

APLICAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) NO MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A ESCORREGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – SP

Application of the Analysis Hierarchical Process (AHP) in the Mapping of Risk Associated to Landslides in the Municipality of São José dos Campos - SP

**Daniela Girio Marchiori Faria¹, Rodolfo Moreda Mendes², Mario Valério Filho³,
Mathilde Aparecida Bertoldo³ & Marlon Ferreira da Silva³**

¹Instituto Geológico do Estado de São Paulo – IG/SMA

Divisão de Geologia de Engenharia e Ambiental

Rua Joaquim Távora nº 420, Vila Mariana, São Paulo, SP, CEP 04015-011, Brasil

dgmfaria@uol.com.br

²Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN

Processos Geodinâmicos Aplicados a Desastres Naturais

Estrada Doutor Altino Bondesan nº 500, Parque Tecnológico, São José dos Campos-SP, CEP 12247-016, Brasil

rodolfo.mendes@cemaden.gov.br

³Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento - IP&D

Avenida Shishima Hifumi nº 2911, Urbanova, São José dos Campos-SP, CEP 12244-000, Brasil

mvalerio@univap.br, {ma_ra_ga, marlon}@yahoo.com.br

Recebido em 1 de Setembro, 2015/ Aceito em 4 de Abril, 2016

Received on September 1, 2015/ Accepted on April 4, 2016

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados do mapeamento de risco associado a escorregamentos com a aplicação do Método AHP realizado em São José dos Campos (SP). Além disso, como forma de comprovar a diminuição da subjetividade na comparação e na hierarquização dos setores de risco com a aplicação do AHP ao método de mapeamento tradicional (qualitativa) foi realizada a comparação com os resultados obtidos no mapeamento realizado pela Prefeitura Municipal em 2012 utilizando apenas a abordagem tradicional do mapeamento de risco. Como resultados obtidos, constatou-se que o mapeamento de risco com a aplicação do método AHP reduziu em 38% o número de moradias ameaçadas nos setores mapeados.

Palavras chaves: Mapeamento de Risco, Escorregamentos, Método AHP.

ABSTRACT

This paper aims to present the risk mapping results associated with landslides by application of the AHP method realized in São José dos Campos (SP). In addition, in order to prove the decrease of subjectivity in comparison and ranking of the risk sectors with the application of AHP to the traditional mapping method (qualitative) was performed the compare with results obtained in the mapping done by the City Hall in 2012 using only the traditional approach of the risk mapping. As results, it was found that the risk mapping with the application of the AHP method reduced by 38% the number of threatened homes in the mapped sectors.

Keywords: Risk Mapping, Landslides, AHP Method.

1. INTRODUÇÃO

Uma importante parcela da população das grandes cidades brasileiras vive em favelas situadas em encostas íngremes, submetida às mais variadas formas de risco geotécnico. As prefeituras, quando assumem a implantação de um sistema de gerenciamento de riscos que não se limita às ações de resgate de vítimas, deparam-se com uma tarefa complexa, em que os recursos financeiros são escassos, as áreas de risco numerosas e os níveis de risco, assim como os custos de intervenção, diferenciados para as diversas áreas da cidade. Com estas restrições, torna-se extremamente difícil, para o administrador municipal, comparar situações de risco e estabelecer prioridades (CARVALHO, 1996).

As avaliações de risco têm como principal objetivo, fornecer subsídios à Defesa Civil e às prefeituras municipais na identificação e gerenciamento das situações de risco relacionadas a escorregamentos e inundações em áreas urbanas.

O mapeamento de risco (identificação, análise dos riscos e delimitação das áreas de sua ocorrência) é executado por meio de trabalhos de campo, nos quais, são avaliadas as possibilidades (probabilidades) de ocorrência dos processos destrutivos (perigo); a vulnerabilidade do elemento em risco (percentagem de perda esperada para o elemento submetido a situação perigosa) e as consequências sociais e/ou econômicas, caso ocorra um determinado processo destrutivo. Em termos absolutos, idealmente, o risco deve expressar um cálculo de danos sociais e/ou econômicos por período de tempo.

O mapeamento de risco associado a escorregamentos realizados no Brasil e em outros países, utilizam predominantemente avaliações qualitativas, ou seja, os graus de risco são definidos com base na opinião técnica da equipe que executa o mapeamento com o apoio de informações dos moradores da área mapeada. É realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos por diferentes equipes de campo como forma de padronização da classificação do risco, buscando garantir uma uniformidade na linguagem e nos critérios empregados (CERRI, 2006). Com base em sua experiência, o técnico hierarquiza as situações de risco em função da possibilidade de ocorrência

do processo em um determinado período de tempo, geralmente um ano (CARVALHO, 2000). Logo, existe subjetividade na diferenciação dos graus de risco. Sendo assim, a experiência e o conhecimento técnico aprofundado dos profissionais envolvidos são fatores determinantes na análise de risco (CERRI & CARVALHO, 1990). Mesmo reconhecendo-se as eventuais limitações, imprecisões e incertezas inerentes à análise qualitativa de riscos, os resultados da aplicação do mapeamento de risco utilizando a análise qualitativa são decisivos para a eficácia e eficiência de uma política de intervenções voltada à consolidação da ocupação (CERRI *et al.*, 2007).

Para o tomador de decisões, no caso, o poder público, a diminuição da subjetividade é fundamental para a definição do grau de risco mais próxima da realidade de modo que a proposição de intervenções nas áreas deverá ser feita primeiramente para os setores com grau de risco mais crítico (Risco Alto e Muito Alto).

A aplicação do processo de análise hierárquica (Analytic Hierarchy Process – AHP) ao mapeamento de risco associado a escorregamentos visa minimizar as imprecisões e incertezas, ou seja, diminuir a subjetividade empregada na análise qualitativa do risco.

O método AHP é um dos modelos matemáticos para apoio à decisão mais utilizado quando se deseja a construção de critérios claros, objetivos e matemáticos. A tomada de decisão é, em sua totalidade, um processo mental cognitivo resultante da seleção do caminho mais adequado para se realizar uma ação, com base em critérios tangíveis e intangíveis escolhidos por quem toma a decisão (SAATY, 2008).

Com base nestas premissas, a Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), quando contratada pela Prefeitura Municipal de São José dos Campos para mapear 16 áreas de risco associado a escorregamentos (Convênio nº 53.366 de 02/09/2013), adotou a incorporação do método AHP no mapeamento, conforme estudos desenvolvidos por Faria (2011); Faria & Augusto Filho (2013a, 2013b).

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados do mapeamento de risco com a incorporação do método AHP realizado em 2014 pela UNIVAP em 16 áreas de risco no município de São José dos Campos (VALÉRIO FILHO *et al.*, 2014), e compará-los aos resultados obtidos

no mapeamento de risco realizado pela Prefeitura em 2012, utilizando apenas a análise qualitativa de risco.

2. O MÉTODO TRADICIONAL ADOTADO NO MAPEAMENTO DE RISCO

Em 2003, com a criação do Ministério das Cidades, o Governo Federal instituiu no âmbito do Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários, a Ação de “Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários” com o objetivo de auxiliar a redução dos riscos nas áreas urbanas. Esta ação compreende três etapas (CARVALHO & GALVÃO, 2006): a) treinamento de equipes municipais, com o objetivo de capacitar técnicos das prefeituras para a elaboração de diagnóstico, prevenção e gerenciamento de risco; b) apoio financeiro para elaboração, pelo município, do PMRR (Plano Municipal de Redução de Risco), que contempla: o diagnóstico de risco (mapeamento), as medidas de segurança necessárias para controle e redução dos riscos identificados, a estimativa de recursos a serem implantados nas intervenções necessárias para a redução e controle dos riscos, o estabelecimento de prioridades e, a compatibilização com os programas de urbanização de favelas e regularização fundiária; c) apoio financeiro para elaboração de projetos de contenção de encostas em áreas de risco consideradas prioritárias no PMRR.

