

Aplicação da técnica Pesos de Evidência (*Weights of Evidence* - WofE) para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí-SC

Manoel Ricardo Dourado Correia¹

Ruth Emilia Nogueira¹

Carlos Roberto de Souza Filho²

Maurício Pozzobon³

¹ Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Campus Universitário, Sn, Trindade – CEP 88010-970 - Florianópolis - SC, Brasil
cabanaplus@hotmail.com; r.e.nogueira@ufsc.br

² Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Caixa Postal 6152 – CEP 13083-790 - Campinas - SP, Brasil
beto@ige.unicamp.br

³ Universidade Federal do Paraná - UFPR
Campus Universitário III - CEP 80210-170 - Curitiba - PR, Brasil
pozzobonmauricio@gmail.com

Abstract. The Bayesian probability model, using the weight-of-evidence method, was applied to the task of evaluating landslide susceptibility using GIS data (Arc Spatial Data Modeller). The location chosen for the study was the Itajaí Valley, SC in Brazil, which suffered substantial landslide damage following heavy rain in 2008. Landslide locations were identified in the study area from the interpretation of aerial photographs and satellite images, and a spatial database was extracted from ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model), geological map and LANDSAT imagery. The factors that influence landslide occurrence, such as slope, aspect, curvature plan and profile, direction flow, topographic wetness index and stream power index of topography, were calculated from ASTER imagery. Lithology and NDVI were extracted from a geological database (CPRM) and LANDSAT imagery. The spatial association between the factors and the landslides was calculated as the contrast values, W+ and W- using the weights-of-evidence model. Tests of conditional independence were performed for the selection of the factors, allowing the large number of combinations of factors to be analyzed. Additionally, the receiver operating characteristics (ROC) curves for all landslide susceptibility models were calculated. Landslide locations were used to validate results of the landslide susceptibility map generated using the weight-of-evidence approach and the verification results showed a 74,56% accuracy. Conditional independency and performance tests indicate that the landslide susceptibility map yielded for the study area shows a suitable level of accuracy.

Palavras-chave: spatial modelling, landslide, weight of evidence, modelagem espacial, deslizamentos, pesos de evidência.

1. Introdução

Devido à sua importância como agente externo modelador do relevo, os movimentos gravitacionais de massa¹ têm sido amplamente estudados em todo mundo. Fazem parte da dinâmica natural dos terrenos declivosos, mas também podem ser induzidos pela ação antrópica, como é o caso da Bacia do Itajaí, onde o homem constitui-se em um importante agente modificador da dinâmica das vertentes por meio das mais variadas formas de uso e ocupação.

No estado de Santa Catarina, os deslizamentos em encostas representam importantes ameaças, de modo que nos dias 22 e 23 de novembro de 2008 um evento meteorológico extremo deflagrou uma situação de elevada vulnerabilidade em diversos municípios,

¹ Para o propósito desse trabalho, deslizamento será um termo genérico, usado para descrever o movimento de descida do solo, de rochas e material orgânico, sob o efeito da gravidade. Existem outros termos que são usados alternativamente ao termo “deslizamento”, que incluem movimento de massa, ruptura do talude, etc.

registrando para a história da região como maior desastre natural já conhecido. Dos diversos municípios atingidos, 14 decretaram estado de calamidade pública e 63 decretaram situação de emergência, o que demonstra a extensão do desastre. Os efeitos mais danosos foram sentidos no vale do Itajaí, notadamente nas regiões do médio e baixo vale.

A ocorrência de movimentos de massa resulta da combinação favorável de condições, presumindo a existência de relações funcionais entre os fatores condicionantes e a distribuição dos mesmos, sendo possível calcular a probabilidade de sua ocorrência e gerar cartas com distribuição de valores de favorabilidade, organizadas em classes de suscetibilidade (Bonham-Carter et al., 1989; Aleotti e Chowdhury, 1999; Soares et al., 2002).

As diferentes técnicas de modelagem espacial permitem, então, delimitar unidades do meio físico conforme o grau de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, utilizando métodos de análise espacial, podendo guiar-se tanto pelos dados (*data-driven*) quanto pelo conhecimento (*knowledge-driven*). Neste trabalho aplicou-se a técnica de modelagem por pesos de evidência (WofE – *Weight of Evidence*), objetivando o mapeamento de áreas com suscetibilidade natural a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí - SC (Figura 1).

