

APLICAÇÃO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERARQUICO (AHP) PARA PRIORIZAÇÃO DE OBRAS DE INTERVENÇÃO EM ÁREAS E SETORES DE RISCO GEOLÓGICO NOS MUNICÍPIOS DE ITAPECERICA DA SERRA E SUZANO (SP)

Beatriz Lima de PAULA ¹ & Leandro Eugenio da Silva CERRI ²

(1) Universidade Federal do Amapá – Unifap/ Campus do Marco Zero do Equador. Rodovia JK, km 02. CEP 68900-000. Macapá, AP. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista / UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereços eletrônicos: beatrizlp@unifap.br; beatrizlpaula@yahoo.com.br

(2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista / UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: lescerri@rc.unesp.br

Introdução e Objetivo
Método e Etapas da Pesquisa
Processo Analítico Hierárquico - AHP
Resultados e Discussão
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR's) foram elaborados em assentamentos precários dos municípios de Itapequerica da Serra (SP) e Suzano (SP), contemplando áreas de risco de escorregamentos e solapamentos de margens de córregos. A elaboração dos PMRR's proporcionou a delimitação de setores de risco, a indicação de obras de intervenção para eliminar e/ou reduzir os riscos, bem como a indicação das áreas e setores prioritários para implantação das obras de intervenção. A priorização das áreas e setores que devem receber as obras de redução ou eliminação do risco foi realizada por especialista envolvido no mapeamento de risco. Apesar do julgamento deste especialista ser criterioso, a decisão quanto aos locais prioritários para implantação das alternativas de intervenção é subjetiva. Não há como eliminar essa subjetividade, mas o uso de técnicas de tomada de decisão possibilita avaliar se o raciocínio do especialista é coerente. Uma das primeiras técnicas desenvolvidas para múltiplos critérios é a AHP (Analytic Hierarchy Process), neste artigo denominado Processo Analítico Hierárquico. O presente artigo descreve os resultados de pesquisa realizada com o fim de verificar se a utilização do Processo Analítico Hierárquico contribui para que os resultados da indicação das áreas e setores prioritários para implantação de intervenções podem ser considerados mais coerentes do que nas situações em que a priorização se dá sem o emprego de técnicas de tomada de decisão. Foram comparados os resultados entre as priorizações para implantação de intervenções contidas nos PMRR's dos municípios paulistas de Itapequerica da Serra e de Suzano e aqueles obtidos a partir da utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP). Concluiu-se que a utilização da técnica possibilita averiguar se o julgamento do especialista é logicamente coerente, contribuindo para a produção de resultados tecnicamente mais fundamentados.

Palavras-chave: Analytic Hierarchy Process (AHP), Processo Analítico Hierárquico, tomada de decisão, escorregamento, solapamento, risco geológico

ABSTRACT – *B.L. de Paula & L.E. da S. Cerri - Application of Analytic Hierarchy Process (Ahp) in Prioritization of Works for Intervention in Areas of Geological Risk in the cities of Itapequerica da Serra e Suzano (SP).* Municipal Plans of Risk Reducing (PMRR's) were produced in settlements in the municipalities of Itapequerica da Serra (SP) and Suzano (SP), covering areas at risk of landslides and washouts of banks of streams. The development of PMRR's provided the delimitation of areas of risk, the indication of intervention works in order to eliminate and / or reduce risks, and consequently an indication of the areas and priority sectors for implementation of intervention works. The prioritization of areas and sectors that should receive the works of reducing or eliminating risk was performed by an expert involved in risk mapping. Despite the specialist's judgment exercise caution, the decision regarding the priority sites for implementation of alternative interventions is subjective. Since there is no way to eliminate this subjectivity, the use of decision-making techniques is important to evaluate whether the expert's reasoning is consistent. One of the first techniques developed for multiple criteria is the AHP (Analytic Hierarchy Process). This paper describes the results of a research carried out in order to assess whether the use of Analytic Hierarchy Process contributes to the results of the indication of the areas and priority sectors for implementation of interventions can be considered more consistent than in situations where the priority occurs without the use of decision making techniques. Results were compared between the prioritization of interventions for implementation contained in PMRR's of Itapequerica da Serra and Suzano and those obtained from the use of Analytic Hierarchy Process (AHP). It was concluded that such techniques permits an evaluation of the expert's judgment is logically coherent, thus contributing to produce results more technically based.

