

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE FLUXO DE DETRITOS NA REGIÃO RURAL DO MUNICÍPIO DE ALTO FELIZ/RS COM A UTILIZAÇÃO DO KANAKO-2D

Rossano Dalla Lana Michel¹ & Masato Kobiyama²

ABSTRACT – Mountainous regions need to be investigated in terms of the debris flow occurrences. Computational modeling is one of useful tools for this investigation. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the debris flow occurrence in a rural site inside the municipality of Alto Feliz, Rio Grande do Sul state, by using the Kanako-2D model. The simulation was carried out with three scenarios where the initial debris volumes were different. The debris flow map was elaborated for each scenario. The results (maps) show that in all the scenarios the debris flow will pass over an existing house. Independent on the debris volumes, the erosion area and the deposition area are very similar among the scenarios. Along the stream channel, the deposition occurred strongly just before the abrupt and reducing change of slopes. A possible formation of natural dam is observed at the channel junction. Furthermore, it can be said that the largest erosion or the largest deposition occurs at the talweg position along the transversal section.

Palavras-Chave – Fluxo de detritos, Kanako-2D, mapeamento.

1 - INTRODUÇÃO

O crescente aumento de desastres naturais associados a fluxos de detritos traz o aumento da necessidade de medidas mitigadoras dos danos que estes desastres podem causar. O mapeamento por meio de modelagem computacional é uma das medidas importantes.

O fluxo de detritos ocorre nas regiões montanhosas e repentinamente (Kobiyama *et al.*, 2018). Não é de fácil observação a ocorrência desse fenômeno devido ao fato de o local da ocorrência está geralmente longe da sociedade. A partir de Okuda *et al.* (1977), a observação e o entendimento do fenômeno vêm avançando significativamente. Mesmo assim, a pesquisa científica em campo, e também com modelos físicos reduzidos é de dura tarefa. Neste sentido, o estudo com modelagem computacional pode ser útil como estudo preliminar.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi investigar a possível ocorrência de fluxo de detritos em uma área rural no município de Alto Feliz/RS com o modelo Kanako-2D desenvolvido por Nakatani *et al.* (2008). Ocorreu no município de Alto Feliz, juntamente com o município vizinho de São Vendelino um fluxo de detritos no mês de dezembro de 2000, que causou a morte de 4 pessoas (Michel, 2015).

1) Curso de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre-RS, rossanodlm@gmail.com, (51) 3308-7518

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre-RS, masato.kobiyama@ufrgs.br, (51) 3308-6324

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Área de estudo

A bacia de estudo (0,712 km²) está localizada na área rural do município de Alto Feliz/RS (Figura 1). A altitude da bacia de estudo varia de 290 m até 670 m. Está inserida na bacia do arroio Jaguar que possui exutório no arroio Forromeco que por sua vez é afluente da bacia do rio Caí.