A extensão *Arc Spatial Data Modeller (ArcSDM)* (Sawatzky et al., 2009; Souza Filho, 2005), do aplicativo ArcGIS 9.3, foi a ferramenta utilizada para a análise de suscetibilidade.

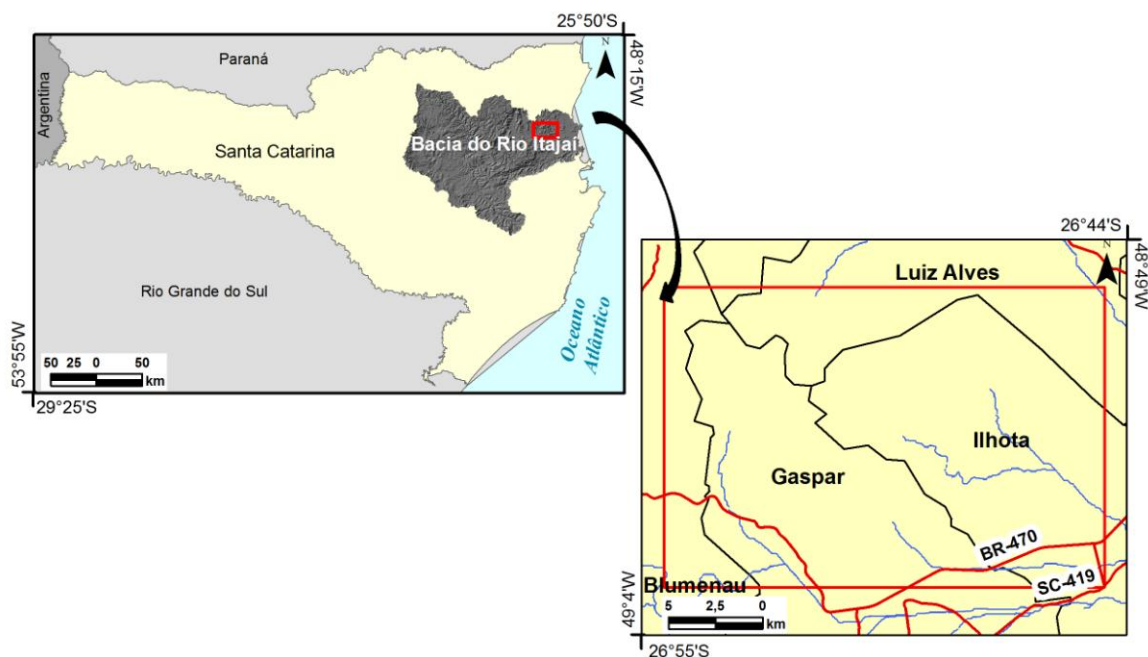


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

2. Caracterização da Área de Estudo

A região do baixo vale da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, em especial os municípios de Blumenau, Ilhota, Gaspar e Luis Alves (Figura 1), foi escolhida para a elaboração desse trabalho, devido à elevada ocorrência de deslizamentos no evento meteorológico de 2008.

No contexto geológico, a área de estudo caracteriza-se pela ocorrência de rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina e Barra Velha (Neo-Arqueano); da Formação Campo Alegre, da Formação Gaspar e do Conglomerado Baú (Proterozóico Médio-Superior); bem como os Depósitos Aluvionares do período Quaternário (Perrotta et al., 2004).

O relevo apresenta-se predominantemente, ondulado (76,82 km²) a forte-ondulado (175 km²), evidenciado pela topografia acidentada, apresenta variação altimétrica entre 12 e 813 metros. Sendo composta pelas unidades geomorfológicas: Planícies e Rampas Colúvio-

Aluviais, Mar de Morros e Colinas do Médio e Baixo Itajaí-Açu e Serras do Leste Catarinense (IBGE, 2004).