Keywords: Analytic Hierarchy Process (AHP), decision making, slip, washouts, geological hazard.

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A crescente ocorrência de escorregamentos e de solapamentos de margens de córregos em assentamentos precários de áreas urbanas tem provocado sérios acidentes geológicos, afetando diretamente o homem, inclusive com o registro de mortes e de grandes prejuízos econômicos. Os estados brasileiros do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, entre outros, têm sido palco de graves acidentes deste tipo no início dos anos 2000.

Neste contexto, é importante que os municípios sujeitos a essas ameaças elaborem mapeamentos de risco geológico visando identificar os locais onde podem ser registrados escorregamentos e solapamentos de margens de córregos.

Em alguns municípios brasileiros foram elaborados Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR's), apresentados na forma de relatório no qual são delimitados os setores de risco, cada qual com um correspondente grau de probabilidade de ocorrência do processo perigoso (muito alto, alto, médio e baixo a inexistente). Para cada setor de risco delimitado são indicadas medidas estruturais e não estruturais visando à redução e/ou eliminação do risco, calculada a ordem de grandeza do custo de implantação das medidas preconizadas, bem como sugerida uma ordem de prioridade para a implantação das intervenções indicadas.

O especialista envolvido na elaboração do PMRR sugere a priorização das áreas e setores que serão contemplados com as obras de redução ou eliminação do risco a partir de julgamento pessoal, envolvendo alguns condicionantes (UNESP, 2006 a e b). Embora criteriosa, a priorização apresentada no PMRR é subjetiva e, embora não seja possível eliminar essa subjetividade, o uso de técnicas de tomada de decisão possibilita avaliar se o raciocínio do especialista é coerente, ou seja, se seu julgamento é lógico quando

avalia a importância relativa de cada condicionante utilizado no processo de priorização das intervenções. As técnicas de tomadas de decisão são baseadas em critérios qualitativos e quantitativos, sendo empregadas em diferentes áreas. Podem ser também aplicadas na indicação das áreas e setores prioritários para a implantação de obras de intervenção, visando à adequada gestão dos riscos geológicos em áreas de assentamento precário.

Uma das primeiras técnicas desenvolvidas para múltiplos critérios e, talvez, a mais utilizada atualmente, é a AHP (Analytic Hierarchy Process) elaborada por Saaty (1991), denominada no presente artigo de Processo Analítico Hierárquico (AHP).

O presente artigo apresenta os resultados de pesquisa realizada aplicando-se o Processo Analítico Hierárquico (AHP) na avaliação da importância relativa dos condicionantes utilizados para a priorização das áreas e setores de risco para implantação de intervenções. Foram analisados os resultados da priorização das áreas e setores para a implantação de intervenções de PMRR's que englobaram riscos geológicos associados a escorregamentos e solapamentos de margens de córregos, elaborados nos municípios paulistas de Itapeverica da Serra e Suzano. O presente artigo aborda parte dos resultados de pesquisa mais ampla, detalhadamente descrita em Paula (2011).

O objetivo da pesquisa foi verificar se a utilização da técnica de tomada de decisão denominada Processo Analítico Hierárquico (AHP) contribui para que os resultados da indicação das áreas e setores prioritários para implantação de intervenções possam ser considerados mais coerentes, quando comparados aos resultados de casos em que a priorização é realizada sem o emprego de técnica de tomada de decisão, ou seja, somente a partir da opinião pessoal do responsável pela priorização.

MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA

A partir do procedimento descrito, foram comparados os resultados da priorização das áreas e setores para a implantação das intervenções sem e com a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP), analisando-se a conveniência da utilização desta técnica de tomada de decisão.

A pesquisa cujos resultados são descritos no presente artigo foi realizada a partir do desenvolvimento das seguintes etapas:

- Estudos sobre mapeamentos de riscos de escorregamento e solapamento de margens de córregos em assentamentos precários de áreas urbanas dos

municípios paulistas de Itapeverica da Serra e Suzano.