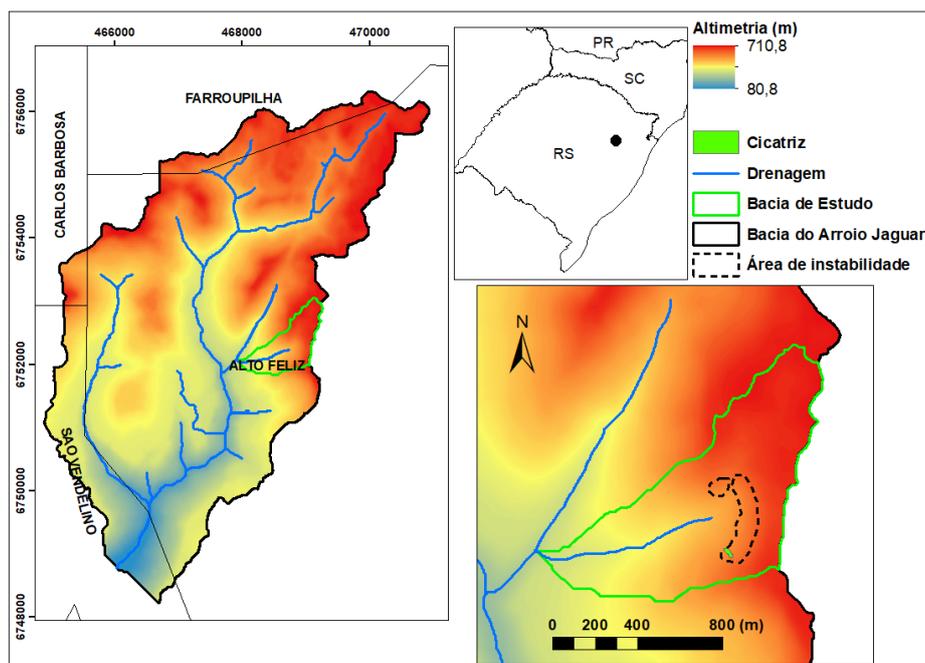


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.

A área de estudo é caracterizada por uma paisagem montanhosa, com encostas íngremes e bastante vegetação onde há áreas com vegetação nativa preservada e muitas áreas de silvicultura. Está situada na escarpa da Formação Serra, apresentando como litologia rochas dos derrames vulcânicos, que variam de basaltos e latitos da facies Gramado, aos termos da facies Caxias, compostos por riódacitos e quartzo latitos (Viero e Silva, 2010). A bacia possui neossolo nas encostas; e nitossolo nas regiões próximas à rede de drenagem (Flores *et al.*, 2007).

A região possui histórico de ocorrência de desastres naturais. Em 2000 a bacia do arroio Jaguar foi atingida por um evento extremo de chuva, que desencadeou diversos escorregamentos que ao convergirem para o canal, foram propagados como fluxos de detritos.

2.2 - Kanako 2D

O Kanako 2D é um modelo computacional fisicamente embasado, que na versão utilizada (i.e., KANAKO-2D v2.0.0) apresenta uma interface gráfica. As equações básicas da componente bidimensional do Kanako 2D estão apresentadas a seguir:

Equação da continuidade para o volume total:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = i \quad (1)$$

Equação da continuidade para determinar o fluxo de sedimentos na k -ésima posição da partícula i :

$$\frac{\partial C_k h}{\partial t} + \frac{\partial C_k u h}{\partial x} + \frac{\partial C_k v h}{\partial y} = i_k C_* \quad (2)$$

Equação do momento nos eixos x e y :

$$\frac{\partial(u, v)}{\partial t} + u \frac{\partial(u, v)}{\partial x} + v \frac{\partial(u, v)}{\partial y} = g \operatorname{sen} \theta_{(wx, wy)} - \frac{\tau_{(x, y)}}{\rho h} \quad (3)$$

Equação para determinação da variação na elevação da superfície do leito:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i = 0 \quad (4)$$

onde h é a espessura do fluxo; u e v são as velocidades nas direções x e y , respectivamente; C_k é a k -ésima concentração de sedimento por volume no fluxo de detritos; z é a altitude do leito; t é o tempo; i é a velocidade de erosão/deposição; i_k é a k -ésima velocidade de erosão/deposição; g é a aceleração gravitacional; ρ é a massa específica do fluido intersticial; θ_{wx} e θ_{wy} são os gradientes de fluxo superficial (direção x e y respectivamente); C_* é a concentração de sedimento por volume de camada móvel do leito; τ_x e τ_y são as tensões de cisalhamento no leito nas direções x e y , respectivamente.

2.3 - Dados utilizados

Uma das principais bases para a propagação do fluxo no modelo são os dados topográficos, que foram extraídos de um modelo digital de terreno (MDT) com resolução espacial de 2,5 x 2,5 m, obtido junto a CPRM.

