UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA HIERARQUIZAÇÃO DE CONDICIONANTES DE CORRIDAS DE MASSA

Fernanda Asseff Menin

Prof.Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

FERNANDA ASSEFF MENIN

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA HIERARQUIZAÇÃO DE CONDICIONANTES DE CORRIDAS DE MASSA

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2013

624.151 Menin, Fernanda Asseff
M545a Aplicação do método AHP para hierarquização de condicionantes de corridas de massa / Fernanda Asseff Menin. - Rio Claro, 2013
67 f. : il., figs., tabs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. Geologia de engenharia. 2. Geotécnica. 3. Movimentos de massa. 4. Analytical Hierarch Process. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Dedico este trabalho aos meus pais,
aos quais sou eternamente grata pelo apoio
e pelo amor incondicional.

RESUMO

Dentre os movimentos de massa, as corridas apresentam o maior potencial destrutivo, podendo causar desastres com um número muito alto de vítimas, como registrado nos eventos de Caraguatatuba (SP) e Serra das Araras (RJ), em 1967; Vale do Rio Figueira, em Timbé do Sul (SC) entre 1995 e 1996; Vale do Itajaí em Santa Catarina, em 2008; Teresópolis, Petrópolis e Nova Friburgo (RJ), em dezembro de 2010 e janeiro de 2011. O presente trabalho teve como objetivo principal hierarquizar condicionantes indutores dos processos de corridas de massa por meio da aplicação do método de tomada de decisão AHP (Analytical Hierarch Process). Para tanto, foram definidas as seguintes etapas de trabalho: levantamento dos principais condicionantes de corridas de massa, elaboração de questionário pelo método da AHP para aplicação em especialista no tema, análise dos resultados obtidos com cálculo da razão de consistência e elaboração de proposta de hierarquização de condicionantes para corridas de massa. A partir dos levantamentos realizados foi possível estabelecer uma relação de condicionantes conforme a escala de trabalho, definindo três níveis: Regional (1:250.000 a 1:100.000), Semi-Detalhe (1:50.000 a 1:25.000) e Detalhe (1:10.000 ou maior). Os condicionantes levantados foram: tempo de concentração, onda de cheia, chuvas, suscetibilidade a escorregamento (encostas), desenvolvimento nas drenagens e deposição. O projeto analisou os resultados obtidos pela aplicação dos questionários, o que possibilitou a hierarquização dos condicionantes, contribuindo para ponderação desses condicionantes em estudos multicriteriais de mapeamento da suscetibilidade à ocorrência de corridas de massa. O estudo demonstrou que a maioria dos dados analisados foram inconsistentes devido à divergência de opinião dos julgamentos dos especialistas, porém a hierarquização pode ser feita com sucesso.
Palavras-chave: Movimentos de massa. Analytical Hierarch Process.

ABSTRACT

Among the flow, the flows have the highest destructive potential, may cause disasters with a very high number of victims, as recorded in the events Caraguatatuba (SP) and the Serra das Araras (RJ) in 1967; Valeu do Rio Figueira, in Timbé do Sul (SC) between 1995 and 1996; Vale do Itajaí in Santa Catarina, in 2008, Teresópolis, Petrópolis and Nova Friburgo (RJ), in December 2010 and January 2011. This project aimed to prioritize the main determinants of inducing processes of debris flows by applying the method of decision making AHP (Analytical Hierarch Process). Therefore, the following stages of work were defined: research of the major factors of debris flows, questionnaire design method for application of AHP expert on the subject, analysis of the results obtained from calculating the ratio of consistency and preparation of proposal for hierarchical of conditions for debris flows. From the surveys it was possible to establish a relationship of conditions according to the scale of work, defining three levels: regional (1:250,000 to 1:100,000), Semi-Detail (1:50,000 to 1:25,000) and Detail (1: 10,000 or higher). The factors found were: concentration time, the flood wave, rain, landslide susceptibility (slope), drainage and development in the deposition. The project analyzed the results obtained from the questionnaires, which allowed the ranking of the constraints, contributing to weight constraints in studies of multicriteria mapping of susceptibility to the occurrence of debris flows. The study showed that the most of the analyzed datas were inconsistent because of the different opinion of the judges.

Keywords: Debris flow. Analytical Hierarch Process.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 6

2. OBJETIVO 8

3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA 9

3.1. Levantamento bibliográfico 9

3.2. Levantamento dos condicionantes geológico-geotécnicos para corridas de massa 9

3.3. Metodologia do processo de análise hierárquica – AHP 11

3.4. Análise dos resultados 15

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 16

4.1. Caracterização do processo de corrida de massa 16

4.2. Principais condicionantes geológico-geotécnicos das corridas de massa 18

4.3. Método AHP 22

4.4. Tabulação dos Questionários e Cálculo da Consistência 26

4.5. Proposta de hierarquização dos condicionantes geológico-geotécnicos 31

5. CONCLUSÕES 37

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 38

7. APÊNDICE A - RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS DOS ESPECIALISTAS 42

1. INTRODUÇÃO

A corrida de massa é um caso de movimento de massa, assim como o rastejo, escorregamento e a queda de blocos. É um movimento gravitacional composto por água, rocha e solo que se desloca dependendo da viscosidade, movimentando-se ao longo de linhas de drenagem e se compõe de grandes volumes de material. Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2006) no Mapeamento de Riscos do município de Osasco (SP), a corrida possui um alto poder destrutivo, devido ao extenso raio de alcance e alta velocidade até em áreas planas.

A corrida de massa recebe diferentes nomes, dependendo da textura e da quantidade de água do material mobilizado e também das velocidades de deslocamento. Segundo Oliveira e Brito (1998), as corridas de massa são divididas em: corrida de lama, (mud flow), que é o solo com alto teor de água; corrida de terra (earth flow), cujo material predominante também é o solo, porém com menor teor de água; e corrida de detritos (debris flow), cujo material predominante são fragmentos de rochas de vários tamanhos (material grosseiro). Os autores sugerem que a dinâmica de corrida de massa está associada ao processo de evolução das vertentes de relevos montanhosos, então é natural ser recorrente ao longo dos anos. Contudo, a ocupação de encostas sem critérios, por exploração antrópica ou habitação, pode antecipar e agravar este processo.

Em 1972, no município paulista de Campos do Jordão, houve um deslizamento histórico de cerca de 70.000 metros cúbicos de massa. Conforme descrito no Relatório do IPT, o município já possuía fatores naturais, como geomorfologia, geologia e clima, favoráveis a ocorrência de escorregamentos, além de uma ocupação urbana recente, na época, em encostas com características geotécnicas desfavoráveis. Vários outros eventos no Brasil tiveram ocorrências de corridas massa afetando áreas de relevo mais plano e muitas vezes distantes da Serra, tais como: Caraguatatuba (SP) e Serra das Araras (RJ), em 1967; Vale do Rio Figueira, em Timbé do Sul (SC) entre 1995 e 1996; Vale do Itajaí em Santa Catarina, em 2008; Teresópolis, Petrópolis e Nova Friburgo (RJ), em dezembro de 2010 e janeiro de 2011, entre outros (IPT, 1991; CERRI; ALMEIDA, 1990; OGURA; AUGUSTO FILHO, 1991; HERRMANN, PELLERIN; SAITO; 2004).

Os condicionantes geológico-geotécnicos, como solo, rocha, clima e geomorfologia agravam os casos como citado acima. Entre eles também estão o regime pluvial, uso e ocupação do solo e, principalmente, influências antrópicas regionais. A ação do homem, como obras e construções civis é capaz de modificar uma região em curto espaço de tempo.

Considerando todos esses fatores, é complexo prever um futuro movimento de massa. Cada condicionante geológico-geotécnico identificado pode suceder uma situação de risco diferente. Suas soluções podem variar desde intervenções na obra de engenharia até elaboração de um plano mitigador. Considerando toda a complexidade do assunto, pode-se tomar decisões baseadas em critérios qualitativos e quantitativos. As tomadas de decisão consistem em selecionar caminhos alternativos de ação, com base em critérios para alcançar um ou mais objetivos. Para este processo, é preciso analisar a situação problemática, identificar aspectos relevantes que permitam avaliar as possíveis soluções e aplicar o modelo de decisão para obter resultados globais. Dentre essas técnicas que auxiliam a tomada de decisões tem-se a AHP - Analytical Hierarch Process (AMARAL, 2007).

O Processo Hierárquico Analítico (AHP) foi elaborado pelo matemático Thomas Saaty para o auxílio em solucionar problemas práticos em tomadas de decisão multi-criteriais. Ele atua em três estágios para escolha entre alternativas: decomposição, decisão comparativa e síntese de prioridades.

Portanto, o presente projeto fundamenta-se na hierarquização de condicionantes associados a corridas de massa por meio da utilização da técnica AHP.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo principal hierarquizar condicionantes indutores dos processos de corridas de massa por meio da aplicação do método de tomada de decisão AHP (Analytical Hierarch Process).

3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA

3.1. Levantamento bibliográfico

Considerando as etapas de trabalho do projeto, primeiramente, foi desenvolvida uma ampla revisão bibliográfica sobre o tema corridas de massa para estabelecer os principais condicionantes considerados na bibliografia especializada. A fundamentação teórico-conceitual foi distribuída em três tópicos, sendo eles a caracterização do processo de corrida de massa, os principais condicionantes geológico-geotécnicos das corridas de massa e a caracterização da metodologia AHP.

Para tanto, foram definidas as seguintes palavras-chave e seus respectivos termos em inglês para realização de pesquisa do tipo Busca Booleana em banco de dados nacionais e internacionais: corrida de massa (mudflow e earthflow), corrida de detritos (debris flow), escorregamentos (slides e landslides) e ondas de cheia (floow wave).

Os bancos de dados pesquisados foram os seguintes: Athena (UNESP) – Acervo Geral; Biblioteca Digital de Teses e Dissertações das principais universidades públicas que possuem pesquisadores trabalhando no assunto; biblioteca digital Brasileira de Teses e Dissertações do Ministério da Ciência e Tecnologia; Portal de periódicos da Capes; Scientific Electronic Library Online (Scielo); Science Classic; Academic Search Premier; Academic Search Complete; GeoScienceWorld; Web of Science, Scopus; e Relatórios Técnicos disponíveis no IPT, IG/SMA/SP, COPE-Rio, CPRM e Ministério das Cidades. A partir desse amplo levantamento bibliográfico pode-se estabelecer um quadro com os principais condicionantes associados aos processos de corridas de massa.

3.2. Levantamento dos condicionantes geológico-geotécnicos para corridas de massa

Os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR) expressam os resultados de levantamentos, estudos e análises realizados sobre as atuais condições de risco geológico-geotécnico a que estão submetidas favelas e conjuntos habitacionais nos municípios brasileiros.

