

## Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada

### Mapping of susceptibility to mass movements using the Multi Criteria Evaluation Ordered Weighted Average method

*Roberto Carlos Pinto*

Doutorando em Geografia pela UFPR  
[robertogeog@hotmail.com](mailto:robertogeog@hotmail.com)

*Everton Passos*

Professor Dr. do Departamento de Geografia da UFPR  
[everton@ufpr.br](mailto:everton@ufpr.br)

*Sony Cortese Caneparo*

Professora Dra. do Departamento de Geografia da UFPR  
[sony@ufpr.br](mailto:sony@ufpr.br)

Artigo recebido para revisão em 29/09/2014 e aceito para publicação em 22/12/2014

#### Resumo

Os movimentos de massa em vertentes são importantes processos naturais transformadores do relevo. Quando ocorridos em áreas habitadas podem provocar verdadeiras catástrofes. A identificação e o mapeamento de áreas com suscetibilidade à ocorrência destes processos é importante instrumento auxiliar à gestão e planejamento territorial em áreas de risco. Tais movimentos bruscos de materiais diversos são recorrentes no Brasil, abordados no presente artigo em cenário de suscetibilidade, especificamente quanto a delimitação de áreas em relevo montanhoso, tendo como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí, situada na porção ocidental da Serra da Prata, compreendendo parte dos municípios de Morretes e Paranaguá no Estado do Paraná, afetada fortemente por processos correlatos ocorridos em março de 2011. O estudo descreve a aplicação de uma modelagem preditiva em Sistemas de Informações Geográficas por meio da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada de fatores condicionantes, selecionados, padronizados, posteriormente agregados e combinados. A cartografia do cenário de suscetibilidade resultante foi validada por retroanálise, sobrepondo-se ao registro obtido em imagens de cicatrizes do evento reportado, com coincidência de 82,56% em classes mapeadas como Alta e Muito Alta Suscetibilidade. O mapeamento da suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada demonstrou considerável eficiência.

**Palavras-chave:** Deslizamentos catastróficos. Vertentes. Áreas de suscetibilidade. Processos. Condicionantes.

#### Abstract

Mass movements in slopes are important natural relief transforming processes. When occurring in populated areas are true catastrophes. The identification and mapping of areas with susceptibility to the occurrence of these processes is important auxiliary instrument management and territorial planning in hazardous areas. Such sudden movements of various materials are recurrent in Brazil, discussed in this paper in susceptibility scenario, specifically as the delimitation of areas in mountainous terrain, with the case study River Basin Jacarei, located in the western portion of the Serra da Prata, comprising the municipalities of Morretes and Paranaguá in Paraná, strongly affected by related processes taking place in March 2011. the study describes the application of a

predictive modeling in Geographic Information Systems through Multicriteria Evaluation by the method Ordered Weighted Average of conditioning factors, selected, standardized, later added and combined. The mapping of susceptibility resulting scenario was validated by back analysis, overlapping the registration obtained in the event reported scars pictures with coincidence of 82.56% in classes mapped to High and Very High Susceptibility. The mapping of susceptibility to mass movements with the use of Multi-criteria evaluation by the Weighted Average method demonstrated considerable efficiency.

**Key-words:** Landslides catastrophic. Slope. Areas of Susceptibility. Processes. Conditions.

## 1. INTRODUÇÃO

Os diferentes tipos de movimentos de massa com materiais diversos consolidados ou não, constituintes de vertentes, caracterizam-se como importantes processos erosivos naturais responsáveis pela evolução das vertentes e interflúvios, com conseqüente assoreamento e deposição de materiais em fundo de vales ou planícies, afetando o relevo como um todo. Em áreas com predomínio de formas côncavo-convexas, em relevo acidentado de serras ou montanhas, é maior a predisposição à ocorrência destes processos, sobretudo em regiões tropicais e subtropicais onde os índices pluviométricos elevados propiciam grandes variações nas condições hidrodinâmicas.

No Brasil, os movimentos de massa em forma de deslizamentos (como são genericamente identificados) podem alcançar grande magnitude, quando há uma convergência de processos combinando: queda e rolamento de blocos; escorregamentos de solo, rocha ou material composto; mobilização e corrida de detritos e lama, incluindo a cobertura vegetal arbórea. Tais processos, quando ocorrem em regiões ocupadas, invariavelmente provocam prejuízos socioeconômicos consideráveis, inclusive com elevado número de vítimas fatais.

São fenômenos preocupantes que nos últimos anos vem despertando cada vez mais o interesse da comunidade científica. Em território brasileiro há inúmeras áreas urbanas, inseridas em condições ambientais que demonstra alto grau de fragilidade, com solo exposto, declives acentuados, índices pluviométricos elevados, entre outras características que foram consideradas no contexto de "segurança ambiental" por Bigarella (1974) citando os casos: da Serra das Araras em janeiro de 1967, com 1700 mortes, no Estado do Rio de Janeiro; o de Caraguatatuba, São Paulo, com 400 óbitos e o ocorrido em março do mesmo ano e Tubarão no Estado de Santa Catarina em março de 1974 com 199 mortes.

Além do elevado número de vítimas fatais, os movimentos de massa podem acarretar prejuízos socioeconômicos significativos, a exemplo do registrado na região serrana do Estado do Rio de Janeiro em janeiro de 2011, onde segundo Dourado et al. (2012), ocorreram

947 mortes e registrados 300 desaparecidos afetando diretamente uma população de aproximadamente 50.000 pessoas desabrigadas nos municípios de Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto, Bom Jardim e Areal e afetando indiretamente mais de 1.000.000 de pessoas, sendo investidos R\$ 188.451.196,08 em 79 obras recuperadas pelo poder público estadual e danos inestimáveis à população.

Reconhecendo que a ocorrência dos movimentos de massa nas encostas está relacionada ao comportamento de uma série de fatores condicionantes e que o mapeamento de suscetibilidade é uma etapa indispensável para a gestão de riscos naturais e planejamento do uso da terra, este estudo propõe um modelo de mapeamento preditivo de áreas de suscetibilidade, podendo contribuir e em particular servir de instrumento de apoio a medidas preventivas a serem assumidas em órgãos gestores, responsáveis por políticas públicas de planejamento territorial, que visam empregar medidas preventivas, mitigadoras aos impactos negativos causados por desastres associados a estes processos.

Neste contexto, esta pesquisa utiliza-se da Avaliação Multicritério (*Multi Criteria Evaluation - MCE*) integrada aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) para geração de um cenário de suscetibilidade, a partir da combinação de condicionantes relacionados ao desenvolvimento dos processos de instabilidade em vertentes, utilizando-se do método da Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average - OWA*) tendo como área de estudo uma bacia hidrográfica.

A avaliação multicritério em ambiente SIG permite a agregação de inúmeras variáveis sendo recomendada para decisões complexas. Zambon et al. (2005) afirmam que “a integração de SIG's e de métodos de decisão multicritério vêm proporcionando inúmeros benefícios para análise de problemas e tomada de decisão no planejamento. Os modelos baseados em decisão multicritério são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação”.

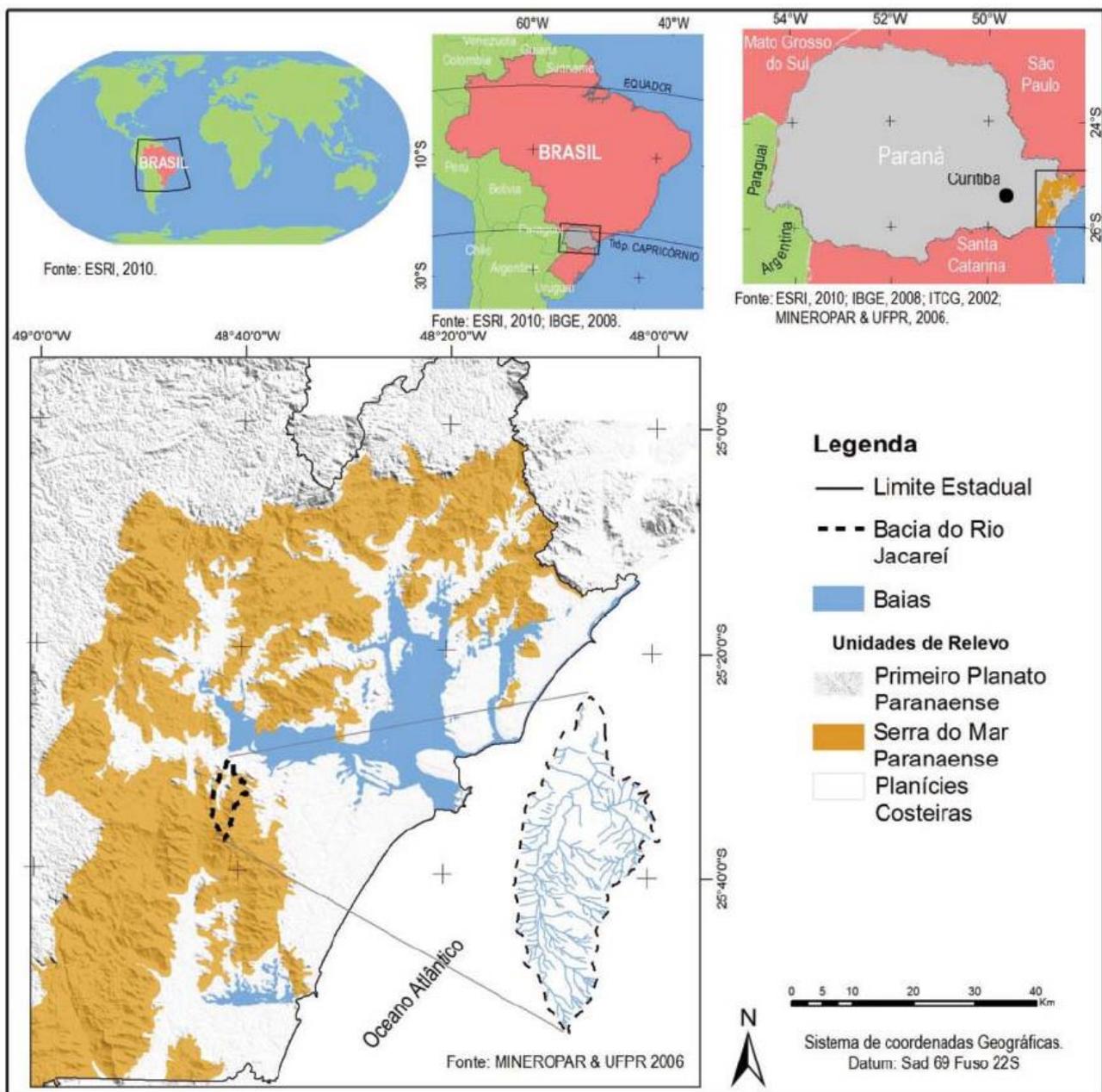
Introduzido por Yager (1988) no método denominado de Média Ponderada Ordenada – OWA (os critérios, neste caso específico, os condicionantes de instabilidade das vertentes) são padronizados e ponderados, restrições são mascaras *booleanas* e fatores são mapas contínuos de potencialidade, ponderados de acordo com sua importância relativa. Na OWA, um segundo conjunto de pesos, de ordenação, são aplicados aos fatores.