As simulações foram divididas em três diferentes cenários. Na bacia de estudo há uma cicatriz de escorregamento mapeada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A área da cicatriz registrada foi utilizada para configuração do cenário 1. O cenário 2 possui uma área média entre os cenários 1 e 3, para efeito de comparação. No cenário 3, considerou-se que todas as áreas determinadas como instável por Michel (2015) desmoronam no mesmo momento. Assim, pode-se dizer que o cenário 3 seria o maior evento possível na bacia. Segundo Michel (2015) que realizou o levantamento em campo, a profundidade média do solo nas encostas da região é de 2 m que foi adotado para todos os cenários. A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros nos três cenários.

O início da propagação do fluxo se dá por um hidrograma de entrada no canal. Esse hidrograma foi construído com base na teoria do hidrograma triangular de Whipple (1991), o qual apresenta o tempo de ascensão de 1/3 do valor do tempo total. E a vazão de pico do hidrograma foi calculada pela fórmula proposta por Rickenmann (1999).

Os dados apresentados na Tabela 1 são os dados padronizados do modelo. A modificação que foi feita entre cenário foi apenas o volume de sedimentos propagados, que por sua vez estão representados pela vazão de pico do hidrograma de sedimentos.

Tabela 1 Parâmetros de entrada do modelo KANAKO-2D em cada cenário.

| Parâmetro | Unidade | Valores | | |
|---|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 |
| Massa específica do leito móvel | kg/m ³ | 2650 | 2650 | 2650 |
| Massa específica da fase fluída | kg/m ³ | 1000 | 1000 | 1000 |
| Concentração da camada móvel | m ³ /m ³ | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| Coefficiente de rugosidade de Manning | s/m ^{1/3} | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Coefficiente da taxa de erosão | - | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 |
| Coefficiente da taxa de deposição | - | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Diâmetro médio das partículas | m | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| Ângulo de atrito interno | ° | 37 | 37 | 37 |
| Profundidade Mínima do fluxo | m | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Profundidade mínima na frente do fluxo | m | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Concentração de sedimentos (hidrograma) | m ³ /m ³ | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| Volume de detritos | m ³ | 1860,01 | 44.062,05 | 88.124,1 |
| Vazão de pico (hidrograma) | m ³ /s | 52,9 | 738,7 | 1.316,02 |
| Tempo da vazão de pico (hidrograma) | s | 23,3 | 39,8 | 44,7 |

2.4 - Aplicação do modelo

O Kanako-2D foi inicialmente desenvolvido para avaliar a influência de barragens na propagação de fluxos de detritos, no entanto, tem sido crescentemente utilizado para mapeamento de áreas suscetíveis a estes fluxos.

É um modelo computacional fisicamente embasado que permite a simulação de um fluxo de detritos a partir de sua entrada em um canal até a planície aluvial. O modelo simula o fluxo no canal com equações unidimensionais (1D) e a propagação e deposição com equações bidimensionais (2D). As equações utilizadas pelo modelo são em suma, equações de continuidade, de momento e de deformação no leito.

Os resultados das simulações são: profundidade do fluxo, concentração, velocidade, altitude da superfície e profundidade de sedimentação, em cada intervalo de tempo configurado. No presente trabalho foi avaliado somente a profundidade de sedimentação após transcorrido todo o tempo da simulação.

Uma limitação do modelo é o limite no tamanho da matriz que pode ser utilizada como modelo de elevação, ficando restrita a 500 x 500 píxeis. Aqui nota-se que, para realização das simulações, o intervalo de tempo entre cálculos foi de 0,01 s e a duração da simulação foi de uma hora, a fim de assegurar que ao fim da simulação já não haveria mais modificações no leito da área modelada.

