

# IDENTIFICAÇÃO E DISCRIMINAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO NO ENTORNO URBANO DE IPATINGA, BRASIL<sup>1</sup>

Fernanda A. Oliveira<sup>2</sup>, Eloy L. Mello<sup>1</sup>, Ed Carlo R. Paiva<sup>3</sup>, Maria Lúcia Calijuri<sup>4</sup>,  
André O. Guimarães<sup>2</sup>

Resumo: A ocupação humana desordenada nas encostas é um agravante para a ocorrência de movimentos de massa. Estão envolvidos neste processo tanto fatores naturais como antrópicos, contribuindo diretamente para a definição de área de risco. Os movimentos de massa expõem a população aos desastres ambientais, com sérias conseqüências econômicas e sociais. O objetivo deste trabalho foi identificar e discriminar áreas de risco no entorno urbano da cidade de Ipatinga, Brasil, buscando fornecer ao poder público local uma importante ferramenta na gestão de riscos ambientais. Para isso foram utilizados mapas digitalizados de cinco condicionantes naturais e um antrópico. Foram obtidos também os pontos de movimento de massa já ocorridos na área estudada. Com o uso do *software ArcGis* confeccionou-se mapas de identificação das áreas de risco. Foi feito um estudo comparativo entre quatro métodos estatísticos de ponderação para a determinação do método mais adequado ao efeito global da movimentação de massa. A partir da base de dados foi realizada também uma análise discriminante, buscando obter um modelo de predição para o tipo de movimento de massa que possa vir a ocorrer. Verificou-se que os modelos de discriminação quadrático e linear utilizados para a predição apresentaram resultados excelentes, bem como dois métodos estatísticos de ponderação, o das médias e o da literatura. Grande parte das áreas de alta ou muito alta suscetibilidade se localizam no entorno da malha urbana do município. É necessário o planejamento de novas ocupações urbanas no município, bem como, a reavaliação das áreas ocupadas por favelas.

**Palavras-chave:** áreas de risco, movimentos de massa, SIG

## IDENTIFICATION AND DISCRIMINATION OF RISK AREAS IN THE URBAN ENVIRONMENT OF IPATINGA, BRAZIL

Abstract: The uncontrolled human expansion in the landslides may be a source to the occurrence of mass movement. Natural and anthropogenic factors are involved in this process, and they are responsible for defining the risk areas. The mass movements expose the population to environmental disasters, with serious consequences for the social and economic fields. The aim of this work is to identify and discriminate risk areas around the city of Ipatinga, Brazil, offering an important tool to the local government in the management of environmental risks. Five digital maps of the natural factors and one of the anthropogenic factor were used. The points with previous mass movements in the area were obtained through field surveys. Maps with the identification of the risk areas were constructed with the GIS software *ArcGis*. A comparative study among four methods of weighting mean was performed to identify the most appropriate in the global effect of the mass movements. A discriminant analysis was carried out to predict the kind of mass movement. The quadratic and linear models, as well as the mean and the literature weighting mean methods used to predict the mass movements, showed excellent results. Almost all of the areas with high and very high susceptibility are located in the peripheral area of Ipatinga. It is necessary to plan the new urban occupations in this city, and a reassessment of the areas occupied with *favelas*.

**Keywords:** GIS, mass movements, risk areas

<sup>1</sup> Artículo recibido el 26 de septiembre de 2006 y aceptado para publicación el 28 de octubre de 2006.

<sup>2</sup> Estudante da pós-graduação, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. E-mail: [abreu.fernanda@uol.com.br](mailto:abreu.fernanda@uol.com.br); [eloymello@yahoo.com.br](mailto:eloymello@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Estudante da pós-graduação, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. E-mail: [edcarlopaiva@yahoo.com.br](mailto:edcarlopaiva@yahoo.com.br); [andré.og@gmail.com](mailto:andré.og@gmail.com)

<sup>4</sup> Professora Titular, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Av. P. H. Rolfs s/n , Campus UFV, 36570-000, Vicoso, MG., E-mail: [calijuri@ufv.br](mailto:calijuri@ufv.br)

## **INTRODUÇÃO**

As áreas de risco são aquelas suscetíveis a desastres, os quais podem ocorrer como consequência do impacto de um risco natural e/ou causado por atividades antrópicas. Desastre é o resultado de eventos adversos sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

O efeito do desenvolvimento sobre os desastres é drástico: em média, 22,5 pessoas morrem por desastre registrado em países altamente desenvolvidos, 145 morrem por desastre em países com desenvolvimento humano médio, e 1.052 pessoas morrem por desastre em países com baixos níveis de desenvolvimento (IFRC, 2001). Uma explicação plausível é o planejamento urbano eficaz e a boa infra-estrutura dos países mais desenvolvidos.