Eles contêm também as intervenções estruturais necessárias para reduzir e controlar estas situações de risco, bem como as políticas públicas adotadas para os programas de habitação e de desenvolvimento urbano (FUNEP, 2006).

A análise dos Planos Municipais dos municípios de Belford Roxo (RJ), Belo Horizonte (MG), Cabo de Santo Agostinho (PE), Caeté (MG) e Jundiaí (SP) foi feita minuciosamente. Porém, não foram encontrados novos condicionantes geológico-geotécnicos além daqueles listados pelo Relatório do Projeto Petrobras (REIS & CERRI, 2012) para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos.

Pela análise bibliográfica foi possível estabelecer uma série de condicionantes indutores de processos de corridas de massa. A partir da análise dos resultados preliminares verificou-se a necessidade de se definir condicionantes conforme a escala de trabalho, pois, foi identificada a existência de condicionantes que precisam de uma abordagem em escalas regionais pelo seu caráter mais generalista, como é o caso de alguns condicionantes geológicos e geomorfológicos, e outros que podem somente ser aplicados em escalas de detalhe, principalmente, relacionados a condicionantes geotécnicos. Os intervalos de escala de trabalho foram definidos da seguinte forma:

- Regional (intervalo de 1:250.000 a 1:100.000): referem-se aos condicionantes mais ligados a parâmetros fisiográficos e geológicos do terreno, que possibilitam uma abordagem mais generalista do processo. A função principal dos estudos nessa escala é definir áreas com maior potencialidade de ocorrência do evento para realização de estudos mais detalhados e específicos, de forma a abranger uma área ampla.
- Semi-Detalhe (Intervalo de 1:50.000 a 1:25.000): os parâmetros fisiográficos e geológicos ainda continuam sendo usados, mas com um detalhamento maior, como, por exemplo, no caso da topografia, possibilitando uma confiabilidade maior para os resultados das áreas potenciais. Em complemento, são incluídos parâmetros relacionados às variáveis hidrológicas, de pluviosidade, de uso e cobertura da terra, localização de barragens, perfil de alteração do solo, entre outros. Destaca-se que alguns parâmetros listados para a escala de semi-detalhe também podem ser aplicados na escala regional, contudo, entende-se que em áreas de estudo de grandes dimensões, há uma dificuldade maior para obter os valores desses parâmetros e validá-los com trabalho de campo, demandando um tempo maior para

sua realização, como, por exemplo, o uso e ocupação da terra, presença de barragens e os perfis de alteração do solo.

- Detalhe (1:10.000 ou maior): focam mais parâmetros geotécnicos, seguindo uma abordagem mais quantitativa por meio da realização de ensaios específicos e instrumentalização. A análise de relevo está mais associada aos perfis de encostas e ao talvegue das drenagens e os condicionantes geológicos a caracterização geotécnica dos perfis de alteração do solo e dos depósitos de material transportado. Já os parâmetros das barragens focam as características do projeto do empreendimento relacionadas aos parâmetros hidráulicos e geotécnicos.

A partir dessa relação de condicionantes foi possível elaborar as planilhas com os questionários para aplicação do método AHP aos especialistas.

3.3. Metodologia do processo de análise hierárquica – AHP

O método AHP foi desenvolvido pelo matemático Thomas Saaty e é baseado em formalizar a compreensão intuitiva de problemas complexos mediante o desenvolvimento de um modelo hierárquico. Foi desenvolvido no final da década de 80 a fim de resolver o tratado de redução de armamento estratégico entre os EUA e a ex-URSS. Seu objetivo é permitir que o agente decisório possa estruturar um problema de multicritérios de maneira visual por meio da construção de um modelo hierárquico conceitual que pode envolver basicamente três níveis: metas, critérios e alternativas. Seu princípio está em expressar em números os julgamentos realizados pelas pessoas ou grupos (MOGOLLÓN, 2000).

Seu trabalho tem sido usado de maneira variada, desde problemas complexos multicritérios de engenharia até em situações como a localização de um traçado de pavimentação de estrada. O processo AHP atua em três estágios para a escolha das alternativas: decomposição, decisão comparativa e síntese de prioridades.

A bibliografia pesquisada cita diversas vantagens do método AHP, como consistência, transparência, lógica, facilidade de uso, quantidade de aplicações práticas, publicações científicas e disponibilidade de vários *softwares* para verificação dos resultados (LARRUBIA, 2010). O AHP possui a característica ideal para a decisão do trabalho em questão, como exemplo, a

utilização de dados quantitativos e qualitativos e seu uso é apropriado para grupos de decisão, como será aplicado posteriormente no presente trabalho.

Saaty (1991) diz que a prática de tomada de decisões está ligada à avaliação das alternativas, sendo que todas satisfazem um conjunto de objetivos pretendidos. A problemática está na escolha da alternativa que melhor satisfaz o conjunto dos objetivos. O interesse é obter pesos numéricos para alternativas com relação aos subobjetivos e, para estes com relação a objetivos de ordem mais elevada.

A metodologia é baseada no princípio de que para a tomada de decisão, o conhecimento e a experiência dos envolvidos são tão valiosos quanto os dados utilizados. No método AHP, um problema é estruturado como hierarquia e, posteriormente, sofre um processo de priorização. Esta priorização envolve explicitar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade (PAULA, 2011).

Segundo Larrubia (2010) os sistemas de análise de decisões multicritérios mostram a necessidade de julgamentos subjetivos, deixando assim o processo de tomada de decisão mais transparente. Como consequência, os decisores são forçados a, pelo menos, considerar as dificuldades no conflito em questão. A transparência neste processo é de extrema importância, pois auxilia a participação dos decisores, especialmente nos casos em que várias partes interessadas estão envolvidas, como ocorre, no exemplo dado pelo autor em seu trabalho, no gerenciamento da partilha de recursos hídricos.

De acordo com Saaty (2004), a AHP é a maneira científica de fazer comparações, obtendo como resultado um valor de importância relativa atribuído à relação entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida de prioridade. A escala de julgamentos indica a predominância de um atributo sobre o outro, em relação à decisão a ser tomada.

Para estabelecer a importância de cada fator no processo de corridas de massa, serão atribuídos valores de potencialidade (relativos e empíricos) ao processo analisado considerando as diferentes variáveis relacionadas a geologia, declividade, geomorfologia, solos, uso e cobertura vegetal, clima e outros fatores condicionantes. No método AHP os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados par a par, na mesma ordem de importância estabelecida, conforme escala pré-definida por Saaty (1991) apresentado no quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Comparações da AHP (Saaty, 1991)

Grau de Importância	Definição e 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.

Segundo Saaty (2008), o processo de análise hierárquica é baseado na decisão de forma organizada para gerar prioridades, sendo necessária a decomposição da decisão da seguinte maneira:

1. Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento buscado;
2. Estruturar a decisão hierárquica do topo com o objetivo da decisão, então objetivos de uma perspectiva ampla, através de níveis intermediários até os inferiores;
3. Construir um conjunto de matrizes pareadas. Cada elemento de nível superior é usado para comparar os elementos de nível imediatamente inferior;
4. Usar as prioridades obtidas nas comparações para ponderar as prioridades no nível inferior. Então, para cada elemento do nível inferior, adicionar seu peso e obter sua prioridade global.

O método em questão apresenta suas vantagens, desvantagens e também limitações. Frasson (2011) aponta as principais vantagens da metodologia AHP, baseado na bibliografia dos seguintes autores: Schimidt (2003), Abreu et al. (2000), Ishizaka (2004), Finnie e Wittig (1999), Chwolka e Raith (1999), Boritz (1992), Bana et al. (2001), Dodgson et al. (2001) e Steiguer et al. (2005). Algumas vantagens observadas durante o uso do método AHP segundo os autores supracitados são:

- Simplicidade, clareza e facilidade de uso devido à grande quantidade de material disponível explicando a metodologia passo a passo;

- Permite a interação entre o analista do método matemático proposto e o especialista que fez a avaliação baseado na escala de Saaty;
- Permite a identificação de julgamentos inconsistentes e assim realização de ajustes na avaliação dos critérios e das alternativas;
- Permite que todos os envolvidos no processo decisório entendam o problema da mesma forma, pois permite que os critérios tenham a mesma base de avaliação para todos, o que é representado pela escala numérica de Saaty que é a única base para avaliação usada pelos decisores;
- Permite o desenvolvimento de sistemas estruturados hierarquicamente parecidos com a forma do ser humano estruturar seu pensamento e principalmente decisões de consenso de grupos de decisores;
- Capacidade em lidar com problemas que envolvam variáveis tanto quantitativas como qualitativas, sendo que a forma de agregação dessas variáveis exige que o tomador de decisão participe ativamente no processo de estruturação e avaliação do problema, o que contribui para tornar os resultados propostos pelo modelo mais realistas;
- Uma vez estruturado hierarquicamente um problema, os usuários são capazes de ordenar e comparar os critérios e alternativas de forma rápida e objetiva, pois sintetiza os resultados dentro de uma lista ordenada que permita a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator;

Algumas desvantagens observadas durante o uso do método AHP segundo vários autores de acordo com Frasson (2011) são:

- É fundamental que haja consenso na priorização dos critérios e alternativas para uma correta decisão;
- Os critérios representados devem ser independentes ou, pelo menos, suficientemente diferentes, em cada nível;
- Em qualquer processo de interação de grupo, não deve haver idealismo demais nem forte predisposição para liderança entre os envolvidos, sob o risco que a decisão seja subjetiva ou baseada em opiniões pessoais e preconceitos;
- Requer um procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências;

- O trabalho computacional é sensivelmente maior quando se eleva o número de alternativas, sendo que há um limite de 9 alternativas no máximo para uso do método segundo Saaty;
- O número de comparações requeridas pode ser muito alto se você trabalha com muitos critérios ou muitas alternativas;
- Alternativas incomparáveis não são permitidas;
- Uma ausência de fundamento de teoria estatística, pois não há um trabalho que associe o método matemático com a estatística moderna;

3.4. Análise dos resultados

Essa etapa do trabalho consistiu na análise dos resultados provenientes das respostas do questionário respondido pelos especialistas na etapa anterior. Assim, com todos os resultados levantados foi avaliada a aplicação da AHP para hierarquização dos condicionantes geológico-geotécnicos em corridas de massa.

Com a hierarquização feita, chegaram-se-se às conclusões propostas no trabalho, estas apresentadas nos capítulos posteriores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização do processo de corrida de massa

Segundo Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), os processos geológicos atuam com velocidades variáveis, as forças aplicadas podem ser rápidas ou devagares, a magnitude pode ser grande ou pequena e as solicitações dinâmicas ou estáticas. Desta maneira, se alguns destes fatores variam o processo geológico pode variar de um intemperismo para uma enchente, caso mude a velocidade, por exemplo.