Outros parâmetros influenciadores no desempenho do modelo podem ser configurados, como por exemplo, a geometria do canal de propagação em uma dimensão, porém, como não há

informações disponíveis sobre a geometria deste canal, foi minimizado a área de propagação em uma dimensão e aproveitada ao máximo a área em duas dimensões.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados dos três cenários simulados, o que permite a comparação entre a propagação do fluxo. Quanto mais avermelhada é a cor do resultado, maior é a espessura da camada depositada, e quanto mais azulada, maior é a erosão, em todos os cenários. Devido a limitação espacial do modelo, os fluxos se propagaram de modo a ultrapassar a área máxima de simulação. Entretanto, isso não causou a dificuldade de análise dos fenômenos.

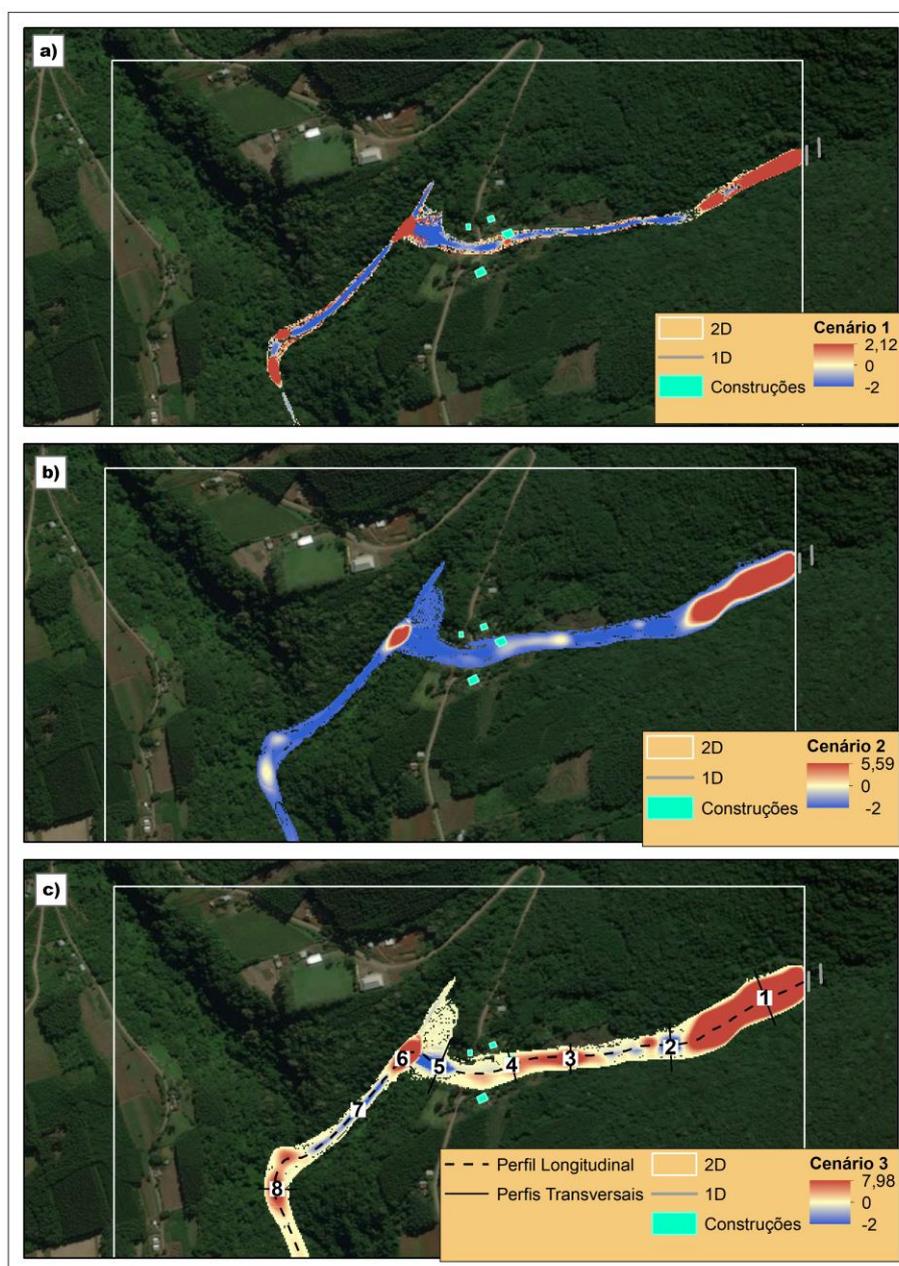


Figura 2 Resultados das simulações: a) Cenário 1 com o volume de 1.860 m³ propagados; b) Cenário 2 com o volume de 44.062,05 m³ propagados; e c) Cenário 3 com o volume de 88.124,1 m³ propagados.

