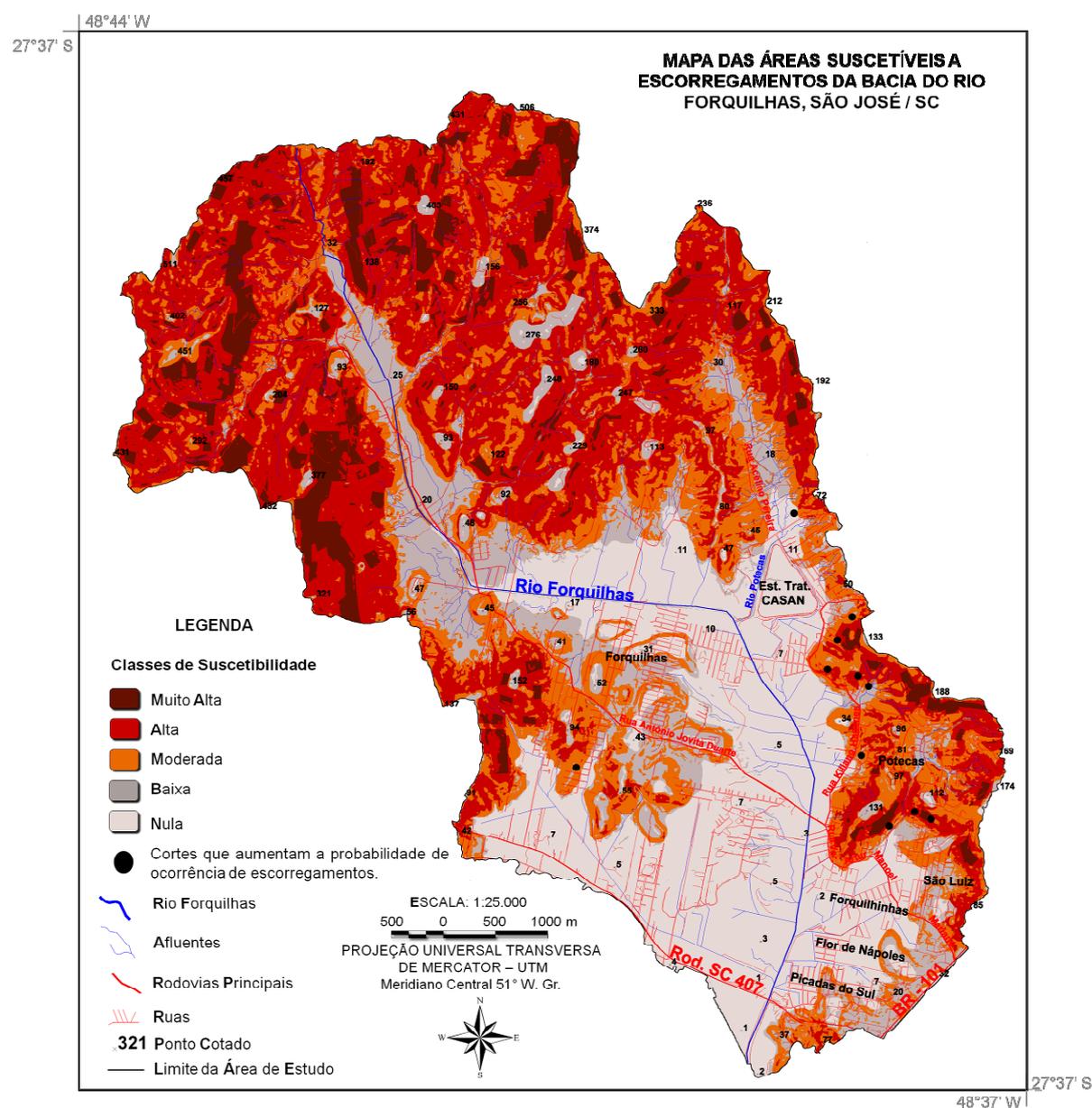


Figura 2. Mapa das Áreas Suscetíveis a Escorregamentos da bacia do rio Forquilhas.

Os locais que possuem suscetibilidade nula a escorregamentos abrangem uma área de 13,37 km², e podem ser observados, principalmente, nas áreas planas, caracterizadas por possuir baixa declividade que atingem no máximo 3°; e em locais constituídos basicamente por areias e sedimentos siltico-argilosos, depositados nas planícies de inundação, características que não favorecem a ação da gravidade e os movimentos de massa. Este é o setor que possui a maior densidade populacional, e apesar de não ocorrerem escorregamentos, essa região é constantemente afetada por inundações, como pode ser visualizado na Figura 3.