Os movimentos de massa são movimentos gravitacionais de sedimentos, blocos de rocha e/ou solos provocados por fenômenos naturais em terrenos inclinados instáveis. O processo de movimentos de massa está envolvido na modificação da superfície terrestre e é interferido por ações antrópicas que o agilizam. A ocupação do solo em áreas naturalmente susceptíveis aos movimentos, remoção de cobertura do solo, cultivo inadequado no solo e saturação do solo pelo lançamento de águas pluviais são alguns exemplos das principais interferências do homem no processo de movimentos de massa.

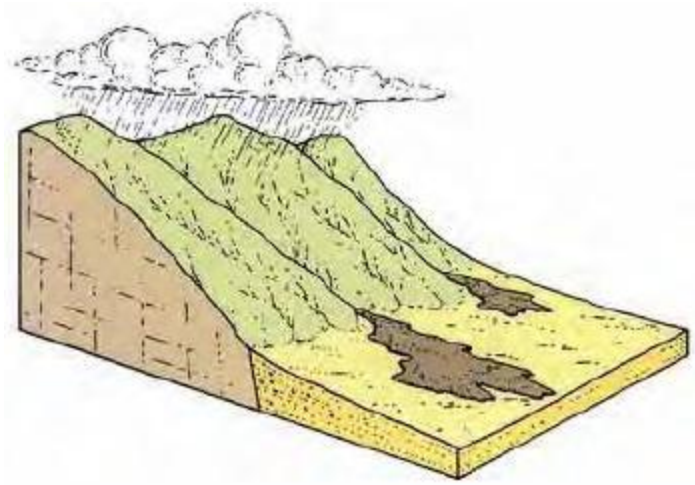
Augusto Filho (1992) classificou os movimentos de massa a partir da geometria e do tipo de material, sendo os principais: rastejos, escorregamentos, queda de blocos e corrida de massa, como mostra o quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Classificação dos movimentos de encosta segundo AUGUSTO FILHO (1992)

CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS, AUGUSTO FILHO (1992)	
PROCESSOS	**CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA**
RASTEJO (CREEP)	Vários planos de deslocamento (internos). Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes c/ a profundidade. Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes. Solo, depósito, rocha alterada/fraturada. Geometria indefinida.
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	Poucos planos de deslocamentos (externos). Velocidades médias (m/h) a altas (m/s). Pequenos a grandes volumes de material. Geometria e materiais variáveis: • PLANARES = solos poucos espessos, solos e rochas c/ um plano de fraqueza; • CIRCULARES = solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; • EM CUNHA = solos e rochas com dois planos de fraqueza.
QUEDAS (FALLS)	Sem planos de deslocamentos. Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado. Velocidades muito altas (vários m/s). Material rochoso. Pequenos a médios volumes. Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. ROLAMENTO DE MATACÃO TOMBAMENTO
CORRIDAS (FLOWS)	Muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas à massa em movimentação). Movimento semelhante ao de um líquido viscoso. Desenvolvimento ao longo das drenagens. Velocidades médias e altas. Mobilização de solo, rocha, detritos e água. Grandes volumes de material. Extenso raio de alcance mesmo em áreas planas.

A corrida de massa é o processo mais veloz de escorregamento de massa de solo ou rocha ao longo de uma vertente. A massa possui um aspecto viscoso, sendo formada por água, silte e argila e também por uma porção granular de material grosseiro, como areia, grânulos, seixos e matacões. Sua origem está diretamente relacionada com as águas pluviais e sua ocorrência faz parte da dinâmica de evolução de vertentes (AUGUSTO FILHO, 1992). Desenvolve-se ao longo das drenagens e possui um extenso raio de alcance, até mesmo em áreas planas, como visto na figura 1 a seguir:

Figura 1 - Esquema de uma corrida de massa (Fonte: Lopes, 2006)



Existem dois tipos de mecanismos básicos da geração para corridas de massa: o de origem primária, onde a formação das corridas se dá a partir da desestruturação total do material mobilizado de escorregamentos nas encostas; e o de origem secundária, onde a formação ocorre nas drenagens principais a partir da remobilização de detritos acumulados no leito e dos barramentos naturais, acrescidos do material de escorregamentos nas encostas e de grandes volumes de água gerados em picos de cheias nas drenagens (LIMA, 2002).

4.2. Principais condicionantes geológico-geotécnicos das corridas de massa

As corridas de massa são classificadas como *debris flow* (fluxo de detritos – solo, rocha e árvores), como *wood flow* (troncos e galhos), como *mud flow* ou corrida de lama que envolve

uma deformação plástica de solos argilosos transformando-se em fluxo turbulento, como *debris avalanches* (corrida de massa com movimentação muito rápida) e como *debris torrents* que possui características entre *avalanches* e *flows* (LOPES, 2006).

IPT (1987, 1988a) descreve duas hipóteses para a geração de corridas de massa: uma de origem primária por dilatância, que é a transformação da massa sólida em fluido viscoso pelo aumento de volume, resultante do aumento da porosidade, provocando uma incorporação ainda maior de umidade e amolgamento; e por liquefação espontânea na própria encosta, onde ocorre o colapso da estrutura interna com transformação repentina da massa sólida em um fluido viscoso, devido ao acréscimo de grande volume de água, o que causa o aumento da pressão neutra no solo, e outra secundária como resultado da acumulação de sedimentos depositados nas linhas de drenagem (trajetória das corridas de massa), e/ou barramento natural em drenagens.

Os principais fatores condicionantes dos movimentos gravitacionais de massa são aqueles do meio físico ou biótico, contribuindo para o desencadeamento do processo, especialmente os escorregamentos, e podem ser agrupados de modo geral, em seis grandes fatores geoambientais: geologia, pedologia, geomorfologia, clima, cobertura vegetal e antropismo (LOPES, 2006).

Lopes (2006) afirma que os fatores geológicos são os mais importantes nos processos de instabilização, tanto em encostas naturais, quanto em taludes produzidos nestas encostas por ações antrópicas, através de cortes e escavações. Desses fatores, os mais importantes na deflagração dos movimentos gravitacionais de massa são a composição físico-química das diferentes litologias, suas propriedades mecânicas, estruturas geológicas e grau de intemperismo.

Com relação à pedologia, Lopes (2006) aponta que a evolução pedológica, principalmente em meio tropical úmido, como regiões serranas, desempenha importante papel nos movimentos de massa, principalmente os do tipo escorregamentos. Sob estas condições climáticas, as ações físicas, químicas e biológicas são mais intensas, o que favorece a formação de maiores espessuras de solo. Os condicionantes geomorfológicos mais importantes na estabilidade das encostas são as formas das vertentes e as variáveis morfométricas como declividade (inclinação das encostas), área de contribuição, aspecto (orientação) e amplitude como indicativo do índice de dissecação. A velocidade de deslocamento de material das encostas é diretamente proporcional à declividade sendo assim, uma das principais causas predisponentes na deflagração de escorregamentos.

Segundo Lopes (2006) o clima representa nos processos de movimentos de massa um papel preponderante, tanto como agente predisponente, isto é, como preparador do potencial de

instabilização das encostas, quanto como causa imediata e deflagratória das instabilizações, geralmente na forma de chuvas intensas.

Há um consenso entre os pesquisadores que a vegetação desempenha um papel importante na proteção do solo e que a retirada da cobertura vegetal favorece o aparecimento de processos erosivos e de movimentos coletivos de solos.

Os pesquisadores também relacionam a atividade antrópica com os movimentos gravitacionais de massa, mesmo que estes sejam parte da dinâmica natural de áreas com encostas íngremes, a ação do homem, através de suas mais variadas formas de uso e ocupação do solo, interfere na evolução natural desses processos, induzindo ou até potencializando os processos de instabilização (LOPES, 2006).

As principais modificações oriundas das interferências antrópicas, citadas pelo autor Augusto Filho (1994), que induzem e potencializam os movimentos gravitacionais de massa, são: remoção da cobertura vegetal, execução de cortes com geometria inadequada (altura/inclinação), lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vazamento na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas, execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação), lançamento de lixo nas encostas, vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões, entre outros.

Lopes (2006) escreve sobre os objetivos da caracterização geológico-geotécnica, que são identificar os agentes, causas e condicionantes atuantes no processo de instabilização existente ou potencial, através da obtenção dos seguintes dados:

- Geometria da instabilização;
- Mecanismo da movimentação;
- Natureza e o estado do material mobilizado;
- Comportamento no tempo;
- Identificação, caracterização e mapeamento espacial das unidades geológico-geotécnicas (compartimentação dos maciços);
- Estabelecimento de correlações entre as unidades mapeadas e o processo de instabilização;
- Previsão dos comportamentos das unidades, ante as solicitações impostas por alguns tipos de obras de contenção.

Além dos diversos trabalhos de caracterização geotécnica dos movimentos de massa, através de mapeamentos, amostragens e instrumentações no campo, observa-se nas últimas décadas o surgimento de vários métodos indiretos utilizados para identificar áreas de instabilidade nas encostas (GUIMARÃES, 2000). Alguns destes métodos indiretos são baseados em análises estatísticas de correlação entre as áreas deslizadas com os atributos da paisagem como declividade, geologia, vegetação, etc. Outros utilizam uma combinação de dados espaciais a partir dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Como um dos métodos indiretos da obtenção de informações da superfície terrestre, o Sensoriamento Remoto (SR) é um recurso técnico indispensável nos trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico, a partir de imagens aéreas ou orbitais. O método possui a vantagem de ter um baixo custo e reduzir o tempo nos trabalhos de campo (SOUZA et al., 1998).