- Estudos sobre a utilização da técnica de tomada de decisão denominada Processo Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierarchy Process).
- Análise dos resultados da priorização das áreas e setores de risco para implantação de intervenções apresentada nos PMRR's de Itapeverica da Serra e Suzano (sem o emprego de técnicas de tomada de decisão).
- Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para priorização de intervenções nas

mesmas áreas e setores contemplados nos PMRR's de Itapeperica da Serra e Suzano, por meio de consultas a cinco especialistas selecionados.

- Comparação dos resultados da priorização (com e sem a utilização do Processo Analítico Hierárquico - AHP) nos mapeamentos de risco realizados.

O procedimento metodológico adotado na pesquisa permitiu verificar:

- a) a eventual contribuição do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para a priorização de intervenções em áreas e setores de risco, já que foram

comparados os resultados obtidos nas mesmas áreas e setores, adotando-se os mesmos critérios, com a participação do mesmo especialista que fez a priorização sem a utilização da AHP; e

- b) a resposta do Processo Analítico Hierárquico (AHP) quando utilizado por diferentes profissionais, por meio da análise da priorização, considerando os julgamentos de diferentes especialistas.

Os itens descritos a seguir apresentam os resultados obtidos com o desenvolvimento da investigação realizada.

PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO - AHP

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) auxilia a tomada de decisão baseada em critérios qualitativos e quantitativos, tendo como objetivo analisar o julgamento de especialista no processo de decisão, dividindo problemas complexos em problemas mais simples, na forma de hierarquia de decisão (Saaty, 1991). Tem por idéia central realizar o estudo de sistemas por meio de uma sequência de comparações, aos pares, dos condicionantes (elementos) que têm influência no sistema considerado. A AHP divide o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém, ao mesmo tempo, a participação desses problemas menores na decisão global. Ou seja, ao encarar um problema complexo, é mais fácil dividi-lo em outros menores porque, quando solucionados individualmente e depois integrados, estes representam a decisão do problema inicial buscada.

Grandzol (2005) descreve que, por meio de comparações aos pares em cada nível de hierarquia, os participantes atribuem pesos relativos aos condicionantes (elementos) para diferenciar a importância relativa de cada elemento. As comparações pareadas são realizadas com base em uma escala de prioridades padrão, própria do Processo Analítico Hierárquico (Tabela 1).

A construção da hierarquia requer experiência e conhecimento do tema técnico-científico referente ao problema. Dois tomadores de decisão podem normalmente estruturar duas diferentes hierarquias do mesmo problema. Assim, uma hierarquia não é única. Por outro lado, mesmo quando duas pessoas constroem a mesma hierarquia, suas preferências podem produzir diferentes cursos de ação. Entretanto, um grupo de pessoas pode trabalhar em conjunto para atingir um

TABELA 1. Escala de comparações da AHP, utilizada no julgamento da importância relativa de elementos na análise pareada, conforme proposto por Saaty (1991).

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Pequena importância de uma sobre a outra	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande	O julgamento favorece muito fortemente uma atividade em relação à outra.
9	Importância absoluta	Mais alto grau de certeza de favorecimento de uma atividade sobre a outra
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos	Condição intermediária entre duas definições

consenso em ambas as hierarquias e nos julgamentos e suas sínteses (avaliação) (Schmidt, 1995).

Para se fazer bom uso da escala de prioridades padrão (Tabela 1), é preciso compreender o que são os julgamentos no método criado por Saaty. Um julgamento ou a comparação pareada é a representação numérica de uma relação entre dois elementos que estão no mesmo par (que formam o par). O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado em uma matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos (Saaty, 1994).

A escala recomendada por Saaty (1991), mostrada na Tabela 1, varia de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância – em geral representados pelos valores 3, 5 e 7 –, entre esses níveis 1 e 9. Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se em valores recíprocos na matriz de comparação.

A matriz de comparação é expressa por meio da construção de acordo com a importância do critério (linha) frente ao outro critério (coluna). Caso o fator linha seja mais importante que seu respectivo fator coluna na matriz simétrica, avalia-se o peso com valores acima de 1 até 9 (1 = igual a 9 = extremamente “mais” importante). Por outro lado, se o fator linha for menos importante que seu respectivo fator coluna o peso é ponderado com valores abaixo de 1 até 1/9 (1 = igual a 1/9 = extremamente menos importante). Os resultados obtidos com os julgamentos, por meio da comparação paritária, os números, são colocados numa matriz A quadrada $n \times n$. Este procedimento se repete para todos os elementos.