O crescimento populacional desordenado é um dos principais agravantes para a ocorrência de desastres em países em desenvolvimento. Sem alternativa de habitação, a população de baixo poder aquisitivo tende a instalar-se em áreas de baixo valor econômico, como por exemplo, em encostas, que são terrenos em equilíbrio transitório, suscetíveis à remodelação por agentes naturais e/ou antrópicos. A ocupação humana nas encostas muitas vezes leva à retirada da vegetação, à movimentação da terra, à alteração do regime de escoamento e infiltração e à deposição irregular de lixo e entulho, os quais as predis põem aos movimentos de massa do local.

O foco deste trabalho é a cidade de Ipatinga, um município situado na região leste de Minas Gerais. Ela sedia um dos maiores complexos da siderurgia nacional (USIMINAS), e é considerada a principal cidade do Vale do Aço. O montante da receita gerada corresponde a 5,4% do PIB mineiro, o que equivaleu, em 2001, a R\$ 44 bilhões (Prefeitura Municipal de Ipatinga, 2006).

A economia desse município está apoiada na indústria e agropecuária, tendo contribuição também da área de turismo de negócio, o terceiro maior volume do estado. A taxa de alfabetização dos habitantes de Ipatinga supera a média de Minas Gerais em mais de quatro pontos (93,6 % x 89,1%) e, aproximadamente, 99% da sua população vive na zona urbana.

As estimativas feitas pelo IBGE para o ano de 2010, mostram que, em média, o número de habitantes tende a continuar crescendo no estado de Minas Gerais, porém em taxas cada vez menores. Analisando isoladamente a situação do município de Ipatinga, verificou-se que sua taxa de crescimento populacional é maior que a da média do estado (estimativas de 2001 a 2005). Diante desses dados, pode-se esperar que o crescimento populacional desse município supere a média do estado nos próximos anos. Portanto, é cabível certa preocupação em relação ao planejamento urbano da cidade, para evitar instalações humanas desordenadas, principalmente em áreas de risco.

Com relação ao relevo, 15% da área de Ipatinga correspondem a uma topografia bastante movimentada, com encostas íngremes, localizadas, principalmente, na periferia do município, as quais podem servir de ponto de escape para populações de baixa renda, tornando-se áreas ainda mais suscetíveis aos movimentos de massa. Além dessas preocupações, a previsão do último relatório do IPCC (2001) mostra que as mudanças na temperatura média global muito provavelmente afetarão parâmetros como padrões de precipitação, velocidade dos ventos, umidade do solo e cobertura vegetal, que parecem influenciar diretamente a ocorrência de deslizamentos de terra, entre outros fenômenos.

Tanto fatores naturais quanto antrópicos influenciam na determinação das áreas de risco; os mais comumente usados são: vegetação, solo, geologia, fraturas, precipitação, declividade, drenagem, uso e ocupação, depósito de lixo, construções humanas, proximidades e malhas viárias. A avaliação das áreas suscetíveis ao risco adota, muitas vezes, a ponderação desses fatores, sendo esta de difícil determinação e de pouca disponibilidade na literatura atual. Além disso, verifica-se a ausência de um método-padrão para a ponderação dos fatores intervenientes. A gestão de riscos ambientais é uma importante ferramenta no combate de qualquer tipo de desastre ambiental, sendo que um dos seus procedimentos consiste na discriminação das áreas de risco e na indicação dos locais mais suscetíveis de ocorrência. O objetivo deste trabalho foi identificar e discriminar áreas de risco no entorno urbano de Ipatinga, MG, a partir do SIG, considerando condicionantes naturais e antrópicos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A área de estudo foi o município de Ipatinga, estado de Minas Gerais (Brasil), que se encontra a 256 km da capital, Belo Horizonte. As coordenadas geográficas do centro da cidade são: 19° 27' 55" S e 42° 33' 12" W.

A altitude média da cidade é de 220 metros acima do nível do mar, tendo seu valor máximo na Serra dos Cocais (1.163 metros) e o mínimo na foz do Rio Piracicaba (200 metros). A rede hidrográfica da cidade é composta, principalmente, pelos rios Piracicaba e Ribeirão Ipanema, os quais pertencem à sub-bacia do Rio Doce. O clima é tropical subquente e subseco, tendo como precipitação média anual, aproximadamente, 1.280 mm (INMET, 2006).

A área total do município é de 166,5 km<sup>2</sup>, sendo que 45% correspondem à zona urbana. Seu relevo é classificado como: 55% plano, 30% ondulado e 15% montanhoso; a vegetação nativa é o domínio florestal Atlântico, tendo grande parte da sua cobertura já destruída, dando lugar a plantações de eucalipto. A população estimada para o ano de 2005 foi de 232.812 habitantes (IBGE, 2006).