Conforme descrito no capítulo anterior, os condicionantes selecionados a partir da análise bibliográfica foram separados por escala de trabalho, conforme visto a seguir no quadro 3:

Quadro 3 - Variáveis selecionadas para corridas de massa (origens primária e secundária)

VARIÁVEIS / ESCALAS	VARIÁVEIS		
	Escala Regional (1:250.000 a 1:100.000)	**Escala de Semi-Detalhe (1:50.000 a 1:25.000)**	**Escala de Detalhe (1:10.000 ou maior)**
Chuvas	• Intensidade • Duração • Período de retorno	• Todos os parâmetros citados na escala regional	• Todos os parâmetros citados nas escalas regional
Tempo de concentração	• Índice de circularidade • Declividade da bacia • Padrão de drenagem • Uso e cobertura do solo • Tipo de substrato (solo/rocha)	• Diferença de cotas • Comprimento e declividade do talvegue • Todos os parâmetros citados na escala regional	• Todos os parâmetros citados nas escalas regional e de semi-detalhe, com exceção ao padrão de drenagem
Onda de Cheia (Área de inundação) e Vazões de Pico	• Declividade do Terreno • Amplitude Ponderada • Índice de Rugosidade • Índice de Circularidade • Densidade de Drenagem	• Área de drenagem da bacia • Coeficiente de escoamento superficial • Velocidade de escoamento • Seção do canal • Vazões de pico • Barramentos naturais e artificiais • Planícies de inundação • Terraços • Todos os parâmetros citados na escala regional	• Todos os parâmetros citados nas escalas regional e de semi-detalhe, com exceção ao índice de rugosidade e densidade de drenagem

VARIÁVEIS / ESCALAS	VARIÁVEIS		
	Escala Regional (1:250.000 a 1:100.000)	**Escala de Semi-Detalhe (1:50.000 a 1:25.000)**	**Escala de Detalhe (1:10.000 ou maior)**
Suscetibilidade a escorregamento (encostas)	• Declividade do Terreno • Amplitude Ponderada • Índice de Rugosidade • Índice de Circularidade • Curvatura da encosta	• Inclinação • Perfil • Amplitude Ponderada • Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha) • Profundidade do nível d'água • Todos os parâmetros citados na escala regional	• Permeabilidade • Todos os parâmetros citados nas escalas regional e de semi-detalhe, com exceção ao índice de rugosidade
Desenvolvimento nas drenagens e Deposição	• Intensidade das chuvas • Duração das chuvas • Tempo de concentração • Área de drenagem da bacia • Declividade do Terreno • Amplitude Ponderada • Índice de Rugosidade • Índice de Circularidade • Densidade de Drenagem	• Todos os parâmetros citados na escala regional	• Todos os parâmetros citados nas escalas regional e de semi-detalhe, com exceção índice de rugosidade e densidade de drenagem

4.3. Método AHP

Tendo como base o trabalho de Gimenes (2013), a AHP é explicada didaticamente utilizando a comparação entre três cores: amarelo, vermelho e azul. Neste exemplo, primeiramente é comparada a preferência entre duas opções (amarelo e vermelho), sendo a cor amarela mais preferida que a vermelha. O mesmo procedimento é feito para a terceira cor, sendo realizadas três comparações ao todo. O número de comparações possíveis depende do número de objetos em análise, obedecendo à Equação 1 a seguir:

$C = \frac{n(n-1)}{2}$, onde: C = número de combinações; n = número de objetos (1)

Em sequência, é elaborada uma matriz recíproca 3x3 a partir das comparações par-a-par. As diagonais são sempre igual a 1 e o resto da matriz é preenchida respeitando a regra: se o valor de julgamento estiver à esquerda do valor da escala 1, insere-se o próprio número, mas se o valor de julgamento estiver à direta do valor 1 da escala, insere-se o inverso do número. A matriz é ilustrada na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Matriz recíproca de comparação pareada

	Amarelo	Vermelho	Azul
Amarelo	1	1/3	5
Vermelho	3	1	7
Azul	1/5	1/7	1

Segundo Saaty, a matriz de comparação deve atender às seguintes propriedades:

- Identidade: todos os elementos da diagonal deve ser iguais a 1, ou seja, ela representa o elementos comparado a si mesmo, com mesma importância;
- Reciprocidade: cada elemento acima da diagonal é igual ao inverso do elemento correspondente, situado abaixo da diagonal;
- Consistência: a matriz deve satisfazer a transitividade, ou seja, no caso de uma comparação de 3 critérios, se A é preferível a B e B é preferível a C, consequentemente A tem que ser preferível a C.

O próximo passo é o cálculo do vetor de prioridade, normalizado pelo autovetor da matriz elaborada. O processo é dividido em três etapas, mostradas a seguir:

1) Cada coluna deve ser somada, como na Tabela 2:

Tabela 2 - Soma das colunas da matriz recíproca

Critérios	Amarelo	Vermelho	Azul
Amarelo	1	1/3	5
Vermelho	3	1	7
Azul	1/5	1/7	1
Soma	21/5	31/21	13

2) Então, a normalização é realizada quando se divide cada elemento da matriz pela soma da sua coluna, resultado na soma unitária, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Normalização da matriz recíproca.

Critérios	Amarelo	Vermelho	Azul
Amarelo	5/21	7/31	5/13
Vermelho	15/21	21/31	7/13
Azul	1/21	3/31	1/13
Soma	1	1	1

3) E por fim, o vetor de prioridades ou autovetor é obtido calculando-se a média aritmética de cada linha da matriz, evidenciado na Tabela 4 adiante.

Tabela 4 - Cálculo do autovetor da matriz recíproca

Critérios	Amarelo	Vermelho	Azul	Autovetor
Amarelo	5/21	7/31	5/13	0,2828
Vermelho	15/21	21/31	7/13	0,6434
Azul	1/21	3/31	1/13	0,0738
Soma	1	1	1	1

O vetor de prioridades mostra os pesos relativos entre os objetos comparados. Ou seja, vermelho é a cor preferida, com 64,34%, seguida de amarelo com 28,28% de preferência e, por último, a cor azul com apenas 7,38%.

A próxima parte do processo AHP é verificar a consistência da atribuição dos pesos feita pelos especialistas (Teknomo, 2006). A etapa é feita a partir do cálculo do autovalor, obtido pela soma dos produtos de cada elemento do autovetor pela soma das colunas das matrizes, como na Equação 2 adiante.

$$\lambda_{max} = \frac{21}{5}\,(0{,}2828) + \frac{31}{21}\,(0{,}6434) + 13\,(0{,}0738) = 3{,}0967 \qquad (2)$$

Logo após, calcula-se o valor do Índice de Consistência (IC), que representa quanto o autovalor está afastado do valor teórico esperado *n*. O IC é obtido pela Equação 3 a seguir:

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

Sabendo o valor do IC, este deve ser comparado com um índice apropriado. O criador da metodologia AHP, Saaty, propôs a comparação com o Índice de Consistência Randômico (ICR). Este índice representa o valor que seria obtido em uma matriz paritária de ordem *n*, que fosse preenchida com valores sem julgamento, de forma aleatória.

No trabalho de Alonso & Lamata (2006), é apresentado o cálculo do ICR para amostras de 500000 e 100000 matrizes, até a ordem 15x15. Os valores são mostrados na tabela 5.

Tabela 5 - Índice de Consistência Randômico calculado para 100000 e 500000 matrizes (Alonso & Lamata, 2006)

100000	N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
500000	ICR	0,5245	0,8815	1,1086	1,2479	1,3417	1,4056	1,4499	1,4854	1,5141	1,5365	1,5551	1,5713	1,5838

Então, é possível calcular a Razão de Consistência, que é a divisão entre o IC e o ICR. Se o valor de RC for menor ou igual a 10%, a inconsistência é aceitável. Se a divisão for maior, é necessário revisar os julgamentos subjetivos realizados. No exemplo das cores dado no presente trabalho, IC=0,0484 e o ICR para n=3 é 0,52. Resultando em RC=0,093, ou 9,3%. Consequentemente, a avaliação subjetiva foi consistente.

Assim, foi aplicado o questionário baseado nos condicionantes levantados. Como exemplo de resposta da atribuição de peso dado por um especialista tem-se a tabela 6, que é a matriz recíproca na qual são apresentadas as comparações paritárias realizadas para tempo de concentração na escala regional.

Tabela 6 - Exemplo de matriz AHP utilizada

VARIÁVEIS	Índice de circularidade	Declividade da bacia	Padrão de Drenagem	Uso e cobertura do solo	Tipo de substrato (solo/rocha)
Índice de circularidade	1/1	1/9	1/1	3/5	1/9
Declividade da bacia	9/1	1/1	3/1	9/5	1/1
Padrão de Drenagem	1/1	1/3	1/1	3/7	1/3
Uso e cobertura do solo	5/3	5/9	7/3	1/1	7/9
Tipo de substrato (solo/rocha)	9/1	1/1	3/1	9/7	1/1
SOMA	21,67	3,00	10,33	5,11	3,22

4.4. Tabulação dos Questionários e Cálculo da Consistência

O questionário respondido pelos três especialistas continha cinco grupos de condicionantes e, dentro destes, vários sub-condicionantes que influenciam a origem da corrida de massa. O mesmo possuía 158 linhas de comparações pareadas para que cada especialista atribuísse pesos a cada par de fatores.

A avaliação de consistência das respostas obtidas foi feita conforme a metodologia descrita no capítulo anterior, segundo Gimenes (2013). Assim, foram obtidas as tabelas de

número 7 a 11 de consistência de condicionantes geológico-geotécnicos. Para facilitar os cálculos da razão de consistência, as escalas semi-detalhada e detalhada foram divididas em mais duas, afim de que nos cálculos se utilizassem matrizes quadradas.

Tabela 7 - Razão de consistência para Tempo de Concentração

Especialistas/Escala	Especialista A	Especialista B	Especialista C
Escala Regional	5,70%	**10,60%**	**14,20%**
Escala Semi-detalhada	3,00%	**10,60%**	**14,20%**
Escala Semi-detalhada (mais parâmetros)	3,50%	5,90%	Não foi respondido
Escala Detalhada	4,57%	7,00%	**14,20%**
Escala Detalhada (mais parâmetros)	5,10%	3,87%	Não foi respondido
Resultado final	**Consistente**	**Inconsitente para as escalas regional e semi-detalhada**	**Inconsistente**

Para o parâmetro "Tempo de Concentração", visto na tabela 7 anteriormente, o especialista A foi consistente em todas as escalas. O especialista B foi consistente somente nas escalas semi-detalhada (para mais parâmetros) e detalhadas. Já o especialista C foi inconsistente em todas as escalas, então seus resultados foram descartados.

A proposta de hierarquização para o condicionante Tempo de Concentração foi a seguinte, em ordem decrescente de importância de ocorrência, de acordo com a escala de trabalho:

- Regional: tipo de substrato (solo/rocha), declividade, uso e cobertura do solo, padrão de drenagem e índice de circularidade;
- Semi-detalhe e detalhe: tipo de substrato (solo/rocha), declividade, comprimento e declividade do talvegue, uso e cobertura do solo, diferença de cotas, padrão de drenagem e índice de circularidade;

Tabela 8 - Razão de consistência para Onda de Cheia

Especialistas/Escala	Especialista A	Especialista B	Especialista C
Escala Regional	**13,20%**	6,40%	0,00%
Escala Semi-detalhada	**13,20%**	6,40%	0,00%
Escala Semi-detalhada (mais parâmetros)	**10,20%**	7,89%	Não foi respondido
Escala Detalhada	3,33%	0,00%	0,00%
Escala Detalhada (mais parâmetros)	**11,30%**	**11,30%**	Não foi respondido
Resultado final	**Consistente somente para a escala detalhada**	**Inconsistente somente para a escala detalhada (mais parâmetros)**	**Consistente para as escalas regional, semi-detalhada e detalhada**

Para o parâmetro "Onda de Cheia", visto na tabela 8 anterior, o especialista A foi consistente somente para a escala detalhada. O especialista B inconsistente somente para a escala detalhada (mais parâmetros). E o especialista C foi consistente para as escalas regional, semi-detalhada e detalhada.