Os pesos de ordenação possibilitam o maior controle sobre o nível global de compensação entre os fatores, assim como do nível de risco na determinação da aptidão e/ou potencialidade (EASTMAN, 1998).

A análise classifica-se como estatística, pois apresenta critérios de combinação com padrões mensurados e parte do pressuposto que a correlação entre os condicionantes de instabilidade das vertentes explica a distribuição destes processos no espaço.

## 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí localiza-se na divisa dos municípios de Morretes e Paranaguá, Estado do Paraná - Brasil, inserida no compartimento de relevo denominado Serra da Prata (ramificação do grande maciço da Serra do Mar) e na Planície Litorânea, entre as coordenadas geográficas 25°30'29" S, 25°37'44" S, 48°42'18" W, e 48°39'62" W, distando aproximadamente 80 km da capital Curitiba e 20 km do centro de Paranaguá, com área total de 41,27 km<sup>2</sup> e acesso pela rodovia BR-277 (Figura 1).



**Figura 1** - Cartograma ilustrativo com a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí. (Fonte: Silveira et al., 2013).

A Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí está inserida numa área caracterizada pela fragilidade ambiental, cercada por morros, Mata Atlântica, mangues, restingas e um grande número de nascentes. Parte da bacia está dentro do Parque Nacional Saint Hilaire/Lange, criado justamente para proteger os ambientes descritos e tem suas nascentes da margem direita na Serra da Prata.

Esta área foi escolhida em função da natureza dos movimentos de massa ocorridos no mês de março de 2011, caracterizados pela elevada magnitude e grande poder destrutivo. Na ocasião, um conjunto simultâneo de processos combinados definidos de movimentos complexos associados a inundações deixaram um rastro de destruição na paisagem local nunca antes registrado. Houve arraste encosta abaixo de material diverso, incluindo parte da vegetação natural, recobrimo a planície de inundação de detritos e destruindo casas, ruas, pontes, lavouras e deixando uma vítima fatal (Figuras 2, 3, 4 e 5).



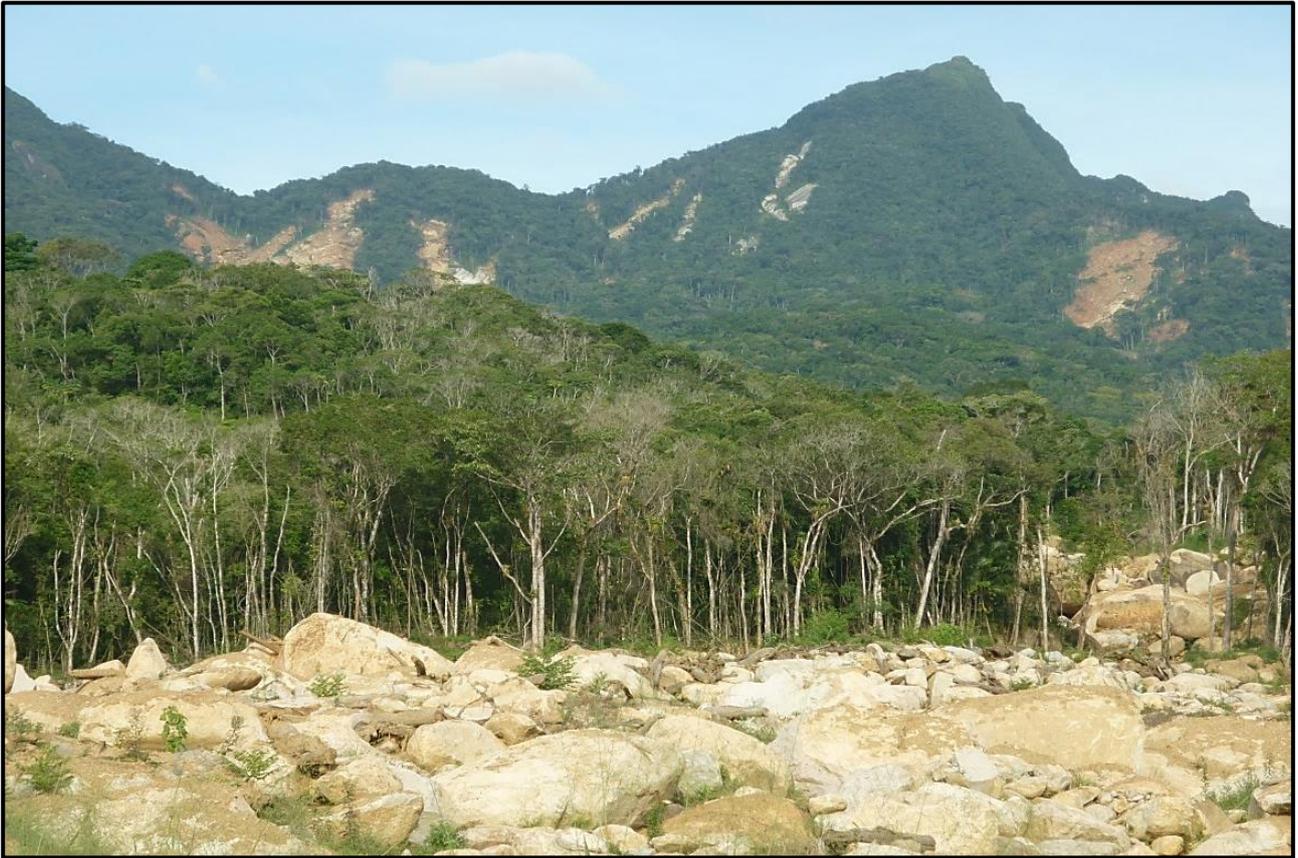
**Figura 2** - Aspectos das cicatrizes erosionais e deposicionais decorrentes de movimentos complexos rápidos em vertentes da Serra da Prata e fundos de vales afetados em 11 de março de 2011. Deslizamentos em forma de escorregamentos e corrida de lama com transporte de detritos incluindo a movimentac o de matacões, alguns com dezenas de metros cúbicos, vertente e vale abaixo, provocando o transbordamento e assoreamento do canal fluvial. (Foto: Hedeson S. Jornal Gazeta do Povo, 13/03/2011. )



**Figura 3** - Destruição decorrente do evento de movimentos complexos ocorrido a montante. Uma das pontes sobre o Rio Jacareí na rodovia BR 277, principal via de acesso ao porto de Paranaguá, corredor de exportação internacional que atende no Brasil o Estado do Paraná e parte da Região Sul e Região do Pantanal matogrossense além do Paraguai (Foto: Hedeson S. Jornal Gazeta do Povo, 13/03/2011)



**Figura 4** - Casa parcialmente destruída pelos movimentos complexos desencadeados nas vertentes da Serra da Prata em março de 2011 (Foto: Os autores, 2013).



**Figura 5** - Matacões de grandes dimensões (eixo maior com aproximadamente de 3 a 7m) deslocados até o fundo de vale destruindo a floresta composta por árvores com o porte das remanescentes (aproximadamente 20 metros de altura) do episódio de 2011, ao fundo algumas cicatrizes dos processos (área fonte de parte do material sedimentado). (Foto: Os autores, 2012).