O método do mapeamento de risco associado a escorregamentos adotado pelo Ministério das Cidades trata-se de um zoneamento de risco, onde são delimitados setores nos quais se encontram instaladas várias moradias.

Para cada setor identificado é atribuído um mesmo grau de risco, embora possa haver algumas moradias no setor que não apresentem o grau de risco atribuído ao setor e, eventualmente, podem ocorrer até mesmo moradias sem risco.

A definição de risco adotada é a apresentada por Augusto Filho *et al.* (1990), onde o “risco” representa a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos) ou a um segmento da mesma. É uma condição potencial de ocorrência de um acidente. Este conceito pode ser expresso matematicamente por:

$$R = P \times C \quad (1)$$

onde “R” é o risco, “P” é a probabilidade (se quantificada) ou frequência (F) ou a possibilidade da ocorrência de um evento, $P = S$ é a suscetibilidade de uma área à ocorrência de um determinado evento e “C” é a consequência social ou econômica potencial.

Desse modo, no mapeamento de risco avalia-se a possibilidade de ocorrer um determinado fenômeno físico – que corresponde ao processo adverso – em um local e período de tempo definidos, considerando as características do processo, sua tipologia, mecanismo, material envolvido, magnitude, velocidade, tempo de duração, trajetória, severidade, poder destrutivo, etc.

Os trabalhos de campo no mapeamento são realizados por meio de investigações geológico-geotécnicas de superfície, apoiadas na análise prévia de dados disponíveis sobre as áreas de risco. Essas investigações geológico-geotécnicas de superfície permitem a observação de aspectos referentes às características citadas. Por meio dessas investigações de campo podem ser identificados os condicionantes naturais e induzidos dos processos adversos, reconhecidos indícios de seu desenvolvimento, bem como feições e evidências de instabilidade (CERRI *et al.*, 2007).

Os trabalhos de Cerri (2006) e Cerri *et al.* (2007) apresentam em detalhe o método de mapeamento de risco associado a escorregamentos e inundação adotado pelo Ministério das Cidades como modelo para a elaboração do PMRR.

As etapas dos procedimentos de campo do método adotado pelo Ministério das Cidades são apresentadas na Tabela 1.

3. O MÉTODO AHP

O método AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970, com base em conceitos de matemática e psicologia. Este método fornece um procedimento compreensivo e racional para modelar um problema de decisão, representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (pesos). O resultado é um modelo que permite analisar várias alternativas com base

na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas por meio de comparações par a par realizadas de forma consistente e racional (TOMA & ASHARIF, 2003; TRENTIM, 2012). O AHP é um método que auxilia na decisão e é capaz de justificar a decisão (TRENTIM, 2012). Seu uso é indicado para problemas que envolvem a priorização de soluções potenciais através da avaliação de um conjunto de critérios (ASAHI

et al., 1994; FINNIE & WITTIG, 1999; KIM, 1999).

As etapas principais do método AHP apresentadas na Figura 1, mostram que sua utilização se inicia pela decomposição do problema em uma estrutura hierárquica que mostra as relações entre as metas e os níveis hierárquicos. A Figura 2 apresenta dois níveis hierárquicos: os critérios e as alternativas que envolvem a decisão.

Tabela 1: Métodos e procedimentos do mapeamento de risco adotado pelo ministério das cidades
Fonte: Cerri et al. (2007)

Mapeamento de risco – Ministério das Cidades
Etapas dos procedimentos de campo
Elaborar e utilizar os modelos dos processos de instabilização e as informações sobre a tipologia e os mecanismos de escorregamentos e de solapamentos de margens de córregos disponíveis na vasta literatura técnico-científica;
Realizar trabalhos de campo, por meio de investigações geológico-geotécnicas de superfície, visando identificar condicionantes dos processos de instabilização, evidências de instabilidade e indícios do desenvolvimento de processos destrutivos;
Obter a localização precisa das áreas de risco, por meio de utilização de GPS (<i>Global Positioning System</i>), com no mínimo um ponto de leitura por área mapeada;
Delimitar os setores de risco e, com base em julgamento dos profissionais encarregados do mapeamento de risco, atribuir, para cada setor, um grau de probabilidade de ocorrência de processo de instabilização (escorregamento de encostas ou solapamento de margens de córregos), considerando o período de 1 ano.
Representar cada setor de risco identificado em cópias de fotografias aéreas oblíquas de baixa altitude, a serem obtidas por meio de sobrevoos com helicóptero;
Estimar as consequências potenciais do processo de instabilização, por meio da avaliação das possíveis formas de desenvolvimento do processo destrutivo atuante (por exemplo, volumes mobilizados, trajetórias dos detritos, áreas de alcance, etc.), definir e registrar o número de moradias ameaçadas (total ou parcialmente), em cada setor de risco;
Indicar a(s) alternativa(s) de intervenção adequada(s) para cada setor de risco. Nos casos de ser possível a adoção de mais de uma alternativa de intervenção, essa possibilidade deve ser explicitada nas fichas de campo.

Fonte: Cerri et al. (2007)

ETAPAS DO MÉTODO AHP

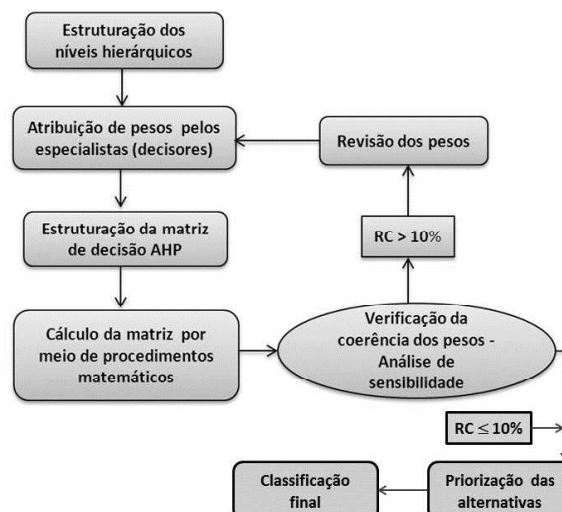


Fig. 1 - Etapas principais do método AHP. Fonte: Faria & Augusto Filho (2013a)

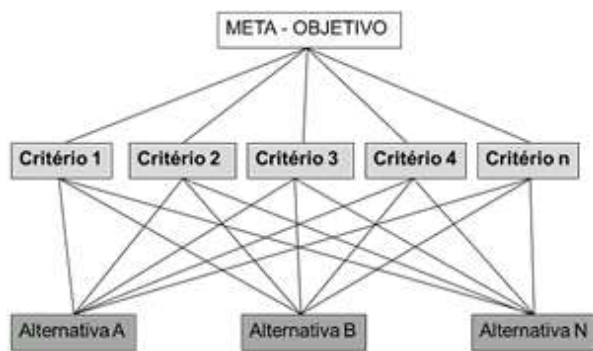


Fig. 2 - Exemplo de estruturação hierárquica em dois níveis: critérios e alternativas. Fonte: modificado de Saaty (1990)

A partir do momento em que essa hierarquia lógica está construída, os tomadores de decisão avaliam sistematicamente as alternativas por meio da comparação paritária, para cada um dos critérios. Essa comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos (pesos) como forma de informação subjacente (SAATY, 1990). Por outro lado, a atribuição de pesos para cada critério exige um conhecimento relativamente preciso do problema que normalmente só é possível para um especialista.

A partir do momento em que todas as comparações foram efetuadas e os pesos relativos entre os critérios a serem avaliados foram estabelecidos, determina-se a razão de consistência (RC) dos julgamentos, verificando se os pesos atribuídos a cada par de critérios estão coerentes. Após esta análise realiza-se a valoração global para cada alternativa. A valoração global de cada um dos critérios é determinada através da multiplicação de cada prioridade do primeiro nível por sua respectiva no segundo nível e indica a posição relativa de cada critério numa classificação final (SAATY, 1980). Nos itens a seguir são descritas as etapas do método AHP.

