

PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA SIMULAÇÃO DE FLUXOS DE DETRITOS

Leonardo Rodolfo Paul¹ ; Gean Paulo Michel² & Bruno Henrique Abatti³

Palavras-Chave – Fluxo de detritos, Modelagem matemática, Direcionamento de fluxo.

INTRODUÇÃO

Os fluxos de detritos são fenômenos naturais que atuam na evolução da paisagem, e que, por se moverem em altas velocidades, deslocarem grandes volumes de material e possuírem longo alcance, têm grande capacidade de destruição (TAKAHASHI, 2007). Quando atingem uma comunidade podem provocar um desastre.

No Brasil, Kobiyama e Michel (2015) apontam um aumento na ocorrência de fluxo de detritos que causam vítimas fatais a partir da década de 90. Dessa maneira, é necessária a tomada de ações com caráter preventivo, a fim de gerir os riscos e evitar essas adversidades. A gestão de risco é realizada por meio de medidas estruturais e não-estruturais (BAAS et al., 2008). As medidas não-estruturais são compostas por ações como o mapeamento de perigo, que consiste na identificação da propensão de uma área à ocorrência de um determinado fenômeno, permitindo criar políticas públicas para controle da expansão urbana (KOBİYAMA et al., 2006).

Nesse contexto, um dos métodos que permite o mapeamento do perigo é a aplicação de modelos computacionais que procuram representar o fenômeno. Chiang et al. (2012) propuseram um modelo para avaliação de movimentos de massa em que o módulo que trata sobre fluxo de detritos requer poucas informações para ser executado, sendo essencial para áreas com escassez de dados, como em diversas regiões do Brasil. Basicamente, o modelo consiste na aplicação de equações simples de conservação de massa e de continuidade, baseadas em uma abordagem reológica de fluido Newtoniano, acoplado a um algoritmo de determinação de fluxo com base na topografia e um critério de parada para indicar cessação do movimento.

A abordagem se mostrou promissora, fornecendo informações quanto a área afetada, profundidade de deposição e velocidades atingidas. Entretanto Gregoretti et al. (2016) ressaltaram que diversos aspectos ainda precisam ser refinados, principalmente o método de determinação de direção do escoamento. Assim, esse trabalho propõe um modelo que requer poucas informações para ser aplicado, inspirado no trabalho de Chiang et al. (2012) e avalia a influência que os algoritmos de direcionamento podem ter nas simulações de fluxo de detritos.

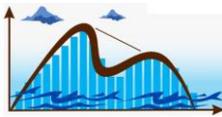
METODOLOGIA

Para as simulações, foi utilizada uma abordagem de fluido newtoniano de uma fase, ou seja, uma mistura homogênea sem distinção entre o comportamento da água e dos sedimentos. O modelo utiliza como base um modelo digital de terreno (MDT) para as simulações, interpretando cada *pixel* como um canal retangular. Para a estimativa do escoamento do fluxo de detritos foram utilizadas soluções de escoamento propostas por Hunt (1994), na qual a velocidade média (U) é dada pela seguinte equação:

1) IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, leonardorpaul@gmail.com, (47) 98881 6320

2) IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, gean.michel@ufrgs.br, (51) 3308 6414

3) IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, bruno.abatti@gmail.com, (47) 99601 3143



$$U = \frac{q}{h} = \frac{gh^2}{3\nu} \sin \theta \quad (1)$$

onde q é o fluxo unitário [m^2/s], h é a profundidade do escoamento [m], g é aceleração da gravidade, ν é a viscosidade cinemática do fluido [m^2/s] e θ é a inclinação do canal. Para avaliar a mudança transiente da profundidade do escoamento do fluxo de detritos, a seguinte equação de conservação de massa é utilizada, que exprime um balanço de entradas e saídas em um volume de controle aberto interligado por outras oito unidades, que são os pixels do entorno:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla q = 0 \quad (2)$$

na qual t é o tempo [s]. Para determinar a distribuição dos fluxos entre as células, é utilizado um algoritmo de direcionamento, indicando em cada *pixel* os possíveis caminhos para o fluxo. Dessa forma, a altura em um determinado tempo pode ser calculada por:

$$h(t) = h(t-1) + \frac{\Delta t}{b} \left(\sum_{i=1}^8 q_{in} - \sum_{i=1}^8 q_{out} \right) \quad (3)$$

onde q_{in} e q_{out} correspondem aos fluxos de entrada e saída respectivamente e b é a dimensão do *pixel*. Esse cálculo ocorre até atingir o critério de parada. Como critério para indicar o encerramento das simulações, foi utilizada a máxima diferença das alturas dos tempos t e $t-1$, variando de 0,1 m – 0,001 m. O passo de tempo utilizado foi de 1 s. As viscosidades cinemáticas utilizadas variaram de 0,00001 m^2/s a 1 m^2/s , baseadas na amplitude de parâmetros reológicos medidos ou calculados a partir de fluxos de detritos observados (PHILLIPS; DAVIES, 1991).