Neste contexto, busca-se com esta pesquisa sugerir uma metodologia capaz de gerar cenários preditivos de suscetibilidade e eventualmente de risco aos movimentos de massa com razoável eficiência, utilizando-se parâmetros de instabilidade das vertentes e de fragilidade ambiental já testados e referenciados na literatura clássica sem o uso do mapa de inventário para atribuição de valores de instabilidade às categorias ambientais, comum neste tipo de análise, mas que impõem limitações, pois em algumas circunstâncias há dificuldade em aquisição de imagens de satélites e/ou fotografias aéreas de qualidade, além de obstáculos para o levantamento de campo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

O material utilizado se constitui basicamente num conjunto de dados e informações composta por base cartográfica georreferenciada, formada por Planos de Informações das características físico-naturais e de uso da terra (quantitativos e qualitativos) da área de estudo; imagens de satélites; fotografias aéreas; consulta à referencial teórico específico, composto de obras clássicas, reconhecidas nacionalmente e pesquisas mais recentes, artigos, dissertações e teses referentes à temática; softwares de geoprocessamento, especificamente o IDRISI e o CartaLinx

desenvolvidos pela *CLARK LABS* e equipamentos como GPS e máquina fotográfica para auxiliar na aquisição de informações em levantamentos e avaliações de campo, conforme descrito

- Carta topográfica Alexandra, Folha SG.22-X-D-V/2-NO, escala 1:25.000, com equidistância das curvas de nível de 10 metros, da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG (1998);
- Imagem de satélite WorldView1 banda pancromática, com resolução espacial de 0,6 metros, gerada em junho/2011, fornecida pela Minérios do Paraná S/A - MINEROPAR (2011);
- Imagens orbitais do *software Google Earth* de 16 de setembro de 2012;
- Mapa compilado de solos cedido pela MINEROPAR S/A (2011) em formato *shapefile*, sistema UTM, datum Sad 69, gerado a partir do Mapa de Solos do Estado do Paraná IAPAR/EMBRAPA (2008), escala original 1:600.000;
- Mapa compilado de uso da terra e cobertura vegetal em formato *shapefile*, sistema UTM, datum Sad 69, escala 1:50.000, produzido a partir das imagens SPOT dos anos de 2005 e 2006 pelo ITCG e PARANACIDADE (inédito), atualizado com base na imagem LANDSAT5, fornecido pela MINEROPAR S/A (2011);
- Mapa compilado de classes litológicas fornecido pela MINEROPAR S/A (2011), em formato *shapefile* sistema UTM, datum Sad 69, gerado a partir do Mapeamento Geológico do Estado do Paraná, escala original 1:250.000.

### 3.2 Métodos

Para operacionalização do trabalho foi utilizada a proposta metodológica de Libault (1971), intitulada: Os Quatro Níveis de Pesquisa Geográfica, fundamentada no tratamento quantitativo da informação, com aplicação em dados numéricos, passíveis de representação cartográfica, por meio de mapas-síntese, que representam visualmente o produto da pesquisa. Os níveis da pesquisa definidos pelo autor são os seguintes: compilatório, primeira fase da pesquisa, em que se dá o levantamento dos dados, bem como a compilação destes; correlatório, momento de correlação dos dados e aprimoramento das informações; semântico, com interpretação e análise dos resultados obtidos e normativo, etapa final do trabalho, na qual o produto da pesquisa é transformado em modelo.

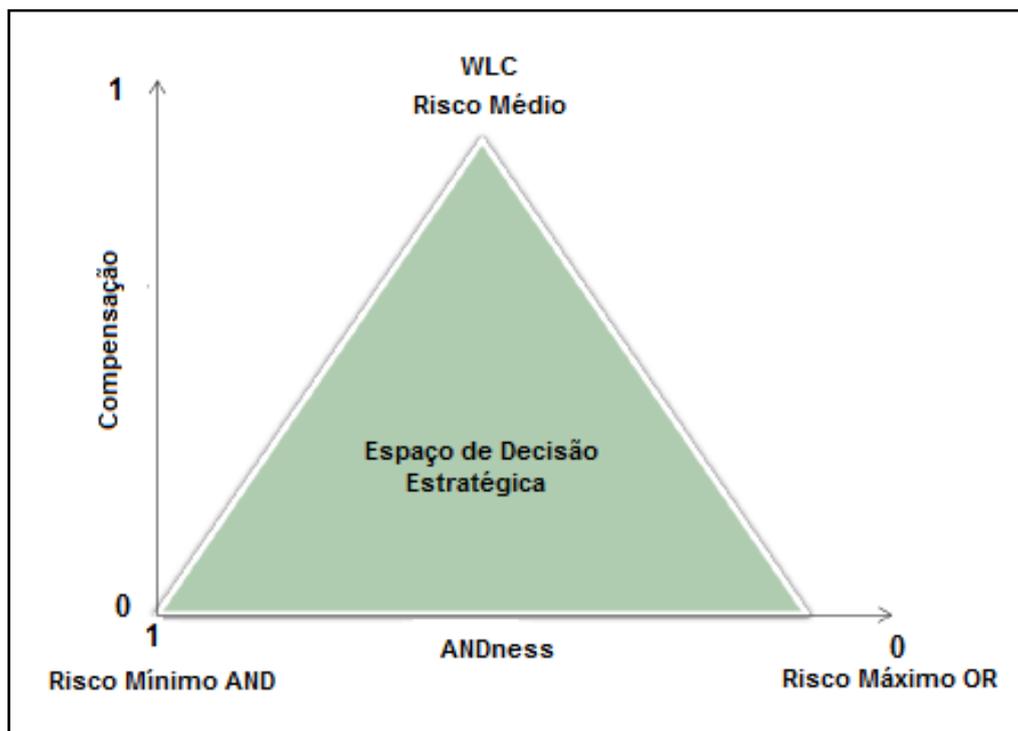
Em conjunto com a proposta elaborada por Libault (*idem*), a agregação e combinação dos fatores condicionantes para geração do cenário de suscetibilidade foi efetuado a partir do método de Avaliação Multicritério denominado Média Ponderada Ordenada (OWA). Todo o procedimento utilizou-se dos Sistemas de Informações Geográficas IDRISI TAIGA como suporte de operação.

Para desenvolver um modelo de suscetibilidade aos movimentos de vertente é necessário o reconhecimento e análise de uma série de condicionantes de instabilidade, configurando-se em uma Avaliação Multicritério, técnica que parte da combinação entre vários fatores intrínsecos, pré-

definidos criteriosamente, que funcionam como atributos mutuamente correlacionados, em que todos influenciam individualmente e em conjunto no resultado final.

De acordo com Delgado e Barredo Cano (2005, 43) “a Avaliação Multicritério define-se como um conjunto de técnicas orientadas que contribuem nos processos de tomada de decisão, investigando um grande número de alternativas para múltiplos critérios e objetivos, gerando soluções para problemas diversos”.

Dentro da Avaliação Multicritérios a Média Ponderada Ordenada possibilita agregações entre os operadores *Booleanos* de intersecção (MIN ou AND) e união (MAX ou OR) com a Combinação Linear Ponderada (WLC), que estabelece a plena compensação. Isto é, ela possibilita controlar o nível de risco (*ANDness*) que pretende-se assumir na análise e o grau com que os pesos dos fatores irão influenciar no resultado (mapa) final. A OWA oferece uma variedade de soluções possíveis para o problema estudado, possui flexibilidade de assumir soluções em qualquer ponto, entre os extremos AND e OR no *Espaço de Decisão Estratégica* (Figura 6) (CALIJURI; LOURES, 2006).



**Figura 6** - Espaço de estratégia para tomada de decisão  
Fonte: Valente e Vettorazzi (2005). Adaptado pelos autores.

O Cenário produzido pela Média Ponderada Ordenada é apresentado por uma grade numérica que representa uma visão contínua da variação da grandeza suscetibilidade a movimentos de massa, podendo ser realizada uma reclassificação. Neste caso específico, utilizou-se do método do desvio quartílico para categorizar o modelo em diferentes níveis de suscetibilidade. De acordo

com Ramos e Sanchez (2000), “este método divide a série de dados em quatro grupos com igual número de ocorrências, cada um compreendendo 25% do total de valores. Desta forma, o fatiamento é definido quantitativamente, excluindo a subjetividade no processo de definição do limiar de corte”.

### 3.3 Determinação dos condicionantes

Em consulta específica a pesquisas realizadas nos últimos anos sobre a temática em questão constatou-se que, geralmente, são utilizados como fatores condicionantes de instabilidade das encostas e, portanto, de influência direta, na predisposição dos terrenos aos processos de deslizamentos: a declividade, altitude, forma e orientação das vertentes, a litologia, os tipos de solo, a cobertura vegetal e o uso da terra.

Trabalhos como de Ross (1994); Francisco (1996); Crepani et al. (2001); Marcelino (2004); Zaidan (2006); Zêzere et al. (2005); Vanacôr (2006); Silva (2008); Chauhan et al. (2010), que se propuseram gerar e analisar modelos de suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade, fragilidade e risco associados utilizando-se dos Sistemas de Informações Geográficas, contribuíram para a escolha e padronização dos condicionantes, uma vez que além da seleção dos fatores foram definidos parâmetros de instabilidade para diferentes categorias, validadas em cada estudo específico. Neste contexto, foram escolhidos para esta pesquisa, os seguintes condicionantes: declividade, forma das vertentes, altitude, litologia, tipos de solo, uso da terra e cobertura vegetal.

### 3.4 Geração dos Planos de Informação (PI's)

Utilizando-se de produtos cartográficos, informações quantitativas e qualitativas, tais como: dados temáticos (geologia, pedologia, geomorfologia, drenagem, uso da terra, etc.), imagens de satélites e fotos aéreas foram gerados Planos de Informação (PI's) em formato matricial ou raster e vetorial, que formaram um banco de dados de entrada, consolidando a base para o processamento cruzado e geração do modelo.

Com uso de módulos de modelagem do *Software* IDRISI TAIGA, desenvolvido pela CLARK LABS (2009), foram gerados e/ou adaptados os Planos de Informação (PI's) de entrada: declividade; hipsometria; forma das vertentes; litologia; tipos de solo, uso da terra e cobertura vegetal.

### 3.5 Padronização dos critérios

Antes da aplicação do método de Avaliação Multicritério OWA, como os dados dos fatores encontravam-se em unidades de medida distintas foi necessária à padronização. Nesta etapa foi utilizada a padronização *Fuzzy*. Souza et al. (2005, 142) afirmam que “a finalidade da padronização *Fuzzy* é colocar todos os fatores considerados na análise, em uma mesma escala, para tornar possível a integração de todos os dados em ambiente de SIG”. Conforme Weber e Hasenack (2001, 7) “a padronização pode ser feita para um intervalo em nível de byte, entre 0 e 255, utilizando-se funções *Fuzzy* de pertinência a conjuntos específicos de cada variável, de acordo com critérios estabelecidos”.