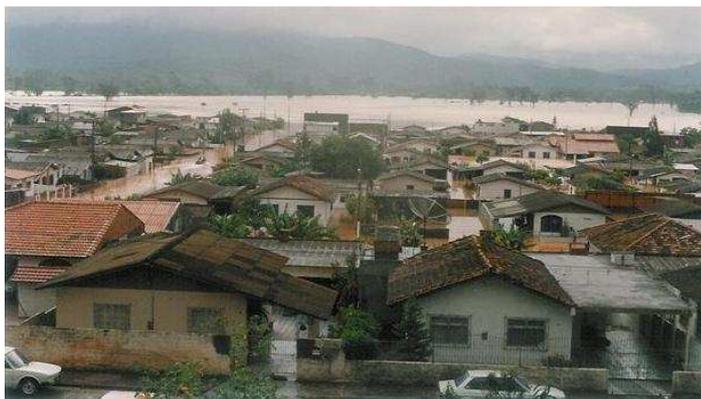


Figura 3. Bairro Flor de Nápoles, localizado na planície da bacia do rio Forquilhas.

Fonte: Defesa Civil de Santa Catarina.

As áreas que possuem suscetibilidade baixa se localizam nas baixas encostas, em áreas do Modelado de Dissecação em Colina no baixo vale e em morros de topos planos, totalizando 7,12 km². Essas áreas ainda apresentam relevos mais planos e pouco dissecados, com baixa declividade, no entanto, alguns locais apresentam declividades entre 9,6 e 16,7°, aumentando a probabilidade de ocorrência de um escorregamento causada pela ação da gravidade, destacando-se também a presença da ocupação urbana.

As áreas com suscetibilidade moderada totalizam 11,46 Km² de extensão, e localizam-se basicamente em áreas dos Modelados de Acumulação Coluvial e em áreas dos Modelados de Dissecação em Colina, Outeiro e Montanha. O relevo apresenta-se bastante dissecado, e a declividade é mais acentuada, variando de 9° a 30°, aumentando a velocidade do escoamento superficial que favorece os movimentos de massa. Devido à expansão da urbanização, que se encontra principalmente na baixa encosta, com indicativos de expansão para a média encosta, ocorre o desmatamento e a impermeabilização do solo, fatores que favorecem a instabilização e os processos erosivos que podem originar movimentos de massa.

A suscetibilidade alta a escorregamentos corresponde às áreas com declividades acentuadas, predominantemente entre 16 e 30° e estão inseridas nos Modelados de Dissecação em Montanha, Outeiro e Colina. Essa classe é a que mais ocorre na área de estudo, possuindo 18,24 Km² de extensão, localizando-se principalmente no alto e médio vale e em duas faixas a oeste e sul no baixo vale, com a presença de uma expressiva urbanização, de acordo com a Figura 4.



Figura 4. Casas localizadas em áreas de encostas com suscetibilidade alta a escorregamentos, bairro Forquilha.

A Figura 5 (A, B, C e D) apresenta os blocos-diagramas da bacia do rio Forquilhas, no qual nota-se que o relevo na área de estudo é bastante declivoso e íngreme, principalmente no

alto vale, em locais do modelado de dissecação em montanha e outeiro. Sendo assim, a classe de suscetibilidade alta a escorregamentos resultou como a maior em área na bacia devido a esse e outros fatores, como o cruzamento dos mapas temáticos, principalmente quando coincidem a declividade, as formas de encostas que propiciam a instabilização da vertente e principalmente quando estão presentes em relevo montanhoso, que favorecem a ação da gravidade e a alta velocidade do escoamento superficial.