O cenário 1 (Figura 2a) representa a situação de menor volume propagado, o que é evidenciado pela menor área atingida pelo fluxo e também pela menor diferença entre erosão máxima e deposição máxima dentre os três cenários. O cenário 3 (Figura 2c) apresenta um volume propagado expressivamente maior que em 1, o que causou uma diferença entre erosão máxima e deposição máxima de aproximadamente 10 m. Todos os cenários indicam que uma casa existente na região seria atingida por um fluxo de detritos, independente do volume propagado. A maior profundidade de erosão foi de 2 m devido ao fato de ter sido essa a profundidade máxima de solo configurada no modelo. Na Figura 2c estão representados os locais onde foram feitas as seções transversais bem como a posição da seção longitudinal.

A Figura 3 apresenta as seções longitudinais ao longo do talvegue antes e depois a ocorrência do cenário 3. A porção mais a montante sofreu a maior modificação no leito do rio, tendo uma grande deposição de até 7,98 m. Essa elevada deposição é devido ao fato da entrada de detritos no canal na arte superior do talvegue e também devido a alteração abrupta de declividade do talvegue que está presente na altitude aproximada de 400 metros.

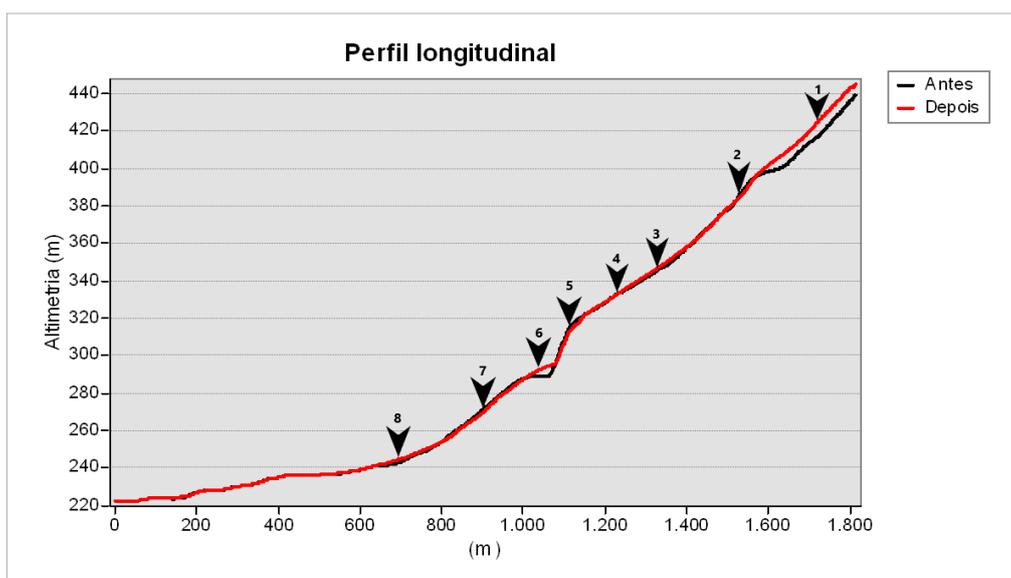


Figura 3 Perfil longitudinal ao fluxo de detritos. Comparativo entre antes e depois do cenário 3.