Neste estudo, a técnica *Fuzzy* foi ajustada na valoração em relação aos objetivos da pesquisa (*em bytes*), de modo que 0 indica áreas menos suscetíveis e 255 mais suscetíveis, admitindo valores intermédios. Cada fator condicionante foi reescalado de acordo com uma ordem de importância, por meio das funções de pertinência *Fuzzy* (*Linear*, *Sigmoidal*, *J-shaped* e *User-Defined*). Entretanto, nem todos foram submetidos ao mesmo processo de padronização, por estarem em escala qualitativa ou nominal, nesse caso, foram atribuídos valores diretos entre 0 e 255, conforme potencial considerado.

“Os critérios são de dois tipos: restritivos, que limitam absolutamente as alternativas em análise e fatores, que aumentam ou diminuem a potencialidade de uma alternativa específica” (EASTMAN, 1998). Neste estudo utilizou-se uma restrição, declividade inferior a 6% por considerar em áreas com declividades entre 0 e 6% não ocorrem processos de desprendimentos. O procedimento de padronização está detalhado nos subitens a seguir:

#### 3.5.1 Restrição: declividade inferior a 6%

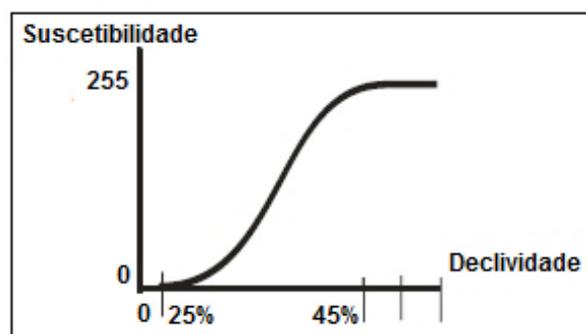
Este parâmetro foi inferido a partir da análise de trabalhos específicos que demonstrou estabilidade nas vertentes entre estes índices de declividade e também ao considerar a compartimentação geomorfológica descrita pela MINEROPAR (2006) que divide a região em três subunidades morfoesculturais: Planície Litorânea e Fluvio-Marinhas, com classe de declividade menor que 6%; Rampas de Pré-Serras e Serras isoladas, com declividade predominante entre 6-30% e a Serra do Mar (na área de estudo corresponde a Serra da Prata) com classe predominante de 12-30%.

Utilizando-se do método rígido *Booleano* determinou-se que a instabilidade nas vertentes ocorre em terrenos com declives acima de 6%, eliminando da análise as declividades menores. Este procedimento impede que eventualmente, terrenos praticamente planos apresente algum nível de

suscetibilidade em função da compensação com outros fatores considerados. O procedimento foi executado utilizando-se do módulo RECLASS do *software* IDRISI.

### 3.5.2 Fator: declividade

Para a padronização do fator declividade utilizou-se de parâmetros estabelecidos nos trabalhos de Zaidan (2006); Marcelino (2004); Vanacôr (2006). Adotou-se a função sigmoideal crescente, com pontos de controle  $a=25$  e  $b=45\%$  considerou-se que em declividades com ângulos entre 0 e 25%, a encosta é relativamente estável e após este ponto, a suscetibilidade aos movimentos de vertente torna-se maior, estabilizando-se com potencial elevado nos 45% ou mais (Figura 7).

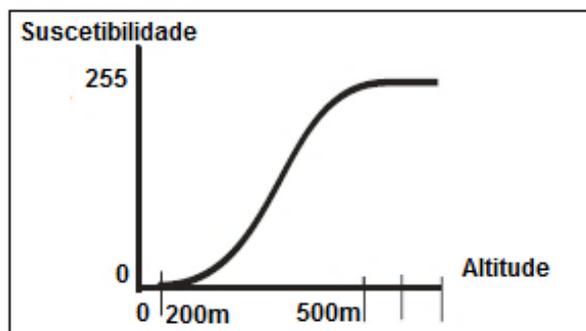


**Figura 7** - Sigmoideal Crescente – Declividade

Fonte: Adaptado de Eastman (1998).

### 3.5.3 Fator: altitude

De acordo com Crepani et al. (2001, p. 74) “quanto maior a amplitude altimétrica maior é a energia potencial e maior capacidade de morfogênese”. Utilizou-se parâmetros estabelecidos por Francisco (1996) e Marcelino (2004) sendo utilizada a função sigmoideal crescente, com pontos de controle  $a=200$  e  $b= 500$  metros de altitude, entendendo que entre 0 e 200 metros, a encosta é relativamente estável com aumento de instabilidade até os 500 metros, estabilizando-se com potencial elevado em altitudes maiores (Figura 8).

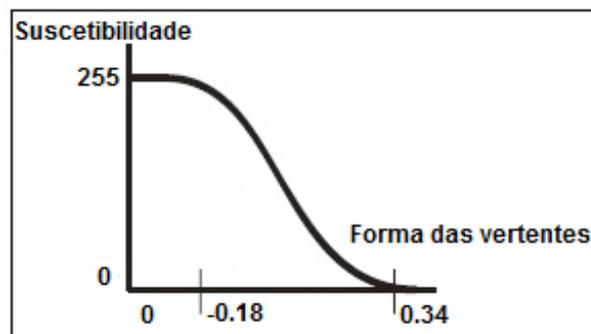


**Figura 8** - Sigmoideal Crescente – Altitude

Fonte: Adaptado de Eastman (1998).

### 3.5.4 Fator: forma das vertentes

Para a padronização deste fator, utilizou-se o plano de informação com a curvatura numérica, com variação entre -0.18 a 0.34. Conforme Valeriano (2008, 36) “os valores negativos indicam os perfis côncavos (maior suscetibilidade), positivos os convexos (menor suscetibilidade) e os nulos ou próximos a zero indicam as vertentes retilíneas”. Partindo desse pressuposto, adotou-se a função sigmoideal decrescente, com pontos de controle em c e d, ou seja, à medida que os valores de curvatura aumentam a instabilidade diminui (Figura 9).



**Figura 9** - Sigmoideal Decrescente – Forma das vertentes  
Fonte: Adaptado de Eastman (1998).

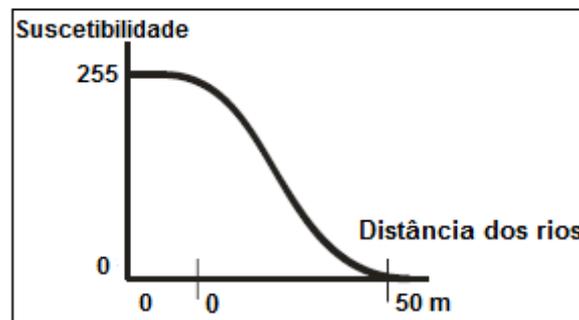
### 3.5.5 Fator: distância dos rios

Temesgen et al. (2001) afirmam que a proximidade com os cursos d'água está diretamente vinculada à forma da encosta, à umidade e à formação de sulcos e ravinas. Nestas áreas as encostas apresentam-se geralmente em seções côncavas, que por serem zonas de convergência de fluxos d'água (superficiais e subsuperficiais), favorecem a condição de saturação do solo e intensificam a atuação dos processos erosivos, podendo gerar até movimentos de massa.

Na ocorrência destes eventos, os canais fluviais funcionam como verdadeiras “vias” por onde escoam sedimentos desprendidos das cabeceiras das encostas. Geralmente, grande parte do material intemperizado e desagregado, é carregado para a calha do rio, onde as partículas mais finas são transportadas para a jusante pela força da água e parte do material mais grosseiro fica retido, sendo por vezes, deslocados posteriormente, em eventos futuros. Os matacões maiores e blocos de rochas iniciam processo de intemperização *in situ*.

Por meio de consulta aos trabalhos de Vanacôr (2006), Zaidan (2006), Lima e Souza (2008) Schaefer et al. (2012) com parâmetros definidos e também considerando a análise de dissecação do relevo, baseando-se em Ross (1994) e Crepani et al. (2001), que define valores de vulnerabilidade conforme distâncias dos interflúvios, estabelecendo que as distâncias inferiores a 250 metros indicam elevada vulnerabilidade e predomínio de morfogênese, determinou-se que as

áreas de maior instabilidade são aquelas situadas até 50m de distância dos cursos d'água e a medida que vai aumentando essa distância, as encostas tornam-se mais estáveis. Neste caso, utilizou-se a função sigmoideal decrescente, com pontos de controle  $c=0$  e  $d=50m$  (Figura 10).



**Figura 10** - Sigmoideal Decrescente – Distância dos rios.  
Adaptado de Eastman (1998, p. 185).

### 3.5.6 Fator: tipos de solo

Por ser um condicionante com classes nominais foram atribuídos valores entre 0 e 255, para cada classe, baseando-se nos preceitos de Bigarella et al. (2003) ao afirmar que “os solos argilosos são mais suscetíveis, pois estes apresentam descontinuidades dentro do próprio perfil, possuindo horizonte inferior com maior capacidade de armazenamento de água, que resulta em maior facilidade de saturação e conseqüentemente de movimentação da camada superficial” (Tabela 1).

**Tabela 1** – Valores atribuídos de acordo com a susceptibilidade dos solos à erosão e movimentos de vertente

Classes de solos	Valoração (0 e 255)
1- Gleissolos	50
2- Latossolos e Argissolos	200
3 – Cambissolos e Argissolos	255
4 – Cambissolos e Neossolos	150
5 – Neossolos Litólicos	100
6 – Neossolos e Afloramentos	100
7 – Afloramentos Rochosos	50

Fonte: Os autores (2014).

### 3.5.7 Fator: litologia

Conforme Crepani et al. (2001) “rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese)”.

Baseando-se nesta proposta foram atribuídos valores entre 0 e 255 para cada classe litológica conforme o grau de suscetibilidade aos processos (Tabela 2).