3.1 Atribuição de pesos - escala fundamental de Saaty

Os critérios são comparados segundo a escala de julgamentos, também denominada de escala fundamental de Saaty, onde a quantificação dos julgamentos é realizada por meio de uma escala de valores que varia de 1 a 9, como apresentado na Tabela 2 (BORITZ, 1992; SCHMIDT, 1995).

Tabela 2: Escala de julgamento de importância do método AHP

Valores numéricos	Termos verbais	Explicação
1	Igual importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação à outra.
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação à outra.
7	Muito fortemente mais importante	Alternativa fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma alternativa em relação a outra, com grau de certeza mais elevado.

Fonte: modificada de Saaty (1990).

Usualmente utiliza-se os números ímpares na escala de forma a assegurar razoável distinção entre os pontos da medição. O uso dos números pares só deve ser adotado quando existir a necessidade de negociação entre os avaliadores e quando o consenso natural não for obtido, gerando a necessidade de determinação de um ponto médio como solução negociada (SAATY, 1980).

3.2 Cálculo da matriz de comparação do vetor de prioridades

A partir da escala de Saaty, é construída uma matriz de comparação recíproca, conforme indicada na Tabela 3, a qual foi estruturada de forma que o critério 1 tem preferência sobre o critério 2, e a diagonal principal da matriz é representada pela unidade.

Tabela 3: Matriz comparativa

	Critério 1	Critério 2
Critério 1	01	Avaliação numérica
Critério 2	1/Avaliação numérica (Recíproco)	01

O cálculo da matriz de comparação resulta no “autovetor de prioridades”. Segundo Saaty (1990), a forma para realizar o cálculo do autovetor consiste em elevar a matriz a potências arbitrariamente altas, dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, ou seja, normalizando os resultados.

O autovetor determina a participação ou o peso relativo de cada critério no resultado total da meta e é obtido de modo aproximado, por meio da média aritmética dos valores de cada um dos critérios. Ressalta-se que os procedimentos matemáticos do método AHP estão exemplificados passo a passo em Teknomo (2006). De posse das importâncias relativas dos critérios é verificada a integridade e coerência dos julgamentos, por meio da análise de consistência.

3.3 Análise da consistência dos julgamentos

A integridade, qualidade ou coerência dos julgamentos é realizada por meio do cálculo do “autovalor”. Essa análise também é denominada de “análise de sensibilidade” e indica se os julgamentos estão logicamente relacionados (PAMPLONA, 1999).

Para a realização da análise de sensibilidade, Saaty (1990) propôs o seguinte procedimento:

a) Estima-se inicialmente o “autovalor máximo” ($\lambda_{\text{máx}}$). A consistência de uma matriz positiva recíproca requer que o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) seja igual ao número de linhas (ou colunas) da matriz de comparações paritárias n (número que representa a ordem da matriz). Quanto mais próximo $\lambda_{\text{máx}}$ for de n , mais consistente será o resultado. O autovalor é calculado através da equação (2):

$$\lambda_{\text{máx}} = T \cdot w \quad (2)$$

onde: “ T ” é o autovetor normalizado e; “ w ” corresponde à soma das colunas da matriz de comparações para cada critério.

b) Calcula-se o índice de consistência (IC). O índice de consistência de uma matriz de comparações paritárias indica quanto o autovalor está afastado do valor teórico esperado n . Logo, esse desvio é dado pela expressão ($\lambda_{\text{máx}} - n$). Essa diferença é medida em relação ao número de graus de liberdade da matriz ($n - 1$). Assim, o índice de consistência é dado pela equação (3), a seguir:

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n-1) \quad (3)$$

c) Calcula-se a razão de consistência (RC). Para se determinar a razão de consistência (RC), o índice de consistência (IC) é comparado com o índice de consistência aleatória (CA) para determinar se o grau de consistência é satisfatório. O índice de consistência aleatória também é denominado de “índice randômico” (IR), por outros autores.

O índice de consistência aleatória (CA) representa o valor que seria obtido em uma matriz de comparações paritárias de ordem n em que não fossem realizados julgamentos lógicos, preenchendo-se os elementos com valores aleatórios. Saaty (1980) calculou o índice de consistência aleatória para uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de ordem de até 11 por 11, geradas aleatoriamente, encontrando os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz

n	1	2	3	4	5	6
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24
n	7	8	9	10	11	
CA	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	

Fonte: Saaty (1980)

A razão de consistência permite analisar o grau de violação da proporcionalidade e transitividade dos julgamentos do decisor. É calculada conforme equação (4):

$$RC = IC/CA \quad (4)$$

A razão de consistência (RC) é aceitável para valores menores ou iguais a 0,10 (10%). Para valores maiores que 0,10 podem existir sérias inconsistências nos julgamentos e o resultado da aplicação do AHP pode ser considerado “pobre” (incoerente). Neste caso, sugere-se a revisão da matriz de comparações no intuito de rever os julgamentos, buscando torná-los consistentes (SAATY, 1990).

Boritz (1992) aponta como um dos pontos fortes mais significativos do método AHP, a capacidade de medir o grau de consistência presente nos julgamentos par a par e, desse modo, contribuir para assegurar que somente ordenações justificáveis sejam usadas como a base para avaliações.

3.4 Valoração global

A valoração global de cada uma das alternativas é realizada segundo o método da soma ponderada (SAATY, 1980), expresso pela equação (5):

$$V(a) = \sum_{j=1}^n p_j v_j(a) \quad (5)$$

Com $\sum_{j=1}^n p_j = 1$ e $0 < p_j < 1$ ($j=1, \dots, n$); onde: $V(a)$ corresponde ao valor global da alternativa analisada; p_j corresponde à importância relativa do critério j e; v_j ao nível de preferência da alternativa analisada no critério j .

Segundo Ensslin (2001) em um modelo considerado “estável”, ou seja, bem estruturado, pequenas alterações na atribuição dos pesos não modificam significativamente os resultados.

Com a execução de todos os procedimentos descritos anteriormente obtêm-se subsídios consistentes para a tomada de decisão em relação a um problema complexo.

Existem no mercado alguns softwares, que implementam o AHP e promovem a simplificação do processo de avaliação e a execução dos cálculos matriciais e dos índices de consistência (CHOIRAT & SERI, 2001; SAUNDERS, 1994). Entretanto, existem análises simples, como é o caso desse trabalho, em que é possível executar os cálculos matriciais e os índices de consistência por meio de um programa de estruturação de planilhas, como exemplo, a *Microsoft Excel*.

4. MÉTODO E ETAPAS DO TRABALHO

As principais etapas de trabalho desenvolvidas neste estudo foram: a definição da área de estudo, o levantamento das áreas de risco a serem mapeadas e a realização da investigação geológico-geotécnica de superfície por meio dos trabalhos de campo.

4.1 Área de estudo

O município de São José dos Campos está localizado na região do Vale do Paraíba, Estado de São Paulo (Figura 3). Possui uma área total de 1.099,6 km², sendo que destes 353,9 km² são correspondentes à área urbana e 745,7 km² de área rural.

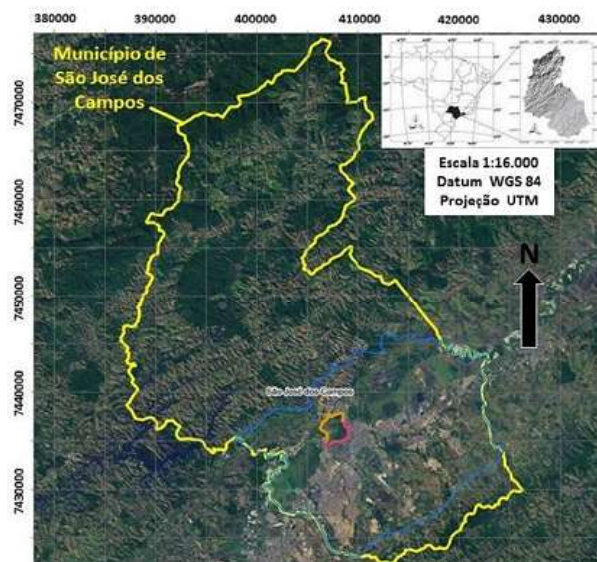


Fig. 3 - Localização do município de São José dos Campos. Fonte: modificado de PMSJC (2014)

Segundo o mapa elaborado pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, os solos do município de São José dos Campos/SP são classificados em cinco tipos (OLIVEIRA *et al.*, 1999), na qual observa-se que sua ocorrência está diretamente relacionada com as feições geomorfológicas da região do Vale do Paraíba.