Também estão indicados na Figura 3 os locais das seções transversais apresentadas na Figura 4. Verifica-se ao longo do perfil que há levemente uma regular ocorrência de erosão e deposição de detritos, que se apresentam em concordância com as variações mais abruptas ou suaves de altimetria, respectivamente. As porções do fluxo com maior deposição estão nos intervalos com menor declividade ao longo do canal. Outros pontos de acúmulo de material são nas seções 6 e 8. Estas duas seções estão localizadas em uma região bem encaixada do rio e há acúmulo de material, mesmo com a propagação de um volume baixo no fluxo de detritos. Justamente por isso, são locais com potencial para formação de barragens naturais.

Na Figura 4 estão representados oito perfis transversais comparativos entre o antes e depois da ocorrência no cenário 3. Os perfis estão dispostos ao longo do rio, perpendicular ao talvegue. Nota-se que o perfil é visto no sentido para montante. Nos perfis transversais 1,3,4,6 e 8 (Figura 4) está representado deposição de material, e nos perfis 2, 5 e 7, houve erosão. No perfil transversal 4 a seta indica a localização de uma residência próxima ao canal. Há alta possibilidade na qual essa residência irá sofrer impacto de fluxo de detritos no futuro.

A deposição forma um padrão convencional, com maiores taxas de deposição a montante, e taxas menores quanto mais a jusante, com a superfície da deposição aproximadamente paralela à linha horizontal. As geometrias formadas pela erosão apresentam o centro do canal profundidades maiores do que nas laterais, construindo a forma da letra “V”.