Mesmo com respostas consistentes para dois especialistas na mesma escala de trabalho, a atribuição que cada decisor atribuiu aos condicionantes foi muito discrepante (a discrepância pode ser observada no apêndice 7 onde estão as planilhas com as respostas de cada especialista). Como ilustração do problema, o especialista B atribuiu peso para o par "declividade do terreno – amplitude ponderada" o peso 1:1, já o especialista C atribuiu ao par o peso 9:1. Assim, mesmo havendo consistência na atribuição final dos pesos, os resultados devem ser descartados, pois não há como hierarquizar os condicionantes de Onda de Cheia com tal divergência de valores.

Tabela 9 - Razão de consistência para Chuvas

Especialistas/Escala	Especialista A	Especialista B	Especialista C
Escala Regional	0,00%	0,00%	0,00%
Escala Semi-detalhada	1,83%	0,00%	0,00%
Escala Detalhada	1,83%	0,00%	0,00%
Resultado final	**Consistente**	**Consistente**	**Consistente**

Para o parâmetro "Chuvas", todos os especialistas consultados obtiveram consistência nos seus dados. Para este parâmetro, havia apenas 3 condicionantes que se repetiam para todas as escalas de trabalho, o que tornou mais fácil a precisão nos pesos dados.

Assim, a hierarquização foi a seguinte, na ordem decrescente de importância, para todas as escalas: intensidade, duração e período de retorno.

Tabela 10 - Razão de consistência para Suscetibilidade a escorregamento (encostas)

Especialistas/Escala	Especialista A	Especialista B	Especialista C
Escala Regional	**12,20%**	4,43%	7,89%
Escala Semi-detalhada	**12,20%**	4,43%	7,89%
Escala Semi-detalhada (mais parâmetros)	**19,60%**	**21,72%**	Não foi respondido
Escala Detalhada	**10,10%**	5,75%	7,89%
Escala Detalhada (mais parâmetros)	**11,30%**	**24,46%**	Não foi respondido
Resultado final	**Inconsistente**	**Consistente para as escalas regional, semi-detalhada e detalhada**	**Consistente para as escalas regional, semi-detalhada e detalhada**

Para o parâmetro “Suscetibilidade a escorregamento (encostas)”, o especialista A foi inconsistente em todos os seus julgamentos. O especialista B foi consistente para as escalas regional, semi-detalhada e detalhada, e o especialista C foi consistente igualmente ao especialista B.

Apesar dos julgamentos feitos pelos especialistas B e C serem consistentes para as escalas regional e semi-detalhada, houve uma divergência na opinião de ambos quanto ao par “índice de circularidade – curvatura da encosta”, sendo que o B atribuiu peso 1:1 e o C peso 5:1 ao mesmo par de condicionantes.

A possível hierarquização para este caso seria somente para a escala regional: declividade do terreno, amplitude ponderada, curvatura da encosta, índice de rugosidade e índice de circularidade.

Tabela 21 - Razão de consistência para Desenvolvimento nas drenagens e Deposição

Especialistas/Escala	Especialista A	Especialista B	Especialista C
Escala Regional	3,89%	0,30%	0,93%
Escala Semi-detalhada	4,32%	0,30%	0,93%
Escala Detalhada	0,25%	3,62%	0,93%
Resultado final	**Consistente**	**Consistente**	**Consistente**

Para o caso do parâmetro “Desenvolvimento nas drenagens e Deposição”, todos os especialistas foram consistentes nos julgamentos dos condicionantes. Mas isso não significa que todos responderam com a mesma atribuição de peso os condicionantes em questão. Como exemplo de uma divergência observada para esse parâmetro, tem-se o par “intensidade das chuvas – duração das chuvas”. Neste exemplo, o especialista A atribuiu peso 7:7, o B 7:1 e o C 1:9.

Então, para Desenvolvimento nas Drenagens e Deposição, os condicionantes não puderam ser hierarquizados devido à discrepância de opinião dos especialistas consultados.

4.5. Proposta de hierarquização dos condicionantes geológico-geotécnicos

A proposta de hierarquização dos condicionantes para o trabalho foi feita a partir de uma análise criteriosa dos questionários aplicados aos especialistas, seguindo a metodologia proposta em capítulos anteriores. No capítulo 7 do presente trabalho está localizado o Apêndice, onde se pode observar o questionário respondido pelos três julgadores.

Como observado no questionário presente no capítulo Apêndice, houve um mau entendimento feito pelo especialista C, que julgou somente as variáveis para a escala regional. Por isso, a discussão dos resultados dos dados descrita a seguir foi feita somente para a escala em questão, a regional (1:250.000 a 1:100.000). No presente capítulo, os resultados do questionário foram discutidos pareadamente, sendo que os julgamentos foram expostos conforme a ordem alfabética em que os especialistas foram divididos, para melhor visualização.

Para o parâmetro "Tempo de Concentração", o primeiro par julgado foi "índice de circularidade – declividade da bacia", que teve os seguintes julgamentos: 1:9 (A), 1:3 (B) e 1:9 (C). A variável "declividade da bacia" é, evidentemente, mais importante que o "índice de circularidade". Para o par "índice de circularidade – padrão de drenagem", a atribuição de pesos foi: 3:3 (A), 3:1 (B) e 3:1 (C). Neste par, houve uma divergência de opinião do especialista A para com os outros dois julgadores. O par "índice de circularidade – uso e cobertura do solo" obteve os julgamentos: 3:5 (A), 3:1 (B) e 1:1 (C). É evidente que há uma completa divergência de opiniões para a situação, devendo esse par ser descartado. O par "índice de circularidade – tipo de substrato (solo/rocha)" foi julgado da seguinte maneira: 1:9 (A), 5:1 (B) e 9:1 (C), novamente houve uma grande discrepância nos julgamentos atribuídos. O pareamento "declividade da bacia – padrão de drenagem" foi avaliado assim: 9:3 (A), 5:1 (B) e 9:1 (C). O julgamento de que a declividade da bacia é mais importante que o padrão de drenagem para indução de corridas de massa foi unânime. Os parâmetros pareados "declividade da bacia – uso e cobertura do solo" foram analisados desta maneira: 9:5 (A), 5:1 (B) e 9:1 (C). É nítida a importância de declividade da bacia até a presente discussão. Já o par "declividade da bacia – tipo de substrato (solo/rocha)" foi avaliado assim: 9:9 (A), 5:1 (B) e 9:1 (C). Nitidamente, o conceito de "tipo de substrato (solo/rocha)" não é o mesmo para os três consultados. O pareamento "padrão de drenagem – uso e cobertura do solo" obteve o seguinte julgamento: 3:7 (A), 3:1 (B) e 1:5 (C). O pareamento citado anteriormente possui uma divergência do pesquisador B para com os outros dois. O par

julgado “padrão de drenagem – tipo de substrato (solo/rocha)” obteve o seguinte peso: 3:9 (A), 1:1 (B) e 3:1 (C). Como pode ser observado, os julgamentos foram bem discrepantes, devendo essa comparação ser descartada. E por fim, para o parâmetro “Tempo de Concentração”, houve o julgamento do par “uso e cobertura do solo – tipo de substrato (solo/rocha)”, com os seguintes pesos: 7:9 (A), 3:1 (B) e 7:1 (C), neste pareamento o especialista A foi divergente em relação aos outros dois especialistas consultados.

Para o parâmetro “Onda de Cheia (Área de Inundação) e Vazões de Pico”, o primeiro par julgado foi o “declividade do terreno – amplitude ponderada”, o qual obteve os seguintes pesos: 9:5 (A), 1:1 (B) e 9:1 (C). Somente o especialista B divergiu da opinião dos demais, sendo que estes avaliaram a “declividade do terreno” como muito importante para indução de corridas de massa. O par julgado “declividade do terreno – índice de rugosidade” foi analisado da seguinte maneira: 9:1 (A), 1:1 (B) e 9:1 (C). Novamente, o decisor B não apoiou a decisão dos demais e mais uma vez é evidente que a declividade do terreno continuou sendo uma variável importante no fomento da movimentação de massa. O par de variáveis “declividade do terreno – densidade de drenagem” foi julgado assim: 9:3 (A), 3:1 (B) e 9:1 (C). Foi unânime a opinião de que a declividade do terreno é mais indutiva do que a densidade de drenagem. Já o par “amplitude ponderada – índice de circularidade” foi analisado desta forma: 9:1 (A), 3:1 (B) e 1:1 (C). Somente o decisor C julgou que os parâmetros pareados possuem pesos iguais. Para as variáveis “amplitude ponderada – densidade de drenagem” foram os seguintes pesos: 7:3 (A), 3:1 (B) e 1:1 (C). Novamente, o pesquisador C julgou que os parâmetros pareados são de mesma importância. O par “índice de rugosidade – índice de circularidade” teve o seguinte julgamento: 5:1 (A), 3:1 (B), 1:1 (C). Os decisores A e B concordaram que o índice de rugosidade é mais indutor a corridas de massa do que o índice de circularidade, porém o decisor C não respondeu da mesma maneira, atribuindo mesma importância. E o último par julgado para Onda de Cheia (Área de Inundação) e Vazões de Pico foi “índice de circularidade – densidade de drenagem”: 3:5 (A), 1:1 (B) e 1:1 (C). Para os decisores B e a atribuição de valores foi semelhante e de mesma importância.

O parâmetro “Chuvas” é o que possuiu menor número de pareações, somente três. O primeiro par julgado foi “intensidade – duração”: 7:7 (A), 1:1 (B) e 1:9 (C). O especialista C respondeu de forma discrepante aos demais. O par “intensidade – período de retorno” foi avaliado da seguinte maneira: 7:5 (A), 3:1 (B) e 1:1 (C). Somente o decisor C avaliou os

parâmetros analisados como sendo de mesma importância para a indução de movimentos de massa. O último par analisado para este parâmetro foi "duração – período de retorno": 7:5 (A), 3:1 (B) e 9:1 (C). Todos os decisores avaliaram a duração como mais indutora que o período de retorno.

O parâmetro "Suscetibilidade a escorregamento (encostas)" possui apenas quatro pareações, que foram analisadas logo a seguir. O par de variáveis "declividade do terreno – curvatura da encosta" foi avaliado desta maneira: 9:3 (A), 3:1 (B) e 9:1 (C). Foi unânime a avaliação de que a declividade do terreno é mais indutora de movimentação de massa do que a curvatura da encosta. O par de variáveis "amplitude ponderada – curvatura da encosta" obteve os seguintes pesos: 7:3 (A), 1:1 (B) e 1:1 (C). Somente o decisor A não concordou que as variáveis em questão possuem mesma importância. Já o par "índice de rugosidade – curvatura da encosta" teve o seguinte julgamento: 1:3 (A), 1:1 (B) e 1:1 (C). Novamente o decisor A não teve a mesma opinião que os demais. E, por fim, para o conjunto de parâmetros de "Suscetibilidade a escorregamento (encostas)", o último pareamento foi "índice de circularidade – curvatura da encosta": 1:3 (A), 1:1 (B) e 5:1 (C). Neste houve uma completa divergência de opiniões, devendo ser descartadas as respostas julgadas.