**Tabela 2** – Valoração do grau de resistência das rochas para o intemperismo e erosão

Unidade Geológica	Sigla	Classes litológicas	Valores (0 - 255)
Complexo Gnáissico-Migmatítico	APImge	Migmatitos estromáticos com paleosoma de biotita-hornblenda gnaïsse, mica-quartzo xisto, ultrabásito, metabásito e anfibólito	100
	APImgm	Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de biotita gnaïsse, biotita-hornblenda gnaïsse e hornblenda gnaïsse, localmente com quartzitos	100
	APIsgf	Suíte granítica foliada, granitos metassomáticos ou de anatexia, indiferenciados	100
Complexo Metamórfico Indiferenciado	APIrmx	Biotita-muscovita xistos e clorita-biotita-muscovita xistos, com ocorrências locais de quartzo xistos e quartzitos	150
Sedimentos Recentes	Qha2	Aluviões recentes	200
	Qhc	Depósito de colúvio associados à depósitos de tálus, com argila, silte, areias e seixos	255
	Qhcs	Cascalheiras continentais retrabalhadas	255
	QHmg	Sedimentos fluviomarinhas, associados à manguezais	150
	QHmo	Sedimentos argilo-siltico-arenosos, paleoestuarinos	255
	Qt	Depósitos de tálus, blocos em matriz argilosa	255
Formação Alexandra	Ta	Conglomerados, arcósios, areias e argilitos	200

Fonte: Os autores (2014).

### 3.5.8. Fator: uso da terra e cobertura vegetal

Também com classes nominais, este condicionante foi padronizado numa escala de valores entre 0 e 255, com parâmetros definidos com base nas propostas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) (Tabela 3).

**Tabela 3** – Valores atribuídos à suscetibilidade de acordo com uso da terra e cobertura vegetal

Uso e ocupação da terra e cobertura vegetal	Valoração (0 e 255)
1 Agricultura anual	150
2 Agricultura perene	150
3 Área construída	255
4 Campos de altitude	100
5 Corpos d'água	150
6 Floresta estágio inicial	100
7 Floresta estágio médio ou avançado	50
8 Mangues	0
9 Ocupação rural	150
10 Pastagens e campos	150
11 Reflorestamento	100
12 Solo exposto ou mineração	255
13 Vegetação de várzea	50

Fonte: Os autores (2014).

### 3.6. Ponderação das variáveis

Considerando que os condicionantes de instabilidade das vertentes interferem com pesos diferenciados de influência, após a padronização *Fuzzy* foi necessário recorrer à ponderação das variáveis. Utilizou-se para este procedimento, a proposta de Saaty (1980), técnica AHP (*Analytical Hierarchy Process*), passível de ser efetuado no módulo *WEIGHT* do *Software* IDRISI. “Esse método de comparação da importância relativa das variáveis, duas a duas, auxilia no estabelecimento dos pesos finais dos fatores diminuindo a subjetividade” (WEBER & HASENACK, 2001, 7).

Nos quadros 1 e 2 são apresentadas as escalas pré-definidas de valores a serem atribuídos por meio da técnica AHP, proposta por Saaty (1980).

**Quadro 1** – Escala de valores AHP para comparação pareada

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objeto
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

**Quadro 2** – Escala de comparação de critérios

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremamente	bastante	muito	pouco	igual	pouco	muito	bastante	extremamente
<b>MENOS IMPORTANTE</b>					<b>MAIS IMPORTANTE</b>			

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A técnica AHP combina os diversos critérios atribuindo-lhes pesos e ponderando a participação individual no processo, resultando em pesos finais de importância relativa para cada critério. “Uma das vantagens desse processo é a possibilidade de refazer o cálculo dos pesos quantas vezes julgar-se necessário, pois o método informa os novos pesos juntamente com uma razão de consistência (CR- *Consistency Ratio*) alertando o usuário sobre possíveis equívocos.”

(EASTMAN, 1998, 187). Os fatores foram organizados na matriz de comparação pareada, técnica AHP, resultando em pesos finais de influência e na razão de consistência (Tabela 4, Quadro 3).

**Tabela 4** – Determinação dos pesos de importância relativa para suscetibilidades

	Altitude	Uso e cob. vegetal	Litologia	Tipos de solo	Dist. dos rios	Forma das vertentes	Declividade
Altitude	1						
Uso e cob. vegetal	2	1					
Litologia	3	2	1				
Tipos de solo	5	3	2	1			
Dist. dos rios	5	5	5	3	1		
Forma das vertentes	7	5	5	4	3	1	
Declividade	9	9	8	7	5	5	1

Fonte: Os autores (2014).

**Quadro 3** – Pesos finais de importância relativa

FATOR	PESOS FINAIS
Altitude Fuzzy	0.0240
Uso e cobertura vegetal Fuzzy	0.0332
Litologia Fuzzy	0.0464
Tipos de solo Fuzzy	0.0730
Distância dos rios Fuzzy	0.1376
Forma das vertentes Fuzzy	0.2085
Declividade Fuzzy	0.4773

Fonte: *Software* IDRISI TAIGA. Atividade de laboratório. Razão de Consistência = 0.07 (Consistência aceitável)

### 3.7. Método da Média Ponderada Ordenada - OWA

De posse dos fatores devidamente padronizados pela técnica *Fuzzy*, com valoração contínua entre 0 a 255 (*bytes*) e com seus pesos finais de importância relativa, resultantes da ponderação pela técnica AHP foi possível efetuar o processo de agregação entre todos os fatores condicionantes envolvidos, estes foram submetidos ao método de compensação, pela Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average - OWA*) presente no módulo de avaliação por critérios múltiplos (*Multi Criteria Evaluation – MCE*), do *software* IDRISI.

Semelhante ao método mais utilizado na Avaliação Multicritérios, a Combinação Linear Ponderada, os fatores padronizados, com seus respectivos pesos gerados pela ponderação a partir do método AHP são utilizados, entretanto, um segundo conjunto de pesos é atribuído, denominados de pesos de ordenação (*order weights*), com o propósito de controlar o nível de compensação entre os fatores e o grau de risco associado à tomada de decisão.

Após a aplicação do primeiro conjunto de pesos aos fatores, os pesos resultantes são ordenados do valor mais baixo para o mais elevado. Ao fator com o peso mais baixo (o primeiro da lista ordenada) é aplicado o primeiro peso de ordenação, ao fator com o segundo valor mais baixo é aplicado o segundo peso, e assim sucessivamente. A atribuição de pesos está associada à ordem dos fatores, do mínimo para o máximo. É importante ressaltar que nessa etapa, os pesos de ordenação não estão associados às características específicas de cada fator e sim a sua posição dentro da matriz de ordenação.

Estabelecido à ordem dos fatores, o próximo passo é a atribuição dos pesos de ordenação para cada fator. Se para o segundo conjunto de pesos de ordenação os valores forem atribuídos regularmente, ou seja, o mesmo peso para cada fator que some 1 (nessa pesquisa,  $1/7=0,142$ ) o resultado será idêntico à WLC, compensação plena e risco médio. Caso seja atribuído peso total ao fator individual com o escore de potencialidade mínimo, nosso resultado seria muito parecido com o obtido na operação AND da MCE *Booleana*. Portanto, estes métodos são subconjuntos da OWA. Entretanto, a OWA oferece uma série quase infinita de possibilidades de modelagem, conforme atribuição de valores considerando a compensação e o risco entre os fatores (EASTMAN, 1998).

A maneira como os fatores serão compensados é que controla o modo de como o operador (OWA) agrega os fatores, no *continuum* entre os extremos (AND e OR) (EASTMAN; JIANG, 1996). Se a maior parte dos pesos de ordenação dentro do Espaço Estratégico de Decisão for assinalada à esquerda, à direita ou ao centro, isto irá determinar a posição na dimensão de risco assumido, no processo de tomada de decisão (MALCZEWSKI, 1999).

Ramos e Mendes (2001) acrescentam que o deslocamento relativo dos pesos de ordenação no sentido do mínimo ou do máximo controla o nível de risco (designado por *ANDness*), onde a homogeneidade de distribuição dos pesos de ordenação pelas posições controla o nível global de compensação (*trade-off*). De acordo com Jiang e Eastman (2000)<sup>1</sup> *apud* Valente (2005, p. 53-54) os parâmetros *ANDness* e *ORness* (risco assumido) e *trade-off* (compensação) caracterizam a natureza da Média Ponderada Ordenada (Fórmulas 1, 2 e 3).

$$ANDness \text{ (RISCO)} = (1/n-1) \sum [(n-i)Wi] \quad (1)$$

$$ORness = 1 - ANDness; e \quad (2)$$

$$Trade-off \text{ (COMPENSAÇÃO)} = 1 - \sqrt{\frac{n \sum i(Wi - \frac{1}{n})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Onde:

<sup>1</sup> JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, v.14, n.2, p. 173-184, 2000.

n: número total de fatores;

i: ordem do fator;

W: peso de ordenação do fator.

Quanto à distribuição dos pesos de ordenação, Dalmas (2008) explica que a soma de todos os pesos ordenados deve ser “um” e quando este valor é atribuído ao fator de menor influência no processo anterior de ponderação (módulo *WEIGHTH*) a solução é de baixo risco (lógica AND). Neste caso, cada fator é considerado importante, mas não o suficiente por si só no resultado final. Na situação inversa, quando o valor total dos pesos (um) é atribuído ao fator de maior influência, solução de análise de alto risco (lógica OR), cada critério é suficiente por si próprio para moldar o resultado final, sem sofrer influência de outros critérios.

Na determinação dos pesos de ordenação foi considerado o risco assumido no processo de tomada de decisão, determinado pela fórmula *ANDness*. Baseando-se na proposta de Valente e Vettorazzi (2005, p. 55) considerou-se duas vezes o intervalo de confiança de 10% a partir do risco médio (equivale a 0,5 no *continuum* de risco no Espaço de Decisão Estratégica) para caracterizar os intervalos de risco, conforme Tabela 5.