Desta forma, nas áreas de Morros Arredondados, Morros Alongados e Serras Médias (onde está situada a maior parte das áreas de risco a deslizamentos no município) ocorrem solos pouco evoluídos originados das rochas cristalinas (migmatitos, gnaisses, xistos, filitos e suites graníticas), enquanto nas regiões de Planícies Aluviais, Terraços Fluviais e Colinas Pequenas ocorrem solos bastante evoluídos constituídos sobre materiais inconsolidados carregados pelos rios da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul.

Regionalmente no município de São José dos Campos ocorrem predominantemente Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) e Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) na região norte, onde se encontram 15 das 16 áreas de risco a escorregamentos indicadas pela PMSJC, e Gleissolos Melânicos (GM) e Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) na região sul (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Os Latossolos (LVA) ocorrem em regiões de paleovale do rio Paraíba do Sul e baixas vertentes da Serra da Mantiqueira, em relevos suavemente ondulados a ondulados, com

altimetria variando de 800 a 1.000 metros, sendo solos originários de granitos e gnaisses. Os Argissolos (PVA) ocorrem em regiões de zonas pré-montanhosas, em relevos ondulados a fortemente ondulados, com altimetria entre 1.000 a 1.200 metros, sendo solos de origem granito-gnáissica e xisto (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Em São José dos Campos devido às frequentes intervenções antrópicas nas encostas, é comum a ocorrência dos escorregamentos planares rasos em taludes de corte e aterros.

4.2 Áreas mapeadas

As áreas de risco indicadas previamente pela Prefeitura Municipal para a UNIVAP realizar o mapeamento de risco a escorregamentos envolvem 16 bairros, conforme apresentado na Tabela 5 e na Figura 4.

4.3 Investigações geológico-geotécnicas de superfície

Os trabalhos de campo para a caracterização dos setores das 16 áreas indicadas pela Prefeitura de São José dos Campos foram realizados no período de setembro de 2013 a maio de 2014, por meio de investigações geológico-geotécnicas de superfície, em escala local, visando identificar os condicionantes geológico-geotécnicos e

ambientais dos processos de escorregamentos (indicadores de risco) e a presença de feições de instabilidade.

No zoneamento de risco, a delimitação dos setores no campo foi realizada com base nos seguintes procedimentos (FARIA, 2011):

- i) Pré-setorização a uma distância que possibilitasse a visão geral do cenário de risco, observando o relevo e a forma de ocupação da área a ser mapeada. Nesta etapa foram considerados: a posição da ocupação em relação a encosta (topo, meia-encosta e base, com possibilidades de queda; queda ou atingimento e atingimento, respectivamente), forma do perfil da encosta (retilínea, convexo, côncavo, côncavo-convexo), identificação da tipologia dos processos esperados e a delimitação da área possível de ser afetada pelo processo;
- ii) Setorização em escala de detalhe, verificando localmente as observações realizadas à distância e identificando os indicadores de risco e as feições de instabilidade em cada setor.

Os resultados das investigações geológico-geotécnicas e das interpretações de campo foram registrados em fichas elaboradas especificamente para esse fim (Tabela 6), com base nos indicadores de risco e suas respectivas classes, apresentados nas Tabelas 7, 8, 9 e 10.

Tabela 5: Áreas de risco de escorregamentos de São José dos Campos/SP

Áreas	Bairros/Denominação
1	Dona Nega/Morro dos Macacos
2	Rua Dona Linda – Bairro dos Freitas
3	Jardim Guimarães
4	Chácaras Havaí
5	Chácaras Araújo
6	Águas do Canindú I e II
7	Santo Ângelo
8	Buquirinha I
9	Buquirinha II
10	Chácaras Oliveira
11	Buquirinha I
12	Altos do Caeté
13	Chácara Taquarí
14	Chácara dos Florindos
15	Chácara Miranda
16	Fazenda Boa Vista

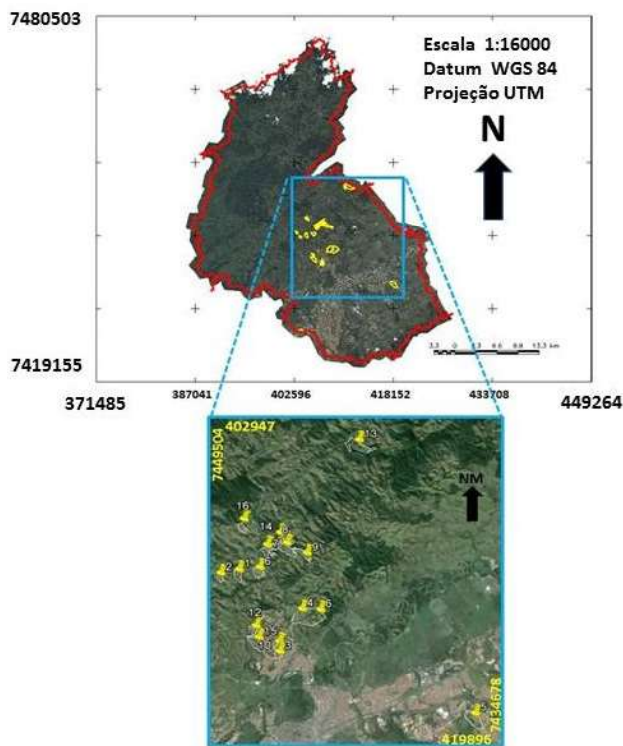


Fig. 4 – Delimitação da área de estudo no município de São José dos Campos. Fonte: modificado de Valério Filho *et al.* (2014).