Chan et al. (2004) resumem os passos recomendados para aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP):

- 1) Definir o problema e o que se procura saber. Expor as suposições refletidas na definição do problema, identificar partes envolvidas, checar como estas definem o problema e suas formas de participação no AHP.
- 2) Decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas, do topo (objetivo geral) para o último nível (fatores mais específicos, usualmente as alternativas). Caminhando do topo para a extremidade, a estrutura do AHP contém objetivos,

critérios (parâmetros de avaliação) e classificação de alternativas. Cada nó é dividido em níveis apropriados de detalhes. Quanto mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, e a compensação é feita pela atribuição de pesos para cada critério. É importante certificar-se de que os níveis estejam consistentes internamente e completos, e que as relações entre os níveis estejam claras.

- 3) Construir uma matriz de comparação paritária entre os elementos do nível inferior e os do nível imediatamente acima. Em hierarquias simples, cada elemento de nível inferior afeta todos os elementos do nível superior. Em outras hierarquias, elementos de nível inferior afetam somente alguns elementos do nível superior, requerendo a construção de matrizes únicas.
- 4) Fazer os julgamentos para completar as matrizes. Para isso, são necessários $n(n-1)/2$ julgamentos para uma matriz $n \times n$, sendo n o número de linhas e colunas. O analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B . Se afirmativo, insere o número – que representa o grau de domínio, conforme valores da escala de comparação mostrados na Tabela 1 - na célula da linha de A com a coluna de B . A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz.
- 5) Calcular o índice de consistência (IC) e a razão de consistência e , se as condições fixadas no AHP não forem atendidas, é necessário refazer os julgamentos, ou então descartar a avaliação. O índice de consistência (IC) mede a coerência dos julgamentos, sendo que quanto mais próximo o índice estiver de zero, maior será a consistência global da matriz de comparação. A razão de consistência indica a confiabilidade do julgamento dos especialistas.
- 6) Analisar as matrizes com o resultado das prioridades locais e globais. Utiliza-se o vetor de prioridades obtidas pela técnica AHP para priorizar as alternativas. O vetor de prioridades auxilia o gestor de risco a selecionar a melhor opção.

Marchiori-Faria & Augusto Filho (2010) descrevem a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP) na análise da importância relativa de condicionantes de processo de escorregamento de solo. Marques & Zuquette (2004) discorrem sobre o emprego do AHP na seleção de áreas para instalação de aterros sanitários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) na priorização de áreas e setores para implan-

tação de obras mitigadoras de risco geológico em assentamentos precários de áreas urbanas dos municí-

pios paulistas de Itapecerica da Serra e Suzano foi realizada por meio de consulta a cinco especialistas em mapeamento e gestão de risco de escorregamentos e solapamentos. Esta consulta foi realizada a partir da elaboração e envio, aos especialistas, de modelo de consulta contendo matriz padrão para ser preenchida, juntamente com texto explicativo sobre a utilização da técnica.

Os especialistas que participaram do processo de avaliação descrito foram identificados pela denominação especialista 01, 02, 03, 04 e 05. O especialista 02 corresponde ao profissional responsável pela priorização das áreas e setores de risco para implantação de intervenções nos Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR's) de Itapecerica da Serra e Suzano, ou seja, sem a utilização do AHP.

No modelo de consulta enviado a cada especialista (Tabela 2), foram adotados os mesmos critérios de priorização utilizados nos PMRR's dos municípios de

Itapecerica da Serra e Suzano, quais sejam: Grau do Risco (Muito alto, Alto, Médio e Baixo a inexistente), Porte do Setor (expresso pelo número de moradias ameaçadas), Custo médio por moradia, da intervenção sugerida e existência de Programas municipais de urbanização na área de risco.

Para expressar seus julgamentos, os especialistas utilizaram as intensidades de importância conforme a Tabela 1, que apresenta a escala de comparações que deve ser adotada na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

A partir das comparações par a par entre os quatro critérios utilizados, foram organizadas as matrizes de comparação pareada, conforme apresentado nas Tabelas de 3 a 7. As respostas dos especialistas contendo os valores numéricos dos julgamentos foram lançadas em planilha de cálculos estruturada no programa *Microsoft Excel*®. Vale destacar que a hierarquia dessa aplicação foi realizada apenas no primeiro nível.