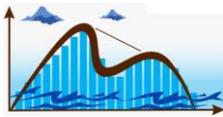
Para avaliar a influência do método de direcionamento de fluxo, foram usados três algoritmos: D8 (O'CALLAGHAN; MARK, 1984) – apenas uma direção e distribui para uma célula; D-inf (TARBOTON, 1997) – uma direção entre infinitas possibilidades, distribui para até duas células; e MFD (FREEMAN, 1991) – múltiplas direções, distribui para até oito células. O MDT utilizado tem resolução de 1 m, reamostrado para 2,5; 5 e 10 m pelo método bilinear para avaliar a influência da resolução do MDT nas simulações. O MDT foi elaborado pela empresa NTT DATA Corporation com projeção original WGS 84.

O modelo foi aplicado em um fluxo de detritos ocorrido na bacia do rio Mascarada, inserida nos municípios de Rolante, Riozinho e São Francisco de Paula (RS), deflagrado em um evento chuvoso ocorrido em 5 janeiro de 2017. A cicatriz foi delimitada com auxílio de ortofotos de acesso livre disponíveis no Google Earth, para avaliar a correspondência com as manchas simuladas. A simulação parte de uma área de iniciação determinada pelo usuário, a qual também foi baseada nas ortofotos. Como profundidade inicial do escoamento, foi utilizado o valor de 1 m.

Para avaliar o desempenho, foi utilizado o escore de Heidke (HEIDKE, 1926) (H_s), que leva em conta a correspondência da mancha simulada com observada, mensurando a fração de classificações corretas enquanto elimina as classificações corretas por aleatoriedade. O escore considera tanto os acertos, quanto os erros de superestimativa. Quanto mais próximo de 1 for o escore, melhor será a simulação.

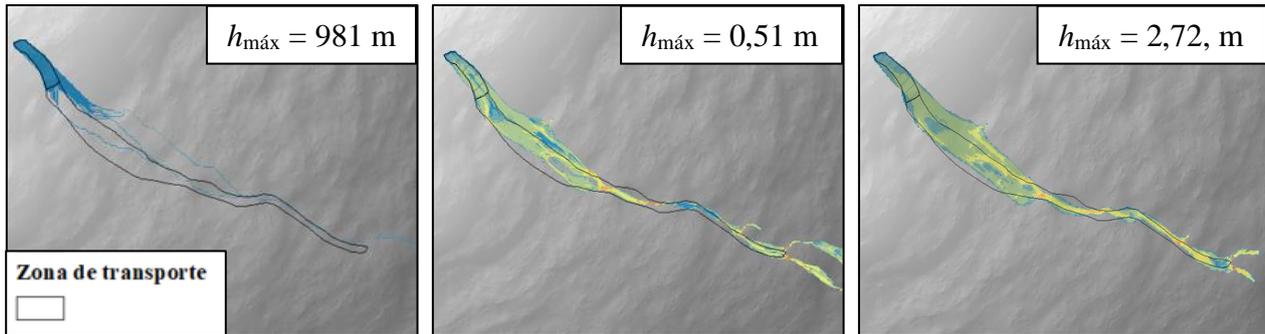
RESULTADOS

Inicialmente, foram feitas as simulações para o MDT com resolução de 1 m. A Figura 1 apresenta a mancha simulada com maior desempenho (melhor escore de Heidke) para cada um dos métodos de direcionamento de fluxo, com suas respectivas alturas máximas ($h_{máx}$) ao final da simulação. A altura máxima dada pela simulação do D8 foi de 981 m, concentrada no *pixel* localizada perto das bordas do MDT. Esse valor não é realista e provém da concentração do fluxo em poucas linhas de fluxo – praticamente todo o volume do fluxo de detritos está em um único *pixel*. Em



compensação, o D-inf e o MFD apresentaram altura máximas mais coerentes, de 0,51 e 2,72 m respectivamente.

Figura 1 – Manchas simuladas com (A) D8, (B) D-inf e (C) MFD*



*Cores frias indicam menor altura final do escoamento, cores quentes, maior altura.

Além disso, o algoritmo D8 visivelmente não conseguiu representar o fluxo de detritos de maneira adequada, com maior parte das linhas de fluxo localizadas fora da zona de transporte observada. Em contrapartida, as manchas geradas pelo D-inf passam a demonstrar um formato mais coerente à mancha observada. Entretanto, o algoritmo apresenta diversos espaços vazios, provenientes da capacidade distribuir o fluxo somente para duas células. Em compensação, o MFD permite que o fluxo prossiga para qualquer célula que tenha uma altitude menor, permitindo o preenchimento desses espaços vazios. Essa capacidade permitiu que fossem atingidos melhores desempenhos pelo MFD para essa resolução.

Então, os algoritmos foram testados para outras resoluções do MDT. A Tabela 1 apresenta os maiores escores obtidos para cada uma das resoluções, para os diferentes métodos, com sua respectiva viscosidade cinemática.