Para o último conjunto de parâmetros "Desenvolvimento nas drenagens e Deposição" foram analisados inúmeros pares de variáveis que foram descritos a seguir. O primeiro pareado foi "intensidades das chuvas – tempo de concentração": 7:7 (A), 1:1 (B) e 1:1 (C). Foi unânime a decisão de que a intensidade das chuvas e o tempo de concentração possuem o mesmo grau de importância para indução de corridas de massa. O par "intensidade das chuvas – área de drenagem da bacia" foi avaliado assim: 9:3 (A), 7:1 (B) e 1:1 (C). Somente o decisor C acreditou que as variáveis possuem mesma importância, porém os demais avaliaram e julgaram que a intensidade das chuvas é mais importante que a área de drenagem da bacia perante corridas de massa. O par de variáveis "intensidade das chuvas – declividade do terreno" foi analisado da seguinte forma: 9:9 (A), 3:1 (B) e 1:9 (C). O pareamento analisado obteve respostas muito discrepantes, então deve ser descartado esse pareamento. As variáveis pareadas "intensidade das chuvas – amplitude ponderada" foram julgadas com os seguintes pesos: 9:7 (A), 3:1 (B) e 1:1 (C). Somente o especialista C julgou as variáveis supracitadas como de mesma importância. Para o par "intensidade das chuvas – índice de rugosidade" foram os seguintes julgamentos: 9:1 (A), 3:1 (B) e 1:1 (C). Novamente, somente o especialista C atribuiu importância igual para as

variáveis, sendo que os demais avaliaram a intensidade das chuvas como de importância maior quanto à outra variável em questão. Já o par "intensidade das chuvas – índice de circularidade" foi analisado desta maneira: 9:1 (A), 1:1 (B) e 1:7 (C). Houve uma completa discrepância na opinião dada pelos três especialistas consultados, devendo este par de variáveis ser descartado. O pareamento "intensidade das chuvas – densidade de drenagem" foi avaliado com os seguintes pesos: 9:3 (A), 1:1 (B) e 1:1 (C). Somente o decisor A atribuiu importância diferente para os parâmetros analisados. O julgamento do par "duração das chuvas – tempo de concentração" foi o seguinte: 7:7 (A), 1:5 (B) e 9:1 (C). Houve, novamente, uma discrepância indesejada na atribuição de valores feita pelos especialistas, devendo ser descartada essa análise. O par "duração das chuvas – área de drenagem da bacia" foi julgado desta maneira: 9:1 (A), 1:1 (B) e 9:1 (C). O especialista B foi o único que não concordou que a duração das chuvas é de extrema importância se comparada à área de drenagem da bacia. O pareamento "duração das chuvas – declividade do terreno" foi avaliado da seguinte forma: 9:9 (A), 1:1 (B) e 1:1 (C). Foi unânime a ponderação dos pesos para o par de variáveis, sendo estas de importância igual para a indução de corridas de massa. O par "duração das chuvas – amplitude ponderada" foi analisado assim: 9:7 (A), 1:1 (B) e 9:1 (C). Os especialistas A e C concordaram que a duração das chuvas possui maior importância que a amplitude ponderada, porém não com a mesma proporção. O par "duração das chuvas – índice de rugosidade" foi avaliado da seguinte maneira: 9:1 (A), 1:1 (B) e 9:1 (C). Novamente, os decisores A e C concordaram que a duração das chuvas é mais importante que a outra variável comparada, neste caso "índice de rugosidade". O julgamento do par "duração das chuvas – índice de circularidade" foi atribuído os seguintes pesos: 9:1 (A), 1:1 (B), 9:5 (C). O decisor B não concordou com os demais que a duração das chuvas possui maior importância que o índice de circularidade. O pareamento "duração das chuvas – densidade de drenagem" foi julgado desta forma: 9:1 (A), 1:1 (B) e 9:1 (C). Os especialistas A e C tiveram a mesma opinião perante a comparação das variáveis, sendo que, mais uma vez, a duração das chuvas foi mais importante que as demais. O par "tempo de concentração – área de drenagem da bacia" foi analisado: 7:1 (A), 5:1 (B) e 1:1 (C). Somente o decisor C não concordou que o tempo de concentração é de importância maior que a área de drenagem da bacia. O pareamento "tempo de concentração – declividade do terreno" foi avaliado assim: 7:9 (A), 1:1 (B) e 1:9 (C). O especialista B se equivocou ao dizer que ambas as variáveis supracitadas são de mesma importância. O par "tempo de concentração – amplitude ponderada" foi julgado assim: 7:7 (A),

3:1 (B) e 1:1 (C). Os julgadores A e C acreditaram que o tempo de concentração e a amplitude ponderada são de importância semelhante para fomento de corridas de massa. O "tempo de concentração – índice de rugosidade" foi avaliado da seguinte forma: 7:1 (A), 5:1 (B) e 1:1 (C). Somente o especialista C discordou que o tempo de concentração é de maior importância quando comparado ao índice de rugosidade. O par "tempo de concentração – índice de circularidade" foi julgado assim: 7:1 (A), 5:1 (B) e 1:5 (C). O especialista C foi o único que discordou que o tempo de concentração é mais importante que o índice de circularidade. E, finalmente, o último par avaliado para "Desenvolvimento nas drenagens e Deposição" foi "tempo de concentração – densidade de drenagem": 7:1 (A), 5:1 (B) e 1:1 (C). Os especialistas A e B julgaram que o tempo de concentração é de importância maior que a densidade de drenagem.

Como resultado de toda a análise feita nos parágrafos anteriores, foi hierarquizado o quadro 2 do trabalho e modificado para o quadro 4, seguindo **a ordem do mais relevante para o menos relevante** em indução de corridas de massa.

Quadro 4 - Variáveis para corridas de massa (origens primária e secundária) hierarquizadas

VARIÁVEIS / ESCALAS	VARIÁVEIS		
	Escala Regional (1:250.000 a 1:100.000)	**Escala de Semi-Detalhe (1:50.000 a 1:25.000)**	**Escala de Detalhe (1:10.000 ou maior)**
Chuvas	• Intensidade • Duração • Período de retorno	• Intensidade • Duração • Período de retorno	• Intensidade • Duração • Período de retorno
Tempo de concentração	• Tipo de substrato (solo/rocha) • Declividade da bacia • Uso e cobertura do solo • Padrão de drenagem • Índice de circularidade	• Tipo de substrato (solo/rocha) • Declividade da bacia • Comprimento e declividade do talvegue • Uso e cobertura do solo • Diferença de cotas • Padrão de drenagem • Índice de circularidade	• Tipo de substrato (solo/rocha) • Declividade da bacia • Comprimento e declividade do talvegue • Uso e cobertura do solo • Diferença de cotas • Índice de circularidade
Onda de Cheia (Área de inundação) e Vazões de Pico	• Dados descartados	• Dados descartados	• Dados descartados
Suscetibilidade a escorregamento (encostas)	• Dados descartados	• Dados descartados	• Dados descartados
Desenvolvimento nas drenagens e Deposição	• Dados descartados	• Dados descartados	• Dados descartados

Analisando os resultados, pode-se perceber que a maioria das respostas dos especialistas no questionário foi inconsistente, dificultando assim a hierarquização que era desejada. A inconsistência pode ser explicada devido à complexidade do questionário, sendo uma planilha do *Excel* com 158 linhas de parâmetros pareados. A inconsistência foi verificada desde o recebimento das respostas dos especialistas, porém não houve tempo suficiente para o reenvio do questionário com maiores explicações para os decisores.

Pode-se assim recomendar para futuros trabalhos semelhantes o questionário elaborado no presente trabalho, visto que os parâmetros indutores para corridas de massa já foram levantados e divididos em escalas de trabalho. Desta forma, é necessário somente aplicar o mesmo em novos especialistas da área, principalmente para especialistas de outras universidades e institutos.

5. CONCLUSÕES

O objetivo principal do presente trabalho foi hierarquizar condicionantes indutores dos processos de corridas de massa por meio da aplicação do método de tomada de decisão AHP (Analytical Hierarch Process).

A corrida de massa, por ser um movimento de massa muito veloz e destrutivo, deve ser estudada para que sua ocorrência seja prevista e mitigada. Esta pode ser ocasionada por diversos condicionantes, assim como fatores antrópicos. Dentre os fatores geológico-geotécnicos, estão: chuvas, tempo de concentração, onda de cheia e vazão de pico, suscetibilidade a escorregamentos (encostas) e desenvolvimento nas drenagens e deposição.

É complexa a previsão de um futuro movimento de massa, pois cada condicionante geológico-geotécnico identificado pode suceder uma diferente situação de risco. Para resolver tal caso, pode-se tomar decisões baseadas em critérios qualitativos e quantitativos. O uso do método AHP possibilita a hierarquização dos condicionantes a partir da resposta de especialistas no tema, contribuindo para ponderação desses condicionantes em estudos multicriteriais de mapeamento da suscetibilidade à ocorrência de corridas de massa. O AHP é uma técnica simples e clara, fácil de ser explicada aos decisores, permitindo a interação entre o analista e o decisor. Os julgamentos aplicados pelo método são uma construção pessoal dos tomadores de decisão (experiência, tendência e contribuição), sendo assim, subjetiva.

Conforme o levantamento das variáveis condicionantes para indução de corridas de massa foi observada a necessidade de separar os tais condicionantes conforme a escala de trabalho, pois, alguns somente podem ser usados em escala mais regionais e outros são específicos aplicados em escala de detalhe.

Os julgamentos paritários feitos pelos especialistas não obtiveram consistência, em sua maioria. Isso dificultou a hierarquização para alguns parâmetros, como “Suscetibilidade a escorregamento (encostas)” e “Desenvolvimento nas Drenagens e Deposição”, em que seus dados foram inconsistentes devido à divergência de opinião dos julgamentos dos especialistas.

Como recomendação para futuros trabalhos, pode-se utilizar o questionário elaborado no presente estudo para outros trabalhos semelhantes, porém com o envio a especialistas de diferentes institutos e universidades. Desta forma, seria obtido uma gama maior de opiniões para a hierarquização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, J. A.; LAMATA, M. T. Consistency in the Analythic Hierarchy Process: a new approach. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge – Based Systems. Vol. 14, N. 4. Espanha, 2006.

AMARAL, B. D. do. Modelagem da paisagem orientada ao processo decisório da gestão socioambiental na bacia hidrográfica do Rio Manso (MT). Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro, SP. 2007.