3. Material e Métodos

3.1 Construção da Base de Dados Espacial

As etapas de análise para esse trabalho seguiram o roteiro sugerido por Boham-Carter (1994) e Boleneus et al. (2001), consistindo em: (i) construção de uma base de dados digital; (ii) extração das evidências para um modelo teórico de deslizamento, neste caso somente aqueles com dinâmica translacional; (iii) inventário dos deslizamentos (*training points*), que inclui 74 deslizamentos mapeados; (iv) cálculo da probabilidade *à priori* de 0,0009; (v) definição da unidade de área, neste caso de 0,0009 km²; (vi) definição da área de estudo, com 371,106 km²; (vii) cálculo dos pesos positivos e negativos para cada evidência relativa as ocorrências dos deslizamentos; (viii) combinação dos mapas evidenciais e calculo da probabilidade *à posteriori*; (ix) aplicação de testes estatísticos para verificar a condição de independência dos planos de informação relativos entre si e os deslizamentos e, (x) avaliação da exatidão pelo teste estatístico *Receiver Operator Characteristic* (ROC) (Figura 2).

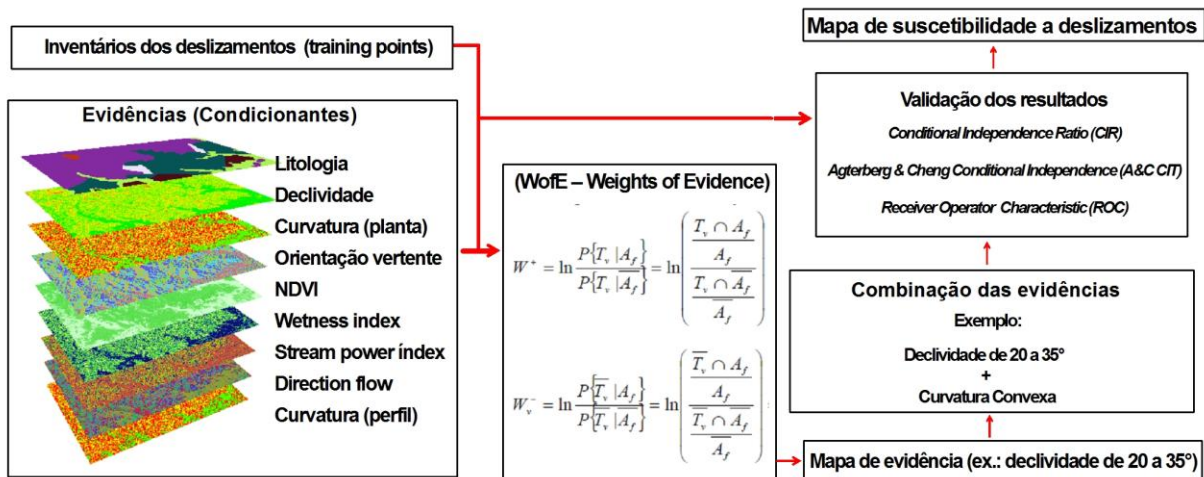


Figura 2: Procedimentos adotados para execução do trabalho.

Os dados obtidos por sensoriamento remoto (informações satelitais, aerofotogramétricas) tiveram grande utilidade na detecção e mapeamento dos deslizamentos. Feições como superfícies de ruptura e cicatrizes de escorregamentos foram identificadas, quantificadas e mapeadas, baseadas em interpretações e processamento de imagens orbitais e aéreas.

Após a identificação das cicatrizes dos deslizamentos, foram elaboradas nove evidências, com seus respectivos atributos (classes), selecionadas como potenciais condicionantes dos movimentos de massa. As evidências hidrológicas e geomorfológicas foram extraídas, calculadas e modeladas a partir dos dados espaciais provenientes do ASTER GDEM² (*Global Digital Elevation Model*). Dos elementos do meio físico utilizados na modelagem, somente a geologia e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) não foram extraídos do ASTER GDEM. No caso do NDVI, utilizou-se o sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5.

Para elaboração das evidências foram utilizados os seguintes aplicativos: ArcGiS 9.3, ILWIS 3.3 (*Integrated Land and Water Information System*) e o ENVI 4.6 (*Exelis Visual Information Solutions*).