Tabela 1 – Escores de Heidke (H_s) para diferentes métodos de direcionamento de acordo com a resolução do MDT

Resolução (m x m)	D8		D-inf		MFD	
	H_s	v (m ² /s)	H_s	v (m ² /s)	H_s	v (m ² /s)
1,0	0,13	-*	0,45	1,0	0,63	0,5
2,5	0,23	0,0005	0,63	0,5	0,51	0,05
5,0	0,31	0,8	0,42	0,5	0,37	0,05
10,0	0,32	0,8	0,42	0,05	0,17	0,05

* todas as simulações, independente da viscosidade utilizada, resultaram no mesmo escore

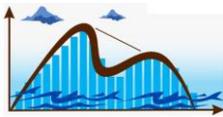
Os algoritmos de direcionamento, por possuírem funcionamentos distintos, apresentaram comportamentos diferenciados conforme a alteração da resolução do MDT. Para o D8, menores resoluções contribuíram para o aumento do acerto do modelo, mas não refletem no aumento na capacidade do algoritmo de representar melhor o fluxo, uma vez que o maior acerto é reflexo do aumento da área ocupada pelo pixel dentro da cicatriz.

Para o D-inf, o mesmo ocorreu ao comparar a resolução de 1 m e 2,5 m, mas percebe-se que, para resoluções de 5 e 10 m, a capacidade do algoritmo em representar o fluxo foi prejudicada.

No caso do MFD, o algoritmo apresentou boa correspondência para as resoluções de 1 m e 2,5 m, tendo o melhor desempenho para a resolução de 1 m, decaindo para as resoluções mais grosseiras. Essa diminuição decorre do espalhamento provocado pelo funcionamento do algoritmo, fazendo com que o volume seja distribuído em excesso, causando pequenas variações de altura entre os passos de tempo, encerrando a simulação precocemente. Dessa forma, para resoluções com *pixels* de grandes dimensões, o D-inf pode ser um algoritmo mais adequado para descrever os fluxos de detritos, uma vez que limita a distribuição para até duas células.

CONCLUSÕES

Esse trabalho propôs um modelo que requer poucos dados para sua utilização, testando diferentes métodos de direcionamento de fluxo, para verificar seu comportamento e capacidade de



representar fluxos de detritos. O modelo demonstrou alto desempenho, alta aplicabilidade e, por depender de poucos parâmetros de entrada (MDT, área de iniciação do fluxo, profundidade inicial do escoamento e viscosidade cinemática), é simples de calibrar/validar.

Com os resultados apresentados, é possível notar que o algoritmo MFD conseguiu representar de maneira mais fidedigna o fluxo de detritos na resolução de 1 m. Sua capacidade de distribuir o escoamento para diversos pixels do entorno possibilitou a formação de uma mancha com aparência mais realista. Já o D-inf se mostrou um método de direcionamento ideal para resoluções acima de 1 m, por não causar tanto espalhamento quanto o MFD.

Além disso, percebe-se que a resolução dos MDTs altera significativamente a qualidade das simulações. A maior parte das simulações tiveram um desempenho decrescente, conforme a resolução diminuía, com exceção do D8. Como o D8 converge o fluxo a poucas linhas de escoamento, o seu desempenho era baixo para a resolução de 1 m. Entretanto, em resoluções mais grosseiras, essas linhas de escoamento aumentavam em dimensão e, conseqüentemente, aumentavam a área acertada.

REFERÊNCIAS

- BAAS, S. et al (2008). *Disaster risk management systems analysis: A guide book*. 1. ed. FAO-UM, Roma, 78 p.
- CHIANG, S. H. et al (2012). “Simulation of event-based landslides and debris flows at watershed level”. *Geomorphology* 138 (1), pp. 306–318.
- FREEMAN, T. G (1991). “Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid”. *Computers and Geosciences* 17 (3), pp. 413–422.
- GREGORETTI, C.; DEGETTO, M.; BOREGGIO, M (2016). “GIS-based cell model for simulating debris flow runoff on a fan”. *Journal of Hydrology* 534, pp. 326–340.
- HUNT, B (1994). “Newtonian fluid mechanics treatment of debris flow and avalanches”. *Journal of Hydraulic Engineering* 120 (12), pp. 1350–1363.
- KOBIYAMA, M. et al (2006). *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. 1ª ed. Organic Trading, Florianópolis-SC, 109 p.
- KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P (2015). “Histórico de ocorrência de fluxos de detritos e seus estudos no Brasil”, in anais do XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, ENES, 20 p.
- O’CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M (1984). “The extraction of drainage networks from digital elevation data”. *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 28 (1), pp. 323–344.
- PHILLIPS, C. J.; DAVIES, T. R. H (1991). “Determining rheological parameters of debris flow material”. *Geomorphology* 4, pp. 101-110.
- TAKAHASHI, T (2007). *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Taylor & Francis Group, Londres, 448 p.
- TARBOTON, D. G (1997). “A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models”. *Water Resources Research* 33 (2), pp. 309–319.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Grupo de Desastres Naturais (GPDEN – IPH/UFRGS) pelo apoio e colaboração. Esta pesquisa teve apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).