AUGUSTO FILHO, O. Carta de riscos de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP. 1994. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de solos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: 1992, p.721-733.

CERRI, L. E. S.; ALMEIDA, J.G.A. Instabilidade da Serra do Mar no Estado de São Paulo: situações de risco. In: I Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1990, São Paulo (SP). Atas do I Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano. São Paulo (SP): ABGE, 1990. p. 342-351.

FRASSON, Alexandre Cesar. Escolha de alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodo gerado no tratamento de efluentes líquidos de agroindústrias com base no método AHP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2011.

FUNDAÇÃO DE APOIO À PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO – FUNEP. Plano Municipal de Redução de Riscos de Belo Horizonte (MG). Relatório Final – Volume 01. 2006.

GIMENES, F. B. Q. Mapa de fragilidade ambiental: conceituação e aplicação em um setor do oleoduto São Paulo – Brasília (OSBRA). Dissertação (Mestre em Geotecnia) – Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2013.

GOVERNO DE MINAS GERAIS. Plano Municipal de Redução de Risco dos Municípios de Caeté, Ibirité, Raposos e Rio Acima. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana. 2009.

GUIMARÃES, R.F. Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de drenagem. 2000. 150f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HERRMANN, M. L. P.; PELLERIN, J. R. G. M.; SAITO, S. M. Análise das ocorrências de escorregamentos no Estado de Santa Catarina com base nos formulários de avaliação de danos da Defesa Civil – 1980 a 2003. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 159-173. (CD-ROM)

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. 1998. Processos da Dinâmica Superficial. In:OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Desenvolvimento de um plano de estudos para análise, prevenção e contenção do fenômeno da corrida de massa na Região de Cubatão, em colaboração com o Governo Japonês. Relatório Final n 29.123. 1991.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). "Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários". Definição dos processos do meio físico e reavaliação do mapeamento de risco do município de Jundiaí (SP). Relatório n 90.560-205. 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). "Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários". Definição dos processos do meio físico e reavaliação do mapeamento de risco do município de Osasco (SP). Relatório n 90.050-205. 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Estudos das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão, objetivando a caracterização do fenômeno "Corrida de Lama" e a prevenção de seus efeitos. São Paulo, 1987. Relatório n 25636/87.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Programa Serra do Mar: Carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande. São Paulo, 1988a. Relatório n 26504.

LARRUBIA, C.B. Método AHP como instrumento de apoio à decisão para a manutenção da qualidade da água do Reservatório de Ilha Solteira. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Ilha Solteira, SP. 2010.

LIMA, A. F. Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de uma encosta da formação barreiras na área urbana da cidade do Recife. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. 2002.

LOPES, E. S. S. Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1.10.000. Dissertação (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro, SP. 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Plano Municipal de Redução de Risco de Cabo de Santo Agostinho (PE). Prefeitura Municipal de Cabo de Santo Agostinho. Pernambuco. 2006.

MOGOLLÓN, R. M. A. El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su Aplicación para Determinar lós Usos de lãs Terras – El Caso de Brasil. Proyecto Regional "Información sobre Tierras y Águas para um Desarrollo Agrícola Sostenible" (Proyecto GCP/RLA/126/JPN), Informe Técnico n° 2. FAO, Santiago, Chile. 2000.

OGURA, A. T.; AUGUSTO FILHO, O. The Morin Debris-Flow Disaster at Petropolis,City,Rio de Janeiro State, Brazil. Landslides News, Japão, n. 5, p. 22-25, 1991.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. de. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

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. Dissertação (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro, SP. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELFORD ROXO. Programa: Urbanização, regularização e integração de assentamentos precários – município de Belford Roxo. Ação: Apoio à prevenção e erradicação de riscos em assentamentos precários. 2007.

REIS, F.A.G.V.; CERRI, L.E.S. (Coord.) Projeto Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo. [Rio Claro]: UNESP; PETROBRAS, 2012. (Relatório de Pesquisa, 1).

SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill Pub. 367 p. 1991.

SAATY, T. L. Scales from measurement not measurement from scales. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING – MCDM, 17., 2004, Whistler, Canada. 2004.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1. 2008

SOUZA, L.A.P. da; SILVA, R.F. da; LYOMASA, W.S. Métodos de Investigação. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.B.A. de (Ed.) Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 11.

TEKNOMO, K. Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial. 2006. Disponível em: <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/AHP/>. Acessado em: 08 Jun 2013.

7. APÊNDICE A - RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS DOS ESPECIALISTAS

Quadro 1 - Respostas dos questionários dos especialistas

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
Tempo de Concentração	Índice de circularidade	Declividade da bacia	1:9	1:9	1:9	A
			01:03	01:03	01:03	B
			01:09			C
	Índice de circularidade	Padrão de drenagem	3:3	3:3		A
			03:01	03:01		B
			03:01			C
	Índice de circularidade	Uso e cobertura do solo	3:5	3:7	3:7	A
			03:01	03:01	01:01	B
			01:01			C
	Índice de circularidade	Tipo de substrato (solo/rocha)	1:9	1:9	1:9	A
			05:01	05:01	05:01	B
			09:01			C
	Declividade da bacia	Padrão de drenagem	9:3	9:1		A
			05:01	05:01		B
			09:01			C
	Declividade da bacia	Uso e cobertura do solo	9:5	9:5	9:5	A
			05:01	05:01	05:01	B
			09:01			C
	Declividade da bacia	Tipo de substrato (solo/rocha)	9:9	9:9	9:9	A
			05:01	05:01	05:01	B
			09:01			C
	Padrão de drenagem	Uso e cobertura do solo	3:7	1:7		A
			03:01	03:01		B
			01:05			C
	Padrão de drenagem	Tipo de substrato (solo/rocha)	3:9	1:9		A
			01:01	01:01		B
			03:01			C
	Uso e cobertura do solo	Tipo de substrato (solo/rocha)	7:9	7:9	7:9	A
			03:01	03:01	03:01	B
			07:01			C
	Diferença de cotas	Comprimento e declividade do talvegue		7:9	7:9	A
				01:01	01:01	B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
						C
	Diferença de cotas	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				01:01	01:01	B
						C
	Diferença de cotas	Padrão de drenagem		7:1		A
				03:01		B
						C
	Diferença de cotas	Uso e cobertura do solo		7:7	7:7	A
				03:01	03:01	B
						C
	Diferença de cotas	Tipo de substrato (solo/rocha)		7:9	7:9	A
				05:01	05:01	B
						C
	Diferença de cotas	Declividade da bacia		7:9	7:9	A
				01:01	01:01	B
						C
	Comprimento e declividade do talvegue	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				01:01	01:01	B
						C
	Comprimento e declividade do talvegue	Padrão de drenagem		9:1		A
				05:01		B
						C
	Comprimento e declividade do talvegue	Uso e cobertura do solo		9:7	9:7	A
				03:01	03:01	B
						C
	Comprimento e declividade do talvegue	Tipo de substrato (solo/rocha)		9:9	9:9	A
				03:01	03:01	B
						C
	Comprimento e declividade do talvegue	Declividade da bacia		9:9	9:9	A
				01:01	01:01	B
						C
Onda de Cheia (Área de Inundação) e Vazões de Pico	Declividade do terreno	Amplitude ponderada	9:5	9:5	9:5	A
			01:01	01:01	01:01	B
			09:01			C
	Declividade do terreno	Índice de rugosidade	9:1	9:1		A
			01:01	01:01		B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
			09:01			C
	Declividade do terreno	Densidade de drenagem	9:3	9:3		A
			03:01	03:01	03:01	B
			09:01			C
	Amplitude ponderada	Índice de circularidade	9:1	9:1	9:1	A
			03:01	03:01	03:01	B
			09:01			C
	Amplitude ponderada	Densidade de drenagem	7:3	7:3		A
			03:01	03:01		B
			01:01			C
	Índice de rugosidade	Índice de circularidade	5:1	5:1		A
			03:01	03:01		B
			01:01			C
	Índice de circularidade	Densidade de drenagem	3:5	3:5		A
			01:01	01:01		B
			01:01			C
	Área de drenagem da bacia	Coeficiente de escoamento superficial		1:9	1:9	A
				01:03	01:03	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Velocidade de escoamento		1:9	1:9	A
				01:07	01:07	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Seção do canal		1:9	1:9	A
				01:03	01:03	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Vazões de pico		1:5	1:5	A
				01:09	01:09	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Barramentos naturais e artificiais		1:9	1:9	A
				01:03	01:03	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Planícies de inundação		1:7	1:7	A
				01:03	01:03	B
						C
	Área de drenagem da	Terraços		1:3	1:3	A
				01:03	01:03	B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
	bacia					C
	Área de drenagem da bacia	Declividade do terreno		1:9	1:9	A
				01:05	01:05	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Amplitude ponderada		1:7	1:7	A
				01:07	01:07	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Índice de rugosidade		1:1		A
				01:07		B
						C
	Área de drenagem da bacia	Índice de circularidade		1:3	1:3	A
				01:07	01:07	B
						C
	Área de drenagem da bacia	Densidade de drenagem		1:3		A
				01:05		B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Velocidade de escoamento		9:9	9:9	A
				01:05	01:05	B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Seção do canal		9:9	9:9	A
				03:01	03:01	B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Vazões de pico		9:3	9:3	A
				01:05	01:05	B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Barramentos naturais e artificiais		9:9	9:9	A
				03:01	03:01	B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Planícies de inundação		9:7	9:7	A
				03:01	03:01	B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Terraços		9:3	9:3	A
				03:01	03:01	B
						C
	Coeficiente de escoamento	Declividade do terreno		9:9	9:9	A
				01:05	01:05	B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
	superficial					C
	Coeficiente de escoamento superficial	Índice de rugosidade		9:1		A
				01:05		B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				01:03	01:05	B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Amplitude ponderada		9:7	9:7	A
				01:05	01:05	B
						C
	Coeficiente de escoamento superficial	Densidade de drenagem		9:3		A
				01:03		B
						C
	Velocidade de escoamento	Seção do canal		9:9	9:9	A
				07:01	07:01	B
						C
	Velocidade de escoamento	Vazões de pico		9:3	9:3	A
				01:01	01:01	B
						C
	Velocidade de escoamento	Barramentos naturais e artificiais		9:9	9:9	A
				07:01	07:01	B
						C
	Velocidade de escoamento	Planícies de inundação		9:7	9:7	A
				07:01	07:01	B
						C
	Velocidade de escoamento	Terraços		9:3	9:3	A
				07:01	07:01	B
						C
	Velocidade de escoamento	Declividade do terreno		9:9	9:9	A
				03:01	03:01	B
						C
	Velocidade de escoamento	Índice de rugosidade		9:1		A
				03:01		B
						C
	Velocidade de escoamento	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				03:01	03:01	B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
						C
	Velocidade de escoamento	Densidade de drenagem		9:3		A
				03:01		B
						C
	Velocidade de escoamento	Amplitude ponderada		9:7	9:7	A
				03:01	03:01	B
						C
	Seção do canal	Vazões de pico		9:5	9:5	A
				01:07	01:07	B
						C
	Seção do canal	Barramentos naturais e artificiais		9:9	9:9	A
				01:01	01:01	B
						C
	Seção do canal	Planícies de inundação		9:7	9:7	A
				01:01	01:01	B
						C
	Seção do canal	Terraços		9:3	9:3	A
				01:01	01:01	B
						C
	Seção do canal	Amplitude ponderada		9:7	9:7	A
				01:05	01:05	B
						C
	Seção do canal	Declividade do terreno		9:9	9:9	A
				01:07	01:07	B
						C
	Seção do canal	Índice de rugosidade		9:1		A
				01:05		B
						C
	Seção do canal	Densidade de drenagem		9:3		A
				01:05		B
						C
	Seção do canal	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				01:05	01:05	B
						C
	Vazões de pico	Barramentos naturais e artificiais		5:9	5:9	A
				07:01	07:01	B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
						C
	Vazões de pico	Planícies de inundação		5:9	5:9	A
				07:01	07:01	B
						C
	Vazões de pico	Terraços		5:3	5:3	A
				07:01	07:01	B
						C
	Vazões de pico	Amplitude ponderada		5:7	5:7	A
				03:01	03:01	B
						C
	Vazões de pico	Índice de circularidade		5:1	5:1	A
				03:01	03:01	B
						C
	Vazões de pico	Índice de rugosidade		5:1		A
				03:01		B
						C
	Vazões de pico	Densidade de drenagem		5:3		A
				03:01		B
						C
	Vazões de pico	Declividade do terreno		5:9		A
				03:01	03:01	B
						C
	Barramentos naturais e artificiais	Planícies de inundação		9:9	9:9	A
				01:01	01:01	B
						C
	Barramentos naturais e artificiais	Terraços		9:3	9:3	A
				01:01	01:01	B
						C
	Barramentos naturais e artificiais	Amplitude ponderada		9:7	9:7	A
				01:05	01:05	B
						C
	Barramentos naturais e artificiais	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				01:05	01:05	B
						C
	Barramentos naturais e	Índice de rugosidade		9:1		A
				01:05		B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
	artificiais					C
	Barramentos naturais e artificiais	Densidade de drenagem		9:3		A
				01:05		B
						C
	Barramentos naturais e artificiais	Declividade do terreno		9:9	9:9	A
				01:05	01:05	B
						C
	Planícies de inundação	Terraços		9:3	9:3	A
				01:01	01:01	B
						C
	Planícies de inundação	Amplitude ponderada		9:7	9:7	A
				01:05	01:05	B
						C
	Planícies de inundação	Índice de rugosidade		9:1		A
				01:05		B
						C
	Planícies de inundação	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				01:05	01:05	B
						C
	Planícies de inundação	Densidade de drenagem		9:3		A
				01:03		B
						C
	Planícies de inundação	Declividade do terreno		9:9	9:9	A
				01:05	01:05	B
						C
	Terraços	Amplitude ponderada		3:7	3:7	A
				01:05	01:05	B
						C
	Terraços	Índice de rugosidade		3:1		A
				01:05		B
						C
	Terraços	Índice de circularidade		3:1	3:1	A
				01:05	01:05	B
						C
	Terraços	Densidade de drenagem		3:3		A
				01:03		B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
						C
	Terraços	Declividade do terreno		3:9	3:9	A
				01:05	01:05	B
						C
Chuvas	Intensidade	Duração	7:7	9:9	9:9	A
			1:1	01:01	01:01	B
			1:9			C
	Intensidade	Período de retorno	7:5	9:5	9:5	A
			3:1	03:01	03:01	B
			1:1			C
	Duração	Período de retorno	7:5	9:5	9:5	A
			3:1	03:01	03:01	B
			9:1			C
Suscetibilidade a escorregamento (encostas)	Declividade do terreno	Curvatura da encosta	9:3	9:3	9:3	A
			3:1	03:01	03:01	B
			9:1			C
	Amplitude ponderada	Curvatura da encosta	7:3	7:3	7:3	A
			1:1	01:01	01:01	B
			1:1			C
	Índice de rugosidade	Curvatura da encosta	1:3	1:3		A
			1:1	01:01		B
			1:1			C
	Índice de circularidade	Curvatura da encosta	1:3	1:3	1:3	A
			1:1	01:01	01:01	B
			5:1			C
	Inclinação	Perfil		9:5	9:5	A
				03:01	03:01	B
						C
	Inclinação	Amplitude ponderada		9:7	9:7	A
				03:01	03:01	B
						C
	Inclinação	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)		9:9	9:9	A
				03:01	03:01	B
						C
	Inclinação	Profundidade do nível d'água		9:7	9:7	A
				03:01	03:01	B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
						C
	Inclinação	Declividade do terreno		9:9	9:9	A
				01:00	01:01	B
						C
	Inclinação	Índice de rugosidade		9:1		A
				03:01		B
						C
	Inclinação	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				03:01	03:01	B
						C
	Inclinação	Curvatura da encosta		9:3	9:3	A
				03:01	03:01	B
						C
	Perfil	Amplitude ponderada		5:7	5:7	A
				01:03	01:03	B
						C
	Perfil	Perfil de alteração(materiais inconsolidados e rocha)		5:9	5:9	A
				1;1	01:01	B
						C
	Perfil	Profundidade do nível d'água		5:7	5:7	A
				01:01	01:01	B
						C
	Perfil	Declividade do terreno		5:9	5:9	A
				01:07	01:07	B
						C
	Perfil	Índice de rugosidade		5:1		A
				01:05		B
						C
	Perfil	Índice de circularidade		5:1	5:1	A
				01:05	01:05	B
						C
	Perfil	Curvatura da encosta		5:3	5:3	A
				01:05	01:05	B
						C
	Amplitude ponderada	Perfil de alteração (materiais		7:9	7:9	A
				03:01	03:01	B