Foram considerados, para a análise de risco de Ipatinga, os seguintes condicionantes naturais: solo, geologia, declividade, fraturas e hidrografia; sendo que o único condicionante antrópico avaliado foi o uso e a ocupação. Cada condicionante foi dividido em classes de suscetibilidade, de acordo com sua estrutura e vulnerabilidade ao movimento de massa. As classes receberam valores de 1 (um) até 4 (quatro), dependendo da intensidade do risco. A lógica adotada foi de que quanto menor o valor da classe, menor será o risco. As Tabelas de 1 a 6 apresentam os condicionantes e a sua divisão de acordo com as classes de suscetibilidade.

**Tabela 1: Declividade e suas classes de suscetibilidade.**

Declividade (%)	Classes	Valor
0-15	Baixo	1
15-30	Médio	2
30-45	Alto	3
>45	Muito alto	4

**Tabela 2: Distância aos cursos d'água e suas classes de suscetibilidade.**

Distância – Cursos d'água (m)	Classes	Valor
> 100	Baixo	1
0-100	Muito alto	4

**Tabela 3: Distância às fraturas e suas classes de suscetibilidade.**

Distância - Fraturas (m)	Classes	Valor
> 400	Baixo	1
200-400	Médio	2
100-200	Alto	3
0-100	Muito alto	4

**Tabela 4: Tipos de solo e suas classes de suscetibilidade.**

Tipo de solo	Classes	Valor
Latossolo Vermelho-Amarelo	Baixo	1
Latossolo Vermelho-Amarelo+Cambissolo	Médio	2
Argissolo+Cambissolo	Médio	2
Cambissolo	Alto	3
Neossolo	Muito alto	4

**Tabela 5: Tipos de rocha e suas classes de suscetibilidade.**

Geologia	Classes	Valor
Granitos	Baixo	1
Plutano vulcano sedimentar gnáissico	Médio	2
Micaxistos	Alto	3
Aluvião	Muito alto	4

**Tabela 6: Tipos de uso e ocupação do solo e suas classes de suscetibilidade.**

Uso e Ocupação	Classes	Valor
Mata	Baixo	1
Áreas verdes	Baixo	1
Áreas urbanas	Médio	2
Vazios urbanos	Médio	2
Pastagem	Médio	2
Capoeira	Médio	2
Culturas anuais	Alto	3
Solo exposto	Muito alto	4
Favelas	Muito alto	4

A divisão e a classificação dos condicionantes foram fundamentadas na literatura (IPT, 2002; Souza, 1998). A determinação da distância dos cursos d'água teve como base o Código Florestal (Lei N° 4.771/1965), o qual define faixas mínimas de preservação ao longo das margens dos cursos d'água. Foi considerada uma largura máxima de 200 metros para os cursos d'água da região, o que corresponde a uma faixa de 100 metros de preservação permanente, valor padrão adotado quando se trata de proximidade à rede de drenagens (Vieira *et al.*, 2005).

O Código Florestal estabelece também que encostas com declives superiores a 100% e que áreas com altitude superior a 1.800 metros devam ser enquadradas como Áreas de Preservação Ambiental (APP's); sendo eminentemente proibida sua exploração e utilização. Já Guerra e Cunha (1998) restringem um pouco mais, recomendando que áreas com declividade acima de 50% devam ser reservadas à conservação de solos. A Lei de Lehman (N° 6.766/1979) também rege a ocupação de encostas, determinando que em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, o parcelamento do solo só será permitido se atendidas as exigências das autoridades competentes.

As favelas foram incorporadas ao condicionante 'uso e ocupação' e valoradas como áreas de muito alto risco, por ocuparem, principalmente, áreas de declividades elevadas sem planejamento adequado, resultando em baixa infra-estrutura do local. Deste modo, elas são focos freqüentes de movimentos de massa.

A análise de risco foi feita sobre mapas digitalizados. Os mapas de hidrografia, limite da área e altimetria (equidistância de 5 metros) foram utilizados para gerar o modelo de elevação hidrologicamente consistente, o qual foi tomado como pré-requisito para originar o mapa de declividade. Para a elaboração dos mapas de suscetibilidade aos movimentos de massa, utilizou-se a ferramenta *Spatial Analyst: Raster Calculator* do software ArcGis 9.0®.

Foram quantificados os pontos onde já ocorreram movimentos de massa na cidade de Ipatinga e também discriminados, de acordo com a seguinte classificação: deslizamento, deslizamento com lixo, deslizamento em cunha, rolamento de blocos, erosão, erosão com deslizamento e voçoroca. Foi feita uma análise estatística descritiva desses pontos.