Tabela 6: Ficha de campo utilizada no mapeamento de São José dos Campos

Projeto: Mapeamento de risco de escorregamentos N° da ficha																																	
Município: São José dos Campos	Data:																																
Nome da área:																																	
Endereço:	Bairro:																																
Coordenada N:	Coordenada E:																																
Condições de <input type="checkbox"/> boas <input type="checkbox"/> razoáveis <input type="checkbox"/> ruins																																	
Critérios para definição do setor:																																	
<input type="checkbox"/> posição do setor na <input type="checkbox"/> topo <input type="checkbox"/> meia-encosta <input type="checkbox"/> base <input type="checkbox"/>																																	
<input type="checkbox"/> perfil da <input type="checkbox"/> retilíneo <input type="checkbox"/> côncavo <input type="checkbox"/> convexo <input type="checkbox"/>																																	
<input type="checkbox"/> declividade excessiva da encosta																																	
<input type="checkbox"/> altura e inclinação excessivos do																																	
<input type="checkbox"/> presença de feições de instabilidade																																	
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Escorregamento planar em Encosta Natural</td> <td style="width: 50%;">Escorregamento de corte</td> </tr> <tr> <td>Amplitude:</td> <td>Nível d'água (N.A.):</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (A1) A ≤ 10 m</td> <td><input type="checkbox"/> (NA1) não observado</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (A2) 10 < A ≤ 20 m</td> <td><input type="checkbox"/> (NA2) surgência</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (A3) A > 20 m</td> <td>Água Superficial:</td> </tr> <tr> <td>Declividade:</td> <td><input type="checkbox"/> (AS1) concentração</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (D1) D ≤ 17°</td> <td><input type="checkbox"/> (AS2) concentração</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (D2) 17° < D ≤ 30°</td> <td><input type="checkbox"/> (AS3) concentração</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (D3) D > 30°</td> <td><input type="checkbox"/> (AS4) linha de</td> </tr> <tr> <td>Uso/Cobertura:</td> <td>Material:</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (U1) arbórea</td> <td><input type="checkbox"/> (M1) solos residual</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (U2) arbustiva</td> <td><input type="checkbox"/> (M2) depósito natural</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (U3) campo/cultura</td> <td>Estrutura Geológica:</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (U4) cobertura urbana</td> <td><input type="checkbox"/> (NC) não observada</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> (U5) solo exposto</td> <td><input type="checkbox"/> (E1) favorável à</td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/> (E2) desfavorável à</td> </tr> </table>		Escorregamento planar em Encosta Natural	Escorregamento de corte	Amplitude:	Nível d'água (N.A.):	<input type="checkbox"/> (A1) A ≤ 10 m	<input type="checkbox"/> (NA1) não observado	<input type="checkbox"/> (A2) 10 < A ≤ 20 m	<input type="checkbox"/> (NA2) surgência	<input type="checkbox"/> (A3) A > 20 m	Água Superficial:	Declividade:	<input type="checkbox"/> (AS1) concentração	<input type="checkbox"/> (D1) D ≤ 17°	<input type="checkbox"/> (AS2) concentração	<input type="checkbox"/> (D2) 17° < D ≤ 30°	<input type="checkbox"/> (AS3) concentração	<input type="checkbox"/> (D3) D > 30°	<input type="checkbox"/> (AS4) linha de	Uso/Cobertura:	Material:	<input type="checkbox"/> (U1) arbórea	<input type="checkbox"/> (M1) solos residual	<input type="checkbox"/> (U2) arbustiva	<input type="checkbox"/> (M2) depósito natural	<input type="checkbox"/> (U3) campo/cultura	Estrutura Geológica:	<input type="checkbox"/> (U4) cobertura urbana	<input type="checkbox"/> (NC) não observada	<input type="checkbox"/> (U5) solo exposto	<input type="checkbox"/> (E1) favorável à		<input type="checkbox"/> (E2) desfavorável à
Escorregamento planar em Encosta Natural	Escorregamento de corte																																
Amplitude:	Nível d'água (N.A.):																																
<input type="checkbox"/> (A1) A ≤ 10 m	<input type="checkbox"/> (NA1) não observado																																
<input type="checkbox"/> (A2) 10 < A ≤ 20 m	<input type="checkbox"/> (NA2) surgência																																
<input type="checkbox"/> (A3) A > 20 m	Água Superficial:																																
Declividade:	<input type="checkbox"/> (AS1) concentração																																
<input type="checkbox"/> (D1) D ≤ 17°	<input type="checkbox"/> (AS2) concentração																																
<input type="checkbox"/> (D2) 17° < D ≤ 30°	<input type="checkbox"/> (AS3) concentração																																
<input type="checkbox"/> (D3) D > 30°	<input type="checkbox"/> (AS4) linha de																																
Uso/Cobertura:	Material:																																
<input type="checkbox"/> (U1) arbórea	<input type="checkbox"/> (M1) solos residual																																
<input type="checkbox"/> (U2) arbustiva	<input type="checkbox"/> (M2) depósito natural																																
<input type="checkbox"/> (U3) campo/cultura	Estrutura Geológica:																																
<input type="checkbox"/> (U4) cobertura urbana	<input type="checkbox"/> (NC) não observada																																
<input type="checkbox"/> (U5) solo exposto	<input type="checkbox"/> (E1) favorável à																																
	<input type="checkbox"/> (E2) desfavorável à																																
Feições de instabilidade:																																	
<input type="checkbox"/> trincas (moradia/terreno)	Importância:																																
<input type="checkbox"/> degraus de abatimento	<input type="checkbox"/>																																
<input type="checkbox"/> muros e paredes embarrigados	<input type="checkbox"/> incipientes																																
<input type="checkbox"/> árvores, postes e muros inclinados																																	
<input type="checkbox"/> cicatrizes de escorregamentos																																	
Ocupação:																																	
Estágio da ocupação:	Padrão construtivo:																																
<input type="checkbox"/> consolidada	<input type="checkbox"/> alvenaria: <input type="checkbox"/> 1 pavimento <input type="checkbox"/> 2 ou																																
<input type="checkbox"/> parcialmente	<input type="checkbox"/> madeira																																
<input type="checkbox"/> parcelada	<input type="checkbox"/> mista																																
<input type="checkbox"/> mista																																	
Número de moradias no	Estimativa de moradores no setor:																																
Medidas Mitigadoras:																																	
Medidas não estruturais:																																	
<input type="checkbox"/> remoção preventiva																																	
<input type="checkbox"/> remoção definitiva																																	
<input type="checkbox"/> monitoramento das áreas de risco																																	
<input type="checkbox"/> implantação de Planos Preventivos de Defesa Civil																																	
Medidas estruturais:																																	
<input type="checkbox"/> serviço de limpeza e recuperação																																	
<input type="checkbox"/> estabilização de blocos rochosos (tela metálica e tirante, desmonte manual ou com argamassa expansiva)																																	
<input type="checkbox"/> proteção superficial (gramíneas, grama armada com geossintético, selagem de fendas com solo argiloso,																																	
<input type="checkbox"/> disciplinamento do escoamento de águas servidas (implantação de sistema de coleta de esgoto																																	
<input type="checkbox"/> obras de drenagem superficial (canaletas de borda, de pé e de descida; drenagem de crista; escadas																																	
<input type="checkbox"/> obras de drenagem de subsuperfície (DHPs, trincheiras drenantes, barbaças etc)																																	
<input type="checkbox"/> estruturas de contenção de médio a grande porte (gabiões, solo grampeado, cortinas atirantadas, muros																																	
<input type="checkbox"/> estruturas de contenção lineares de pequeno porte (micro estacas, muro solo-cimento ensacado, muro																																	
<input type="checkbox"/> obras de proteção contra massas movimentadas (barreira vegetal, muro de espera)																																	

Tabela 7: Pesos e indicadores de risco e de suas respectivas classes com a aplicação do método AHP – para escorregamento em encosta

Encosta/Talude		Encosta	
Processo		Escorregamento raso	
Indicadores de Risco	Pesos (%)	Classes	Pesos (%)
Amplitude	9,93	(A1) ≤10 m	6,69
		(A2) 10<A≤20 m	22,00
		(A3) >20 m	71,32
Declividade	33,52	(D1) ≤17°	6,69
		(D2) 17°<D≤30°	22,00
		(D3) >30°	71,32
Uso/Cobertura	20,01	(U1) Arbórea	3,72
		(U2) Arbustiva	6,70
		(U3) Campo/Cultura	14,22
		(U4) Cobertura Urbana	21,16
		(U5) Solo Exposto	54,20
N.A.	17,90	(NA1) Não observado	10,00
		(NA2) Surgência	90,00
Água Superficial	10,77	(AS1) Concentração baixa	4,48
		(AS2) Concentração média	9,85
		(AS3) Concentração alta	24,09
		(AS4) Linha de drenagem	61,57
Material	5,21	(M1) Solo Residual	12,50
		(M2) Depósito Natural	87,50
Estrutura Geológica	2,66	(NO) Não observada	7,14
		(E1) Favorável à estabilidade	18,04
		(E2) Desfavorável à estabilidade	74,82
Contato	-	-	-
Plano Basal	-	-	-
Forma Geométrica	-	-	-
Área de contato	-	-	-

Tabela 8: Pesos e indicadores de risco e de suas respectivas classes com a aplicação do método AHP – para escorregamento em talude de corte