TABELA 2. Exemplo de modelo de consulta enviado aos especialistas, adotando-se a escala de importância relativa proposta por Saaty(1991), na comparação pareada dos critérios grau de risco e custo por moradia.

Critérios de Priorização (1)	Intensidade de Importância (Tabela Anexa)									Critérios de Priorização (2)
	Absoluta	Muito Grande	Grande	Pequena	Igual	Pequena	Grande	Muito Grande	Absoluta	
	9	7	5	3	1	(1/3)	(1/5)	(1/7)	(1/9)	
Grau de Risco		X								Custo por moradia

TABELA 3. Matriz de comparação pareada, elaborada a partir do julgamento do Especialista 01.

	Grau de Risco	Custo por Moradia	Porte do Setor	Programas Municipais
Grau de Risco	1	5	5	3
Custo por Moradia	1/5	1	1	1/5
Porte do Setor	1/5	1	1	1/5
Programas Municipais	3	5	5	1

TABELA 4. Matriz de comparação pareada, elaborada a partir do julgamento do Especialista 02.

	Grau de Risco	Custo por Moradia	Porte do Setor	Programas Municipais
Grau de Risco	1	7	7	5
Custo por Moradia	1/7	1	1	1/3
Porte do Setor	1/7	1	1	1/3
Programas Municipais	1/5	3	3	1

TABELA 5. Matriz de comparação pareada, elaborada a partir do julgamento do Especialista 03.

	Grau de Risco	Custo por Moradia	Porte do Setor	Programas Municipais
Grau de Risco	1	7	7	3
Custo por Moradia	1/7	1	1/5	1/5
Porte do Setor	1/7	5	1	1/3
Programas Municipais	1/3	1/3	3	1

TABELA 6. Matriz de comparação pareada, elaborada a partir do julgamento do Especialista 04.

	Grau de Risco	Custo por Moradia	Porte do Setor	Programas Municipais
Grau de Risco	1	9	5	1/7
Custo por Moradia	1/9	1	5	1/5
Porte do Setor	1/5	1/5	1	1/5
Programas Municipais	7	5	5	1

TABELA 7. Matriz de comparação pareada, elaborada a partir do julgamento do Especialista 05.

	Grau de Risco	Custo por Moradia	Porte do Setor	Programas Municipais
Grau de Risco	1	5	5	1
Custo por Moradia	1/5	1	1	1/5
Porte do Setor	1/5	1	1	1/5
Programas Municipais	1	5	5	1

Na matriz de comparação pareada as posições da diagonal sempre recebem o valor 1, dado que um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos daqueles da parte superior direita da matriz.

Para atribuir a priorização pela técnica AHP é necessário calcular a matriz ponderada, sendo que, para tanto, cada elemento da coluna é dividido pela soma dos valores da própria coluna. Os valores obtidos a partir deste procedimento fazem com que a soma de cada coluna seja igual a um (1).

Para facilitar a compreensão dos cálculos realizados para aplicação da técnica AHP, a Tabela 8 apresenta a planilha dos procedimentos utilizados. Na parte superior desta planilha são apresentados exemplos de matriz de comparação pareada e matriz ponderada, considerando o julgamento do especialista 02 (vide Tabela 4).

Após a elaboração da matriz ponderada obteve-se o cálculo dos pesos normalizados (vetor de prioridades) para cada critério, calculando-se a média dos valores de cada linha da matriz ponderada (vide Tabela 8). São esses pesos normalizados que indicam, ao tomador de decisão, quais elementos devem ter maior importância (hierarquia), ou seja, no exemplo apresentado na Tabela 8, o Grau de Risco (peso normalizado = 0,647435897) é o elemento que tem maior importância para a priorização, seguido do Programa Municipal (peso normalizado = 0,196153846) e, juntos com mesmo nível de importância para a priorização em questão, o Custo por Moradia e do Porte do Setor (ambos com peso normalizado = 0,078205128).