**Tabela 5 - RISCO ASSUMIDO PARA A TOMADA DE DECISÃO**

Intervalo de Risco	Risco Assumido
0,00 – 0,40	Alto
0,40 – 0,50	Médio/Alto
0,50 – 0,60	Médio/Baixo
0,60 – 1,00	Baixo

Fonte: Valente e Vettorazzi (2005).

Diversos ensaios foram efetuados variando o risco e a compensação entre os fatores envolvidos para a obtenção de um resultado mais preciso e neste sentido, após a avaliação dos mapas sínteses gerados, optou-se gerar e apresentar um cenário com risco assumido para a tomada de decisão médio/alto e compensação parcial por considerar que alguns condicionantes de instabilidade das encostas como a declividade e forma das vertentes interfere mais na suscetibilidade aos movimentos de massa nas encostas. O segundo conjunto de pesos foram definidos conforme tabela 6.

**Tabela 6 – Pesos de ordenação para os fatores utilizados na Avaliação de Multicritério, pelo método da Média Ponderada Ordenada (OWA). Cenário com risco médio/alto e compensação parcial.**

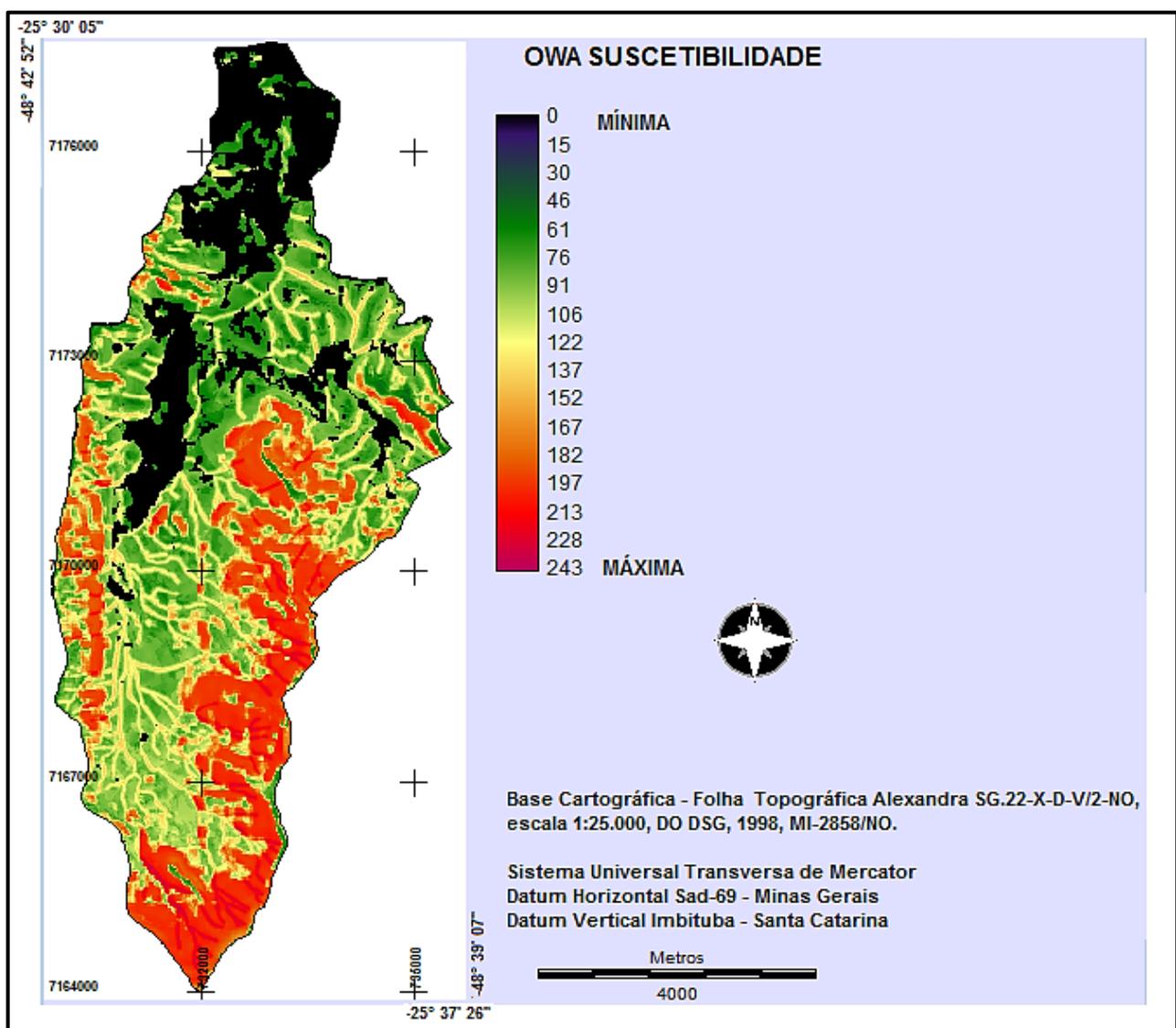
Pesos De Ordenação	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Risco	Comp.
<b>Cenário OWA Suscetibilidade</b>	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	<b>0.43</b>	<b>0.90</b>

Org.: Os autores (2014).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Cenário de Suscetibilidade

No mapa resultante da OWA (Figura 11), observa-se a variação dos níveis de suscetibilidade em que cada pixel representa o valor recebido em todo o processo que considerou os critérios condicionantes adotados e padronizados, com seus respectivos pesos de importância relativa. Os pixels com maiores valores, representados com cores avermelhadas, indicam as áreas que apresentam maior suscetibilidade aos movimentos de vertente, com as zonas de origem dos processos e os pixels com valores tendendo a 0 representam os locais de menor suscetibilidade.



**Figura 11**– Mapa de suscetibilidade resultante do método da Média Ponderada Ordenada – OWA.  
Fonte: Os autores (2014).

O mapa demonstrou razoável consistência, uma vez que os pixels com coloração representando maiores níveis de suscetibilidade se concentraram principalmente nas maiores

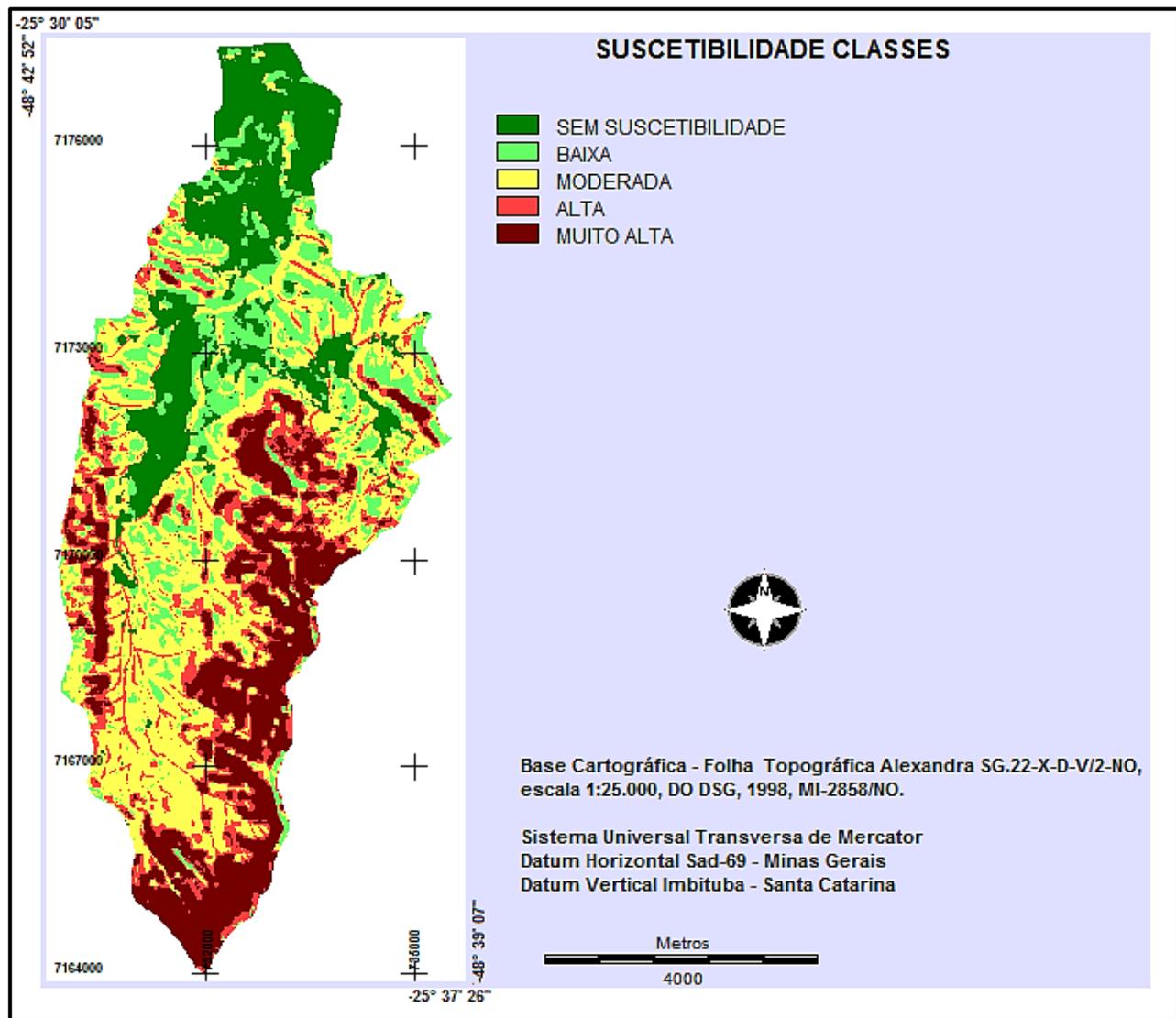
altitudes, elevadas declividades da Serra da Prata (margem direita do Rio Jacareí), em terrenos formados por solos rasos e afloramentos rochosos indicando o predomínio da morfogênese em detrimento da pedogênese. Por outro lado, os pixels com coloração demonstrando menor suscetibilidade concentraram na área de planície de inundação, com baixas declividades e solos mais espessos com predomínio da pedogênese. Algumas características dos condicionantes analisados que influenciam o ambiente e provocam instabilidade das encostas como a declividade elevada, vertentes côncavas, solo com maior teor de argila e áreas desmatadas puderam ser valorizadas neste procedimento.