Encosta/Talude		Talude Corte	
Processo		Escorregamento solo/rocha	
Indicadores de Risco	Pesos (%)	Classes	Pesos (%)
Amplitude	10,37	(A1) ≤2 m	5,69
		(A2) 2<A≤5 m	12,19
		(A3) 5<A≤10 m	26,33
		(A4) >10 m	55,79
Declividade	23,53	(D1) ≤17°	4,35
		(D2) 17°<D≤30°	12,37
		(D3) 30°<D≤60°	27,09
		(D4) D>60°	56,19
Uso/Cobertura	10,86	(U1) Arbórea	3,72
		(U2) Arbustiva	6,70
		(U3) Campo/Cultura	14,22
		(U4) Cobertura Urbana	21,16
		(U5) Solo Exposto	54,20
N.A.	20,57	(NA1) Não observado	10,00
		(NA2) Surgência	90,00
Água Superficial	12,00	(AS1) Concentração baixa	4,48
		(AS2) Concentração média	9,85
		(AS3) Concentração alta	24,09
		(AS4) Linha de drenagem	61,57
Material	13,59	(M1) - Solo Residual	21,04
		(M2) - Depósito Natural	48,13
		(M3) - Rocha Alterada	21,04
		(M4) - Rocha Sã	9,79
Estrutura Geológica	9,07	(NO) Não observada	7,14
		(E1) Favorável à estabilidade	18,04
Contato	-	(E2) Desfavorável à estabilidade	74,82
		-	-
Plano Basal	-	-	-
Forma Geométrica	-	-	-
Área de contato	-	-	-

Tabela 9: Pesos e indicadores de risco e de suas respectivas classes com a aplicação do método AHP – para rolamento/desplacamento em talude rochoso

Encosta/Talude		Bloco Rochoso	
Processo		Rolamento/Desplacamento	
Indicadores de Risco	Pesos (%)	Classes	Pesos (%)
Amplitude	2,97	(A1) ≤10 m	6,69
		(A2) 10<A≤20 m	22,00
		(A3) >20 m	71,32
Declividade	10,18	(D1) ≤17°	4,35
		(D2) 17°<D≤30°	12,37
		(D3) 30°<D≤60°	27,09
		(D4) D>60°	56,19
Uso/Cobertura	3,02	(U1) Arbórea	3,72
		(U2) Arbustiva	6,70
		(U3) Campo/Cultura	14,22
		(U4) Cobertura Urbana	21,16
		(U5) Solo Exposto	54,20
N.A.	4,81	(NA1) Não observado	10,00
		(NA2) Surgência	90,00
Água Superficial	12,68	(AS1) Concentração baixa	4,48
		(AS2) Concentração média	9,85
		(AS3) Concentração alta	24,09
		(AS4) Linha de drenagem	61,57
Material	5,10	(M1) Solo residual	5,55
		(M2) Depósito natural	54,46
		(M3) Rocha alterada	22,92
		(M4) Rocha sã	17,08
Estrutura Geológica	24,01	(NO) Não observada	6,69
		(E1) 1 família de fraturas	22,00
Contato	10,03	(E2) 2 ou mais famílias de fraturas	71,32
		(C1) Rocha/Rocha liso	6,41
		(C2) Rocha/Rocha preenchido	28,95
Plano Basal	7,02	(C3) Rocha/Solo	64,63
		(B1) 0°<P≤15°	6,69
		(B2) 15°<P≤35°	22,00
Forma Geométrica	11,53	(B3) >35°	71,32
		(F1) Lasca	6,69
		(F2) Laje	22,00
Área de contato	8,63	(F3) Arredondada ou Cúbica	71,32
		(AC1) Área maior	10,00
		(AC2) Área menor	90,00

Tabela 10: Pesos e indicadores de risco e de suas respectivas classes com a aplicação do método AHP – para escorregamento em talude de aterro

Encosta/Talude		Aterro	
Processo		Escorregamento	
Indicadores de Risco	Pesos (%)	Classes	Pesos (%)
Amplitude	9,51	(A1) ≤2 m	5,69
		(A2) 2<A≤5 m	12,19
		(A3) 5<A≤10 m	26,33
		(A4) >10 m	55,79
Declividade	12,07	(D1) ≤17°	6,69
		(D2) 17°<D≤30°	22,00
		(D3) >30°	71,32
Uso/Cobertura	9,29	(U1) Arbórea	3,72
		(U2) Arbustiva	6,70
		(U3) Campo/Cultura	14,22
		(U4) Cobertura Urbana	21,16
		(U5) Solo Exposto	54,20
N.A.	22,32	(NA1) Não observado	10,00
		(NA2) Surgência	90,00
Água Superficial	18,69	(AS1) Concentração baixa	4,48
		(AS2) Concentração média	9,85
		(AS3) Concentração alta	24,09
		(AS4) Linha de drenagem	61,57
Material	28,12	(M1) - Solo	11,50
		(M2) - Lixo/Entulho	40,55
		(M3) - Misto (solo, lixo e entulho)	47,96
Estrutura Geológica	-	-	-
Contato	-	-	-
Plano Basal	-	-	-
Forma Geométrica	-	-	-
Área de contato	-	-	-

A atribuição dos graus de risco somente foi realizada ao final das atividades de campo, após a análise de todas as áreas de risco, conforme a sistematização em planilhas com os cálculos matemáticos do método AHP desenvolvido por Faria (2011).

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho compreenderam a aplicação do Método AHP, a realização da análise do risco e posteriormente a comparação dos resultados da aplicação do Método AHP com o Método de mapeamento do Ministério das Cidades.

5.1 Aplicação do método AHP

Os condicionantes geológico-geotécnicos e ambientais dos processos de escorregamentos foram denominados de “indicadores de risco”, sendo agrupados em tipos e classes específicas e cujos pesos foram adotados segundo Faria (2011) por meio das matrizes de decisão AHP, conforme apresentado nas Tabelas 7, 8, 9 e 10.

5.2 Análise do risco

A análise do risco compreendeu a determinação do índice de risco (IR) e seu respectivo grau de risco. Os cálculos foram realizados, conforme Faria (2011).

Foram mapeadas 16 áreas de risco no município de São José dos Campos/SP, compreendendo um total de 131 setores de risco associado a escorregamentos.

Os índices de risco foram calculados para cada tipo de processo de escorregamento identificado nos setores de risco durante os trabalhos de campo. Foram identificados 285 tipos de processo nos setores de risco mapeados.

O grau de risco foi dividido em quatro classes: muito alto, alto, médio e baixo, adotando-se os critérios descritos nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11: Critérios aplicados na análise de risco de escorregamento dos setores mapeados com a aplicação do método AHP

Análise de Perigo de Escorregamento	
Índice de Risco (IR)	Grau de Risco
IR < 23,84	BAIXO
23,84 ≤ IR ≤ 31,45	MÉDIO
IR > 31,45	ALTO
Presença de feições de instabilidade	MUITO ALTO

A média aritmética foi calculada para os 285 valores do índice de risco (IR) resultantes dos diferentes tipos de processos de escorregamentos identificados nos 131 setores de risco mapeados. Portanto, a média aritmética (\bar{X}) dos 285 valores de índice de risco foi 27,64 e o desvio padrão (Δ) foi de 7,62.

Tabela 12: Correlação entre os critérios da classificação de risco no método adotado pelo ministério das cidades e da classificação com a aplicação do método AHP

GRAU DE RISCO	ÍNDICE DE RISCO (IR)	DESCRIÇÃO
R1 Baixo	IR < 23,84	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervalo no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muitas reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 01 ano.
R2 Médio	23,84 ≤ IR ≤ 31,45	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 01 ano.
R3 Alto	IR > 31,45	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 01 ano.
R4 Muito Alto	Presença de feições de instabilidade	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, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata devido ao seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 01 ano.

Substituindo os valores da média e do desvio padrão na expressão de $IP = \bar{X} \pm \frac{1}{2} \times \Delta$, têm-se: $IP = 27,64 \pm \frac{1}{2} \times 7,62$, resultando nos valores de $IP = 23,84$ e $IP = 31,45$.

Os critérios utilizados na análise do risco de escorregamento dos 131 setores resultantes do mapeamento com a aplicação do método AHP é apresentado na Tabela 11.

A Tabela 12, a seguir, apresenta a correlação entre os critérios da classificação do risco no método de mapeamento de escorregamentos adotado pelo Ministério das Cidades e a classificação do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP.