Em seguida foi calculado o índice de consistência (Equação 1), a partir do autovalor máximo (λ_{max}) e o número de critérios analisados (no caso $n = 4$). De acordo com Saaty (1991), o autovalor máximo (λ_{max}) é calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos

consistência (RC) menor que 10%. Ainda segundo os critérios da AHP, se a razão de consistência (RC) for maior de 10%, os valores numéricos do julgamento na matriz de comparação pareada devem ser revistos até que a razão de consistência (RC) seja menor que 10%, caso contrário não poderão ser utilizados para a priorização.

A razão de consistência é calculada dividindo-se o índice de consistência pelo índice de consistência randômico médio, que é função do número de critérios (elementos). De acordo com Saaty (1991) e conforme apresentado na Tabela 10, o valor do índice de consistência randômico médio a ser utilizado para o cálculo da razão de consistência na presente pesquisa é igual a 0,9; dado que foram utilizados quatro critérios (elementos) para a priorização de áreas e setores para implantação de obras de mitigação dos riscos.

O cálculo da razão de consistência (RC) considerando-se novamente os dados do exemplo apresentado na Tabela 8 foi realizado a partir da seguinte operação: $0,024641575 \div 0,9 = 0,0273508333$; ou seja, menor que 10% e, conseqüentemente, o julgamento do especialista 02 é considerado logicamente coerente com base nas especificações do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

A Tabela 11 apresenta os resultados do cálculo da razão de consistência com base nos julgamentos realizados pelos cinco especialistas que participaram da presente pesquisa. Analisando-se esta Tabela, verifica-se que, com base nas especificações do Processo Analítico Hierárquico (AHP), nem todas as razões de consistência calculadas permitiram a utilização dos julgamentos dos especialistas para a priorização

em questão. Assim, para realizar as priorizações foram considerados os especialistas 02, 03 e 05, cujos julgamentos atenderam às especificações inerentes ao Processo Analítico Hierárquico (AHP). Os julgamentos realizados pelos especialistas 01 e 04 poderiam ter sido refeitos para atender aos critérios estabelecidos no Processo Analítico Hierárquico (AHP), mas como este não era o objetivo da presente pesquisa, estes dois julgamentos deixaram de ser refeitos, razão pela qual foram desconsiderados.

Após a definição dos dados a serem utilizados na sequência da aplicação do AHP, foi realizada a comparação entre os resultados da priorização das áreas e setores para implantação de obras mitigadoras de risco geológico, sem e com a utilização da AHP.

Conforme descrito, o vetor de prioridades fornece a hierarquia ou importância relativa dos critérios (elementos) analisados. A Tabela 12 apresenta os resultados da hierarquia ou importância relativa obtidos após a aplicação de todo o procedimento especificado no Processo Analítico Hierárquico (AHP). A partir destes resultados foram indicados as áreas e os setores prioritários para implantação de obras mitigadoras de risco geológico.

Em seguida, procedeu-se à comparação entre os resultados da indicação das áreas e setores prioritários para implantação de obras mitigadoras, com e sem a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP). Para facilitar a análise desta comparação, os resultados foram colocados em uma mesma tabela, lado a lado, como exemplificado na Tabela 13, que apresenta a ordem de prioridade obtida para o município de Suzano (SP), com base no julgamento do especialista 02.

TABELA 10. Índice de Consistência (IC) randômico do AHP, definido em função do número (n) de elementos comparados, segundo Saaty (1991).

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

TABELA 11. Razão de consistência calculada com base nos julgamentos dos especialistas.

Especialista	Razão de Consistência (RC)
01	0,32 (Não consistente) > 0,1 (10%)
02	0,02 (Consistente) < 0,1 (10%)
03	0,06 (Consistente) < 0,1 (10%)
04	0,50 (Não consistente) > 0,1 (10%)
05	0,000 (Consistente) < 0,1 (10%)

TABELA 12. Hierarquia resultante da aplicação do Processo de Análise Hierárquico.