As nove evidências e seus respectivos atributos são descritos abaixo:

² Os dados com resolução espacial de 30 metros foram obtidos no sítio: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>

- 1) **Geologia:** organizadas em classes segundo a classificação proposta por Perrota et al. (2004): a) Complexo Granulítico de Santa Catarina, b) Complexo Barra Velha, c) Formação Campo Alegre, d) Formação Gaspar, e) Conglomerado Baú, f) Depósitos Aluvionares.
- 2) **Orientação da vertente:** medida no sentido horário, variando de 0 a 360° contados a partir do Norte (azimute), organizadas nas classes: a) 315-45° (Norte), b) 45-135° (Leste), c) 135-225° (Sul), d) 225-315° (Oeste), e) orientação “plana”.
- 3) **Formas de rampa em planta:** refere-se ao caráter de orientação dos fluxos de matéria sobre o terreno, quando analisados em projeção vertical. Foram organizadas em três classes: a) côncavo, b) convexo, c) retilíneo.
- 4) **Formas de rampa em perfil:** refere-se ao caráter de orientação dos fluxos de matéria sobre o terreno, quando analisados em projeção horizontal. Foram organizadas em três classes: a) divergente, b) convergente, c) plana.
- 5) **Declividade:** o ângulo de inclinação da superfície local em relação ao plano horizontal. Expressa em graus, organizada em dez classes: a) 0-5°, b) 5-10°, c) 10-15°, d) 15-20°, e) 20-25°, f) 25-30°, g) 30-35°, h) 35-40°, i) 45-75°, j) $\geq 75^\circ$.
- 6) **Topographic Wetness Index (TWI):** quantifica o controle da topografia local nos processos hidrológicos e indica a distribuição espacial da umidade no solo e da saturação da superfície (Moore et al., 1991). Foram organizadas em cinco classes: a) 6-8, b) 8-9, c) 9-10, d) 10-11, e) 11-25.
- 7) **Stream power index (SPI):** refere-se ao poder de escoamento, medida pelo fluxo erosivo da água como base no pressuposto de que a descarga é proporcional à área de captação específica (Moore et al., 1991). Foram organizadas em cinco classes: a) 1,5-500, b) 500-1000, c) 1000-2000, d) 2000- 3000, e) 3000-22.070.942.
- 8) **Direction flow (direção de fluxo):** determina a direção do fluxo de cada célula (*pixel*). Oito classes (direções) foram aqui utilizadas: a) Leste, b) Sudeste, c) Sul, d) Sudoeste, e) Oeste, f) Noroeste, g) Norte, h) Nordeste.
- 9) **Índice de vegetação da diferença normalizada:** definido pela seguinte fórmula: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$, onde R Vermelho (0,63 – 0,70 μm) e NIR Infravermelho próximo (0,75 – 0,90 μm), seu valores variam de -1 a 1. Esta evidência foi classificada em 40 classes com intervalos de 0,05.

3.2 Análise por pesos de evidência (WofE – *Weights of Evidence*)

A técnica de modelagem escolhida para avaliação de suscetibilidade aos deslizamentos foi a análise por pesos de evidência (WofE – *Weights of Evidence*). A abordagem WofE é uma técnica estatística sólida (geralmente citada na literatura estatística como classificador Naïve Bayes). Dentre os diversos trabalhos que utilizam a técnica pesos-de-evidência aplicados aos deslizamentos, pode-se destacar os seguintes autores: Boham-Carter (1994); Bonham-Carter et al. (1989); Agterberg et al. (1990); Agterberg e Cheng (2002); Lee et al. (2002); Neuhäuser e Terhorst (2007); Oh e Lee (2010).

Segundo Boham-Carter (1994), a técnica de pesos de evidencia (WofE – *Weights of Evidence*) utiliza relações estatísticas entre os vários planos de informação (evidência) e as ocorrências conhecidas dos deslizamentos (*data-driven*) para descrever e analisar as interações entre os diversos dados espaciais. Como resultados são gerados modelos de suscetibilidade ou favorabilidade.