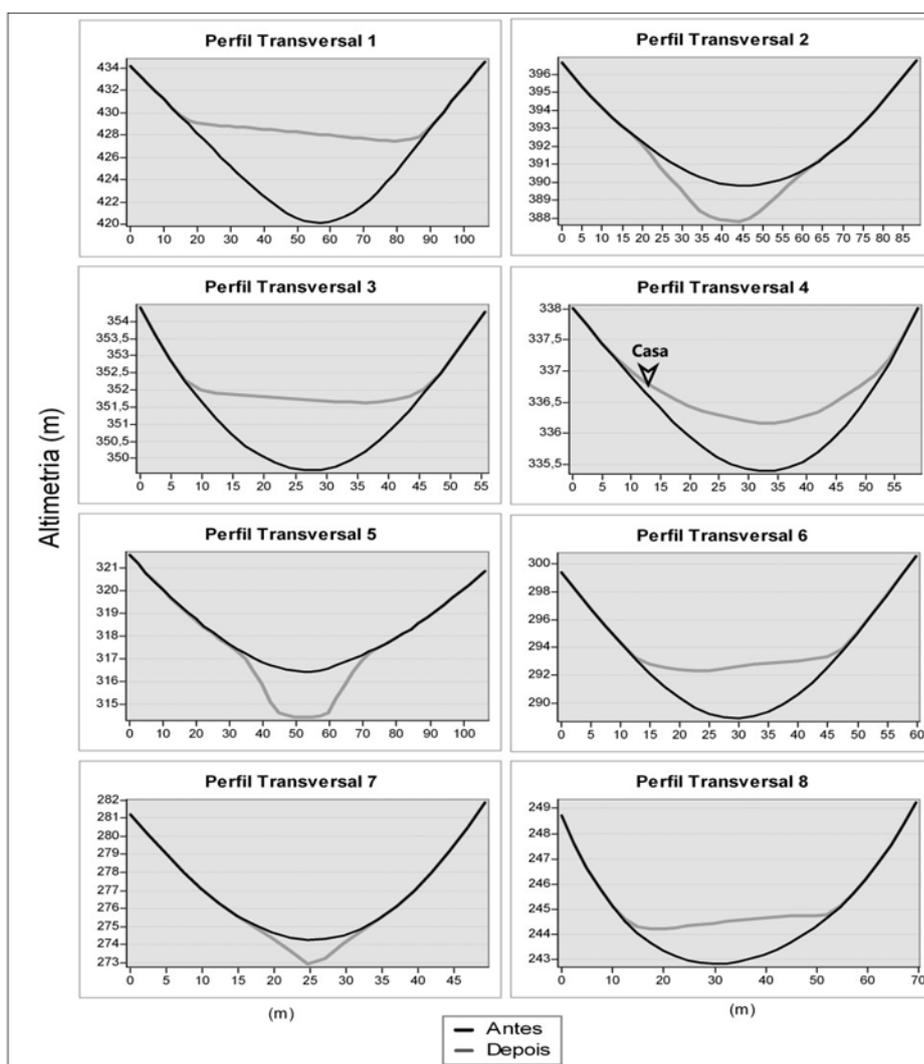


Figura 4 Perfis transversais à direção de propagação do fluxo entre antes e depois da ocorrência.

4 - CONCLUSÕES

A modelagem computacional de fluxo de detritos é uma ferramenta importante para elaborar mapas de perigo e risco a esse fenômeno e também para compreender o mecanismo de ocorrência

do mesmo. Por isso, o presente trabalho aplicou o modelo Kanako-2D à uma pequena bacia, cuja maioria da área é coberta com floresta e caracterizada com o ambiente montanhoso no município de Alto Feliz/RS.

Alterando o volume de detritos e por consequência o hidrograma (vazão no pico e tempo do pico), realizou-se três cenários. Independente dos cenários, mesmo a propagação do menor volume simulado em um fluxo de detritos, os mapas gerados com todos os cenários apresentam que o fluxo de detritos atingiria uma casa rural já construída. Os locais da erosão e da deposição no trecho do fluxo de detritos são similares entre os cenários, sendo as magnitudes (profundidades) da erosão e da deposição diferentes entre os cenários. Em geral, em cada seção transversal, o ponto mais acentuado de erosão ou deposição é quase sempre o local do talvegue.

Apesar de o modelo não ter sido calibrado, uma ampla variação do volume de entrada no modelo possibilitou o alcance do fluxo até parte das construções existentes no local, indicando assim que estas podem estar em situação de risco.

5 - REFERÊNCIAS

FLORES, C.A.; PÖTTER, R.O.; FASOLO, P.J.; HASENACK H.; WEBER, E. (2007). *“Levantamento semidetalhado de solos: Região da Serra Gaúcha - Rio Grande do Sul.”* Porto Alegre: UFRGS/Embrapa Clima Temperado.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; FAN, F.M.; CORSEUIL, C.W.; MICHEL, G.P.; DULAC, V.F. (2018). *“Abordagem integrada para gerenciamento de desastres em região montanhosa com ênfase no fluxo de detritos.”* *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, (no prelo)

MICHEL, G.P. (2015). *“Estimativa da profundidade do solo e seu efeito na modelagem de escorregamentos.”* 164 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

NAKATANI, K.; WADA, T.; SATOFUKA, Y.; MIZUYAMA, T. (2008). *“Development of “Kanako 2D (Ver.2.00),” a user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface.”* *International Journal of Erosion Control Engineering*, v.1, n.2, p.62-72.

OKUDA, S.; SUWA, H.; OKUNISHI, K.; NAKANO, K.; YOKOYAMA, K. (1977). *“Synthetic observation on debris flow. Part 3. Observation at valley Kamikamihorizawa of Mt. Yakedake in 1976.”* *Annuals DPRI*, v.20B-1, p.237-263.

RICKENMANN, D. (1999). *“Empirical Relationships for Debris Flows.”* *Natural Hazards*, v.19, n.1, p.47-77.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. (org.) (2010). *“Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul.”* Porto Alegre: CPRM.

WHIPPLE, K. X. Predicting debris-flow runout and deposition on fans: the importance of the flow hydrograph. IAHS Publication, v.209, p. 337-345, 1992.