ESPECIALISTA	HIERARQUIA DE CRITÉRIOS (Grau de Risco) (Custo/moradia) (Porte do setor) (Programas Urbanos)	
	01	NÃO CONSISTENTE SEGUNDO AHP
02	0,64	(1º Nível Hierárquico)
	0,08	(3º Nível Hierárquico)
	0,08	(3º Nível Hierárquico)
	0,19	(2º Nível Hierárquico)
03	0,60	(1º Nível Hierárquico)
	0,06	(4º Nível Hierárquico)
	0,15	(3º Nível Hierárquico)
	0,18	(2º Nível Hierárquico)
04	NÃO CONSISTENTE SEGUNDO AHP	
05	0,42	(1º Nível Hierárquico)
	0,08	(2º Nível Hierárquico)
	0,08	(2º Nível Hierárquico)
	0,42	(1º Nível Hierárquico)

TABELA 13. Comparação entre a Ordem de Prioridade do PMRR e a obtida por meio da aplicação da AHP (com base no julgamento do Especialista 02, para Suzano).

Ordem de Prioridade PMRR	Ordem de Prioridade AHP (Especialista 02)	Número e Nome da Área	Setor	
1	1	9. Jardim das Flores	2	
		22. Parque Cerejeiras	3	
	2	28. Sítio dos Moraes A1	1	
		5. Ana Rosa Centro	1	
	3	3	3a. Badra Planalto	6
			7. Jardim Brasil	2
			34. Vila Real	3
7	7	18b. Jardim Revista	1	
		2	4	37. Vila Monte Sion
3	4	18d. Jardim Revista		1
		27. Recreio Santa Maria	2	
	5	5	35. Vila Rica	2
			34. Vila Real	1
			31. Vila Fátima	2
4	6	21. Parque Buenos Aires	2	
		31. Vila Fátima	1	
	6	6	13. Jardim Ikeda	1
			18b. Jardim Revista	2
			3a. Badra Planalto	7
	7	7	18a. Jardim Revista	1
			34. Vila Real	6
34. Vila Real			5	
3a. Badra Planalto			3	
		3a. Badra Planalto	9	
		28. Sítio dos Moraes	2	

A Tabela 14 apresenta a comparação entre os números de classes de prioridades de cada especialista por município, bem como o número de classes que foram apresentados nos Planos Municipais de Redução de Risco.

O especialista 02 é tratado de forma particular na presente pesquisa, por ter sido o especialista responsável pela indicação de áreas e setores prioritários para implantação de obras mitigadoras de risco geológico nos PMRR's dos municípios paulistas de Itapecerica da Serra e Suzano, ou seja, sem a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

Deste modo, a interpretação dos resultados foi inicialmente realizada por meio da comparação entre as prioridades indicadas pelo especialista 02 e aquelas

apresentadas nos PMRR's (sem a aplicação da técnica AHP). Esta comparação visou verificar se a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP) contribuiu para que os resultados da indicação das áreas e setores prioritários para implantação de intervenções podem ser considerados mais coerentes do que a priorização que é realizada somente a partir da opinião pessoal do responsável pela priorização.

Em seguida, foi feita a comparação entre os resultados obtidos por meio dos julgamentos dos demais especialistas, visando verificar a resposta do Processo Analítico Hierárquico (AHP) quando submetida ao julgamento de diferentes profissionais.

As conclusões formuladas a partir da interpretação destes resultados são apresentadas a seguir.

TABELA 14. Comparação, por município, entre os números de classes de prioridade (áreas e setores), obtidos sem a utilização da técnica AHP (PMRR) e com a técnica AHP (especialistas 02, 03 e 05).

	PMRR	Esp 02	Esp 03	Esp 05
Itapecerica da Serra	06 classes	08 classes	09 classes	08 classes
Suzano	04 classes	07 classes	10 classes	07 classes

CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados apresentados foram formuladas as seguintes conclusões:

- o objetivo da pesquisa foi atingido, já que foi possível verificar que a utilização da técnica de tomada de decisão denominada Processo Analítico Hierárquico (AHP) contribuiu para que os resultados da indicação das áreas e setores prioritários para implantação de intervenções sejam considerados mais coerentes do que a priorização que é realizada sem o emprego de técnica de tomada de decisão (somente a partir da opinião pessoal do responsável pela priorização).
- a utilização da técnica AHP permite obter resultados mais coerentes do que aqueles obtidos sem o emprego da técnica, dado que a AHP prevê a realização de teste para verificar se o julgamento do especialista é logicamente coerente, por meio da análise da razão de consistência – RC (que deve ser menor que 10% para que os julgamentos sejam considerados consistentes, ou coerentes). Tal conclusão se justifica em razão dos resultados obtidos com a aplicação do teste de verificação da coerência do julgamento dos especialistas, conforme apresentado na Tabela 11.
- ainda com base nos dados apresentados na Tabela 11, dos cinco julgamentos realizados pelos especia-