3.3 Cálculo dos pesos e generalização dos mapas

Os procedimentos de cálculo dos pesos W^+ e W^- e a transformação em dados binários foram aplicados às evidências acima mencionadas. A transformação dos dados em mapas binários foi feita através da generalização dos valores *Studentized Contrast* ($Stud_Cnt$) > 1 , *inside*. Todas as evidências foram abordadas como dados categóricos.

3.4 Validação dos modelos

A modelagem WofE pressupõe que exista independência condicional entre os dados. Contudo é muito difícil na prática conseguir um ajuste que implique na independência total, de forma que é necessário a aplicação de testes estatísticos para verificar em que grau ocorre a violação desse pressuposto. Para isso, foram utilizados os testes *Conditional Independence Ratio* (CIR) e o *Agterberg & Cheng Conditional Independence* (A&C CIT), permitindo desta forma, a geração de modelos confiáveis.

O teste da *Conditional Independence Ratio* (CIR) compreende a razão entre o número de pontos utilizados (n) e a soma de todos os valores da probabilidade *à posteriori* (T). Valores de CIR $< 0,85$ podem indicar problemas de dependência condicional entre as evidências. Os valores ideais devem ficar entre 0,85 e 1 (Bonham-Carter 1994).

O teste *Agterberg & Cheng Conditional Independence* (A&C CIT) trabalha com a hipótese de que a diferença $T-n$ é nula. A estatística do teste é calculada a partir da equação $(T-n)/\text{desvio padrão de } T$. Para aceitar a hipótese da independência condicional, a regra aritmética de $2.33*s(T)$ com probabilidade de 99% foi aqui utilizada, conforme sugerido por Agterberg e Cheng (2002).

Para validar a exatidão (eficiência) do modelo, utilizou-se a curva *Receiver Operator Characteristic* (ROC). Esta curva apresenta a relação entre a sensibilidade e especificidade, ou seja, a probabilidade de que os *pixels* favoráveis e não favoráveis estejam corretamente classificados.

4. Resultado e Discussão

A aplicação da modelagem WofE na série de mapas binários, conforme descrição nos métodos, produziu uma tabela que sumariza as estatísticas resultantes (Tabela 1). Nesta tabela, aparecem os valores resultantes dos cálculos dos ponderadores (W^+ e W^-), o contraste (C) e o *Studentized Contrast* (Stud_Cnt) > 1 (*inside* - classes que constituirão o mapa de suscetibilidade final). É importante observar o contraste, que é a medida da correlação espacial entre o evento (escorregamento) e a evidência, de forma que, quanto maior esse valor maior é a associação espacial entre eles e, ao contrário, quanto menor o contraste, menor será a associação espacial entre os mapas.

Os resultados obtidos como pesos no modelo probabilístico revelam quais combinações (classes) favorecem, ou não, a ocorrência a deslizamentos. Observa-se que a evidência orientação da vertente voltada para o Norte tem a maior contribuição para o mapa de suscetibilidade, seguido pelas evidências declividade com inclinação de 20-35°; curvatura em perfil divergente; direção de fluxo Sudeste e Sul; NDVI com classes de 0,7 a 0,85 (porte arbóreo) e; o Complexo Granulítico de Santa Catarina (Geologia). As demais classes não tiveram pesos significativos para a composição do mapa final de suscetibilidade a deslizamentos.

Os resultados da evidência declividade indicam que as faixas de inclinação de 20-35° estão associadas à ocorrência de deslizamentos, sugerindo que, à medida que o ângulo de inclinação aumenta, a tensão de cisalhamento no solo (ou outro material não consolidado) geralmente torna-se maior, proporcionando uma maior favorabilidade aos deslizamentos. Por outro lado, as vertentes íngremes naturais, resultantes de afloramento rochosos, não tendem a ser suscetíveis aos deslizamentos superficiais.

Os valores intermediários de 6-10 na evidência TWI (umidade no solo) assemelha-se às faixas intermediárias de declividade. Valores similares foram verificados por Oh e Lee (2010). Segundo esses autores, as vertentes íngremes registram valores mais baixos de TWI, ao contrário das vertentes levemente inclinadas, que registram valores intermediários de umidade no solo.