A identificação das áreas de risco foi feita por meio da aplicação de um algoritmo do tipo média ponderada (Equação (1)). O algoritmo foi aplicado a uma estrutura matricial *raster*, sendo que cada célula (pixel) correspondeu a uma unidade territorial com um índice de risco (IR). O tamanho do pixel utilizado foi de 10. O mapa digital de suscetibilidade a movimentos de massa foi gerado de acordo com as classes apresentadas na Tabela 7.

$$IR_{ij} = \sum_{k=1}^n P_k V_k \quad (1)$$

onde:

- IR<sub>ij</sub> = índice de risco da célula em questão da matriz;
- n = número de condicionantes envolvidos;
- P<sub>k</sub> = peso atribuído ao condicionante k;
- V<sub>k</sub> = valor atribuído ao condicionante k de acordo com a classe de suscetibilidade.

**Tabela 7: Índices de risco e suas classes de suscetibilidade.**

Índice de Risco (IR)	Classes de Risco
1,0 – 1,6	Baixo
1,6 – 2,2	Médio
2,2 – 2,8	Alto
2,8 – 4,0	Muito alto

Adicionalmente, foi realizado um estudo comparativo com quatro métodos: peso de Pearson - Pp, peso de Spearman - Ps, peso das médias - Pm e peso baseado nas recomendações gerais da literatura consultada - PI (Garcia *et al.*, 2006; Vieira *et al.*, 2005; Souza, 1998; Fernandes *et al.*, 1999). Este estudo teve como finalidade identificar o método mais adequado para a ponderação dos fatores condicionantes dos movimentos de massa.

A escolha do método foi fundamentada na comparação entre os mapas de risco e os pontos de ocorrência de movimento de massa. Os métodos Pp, Ps e Pm foram definidos estatisticamente, sendo calculados a partir do histórico dos pontos de movimento de massa levantado. Os pesos dos métodos Pp e Ps foram gerados a partir do grau de associação entre o efeito isolado e o efeito combinado dos condicionantes, diferenciando-se, apenas, pelo coeficiente de correlação empregado.

No método Pm, os pesos foram gerados a partir das médias de cada condicionante.

$$P_{p,i} = \frac{C_{p,i}}{\sum_{i=1}^n C_{p,i}} \quad (2)$$

onde:

P<sub>p,i</sub> = peso de Pearson para o condicionante i;  
C<sub>p,i</sub> = coeficiente de correlação de Pearson para o condicionante i;  
n = número de condicionantes.

$$P_{s,i} = \frac{C_{s,i}}{\sum_{i=1}^n C_{s,i}} \quad (3)$$

onde:

P<sub>s,i</sub> = peso de Spearman para o condicionante i;  
C<sub>s,i</sub> = coeficiente de correlação de Spearman para o condicionante i;  
n = número de condicionantes.

$$P_{m,i} = \frac{\bar{X}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i} \quad (4)$$

onde:

P<sub>m,i</sub> = peso das médias para o condicionante i;  
X<sub>i</sub> = média aritmética do condicionante i;  
n = número de condicionantes.

O tipo de movimento de massa que pode vir a ocorrer em áreas de alto ou muito alto risco foi predito a partir de uma análise discriminante, a qual verificou se os grupos estudados são diferentes estatisticamente entre si; e, posteriormente, forneceu funções de classificação desses grupos, permitindo a diferenciação dos movimentos de massa a partir dos valores das classes de suscetibilidade dos condicionantes. O nível de significância para os testes estatísticos foi de 5%. A avaliação do modelo de predição pôde ser comprovada a partir do índice de AUC (área sob a curva), de acordo com a Tabela 8.