- listas, três foram considerados logicamente coerentes segundo os critérios estabelecidos na técnica AHP e, portanto, foram utilizados para a priorização das áreas e setores para implantação de intervenções voltadas à mitigação dos riscos.
- os outros dois julgamentos realizados por especialistas poderiam ter sido refeitos para atender aos critérios estabelecidos no Processo Analítico Hierárquico (AHP). Entretanto, como este não foi o objetivo da investigação, estes dois julgamentos não foram refeitos, razão pela qual foram desconsiderados.
- com base nos aspectos descritos nos itens b, c e d das conclusões, fica evidente que a aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) possibilita agregar aos julgamentos dos especialistas a análise da coerência, o que acaba por configurar uma maior garantia de confiabilidade dos resultados, embora os mesmos permaneçam subjetivos.
- a comparação entre os resultados dos julgamentos dos especialistas indica que o Processo Analítico Hierárquico (AHP) é sensível às opiniões dos profissionais (como pode ser verificado nas Tabelas 9, 11 e 12). Assim, pode-se concluir que diferentes índices de consistência podem refletir experiências distintas entre os especialistas.

- g) a comparação entre os resultados da priorização das áreas e setores para implantação de intervenções voltadas à mitigação dos riscos obtidos pelo mesmo especialista (especialista 02), com e sem a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP), mostrou que o emprego da técnica de tomada de decisão permitiu uma reorganização das prioridades, apresentado um maior detalhamento na indicação das áreas e setores prioritários, conforme pode ser verificado no exemplo apresentado na Tabela 13. Este maior detalhamento decorrente da utilização da técnica também é verificado quando se analisam os dados apresentados na Tabela 14, resultando em maior número de classes de prioridade para ambos os municípios.
- h) por fim, concluiu-se também que a aplicação da técnica é simples, o que reforça a conveniência de sua utilização de forma ampla.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido ao primeiro autor do presente artigo, durante a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHAN, A.H.S.; KWOK, W.Y.; DUFFY, V.G. Using AHP for determining priority in a safety management system. **Industrial Management & Data Systems**, v. 104, n. 5, p. 430-445, 2004.
2. GRANDZOL, J.R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. Bloomsburg University of Pennsylvania. **IR Applications**, v. 6, August 24, 2005.
3. MARCHIORI-FARIA, D.G. & AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de perigo associado a escorregamentos em encostas urbanas utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 7, 2010, Maringá. ABGE, 2010, 21 p. CD-ROM.
4. MARQUES, G.N. & ZUQUETTE, L.V. Aplicação da técnica AHP para seleção de áreas para aterros sanitários – Região de Araraquara (SP), Brasil. In: PEJON, O.J.; ZUQUETTE, L.V. (Eds.), **Cartografia Geotécnica e Geoambiental**. São Carlos. Suprema Gráfica Editora, p. 263-272, 2004.
5. PAULA, B.L. **Aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP) na priorização de áreas de risco geológico para a implantação de intervenções em assentamentos urbanos precários**. Rio Claro, 2011. 198 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
6. SAATY, T.L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 367 p., 1991.
7. SAATY, T.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. The Institute for Operations Research and the Management Sciences. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.
8. SCHMIDT, A.M.A. Processo de Apoio à Tomada de Decisão - Abordagens: AHPE MACBETH. Florianópolis, 1995. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
9. UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Elaboração do Plano Municipal de Redução de Risco de Itapecerica da Serra-SP. UNESP. Funep. **Relatório Técnico**, 44 p., 2006. (a)
10. UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Elaboração do Plano Municipal de Redução de Risco de Suzano-SP. UNESP. Funep. **Relatório Técnico**, 33 p., 2006. (b)

*Manuscrito Recebido em: 27 de maio de 2011
Revisado e Aceito em: 22 de outubro de 2011*