Do total de 131 setores de risco mapeados, 16 setores apresentaram grau de risco “Baixo”, 29 setores grau de risco “Médio”, 37 setores apresentaram grau de risco “Alto” e 49 setores grau de risco “Muito Alto”. Por meio das atividades de campo e análises das imagens digitais disponíveis na época do levantamento foi possível estimar cerca de 2.016 moradias com possibilidade de serem atingidas por escorregamentos nos 131 setores, com diferentes graus de risco (Baixo-R1, Médio-R2, Alto-R3 ou Muito Alto-R4), conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Número de setores (S) e moradias (M) estimadas por grau de risco (R) e área mapeada (A)

(A)	(S)	(M)	(M) (%)	R1	R2	R3	R4
A1	8	68	3,4	20	7	20	21
A2	7	45	2,2	0	6	32	7
A3	2	83	4,1	69	0	0	14
A4	18	377	18,7	14	116	145	102
A5	4	45	2,2	0	14	5	26
A6	25	419	20,8	34	131	133	121
A7	5	52	2,6	26	0	0	26
A8	8	108	5,4	0	13	23	72
A9	7	113	5,6	0	8	8	97
A10	9	162	8,0	0	41	23	98
A11	7	72	3,6	15	0	41	16
A12	5	102	5,1	0	12	55	35
A13	9	130	6,4	0	0	72	58
A14	4	67	3,3	44	2	0	21
A15	6	63	3,1	6	11	8	38
A16	7	110	5,5	6	3	54	47
TOTAL =	131	2.016	100%	234	364	619	799

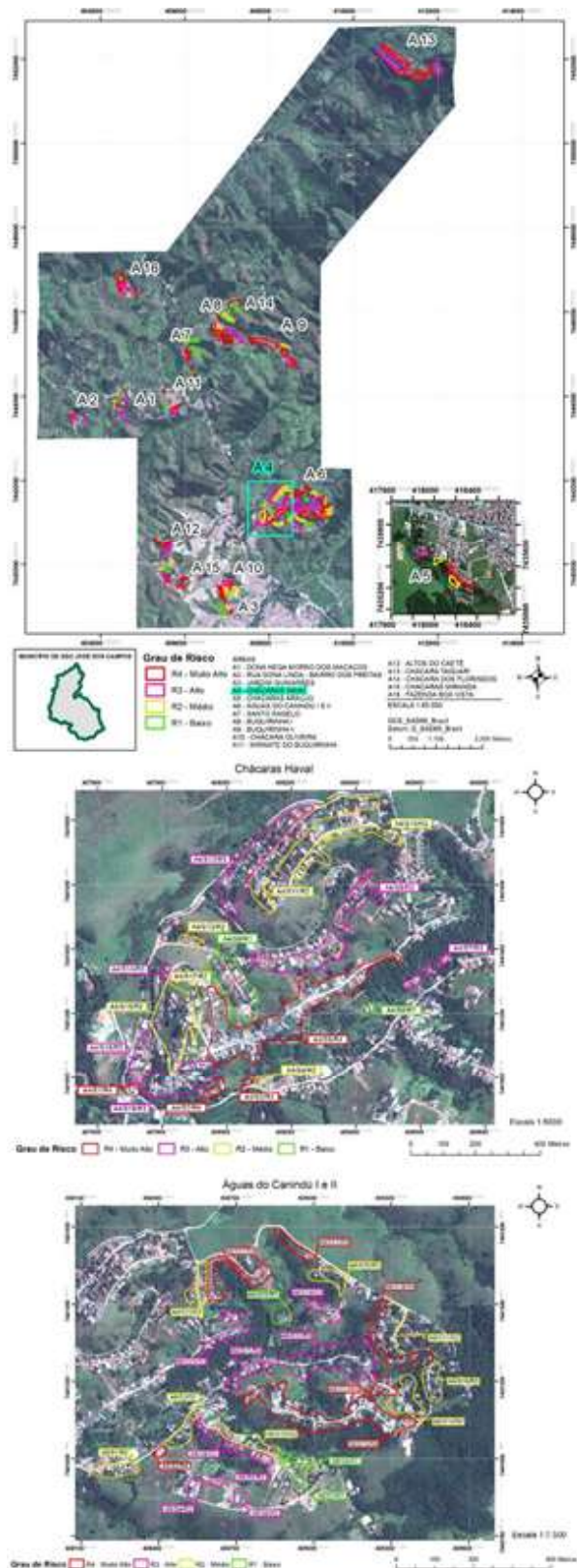


Fig. 5 – Mapa de risco a escorregamentos do município de São José dos Campos/SP (acima) e setores das áreas de risco Chácaras Havaí (centro) e Águas de Canindú (abaixo). Fonte: Valério Filho *et al.* (2014)

A partir da análise dos dados da Tabela 13, observa-se que as áreas de risco com a

maior quantidade de moradias ameaçadas são: Área 04-Chácara Havaí e Área 06-Águas de Canindú com 377 moradias (18,7%) e 419 moradias (20,8%), respectivamente, totalizando aproximadamente 40% das 2.016 moradias estimadas nas 16 áreas mapeadas.

Na Figura 5 pode-se observar o mapa de risco a escorregamentos do município de São José dos Campos/SP com as 16 áreas mapeadas (acima), obtido a partir da utilização do método AHP e, em destaque, os setores das principais áreas de risco mapeadas: Chácara Havaí (centro) e Águas de Canindú (abaixo).

Na Figura 6, observa-se que 12,2% dos 131 setores de risco a escorregamento analisados foram classificados com grau de risco “Baixo-R1”, 22,1% com grau de risco “Médio-R2”, 28,2% com grau de risco “Alto-R3” e 37,4% classificados com grau de risco “Muito Alto-R4”.

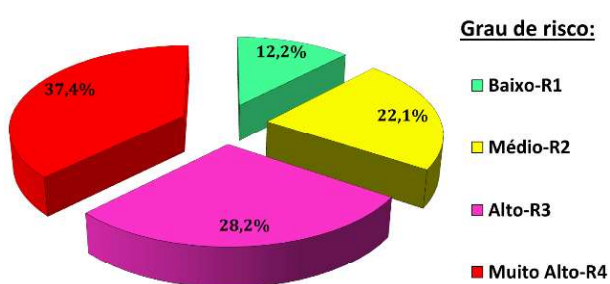


Fig. 6 - Quantificação do número de setores (em %) por grau de risco a escorregamento.

Na Figura 7, nota-se que do total de 2.016 moradias estimadas nas 16 áreas de risco a escorregamento mapeadas, 234 moradias são classificadas com o grau de risco “Baixo-R1”, 364 moradias classificadas com grau de risco “Médio-R2”, 619 moradias classificadas com grau de risco “Alto-R3” e 799 moradias classificadas com grau de risco “Muito Alto-R4”.

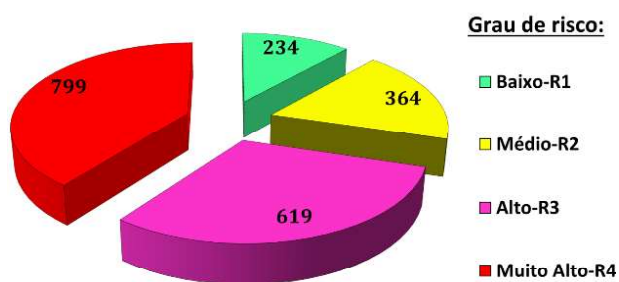


Fig. 7 - Quantificação do número de setores (em %) por grau de risco a escorregamento.

5.3 Comparação dos resultados obtidos com o método do Ministério das Cidades

Em 2012 a Prefeitura Municipal de São José dos Campos realizou o mapeamento de risco associado a escorregamentos nas 16 áreas consideradas no presente estudo, classificando o risco em quatro graus, conforme o método adotado pelo Ministério das Cidades. O estudo foi realizado por equipe técnica da prefeitura com apoio da Secretaria Especial de Defesa do Cidadão do município.

Comparando-se os resultados do mapeamento obtidos com a aplicação do método AHP com os resultados do mapeamento de 2012, constatou-se haver uma redução da ordem de 38% no número de moradias ameaçadas nos setores mapeados, conforme apresentado na Figura 8.