Tabela 1 - Resultados dos cálculos dos ponderadores de evidências (W+ e W-). Das classes analisadas, foram selecionadas aquelas que tiveram valores de Stud_Cnt >1 (inside).

Fatores (Evidências)								
Geologia								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
Complexo Granulítico de Santa Catarina	187,3	46	0,21	-0,27	0,48	0,24	1,99	0,21
Formação Gaspar	115,0	27	0,16	-0,08	0,25	0,24	1,02	0,16
Orientação de vertente								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
Sul	96,9	36	0,62	-0,36	0,99	0,23	4,24	0,62
Curvatura em Planta								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
Côncavo	144,0	34	0,17	-0,12	0,29	0,23	1,26	0,17
Convexo	152,5	38	0,22	-0,19	0,41	0,23	1,78	0,22
Curvatura em Perfil								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
Divergente	142,1	41	0,37	-0,32	0,69	0,23	2,97	0,37
Declividade								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
20-25°	51,8	20	0,66	-0,16	0,83	0,26	3,16	0,66
25-30°	26,0	12	0,84	-0,10	0,94	0,32	2,99	0,84
30-35°	9,8	6	1,12	-0,06	1,18	0,43	2,77	1,12
Wetness index (índice de umidade)								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
6-8	43,6	13	0,40	-0,07	0,47	0,31	1,55	0,40
8-9	121,2	29	0,18	-0,10	0,29	0,24	1,20	0,18
9-10	82,1	20	0,20	-0,07	0,27	0,26	1,02	0,20
Stream power index (Índice de poder de fluxo)								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
1,5-500	59,0	16	0,31	-0,07	0,38	0,28	1,34	0,31
500-1000	21,6	7	0,49	-0,04	0,53	0,40	1,33	0,49
100-2000	54,1	15	0,33	-0,07	0,40	0,29	1,39	0,33
Direção de Fluxo								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
Sudeste	43,0	15	0,56	-0,10	0,66	0,29	2,29	0,56
Sul	65,5	21	0,47	-0,14	0,61	0,26	2,38	0,47
Noroeste	33,8	10	0,39	-0,05	0,44	0,34	1,31	0,39
NDVI								
Classes	Área (km ²)	Deslizamentos	W+	W-	C	s*C	STUD_CNT (C/s*C)	WEIGHT
0,7	71,2	21	0,39	-0,12	0,51	0,26	1,96	0,39
0,75	59,1	18	0,42	-0,10	0,52	0,27	1,93	0,42
0,8	6,0	4	1,21	-0,04	1,25	0,51	2,43	1,21
0,85	1,3	2	2,02	-0,02	2,05	0,72	2,85	2,02

Tabela 2 – Esquemas de combinação e resultados dos testes de análise de independência condicional e de validação dos modelos.

Modelos	Temas combinados	Deslizamentos esperados	T-n 74-n	CIR	s(T)	2.33*s(T) (99% probabilidade)	ROC (%)
1	1,2,3,4,5	93,8	19,8	0,79	5,15	11,99	75
2	2,3,4,5	87,2	13,2	0,85	6,14	7,31	71
3	3,4,5	85,4	11,4	0,87	8,36	19,47	67
4	2,3,5	79,4	5,4	0,93	6,39	14,88	71
5	2,4,5	78,4	4,4	0,94	6,37	14,84	72
6	1,2,4,5,7	90,1	16,1	0,82	3,50	8,15	74,3
7	1,2,4,5	83,3	9,3	0,89	5,37	12,51	74,5
8	2,4,5,6	91,1	17,1	0,81	5,15	11,99	72,2
9	2,4,5,8	89,7	15,7	0,83	5,77	13,44	78,2
10	2,4,5,7	84,1	10,1	0,88	4,25	9,90	71,6
11	4,5	76,9	2,9	0,96	8,41	19,59	68,5
12	1,2,3,4,5,6,7,8,9	163,5	89,5	0,45	2,09	4,86	97,2

1 = geologia, 2 = orientação vertente, 3 = curvatura lateral, 4 = curvatura longitudinal, 5 = declividade, 6 = topographic wetness index (índice de umidade), 7 = stream power index (índice de poder de fluxo), 8 = Direction flow (direção de fluxo), 9 = NDVI