Nessa etapa, o conhecimento das características ambientais da área de estudo é muito importante, pois auxilia no processo de ajuste dos pesos de ordenação no sentido de admitir uma decisão um pouco mais arriscada. Com o controle permitido pela OWA foi possível atribuir os pesos de ordenação de modo que os condicionantes garantissem influência maior no produto final (mapa) sem com isso recorrer aos extremos, mantendo os valores contínuos e o caráter compensatório entre os fatores envolvidos.

Conforme descrito no item referente aos métodos utilizados, nesta fase foi efetuada a reclassificação pelo desvio quartílico que possibilitou o fatiamento do modelo em diferentes categorias.

Adaptando esta proposta, as áreas com declividade entre 0 e 6% foram isoladas e categorizadas como Sem Suscetibilidade e as outras quatro classes ficaram definidas no seguinte formato: Baixa Suscetibilidade, com intervalo de 0 a 63; Moderada Suscetibilidade, entre 63 a 127; Alta Suscetibilidade, entre 127 a 191 e Muito Alta Suscetibilidade, com intervalo entre 191 a 255. O fatiamento em categorias de suscetibilidade foi realizado com uso do módulo *RECLASS*, do *Software IDRISI*, resultando no mapa com classes de suscetibilidade aos movimentos de massa (zonas de origem de desprendimento de materiais) para a área de estudo. (Figura 12).

A análise do mapa síntese (figura 12) com quatro níveis categóricos de suscetibilidade permitiu inferir que na Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí ocorre o predomínio, em termos de área, das classes Moderada e Muito Alta Suscetibilidade, localizadas principalmente, no terço médio e superior das encostas, respectivamente. Em termos percentuais as classes descritas representam 34,48% da área total da bacia, enquanto que as classes de Alta e Muito Alta suscetibilidade representam 19,65%, conforme pode ser observado na tabela 7.



**Figura 12** - Mapa síntese com classes de suscetibilidade.

Fonte: Os autores (2014).

**Tabela 7** – Distribuição das classes de suscetibilidade da área de estudo.

Classes de Suscetibilidade	Área (ha)	%
Sem Suscetibilidade	733,74	17,78
Baixa	600,58	14,57
Moderada	1424,19	34,48
Alta	558,07	13,52
Muito Alta	811,32	19,65
Total	4127,91	100

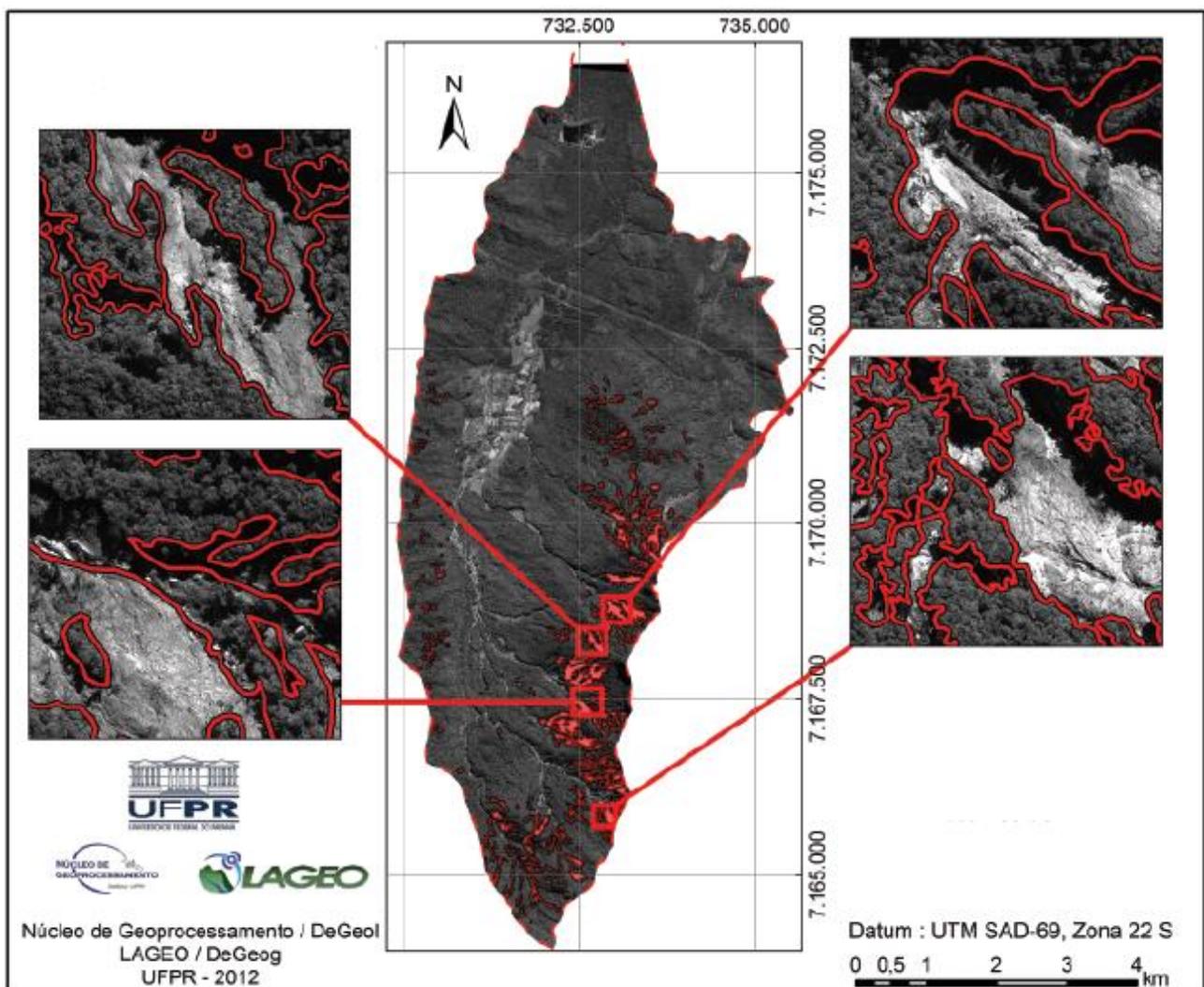
Fonte: Os autores (2014).

Observações em campo demonstraram compatibilidade entre o cenário produzido e as condições reais presenciadas. Quanto às características de relevo identificadas como áreas mais instáveis, com as classes Alta e Muito Alta suscetibilidade, estas estão situadas na margem direita do Rio Jacareí, onde as vertentes apresentam declividades elevadas, superiores a 30% e concentram-se principalmente no terço superior, as altitudes acima dos 400 metros, sendo que as declividades e os gradientes altimétricos nesses pontos, sustentados por rochas mais resistentes ao

intemperismo, onde predominam os granitóides. Os solos são rasos e apresentam-se associados a afloramentos rochosos caracterizando o predomínio da morfogênese sobre a pedogênese nestes setores das vertentes. Na margem esquerda do Rio Jacareí as áreas de Muito Alta e Alta suscetibilidade ocorrem com menor intensidade, situam-se também preferencialmente no terço médio das vertentes, em litologia de natureza metamórfica.

Por meio do procedimento de retroanálise, as ocorrências reais de deslizamentos mapeadas, registradas na paisagem em forma de cicatrizes dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 serviram como base para o cruzamento com o modelo gerado e verificação dos níveis de coincidência entre as classes de suscetibilidade estabelecidas com as zonas de origem dos processos.

No mapeamento (Figura 13), com base na imagem de satélite WordView1, resolução espacial de 0,6 metros, datada do dia 05 de maio de 2011, disponibilizada por Silveira et al. (2013), foram registradas de 288 cicatrizes, equivalente a 2,06 km<sup>2</sup> ou 5,14% da área.



**Figura 13** – Delimitação das cicatrizes com zonas de origem dos movimentos de massa (escorregamentos, queda e rolamento de blocos).

Fonte: Imagem de satélite WordView 1, imageamento em 05 de maio de 2011. Org.: Silveira et al. (2013).

Comparando as categorias obtidas pelo método probabilístico multicriterial OWA e o referido mapa de cicatrizes por meio do módulo *CROSSTAB* (tabulação cruzada) do *Software* IDRISI, verificou-se que 82,56% coincidem com as classes identificadas como Alta e Muito Alta Suscetibilidade, 17,74% e 64,82% respectivamente, com maior concordância na margem direita do Rio Jacareí onde encontra-se o compartimento geológico com predomínio de rochas graníticas denominado de Serra da Prata, demonstrando considerável consistência do método utilizado, sendo portanto recomendável a estudos preditivos.

Áreas classificadas como de elevada suscetibilidade (Classes Alta e Muito Alta) onde não ocorreram sobreposições e, portanto que não sofreram com os movimentos estão no mesmo contexto físico-natural daquelas em que grandes volumes de materiais vieram encosta abaixo e se enquadram na mesma condição de instabilidade, passíveis de movimentação futura, em recorrência de eventos pluviométricos similares (Figura 14).