**Tabela 8: Avaliação do modelo de predição em função da área sob a curva (AUC).**

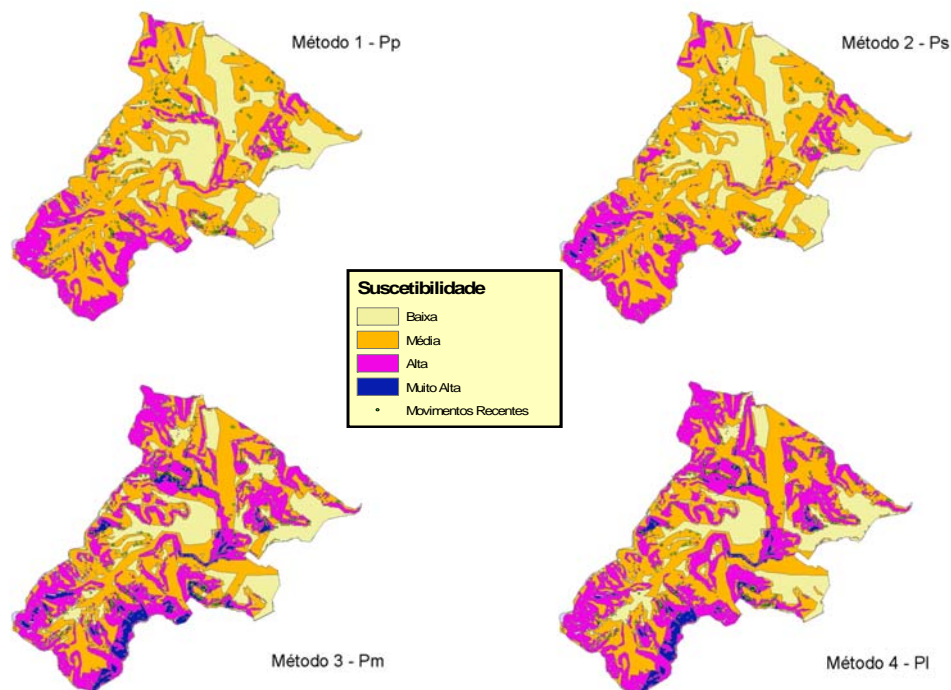
Índice	Avaliação do modelo
AUC < 0,5	Desastroso
0,5 < AUC < 0,7	Aleatório
0,7 < AUC < 0,87	Bom
0,87 < AUC < 0,90	Bem discriminado
0,90 < AUC < 1,00	Excelente
AUC = 1,00	Ideal

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Obtenção dos Mapas de Suscetibilidade

**Tabela 9: Pesos dos diferentes fatores que interferem nos movimentos de massa, obtidos por quatro métodos.**

Fator	Método 1 (Pp)	Método 2 (Ps)	Método 3 (Pm)	Método 4 (Pl)
Solos	0,2261	0,2237	0,1970	0,2500
Litologia	0,0465	0,0248	0,1990	0,2000
Uso e ocupação do solo	0,0841	0,0896	0,1700	0,2000
Declividade	0,2704	0,2691	0,2200	0,2500
Fraturas	0,1605	0,1843	0,1020	0,0500
Hidrografia	0,2125	0,2085	0,1120	0,1000
<b>Total</b>	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000



**Figura 1: Mapas de suscetibilidade aos movimentos de massa de acordo com os quatro métodos de ponderação.**

Na Tabela 9 são apresentados os pesos obtidos através dos quatro métodos. O método do peso das médias (Pm) se aproximou do método baseado na literatura (Pl). No entanto, os métodos de Pearson (Pp) e Spearman (Ps) foram bastante diferentes dos sugeridos pela literatura. Com os pesos obtidos através de cada método, e também com

aqueles sugeridos pela literatura, foram elaborados quatro mapas de suscetibilidade ao movimento de massa para o município de Ipatinga (Figura 1).

Cada um dos seis condicionantes considerados para definição das áreas suscetíveis formou um mapa, representado por uma imagem matricial (*raster*), onde cada célula desta matriz possui um valor, que varia de 1 a 4 dependendo da classe presente.

A combinação dos seis condicionantes foi feita com um algoritmo do tipo média ponderada das seis imagens matriciais, respeitando o peso de cada fator considerado.

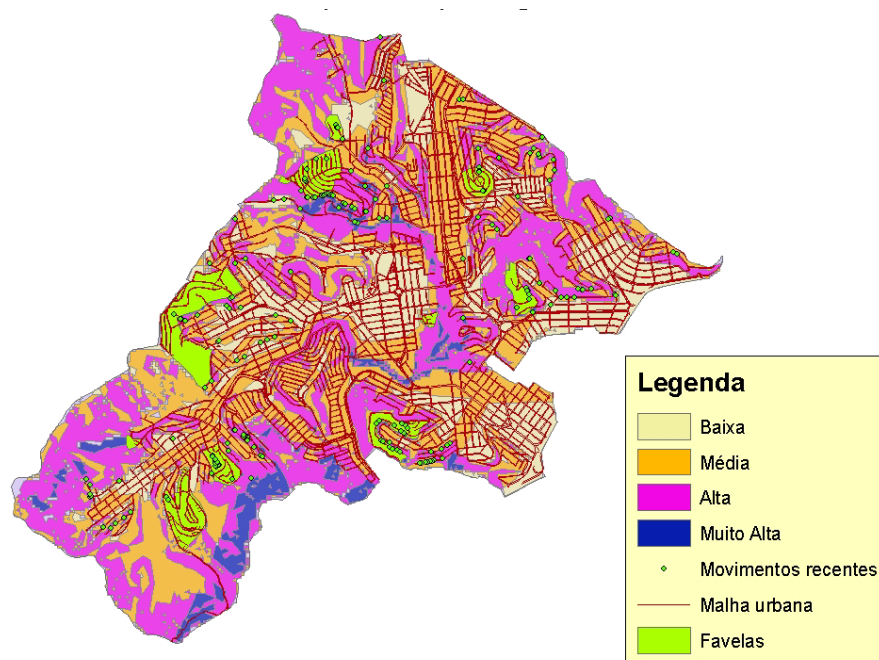
Cada mapa visualizado na Figura 1 é, portanto, um mapa de suscetibilidade obtido pela aplicação de um dos métodos de ponderação dos fatores intervenientes no processo de movimento de massa. Sobre estes mapas foram distribuídos pontos que representam locais onde ocorreram movimentos de massa no município de Ipatinga, levantados paralelamente à etapa de coleta de dados referentes às características físicas e antrópicas do município. A espacialização desses pontos foi feita com o objetivo de auxiliar a avaliação dos mapas de suscetibilidade, através da comparação visual dos locais onde, sabidamente, ocorreram movimentos de massa, com as áreas de risco que foram obtidas pelos diferentes métodos.