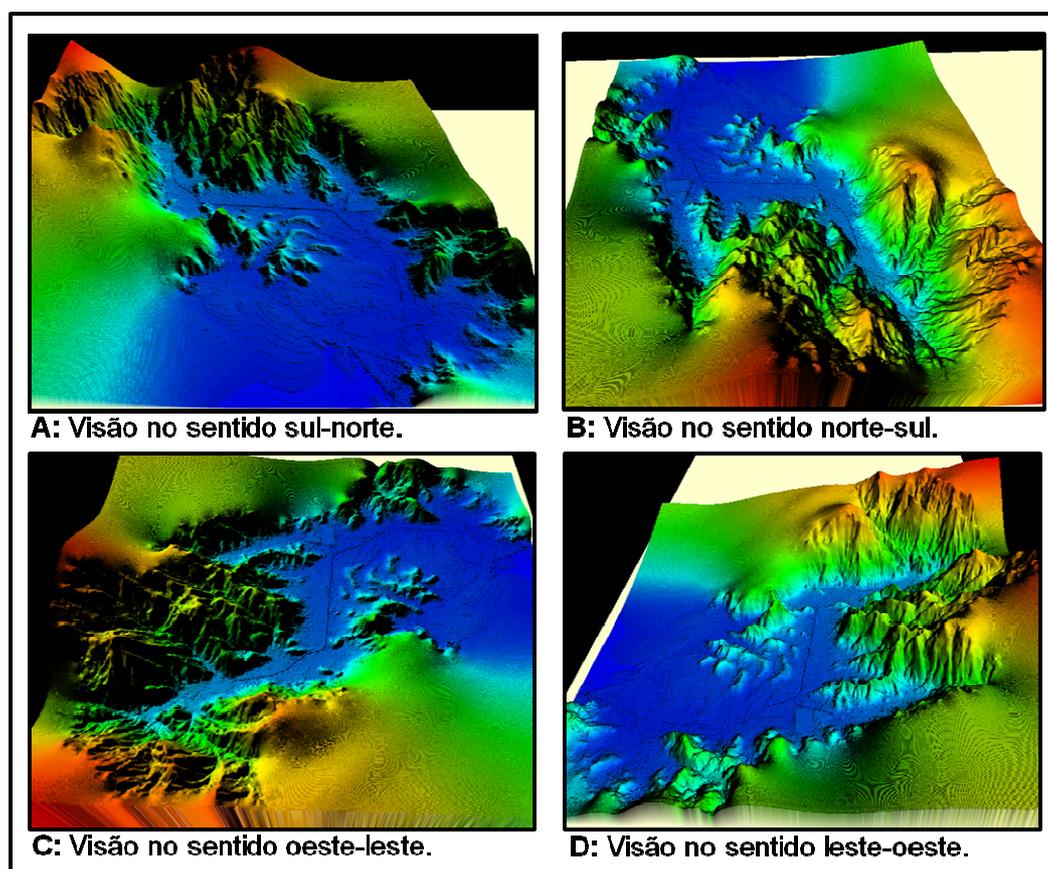


Figura 5. Blocos-diagramas da bacia do rio Forquilhas.

Fonte: Elaborado a partir das Cartas Digitais Planialtimétricas, Escala 1:2000, curvas de nível de 1 em 1 metro. Base cartográfica interpolada no *Software ArcGIS* e imagens finais geradas no *Software Global Mapper*.

Os locais da bacia do rio Forquilhas que possuem suscetibilidade muito alta a escorregamentos referem-se às áreas onde existe a combinação de alguns fatores, como a forma de relevo caracterizada pelo Modelado de Dissecação em Montanha e Outeiro, declividades altas, que variam de 30° a 45°, e as encostas com formas côncavas e retilíneas, que favorecem a ocorrência dos movimentos de massa, principalmente pelo aumento da velocidade do escoamento superficial da água e do poder erosivo na movimentação de materiais superficiais. Essas áreas totalizam 3,69 Km² e localizam-se principalmente nas altas encostas e em alguns setores do baixo vale, próximo da ocupação humana, inclusive abrangendo o local em que ocorreu um escorregamento no ano de 1991, que resultou em 7 vítimas fatais, na localidade Jardim das Palmeiras, no bairro Forquilha, como mostra a Figura 6.



Figura 6. Local onde ocorreu o escorregamento que vitimou 7 pessoas em 1991 (A) e atualmente (B).

Ao total, verifica-se que as áreas suscetíveis a escorregamentos, onde o risco é nulo, perfazem 24,80% da área de estudo, pois estão localizadas principalmente na planície de inundação do rio Forquilhas, sendo o local em que a população está instalada em maioria, com 5.814 residências e uma estimativa de 20.349 pessoas. Os locais que apresentam suscetibilidade baixa e moderada totalizam 13,21% e 21,26% da área de estudo, possuindo 2.833 e 3.691 residências respectivamente, onde residem aproximadamente 9.915 pessoas nas áreas de suscetibilidade baixa e 12.918 nas áreas de suscetibilidade moderada. A classe de suscetibilidade alta engloba a maior parte da área de estudo, com 33,84%, abrangendo 1.118 residências e aproximadamente 3.913 pessoas. Finalmente, a classe muito alta totaliza apenas 6,84%, não possuindo nenhuma residência, principalmente pela limitação física, que dificulta a instalação das moradias. De um total de 27.227 residentes na bacia do rio Forquilhas, 49,42% estão instalados nas áreas suscetíveis a escorregamentos.