**Figura 14** – Foto obtida imediatamente após o evento demonstrando a existência de remanescentes de áreas florestadas apontadas pelos presentes autores com setas em vermelho onde não houve escorregamento ou desprendimento de blocos, inseridas no mesmo contexto de suscetibilidade das áreas adjacentes marcadas pelas cicatrizes cujo material transportado registrado em primeiro plano na foto o qual foi depositado em forma de cone de dejeção, recobrendo a planície de inundação do Rio Jacareí assoreando o canal fluvial (Fonte: MINEROPAR, 2011).

É importante ressaltar que às condições de pluviosidade específicas do evento de março de 2011 foram extremas e que a deflagração dos movimentos de massa na ocasião se deu principalmente a esse fato. Pois a chuva acumulada, não apenas do dia 11 de março de 2011 totalizada em 230,6 mm, mas também dos dias 10, 11 e 12 daquele mês, os índices somados foram de 382,2 mm, muito acima da normalidade SIMEPAR (2011). Guidicine e Iwasa (1976) afirmam que com “índices de pluviosidade acima de 250-300 mm em 72 horas os movimentos em vertente são generalizados tanto em áreas alteradas pela ocupação humana quanto em áreas virgens”.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Modelos de suscetibilidade como o tratado neste estudo é uma etapa imprescindível na gestão de riscos de desastres naturais, portanto é muito importante que novas metodologias sejam testadas com objetivo de aprofundar o conhecimento referente à temática, visando diminuir os impactos negativos que os fenômenos tratados eventualmente provocam para a sociedade em geral.

O cenário de suscetibilidade a movimentos rápidos de grandes volumes nas vertentes da Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí, gerado por meio da avaliação multicritério, método da Média Ponderada Ordenada, por meio dos Sistemas de Informações Geográficas demonstrou considerável eficiência, uma vez que resultou em aproximadamente 82% de coincidência de áreas classificadas como de Alta e Muito Alta Suscetibilidade, com o mapeamento das cicatrizes ocorridas no episódio de março de 2011, e que abrangem cerca de 30% da área total da bacia.

Quanto à subjetividade na atribuição de valores (pesos) para os condicionantes adotados e respectivas classes, há de se considerar o uso de um procedimento possível na definição dos parâmetros de instabilidade com base no detalhamento de estudo da tipologia diversificada dos processos envolvidos na movimentação dos materiais, com análise "*in loco*" e relação com a diversidade de cicatrizes registradas no inventário existente, com cicatrizes sem identificação específica de tipologia dos movimentos, que ora expõem rocha sã ou com variações no grau de alteração do manto de intemperismo sob diferentes condições litológicas e de relevo.

Este produto final está relacionado à característica da OWA de possibilitar ao tomador de decisão, alternativas em Avaliação Multicritério envolvendo análises complexas como a ambiental, permitindo a atribuição de parâmetros às variáveis envolvidas de acordo com sua influência nos processos avaliados, cujo pesquisador pode assumir maior ou menor risco e decidir sobre a compensação das variáveis conforme as peculiaridades de cada estudo. Valente e Vettorazzi (2005) consideram que os pesos de ordenação corrigem possíveis riscos da tomada de decisão. Ressalta-se que outros ensaios variando os pesos de ordenação com a OWA também foram realizados e dispensados diante da incongruência dos resultados com a realidade.

Nessa perspectiva, é oportuno destacar que para a utilização dos métodos é indispensável o conhecimento aprofundado do ambiente em análise, para que se tenha coerência na definição de pesos de compensação e de ordenação entre as variáveis envolvidas nas decisões confirmando o conceito: orientado pelo conhecimento (*knowledge-driven*) dos métodos aplicados. A conformidade apresentada na padronização dos condicionantes, entre os pesos de compensação, de ordenação e o resultado final conferiram efetividade aos procedimentos, confirmado após a confrontação com as ocorrências registradas no mapa de inventário e as categorias de suscetibilidade estabelecidas.

## REFERÊNCIAS

BIGARELLA, J. J. **Segurança ambiental uma questão de consciência e muitas vezes de segurança nacional**. Brasília: Associação dos Diplomados da Escola Superior de Guerra. 1974. 66p.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E.; CARVALHO, S. M. C. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003. V. 3 (p. 877-1436).

CALIJURI M. L.; LOURES S. S. P. **Análise Estratégica de Decisão**. Viçosa, MG: Laboratório de Pesquisa em Sistemas de Informação Geográfica, 2006. 57p.

CHAUHAN, S.; SHARMA, M. K.; GUPTA, N. K. Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, 2010. p. 340-350.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE. 2001.

DELGADO, M. G.; BARREDO CANO J. **Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio** (2ª Ed.) Alfaomega, México. 2005.

DOURADO, F.; ARRAES, T. C.; SILVA, M. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ** - Vol. 35 – 2, 2012. p.43-54.

EASTMAN, R. **Idrisi for Windows: Introdução e Exercícios Tutoriais – Versão 2**. Tradução: Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS - Centro de Recursos Idrisi. 1998.

EASTMAN, J. R.; JIANG, H.; Fuzzy Measures in Multi-criteria Evaluation. In: International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies, 2., Colorado, 1996. **Proceedings**. Colorado: USDA, 1996. p.527-534.

FRANCISCO, C. N. Mapeamento das áreas de riscos de deslizamentos e desmoronamentos do Parque Nacional da Tijuca (RJ) e entorno através de Sistemas Geográficos de Informação. **1ª Semana Estadual de Geoprocessamento – Rio de Janeiro– Clube de Engenharia** 197-209. 1996.

Disponível em: [www.professores.uff.br/cristiane/Documentos/SEGEO\\_1996b.pdf](http://www.professores.uff.br/cristiane/Documentos/SEGEO_1996b.pdf). Acesso em: 03 de julho, 2013.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: IPT, 1976. 48 p.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, v.14, n.2, p. 173-184, 2000.

LIBAULT, A. **Os quatro níveis da pesquisa geográfica**. Métodos em Questão. (1). São Paulo: IGEO/USP. 1971.

LIMA, S. T.; SOUZA, J. B. O geoprocessamento aplicado na identificação de áreas com suscetibilidade a movimento de massas no Parque das Mangabeiras em Belo Horizonte – MG. **Revista eletrônica E-Scientia**. (2008). Disponível em: <http://revistas2.unibh.br/index.php/dcbas/article/view/118>. Acesso em: 03 de julho de 2012.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362p.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamento no município de Caraguatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG**. São José dos Campos. 228p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

MINEROPAR (MINERAIS DO PARANÁ S/A) **Mapeamento Geológico Geotécnico da Porção Leste da Serra do Mar do Estado do Paraná**. MINEROPAR (Minérios do Paraná S/A), 2011. 91p.

RAMOS R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: O caso de Valença. **Revista de Engenharia Civil**, n. 10, p.7-29, 2001. Universidade do Minho, Minho, Portugal.

RAMOS, C. da S.; SANCHEZ, M. C. **Estudo metodológico de classificação de dados para cartografia temática**. Geografia, 2000. V. 25, n. 2, p. 23-52.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, São Paulo: FFLCH/USP, 1994.

SAATY, T. **Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. McGraw-Hill, New York, NY, USA. 1980.

SCHAEFER, C. E. CAIXETA, P. R. C; PIMENTA, D. F. N.; DO AMARAL, R. V. Análise Multi-Critério (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa na área urbana de Viçosa-MG. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE**, 06- 09 de Maio de 2012. p. 001 – 009. Disponível em: [http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SIG/131\\_5.pdf](http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SIG/131_5.pdf). Acesso em: 10 de Novembro de 2012.

SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná. Alturas pluviométricas do Estado do Paraná (março de 2011). Disponível em: [www.simepar.br/](http://www.simepar.br/). Acesso em: 15 de setembro, 2013.

SILVA, M. A. **Aplicação de lógica nebulosa para previsão do risco de escorregamentos de taludes em solo residual**. Rio de Janeiro. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRJ. (2008).

SILVEIRA, C. T. FIORI, A. P.; FERREIRA, A. M., FELIPE, R. D. S., KEPEL FILHO, J. L.; FOLADOR, R. M.; COSTA, L. C. Análise do fator de segurança da estabilidade das vertentes na bacia do Rio Jacareí, Serra do Mar paranaense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 13(3). 2013.

SOUZA, L. D. P.; SIRTOLI, A.; LIMA, M.; DONHA, A. Estudo do Meio Físico na Avaliação de Bacias Hidrográficas Utilizadas como Mananciais de Abastecimento. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR – Finep. 2005. 500 p. 123 – 158.

TEMESGEN, B.; MOHAMMED, M. U.; KORME, T. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. **Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science**, v. 26, n. 9, p. 665-675, Set. 2001.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade de São Paulo – USP, São Paulo/SP, 2005.

VALENTE, R. D. O. A., VETTORAZZI, C. A. Comparação entre métodos de avaliação multicriterial, em ambiente SIG, para a conservação e a preservação florestal. **Scientia Forestalis**, 69, 51-61. (2005).

VALERIANO, M. de M. **TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 44p.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/8344>. Acesso em: 07 de março, 2014.

WEBER, E.; HASENACK, H. **Avaliação de áreas para a instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados**. Universidade Luterana do Brasil, Canoas – RS. 2001.

YAGER, R.R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 18, n.1, p. 183-190, 1988.

ZAIDAN, R. T. **Risco de escorregamento numa bacia de drenagem urbana no município de Juiz de Fora – MG**. Tese (Doutorado em Geografia). Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2006. 99p.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. D. F. M.; SILVA, A. N. R. D.; NEGRI, J. C. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG**. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, 2005. V.25, n.2, p.183-199.

ZÊZERE, J. L. **Dinâmica de vertentes e risco geomorfológico**. Centro de Estudos Geográficos, Relatório N.º41, Lisboa. 2005.