A escolha dos métodos Ps e Pp se apoiou na hipótese de que o coeficiente de Spearman, por ser não-paramétrico, pudesse se adequar melhor aos dados qualitativos utilizados neste tipo de trabalho, em comparação ao de Pearson, que é paramétrico. No entanto, a análise dos mapas permitiu observar que esses métodos deram origem a áreas de suscetibilidade muito semelhantes.

Comparando-se visualmente as áreas de risco obtidas pelos métodos Ps e Pp com os pontos espacializados sobre a área, foi possível notar um grande número de movimentos de massa em áreas que, segundo os mapas, são de baixa ou média suscetibilidade. Esse comportamento parece indicar que a ponderação dos condicionantes sugerida por esses dois métodos, não possui sensibilidade suficiente para identificar as áreas de suscetibilidade aos movimentos de massa.

Os mapas obtidos através da ponderação sugerida pelos métodos Pm e Pl, também foram bastante semelhantes entre si, ou seja, a ponderação dos fatores condicionantes nos processos de movimento de massa, sugerida pelo método Pm é bastante coerente com a sugerida pela literatura. Observando as áreas de suscetibilidade de seus mapas, é possível notar uma boa relação entre elas e os pontos onde já ocorreram movimentos de massa, escolhendo, portanto, o método das médias para análise de risco da área estudada.

A Figura 2 apresenta o mapa de suscetibilidade originado pelo método Pm, sobre o qual foram sobrepostas a malha urbana do município e as áreas ocupadas por favelas.



**Figura 2: Mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa pelo método das Médias para o município de Ipatinga com sobreposição dos movimentos recentes de massa, da malha urbana e das favelas.**

Analisando-se visualmente esta composição, pode-se observar que grande parte das áreas de alta e muito alta suscetibilidade estão na periferia territorial do município, em regiões de declividade mais acentuada. De um modo geral, a malha urbana se concentra em áreas de baixa e média suscetibilidade. No entanto, as favelas ocupam as áreas mais suscetíveis, com grande frequência de movimentos de massa. Essa constatação demonstra que as entidades públicas do município precisam reavaliar o uso e ocupação destas áreas. Além disso, novas ocupações urbanas devem ser planejadas criteriosamente, pois são poucas as áreas de baixa ou média suscetibilidade ainda desocupadas.

### Discriminação dos Movimentos de Massa

Em uma análise preliminar dos pontos levantados durante a fase de coleta de dados *in situ*, foi possível observar a frequência dos diferentes tipos de movimentos de massa ocorridos no município de Ipatinga. A classificação está apresentada na Tabela 10.

**Tabela 10: Frequência de ocorrência dos diferentes tipos de movimento de massa no município de Ipatinga.**

Tipo	Frequência
Deslizamento	58%
Erosão	30%
Voçoroca	4%
Deslizamento em cunha	3%
Erosão – deslizamento	3%
Deslizamento com lixo	1%
Rolamento de blocos	1%

Pode-se verificar que houve predominância de deslizamentos (58%) e erosão (30%), em relação aos demais tipos de movimento de massa. Com base nesta observação os pontos foram divididos em duas classes, conforme se pode observar na Tabela 11.

**Tabela 11: Agrupamento dos pontos segundo os dois tipos predominantes de movimento de massa no município de Ipatinga.**

Tipo 1 – Deslizamento	Tipo 2 – Erosão
Deslizamento	Erosão
Deslizamento em cunha	Voçoroca
Deslizamento com lixo	Erosão – deslizamento
Rolamento de blocos	
Total: 46 (63%)	Total: 27 (37%)

A essas duas classes foi aplicada uma análise discriminante, com objetivo de obter um modelo de discriminação para prever o tipo de movimento de massa mais provável de ocorrer no município de Ipatinga, em função dos fatores condicionantes considerados neste trabalho.