Ocorreram 44 desastres na bacia do rio Forquilhas durante o período de 1980 a outubro de 2010, sendo que os escorregamentos totalizaram 11 episódios. De acordo com os registros disponíveis na Defesa Civil, ocorreram 7 mortes causadas pelos escorregamentos e 6 desabrigados no período estudado, e o número total de desabrigados e mortos pelos escorregamentos associados com as inundações foram de 4.279 e 2 respectivamente. Os episódios pluviais intensos que originaram os escorregamentos foram causados em maioria devido à passagem de frentes frias e sistemas de baixa pressão associados com a presença de vórtices ciclônicos em altos níveis. Na área de estudo, os episódios de escorregamentos ocorreram com maior frequência no verão, principalmente nos meses de fevereiro, com 4 ocorrências, e janeiro, com 3 ocorrências, totalizando mais uma ocorrência nos meses de julho, agosto, outubro e novembro.

4. Conclusões

A bacia do rio Forquilhas é altamente suscetível à ocorrência de escorregamentos, principalmente pela interferência da população, reforçando as recomendações de que o local de estudo necessita de orientação quanto à tomada de medidas, principalmente de fiscalização e restrição à expansão urbana de forma mal planejada. Deste modo, evidenciam-se na área de estudo inúmeros fatores condicionantes para a ocorrência de movimentos de massa, principalmente em locais que possuem uma combinação de altas declividades e encostas retilíneas. Além dos condicionantes naturais, destacam-se a interferência antrópica, que favorecem a instabilização do terreno por meio dos desmatamentos, dos cortes de terra para construção de estradas e residências, da abertura de valas para escoamento das águas e das ocupações inadequadas nas encostas, originadas sem planejamento e obras de contenção adequadas, principalmente em encostas com declividades altas e manto de alteração espesso.

As ocupações, mesmo que estejam localizadas na baixa encosta, devem ser evitadas para a instalação das residências, pois são locais que apresentam suscetibilidade alta e muito alta a escorregamentos, principalmente pela existência de cortes realizados sem critérios para a instalação de moradias, e também por essas residências estarem inseridas em locais que possuem declividades altas e em áreas próximas de encostas côncavas e retilíneas, onde o relevo exige grandes alterações no ambiente, dificultando as instalações urbanas, sendo que estes fatores facilitam a instabilização das encostas e, conseqüentemente, a ocorrência dos movimentos de massa.

Os cortes realizados em encostas que possuem manto de alteração espesso merecem destaque, visto que a suscetibilidade do material deslizar é muito alta, inclusive em áreas que possuem suscetibilidade baixa e moderada. Os movimentos de massa são comuns em terrenos acidentados íngremes, porém também podem ocorrer em vertentes de baixa declividade, e as condições que os favorecem vão depender principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente, do regime de chuvas, da perda de vegetação e da atividade antrópica (Bigarella, 2003).

A elaboração do mapa de suscetibilidade a escorregamentos constitui-se em um importante instrumento a ser empregado em futuros trabalhos de prevenção e intervenção, sendo um modelo cujos resultados esperados se mostram satisfatórios, conforme já demonstrados nos trabalhos de Dias (2000), Cristo (2002), Saito (2004) e Vieira (2007), onde este mapeamento possibilita o planejamento e direcionamento das ocupações humanas para locais adequados, constituindo assim um importante instrumento para prevenção de desastres.

Referências

Bigarella, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis: V. III, Editora da UFSC, 2003. P. 887 – 1436.

Cristo, S. S. V. **Análise de Susceptibilidade a Riscos Naturais Relacionados às Enchentes e Deslizamentos do Setor Leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis-SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. 2002. 195 f.

Dias, F. P. **Análise da susceptibilidade a deslizamentos no bairro Saco Grande, Florianópolis - SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. 2000. 103 f.

Fernandes, N. F. e Amaral, C. P. do. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. **In: Geomorfologia e Meio Ambiente**. Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. da. (org.) Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p 123 – 194.

Herrmann, M. L. P. **Problemas Geoambientais na Faixa Central do Litoral Catarinense**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 1999.

Herrmann, M. L. P. (org). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC, 2005, 146 p.

Saito, S. **Estudo Analítico da Suscetibilidade a Escorregamentos e quedas de Blocos no Maciço Central de Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. 2004. 132 f.

Vaidya, O. S.; Kumar, S. **Analytic hierarchy process: An overview of applications**. European Journal of Operational Research, 2004. P. 1 – 29.

Vieira, S. F. **Análise e Mapeamento das Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa no Setor Central da Serra da Esperança, na Divisa entre os Municípios de Guarapuava e Prudentópolis – PR**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. 2008. 211 f.