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
		inconsolidados e rocha)				C
	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)	Profundidade do nível d'água		9:7	9:7	A
				01:01	01:01	B
						C
	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)	Amplitude ponderada		9:7	9:7	A
						B
						C
	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)	Declividade do terreno		9:9	9:9	A
				01:07	01:07	B
						C
	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)	Índice de rugosidade		9:1		A
				01:05		B
						C
	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)	Índice de circularidade		9:1	9:1	A
				01:05	01:05	B
						C
	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)	Curvatura da encosta		9:3	9:3	A
				01:03	01:03	B
						C
	Profundidade do nível d'água	Amplitude ponderada		7:9	7:9	A
				01:03	01:03	B
						C
	Profundidade do nível d'água	Declividade do terreno		7:9	7:9	A
				01:07	01:07	B
						C
	Profundidade do nível d'água	Índice de circularidade		7:1	7:1	A
				01:03	01:03	B
						C
	Profundidade do nível d'água	Índice de rugosidade		7:1		A
				01:03		B
						C
	Profundidade do nível d'água	Curvatura da encosta		7:3	7:3	A
				01:03	01:03	B
						C

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
	Permeabilidade	Declividade do terreno			9:9	A
					01:07	B
						C
	Permeabilidade	Amplitude ponderada			9:7	A
					01:05	B
						C
	Permeabilidade	Índice de circularidade			9:1	A
					01:03	B
						C
	Permeabilidade	Curvatura da encosta			9:3	A
					01:03	B
						C
	Permeabilidade	Inclinação			9:9	A
					01:05	B
						C
	Permeabilidade	Perfil			9:7	A
					01:01	B
						C
	Permeabilidade	Perfil de alteração (materiais inconsolidados e rocha)			9:9	A
					01:01	B
						C
	Permeabilidade	Textura dos materiais inconsolidados			9:9	A
					01:01	B
						C
	Permeabilidade	Profundidade do nível d'água			9:7	A
					01:01	B
						C
Desenvolvimento nas drenagens e Deposição	Intensidade das chuvas	Tempo de concentração	7:7	9:9	9:9	A
			1:1	01:01	01:01	B
			1:1			C
	Intensidade das chuvas	Área de drenagem da bacia	9:3	9:3	9:3	A
			7:1	07:01	07:01	B
			1:1			C
	Intensidade das chuvas	Declividade do terreno	9:9	9:9	9:9	A
			3:1	03:01	03:01	B
			1:9			C

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
	Intensidade das chuvas	Amplitude ponderada	9:7	9:7	9:7	A
			3:1	03:01	03:01	B
			1:1			C
	Intensidade das chuvas	Índice de rugosidade	9:1	9:1		A
			3:1	03:01		B
			1:1			C
	Intensidade das chuvas	Índice de circularidade	9:1	9:1	9:1	A
			1:1	01:01	01:01	B
			1:7			C
	Intensidade das chuvas	Densidade de drenagem	9:3	9:3		A
			1:1	01:01		B
			1:1			C
	Duração das chuvas	Tempo de concentração	7:7	9:9	9:9	A
			1:5	01:05	01:05	B
			9:1			C
	Duração das chuvas	Área de drenagem da bacia	9:1	9:1	9:1	A
			1:1	01:01	01:01	B
			9:1			C
	Duração das chuvas	Declividade do terreno	9:9	9:9	9:9	A
			1:1	01:01	01:01	B
			1:1			C
	Duração das chuvas	Amplitude ponderada	9:7	9:7	9:7	A
			1:1	01:01	01:01	B
			9:1			C
	Duração das chuvas	Índice de rugosidade	9:1	9:1		A
			1:1	01:01		B
			9:1			C
	Duração das chuvas	Índice de circularidade	9:1	9:1	9:1	A
			1:1	01:01	01:01	B
			9:5			C
	Duração das chuvas	Densidade de drenagem	9:1	9:1		A
			1:1	01:01		B
			9:1			C
	Tempo de concentração	Área de drenagem da bacia	7:1	9:1	9:1	A
			5:1	05:01	05:01	B
			1:1			C

Variáveis/ Parâmetros/ Escalas	Variáveis/ Parâmetros		Escala Regional	Escala de Semi-Detalhe	Escala de Detalhe	Especialistas
	Variável 1	Variável 2				
	Tempo de concentração	Declividade do terreno	7:9	9:9	9:9	A
			1:1	01:01	01:01	B
			1:9			C
	Tempo de concentração	Amplitude ponderada	7:7	9:7	9:7	A
			3:1	03:01	03:01	B
			1:1			C
	Tempo de concentração	Índice de rugosidade	7:1	9:1		A
			5:1	05:01		B
			1:1			C
	Tempo de concentração	Índice de circularidade	7:1	9:1	9:1	A
			5:1	05:01	05:01	B
			1:5			C
	Tempo de concentração	Densidade de drenagem	7:1	9:1		A
			5:1	05:01		B
			1:1			C