O teste do Lambda de Wilks (Tabela 12) indicou que existe diferença significativa entre os dois grupos ( $P < 0,0001$ ). Sendo assim, aplicou-se o teste de qui-quadrado (Teste de Box), e a hipótese nula foi rejeitada, ou seja, as matrizes de covariância intra-classes são diferentes (Tabela 13).

**Tabela 12: Teste do Lambda de Wilks.**

Lambda	*GL <sub>1</sub>	GL <sub>2</sub>	F calculado
0,602	6	66	7,268**

\*Graus de liberdade; \*\* $P < 0,0001$

**Tabela 13: Teste de qui-quadrado.**

-2log(M)	*GL	$\chi^2$ ajustado
121,81	21	109,46**

\*Graus de liberdade; \*\* $P < 0,0001$

Este resultado indica que um modelo de discriminação quadrático é o mais adequado para a predição do tipo de movimento de massa, nas condições deste estudo, como pode ser visto nas equações (5) e (6). Optou-se por ajustar, também, um modelo de discriminação linear, por ser de utilização e interpretação mais simples do que o quadrático, expressado pelas equações (7) e (8). As funções de classificação dos modelos são apresentadas a seguir:

Modelo Discriminante Quadrático:

$$\begin{aligned} Tipo1 = & -48,937 + 4,623S + 7,801G + 26,874U + 1,135D + 4,629F + 0,870H - 0,961S^2 \\ & -0,729SG + 0,197SU + 0,549SD - 0,042SF + 0,209SH - 0,792G^2 \\ & -0,639GU + 0,201GD - 0,714GF + 0,219GH - 6,030U^2 \\ & +0,171UD - 0,820UF - 0,138UH - 0,751D^2 \\ & +0,731DF - 0,091DH - 1,020F^2 \\ & +0,054FH - 0,582H^2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Tipo2 = & -35,739 + 0,133S + 6,947G + 3,190U + 5,105D + 38,881F - 1,133H - 2,341S^2 \\ & + 1,343SG + 1,166SU + 2,886SD - 0,651SF - 0,451SH - 1,292G^2 \\ & + 0,115GU - 1,216GD - 2,308GF + 0,246GH - 0,9108U^2 \\ & - 0,810UD + 0,209UF + 0,012UH - 1,582D^2 \\ & - 0,464DF + 0,595DH - 16,445F^2 \\ & + 1,370FH - 0,345H^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Modelo Discriminante Linear:

$$Tipo1 = -24,689 + 2,600S + 5,646G + 5,837U + 2,292D + 4,166F + 0,881H \quad (7)$$

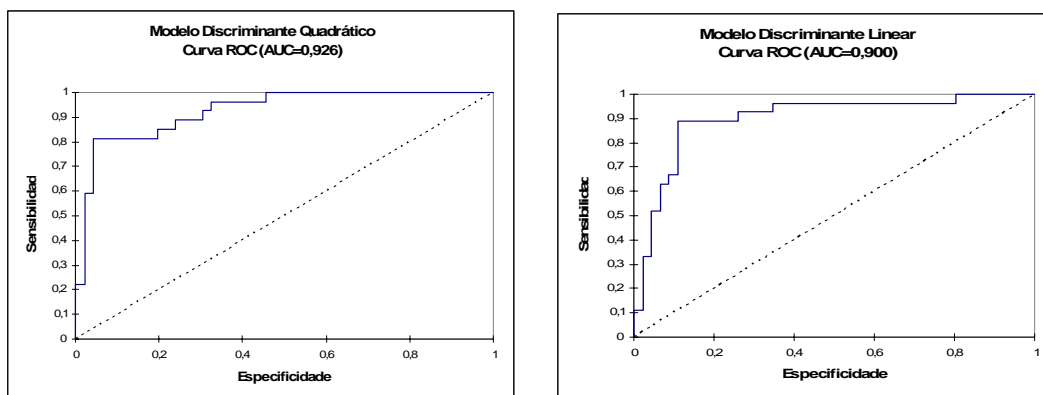
$$Tipo2 = -23,523 + 2,460S + 4,123G + 7,375U + 2,313D + 2,556F + 1,472H \quad (8)$$

onde:

- S = índice de risco do fator *solos*;
- G = índice de risco do fator *geologia*;
- U = índice de risco do fator *uso e ocupação do solo*;
- D = índice de risco do fator *declividade*;
- F = índice de risco do fator *fraturas*;
- H = índice de risco do fator *hidrografia*.