De acordo com os testes de condição de independência dos dados, o melhor modelo (11) foi aquele baseado nos mapas evidenciais da curvatura longitudinal e declividade. Contudo, esse modelo não foi escolhido para compor o mapa de suscetibilidade, uma vez que apresentou valores $< 70\%$ na exatidão. A escolha do modelo final ocorreu considerando-se os valores de independência condicional e a exatidão (ROC). Nesse sentido, o modelo 7 foi o que apresentou uma melhor combinação (Figura 3). As áreas mapeadas com uma probabilidade *à posteriori* acima de 0,0009 (valor da probabilidade *à priori*), consideradas como as mais potencialmente favoráveis a ocorrência de deslizamentos, correspondem a aproximadamente $< 5\%$ da área de estudo.

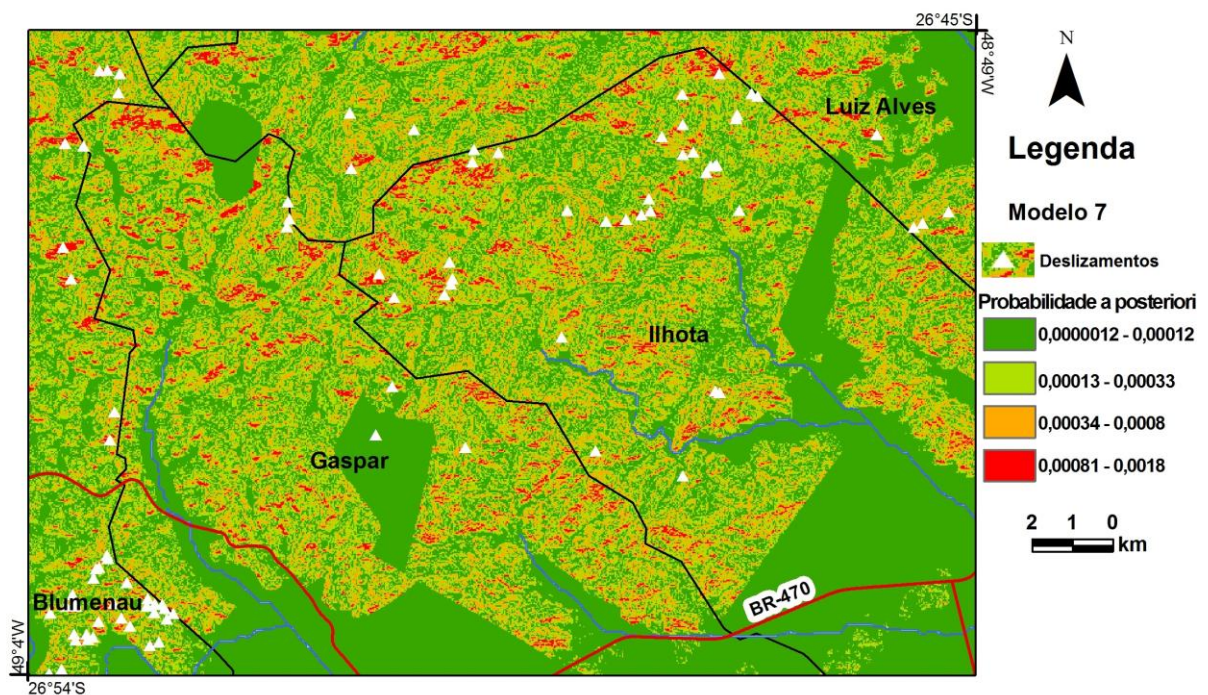


Figura 3- Mapas de suscetibilidade a deslizamentos (modelo 7), expresso na distribuição final da probabilidade *à posteriori*.

5. Conclusões

A partir da elaboração dos mapas de suscetibilidade, que mostram a probabilidade *à posteriori* da ocorrência de escorregamentos, observou-se que as áreas com maior suscetibilidade ocorrem em locais onde há registros de escorregamentos pré-existent. Isto foi corroborado pelos altos valores de ROC ($> 67\%$). Portanto, os mapas finais de suscetibilidade honram satisfatoriamente os pontos de treinamento (deslizamentos), atestando os bons resultados da classificação.