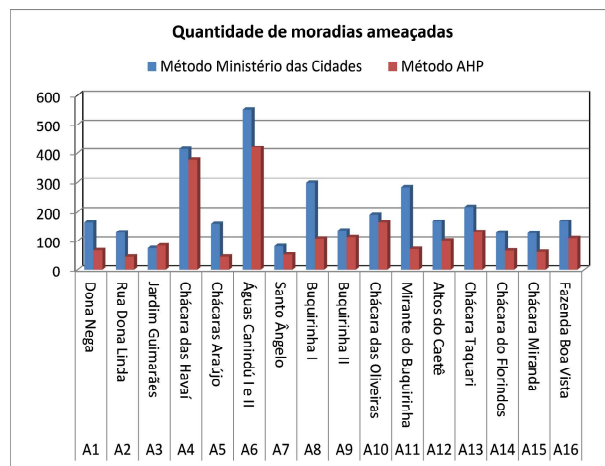


Fig. 8 - Quantidade de moradias ameaçadas em função da metodologia de mapeamento de risco utilizada

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do método AHP no mapeamento de risco associado a escorregamentos do município de São José dos Campos em escala local permitiu diminuir a subjetividade do mapeamento e melhorar o grau de confiabilidade do diagnóstico de risco para a implementação das ações de mitigação por parte do poder público.

A aplicação do método AHP em mapeamentos de risco evidencia a facilidade e praticidade de se verificar a contribuição (em forma de peso) dos indicadores de risco na classificação dos setores mapeados.

Ao se comparar os resultados dos mapeamentos de risco realizados pela Prefeitura Municipal de São José dos Campos e UNIVAP, obtidos a partir do emprego dos métodos do Ministério das Cidades e AHP, respectivamente, observa-se que o último método permite:

1) A sistematização e hierarquização dos condicionantes naturais e induzidos dos processos de escorregamentos, minimizando a subjetividade, tornando a análise de risco mais objetiva e consistente;

2) A adoção de procedimentos para uniformizar a delimitação dos setores nas áreas mapeadas.

Assim, com base nesses resultados é possível definir, de forma otimizada, as ações necessárias (medidas estruturais e não estruturais) para a gestão de risco a escorregamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos moradores das áreas de risco pela compreensão dos trabalhos efetuados nos seus bairros, bem como pela atenção e colaboração de todos; aos agentes municipais de Defesa Civil pela cessão dos insumos cartográficos necessários à realização desse trabalho; ao Instituto Geológico pela permissão de atuação de seus pesquisadores; e à Prefeitura Municipal de São José dos Campos pelo auxílio financeiro concedido no âmbito do Convênio estabelecido com a UNIVAP (Processo nº 53.366 de 02/09/2013).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAHI, T.; TURO, D.; SHNEIDERMAN, B. **Visual decision-making: Using tree maps for the Analytic Hierarchy Process**. University of Maryland, Department of Computer Science Technical Report CS-TR-3293. 1994. 95-104pp.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L.E.S.; AMENOMORI, C.J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. In: I Simpósio Latino-Americano sobre risco geológico urbano, São Paulo, 1990, **Anais**. p. 334-341, 1990.

BORITZ, J. E. Pairwise Comparison - **The Analytic Hierarchy Process**. University of Waterloo, Waterloo. Disponível em: <<http://www.jebcl.com/riskdo/riskdo3.htm>>. 1992

CARVALHO, C.S. Análise quantitativa de riscos e seleção de alternativa de intervenção: exemplo de um programa municipal de controle de riscos

geotécnicos em favelas. In: I Workshop sobre seguros na engenharia, São Paulo, 2000, **Anais**. p. 49-56, 2000.

CARVALHO, C.S. Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão. **Tese de Doutorado**. Escola Politécnica, USP, São Paulo, 192p, 1996.

CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T. Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários. In: Brasil. CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T. (orgs.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, p. 10-17, 2006.

CERRI, L.E.S. Mapeamento de Riscos nos Municípios. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, p. 46-55, 2006.

CERRI, L.E.S. & CARVALHO, C.S. Hierarquização de situações de risco em favelas no município de São Paulo, Brasil – critérios e metodologia. In: I Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, São Paulo, 1990, **Anais**. p. 150-157, 1990.

CERRI, L.E.S.; NOGUEIRA, F.R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO E. S.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de Risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP). **Geociências**, v. 26, n. 2, p. 143-150, 2007.

CHOIRAT, C. & SERI, R. **Analytic Hierarchy Process, a Psychometric Approach**. in Multiple Participant Decision Making. Vol 9. Advanced Knowledge International Pty, Ltd. ; 2004 :173-179.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. D. **Apoio à decisão**. Editora Insular, Florianópolis (SC), 2001. 295p.

FARIA, D.G.M. Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do processo de análise hierárquica (AHP). **Tese Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 194p. 2011.

- FARIA, D.G.M. & AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de perigo de escorregamentos em encostas urbanas precárias brasileiras com aplicação do método AHP. **Geotecnia** (Lisboa), v. 129, p. 17-42, 2013a.
- FARIA, D.G.M. & AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, p. 23-44, 2013b.
- FINNIE, G.R. & WITTIG, G.E. **An Intelligent Web Tool for Collection of Comparative Survey Data**. School of Information Technology Bond University, Austrália. Disponível em: <<http://www.it.bond.edu.au/publications/99TR/99-10.pdf>>. 1999, p. 310-321.
- KIM, S. C. **Statistical Issues in Combining Expert Opinions for Analytic Hierarchy Process**. Soongsil University, Disponível em: <http://www.stat.fi/isi99/proceedings/arkisto/varasto/kim_0217.pdf>. 1999. 1-2pp.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos, Campinas, Inclui mapas, 1999, 64p.
- PAMPLONA, E.O. **Contribuição para a Análise Crítica do Sistema de Custos ABC** Através da Avaliação de Direcionadores de Custos. Tese de Doutorado. EAESP/FGV. 1997, 167 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-PMSJC. **Estudo de impacto ambiental: implantação do sistema viário Via Banhado**. 223p. Disponível em: <http://www.sjc.sp.gov.br/media/536013/eia_volume_i.compressed.pdf>. 2014
- SAATY, T.L. The analytic hierarchy process. New York, McGraw Hill, 1980. SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Makron Books, 1991. 326p.
- SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.48, p. 9-26, 1990.
- SAATY, T. L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. Madrid: **Review of the Royal Spanish Academy of Sciences**, Series A, Mathematics. VOL. 102 (2), 2008, p. 251-318.
- SAUNDERS, J. H. Comparison of Decision Accuracy in the Analytic Hierarchy Process and Point Allocation. **Third International Symposium on the Analytic Hierarchy Process**, Washington, DC, July 1994. Washington. Disponível em: <<http://www.johnsaunders.com/papers/ahpvpa/ahpvpa.htm>>.
- SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão - Abordagens: AHP e MACBETH**. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta/engait95.html>>. 1995
- TEKNOMO, K. **Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial**. Disponível em: <<http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/ahp/>>. 2006
- TOMA, T. & ASHARIF, M.R. **AHP coefficients optimization technique based on GA**. Department of Information Engineering of University of Ryukyus, Japão. 2003. Disponível em: <<http://bw-www.ie.u-ryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpaper2.html>>. 2003
- TRENTIM, M. **Tomada de decisão em projetos – método AHP**. Disponível em: <<http://blog.mundopm.com.br/2012/05/02/tomada-de-decisao-em-projetos-%e2%80%93-metodo-ahp/>>. 2012
- VALÉRIO FILHO, M.; MENDES, R.M.; FARIA, D.G.M.; FANTIN, M.; BERTOLDO, M.A.; MELO, F.N.; SILVA, M.F., CUNHA, R.P. **Mapeamento das áreas de riscos associados a escorregamentos de encostas no município de São José dos Campos-SP**. Relatório Técnico Final, Convênio UNIVAP/PMSJC (Processo nº 53.366/2013), São José dos Campos, Inclui mapas, 2014, 60p.