Para a utilização de qualquer um dos modelos ajustados, a entrada dos dados deve ser feita nas duas funções do modelo escolhido, e a função que resultar em maior valor indica o tipo de movimento de massa mais provável de ocorrer.

A simulação dos tipos de movimento de massa foi comparada com os 73 pontos levantados. Análises estatísticas, incluindo as matrizes de confusão das amostras de estimação (Tabela 14), e as curvas ROC para as amostras de validação (Figura 3), foram utilizadas para determinar o ajuste dos modelos.



**Figura 3: Curvas ROC para amostras de validação.**

A Tabela 14 mostra que, aproximadamente, 80% dos tipos de movimento de massa simulados pelos modelos estavam de acordo com os tipos que foram observados. Ao observar as curvas da Figura 3 pode-se verificar que a

área sob a curva (AUC) dos modelos é igual ou superior a 0,9, o que indica que os modelos são bons preditores do tipo de movimento de massa. De modo geral, valores de AUC acima de 0,9 indicam um ajuste excelente.

**Tabela 14: Matriz de confusão das amostras de estimação.**

Modelo Discriminante Quadrático				
Classe simulada	Classe observada		Total	% correto
	1	2		
1	36	10	46	78,26%
2	4	23	27	85,19%
Total	40	33	73	80,82%
Modelo Discriminante Linear				
Classe simulada	Classe observada		Total	% correto
	1	2		
1	42	4	46	91,30%
2	10	17	27	62,96%
Total	52	21	73	80,82%

## CONCLUSÕES

Os métodos: pesos de Pearson (Pp) e pesos de Spearman (Ps), não apresentam sensibilidade suficiente para a identificação das áreas de suscetibilidade aos movimentos de massa.

O método dos pesos das médias (Pm) pode ser utilizado como ferramenta para a ponderação dos fatores condicionantes, considerados neste estudo, para a geração de mapas de suscetibilidade a movimentos de massa.

Os modelos de discriminação quadrático e linear podem ser utilizados para a predição do tipo de movimento de massa mais provável de ocorrer, em função dos fatores condicionantes considerados neste estudo.

Grande parte das áreas de alta ou muito alta suscetibilidade se localizam no entorno da malha urbana do município. Isso confirma o costume de localizar, inicialmente, as cidades ao longo dos rios, o que leva a que, com o tempo, se avance em direção às encostas dos vales dos rios.

É necessário o planejamento de novas ocupações urbanas no município; bem como, a reavaliação das áreas ocupadas por favelas.

Há necessidade de avaliação destes métodos e modelos em outras regiões para verificar a possibilidade de uma utilização mais ampla.

## REFERÊNCIAS

- Fernandes, M. do C., Lagüéns, J. V. M., Netto, A. L. C. (1999). *O Processo de Ocupação por Favelas e sua Relação com os Eventos de Deslizamentos no Maciço da Tijuca/RJ*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Volume 22.
- Garcia, J. M. P. et al. (2006). *Avaliação Ambiental por Geoprocessamento para Delimitação e Classificação de Áreas de Suscetibilidade a Movimentos de Massa na Região de Itatiaia, Estado do Rio de Janeiro*. Caminhos de Geografia, Revista on-line, fev. 2006. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em 05/07/2006.
- Guerra, A.J.T., Cunha, S.B. (org.). (1998). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- IBGE (2006). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministérios do Planejamento. Orçamento e Gestão. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 05/06/2006.
- IFRC (2006). International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. *World Disasters Report 2001*. Disponível em: [http://www.ifrc.org/publicat/wdr2001/\[Geo-2-334\]](http://www.ifrc.org/publicat/wdr2001/[Geo-2-334]). Acesso em : 05/07/2006.
- INMET (2006). Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Acesso em: 18/06/2006.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., and New York, USA.
- IPT (2002). Técnica para a estabilização de encostas, recuperação da infra-estrutura urbana e reurbanização das áreas de risco atingidas por escorregamentos na área urbana do município de Campos do Jordão, SP. *Relatório Técnico 64.399*, São Paulo, Brasil.

- Prefeitura Municipal de Ipatinga (2006). Ipatinga, MG. Disponível em: [www.ipatinga-mg.com.br](http://www.ipatinga-mg.com.br). Acesso em: 26/06/2006.
- Souza, C. J. S. (1999). *Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada*. 172 p. Dissertação (Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Vieira, M., Kazmierczak, M. L., Malta F. J. N. C (2005).. *Proposta Metodológica para Identificação de Áreas de Risco de Movimentos de Massa em Áreas de Ocupação Urbana. Estudo de caso: Campos do Jordão, SP*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, p. 3935-3942.