Trata-se de um modelo objetivo, que parte das próprias ocorrências (*data-driven*) para gerar resultados e estimar as probabilidades. Por se tratar de um modelo baseado nos dados, pode ser extremamente melhorado com observações de campo e com a aquisição de novos dados (evidências).

Apesar das vantagens e do grande potencial de aplicação, a modelagem baseada no método bayesiano também possui limitações (dificuldades). Uma delas diz respeito à exigência da independência condicional entre os dados, o que nem sempre é possível obter-se, a exemplo do modelo 12 que possui 97,2% de exatidão, mas fere a condição de independência dos dados, fornecendo valores de 0,45 no teste CIR.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPESAM, pela bolsa de doutoramento (Edital 020/2010) do primeiro autor. Agradecem ainda ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de doutoramento do quarto autor.

Referências

Agterberg, F.P.; Bonham-carter, G.F.; Wright, D.F. **Statistical Pattern Integration for Mineral Exploration: In Gaal, G. & Merriam, D.F. (eds.). Computer Applications in Resource Estimation: Prediction and Assessment for Metals and Petroleum.** Pergamon Press, Toronto, p.1-21, 1990.

Agterberg, F. P.; Cheng, Q. **Conditional Independence Test for Weights-of-Evidence Modelling.** *Natural Resources Research*, v. 11, n. 4, p 249 – 255, 2002.

Aleotti, P.; Chowdhury, R. **Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives.** *B Eng Geol Environ*, p. 21–44, 1999.

Bonham-carter, G.F.; Agterberg, F.P.; Wright, D.F. **Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential.** In: Agterberg, F. P.; Bonham-Carter, G. F. (Eds.). *Statistical Applications in the Earth Sciences.* Ottawa: Geological Survey of Canada, p. 171-183, 1989.

Bonham-Carter, G.F. **Geographic Information Systems for Geoscientists – Modeling with GIS.** Pergamon, 398p, 1994.

IBGE.Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Geomorfologia.** Rio de Janeiro. Folha Joinville – SG.22-Z-B. Escala: 1:250.000, 2004.

Lee, S.; Choi, J.; Min, K. **Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model.** *Environ Geo*, p. 120–131, 2002.

Moore I.D.; Grayson R.B.; Ladson A.R. **Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications.** *Hydrol Process*, p.3–30, 1991.

Neuhäuser, B.; Terhorst, B. **Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany).** *Geomorphology*, Volume 86, issue 1-2, p. 12-24, 2007.

Oh, H.; Lee, S. **Landslide susceptibility mapping on Panaon Island, Philippines using a geographic information system.** *Environ Earth Sci*, p. 935–951, 2010.

Perrotta, M.M.; Salvador, E.D.; Lopes, R.C.; D'Agostino, L.Z.; Wildner, W.; Ramgrab, G. E.; Peruffo, N.;Freitas, M.A.; Gomes, S.D.; Chierigati, L. A.; Silva, L.C.; Sachs, L.L.B.; Silva, V.A.; Batista, I.H.;Marcondes, P.E.P. **Folha Curitiba SG-22.** In: Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J.H.; Santos, J.O.S.;Abram, M.B.; Leão Neto, R.; Matos, G.M.M., Vidotti, R.M., Ramos, M.A.B., Jesus, J.D.A. de. (eds.).*Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo.* CPRM, Brasília. CD-ROM, 2004.

Sawatzky, D.L.; Raines, G.L.; Bonham-Carter, G.F; Looney, C.G. **Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks,** 2012. http://www.ige.unicamp.br/sdm/default_e.htm. Acessado em 31 jan 2012.

Soares, P. C.; Soares, A. P.; Fiori, A. P. **Raciocínio probabilístico aplicado à suscetibilidade de escorregamentos: um estudo de caso em Campo Largo, Paraná, Brasil.** *Boletim Paranaense de Geociências.* p.59-76. 2002.

Souza Filho, C.R. **Arc-SDM: Spatial Data Modeller for ArcGIS and Spatial Analyst,** 2005. (www.ige.unicamp.br/sdm)