

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE RESERVATÓRIOS NA PROPAGAÇÃO DE FLUXOS DE DETRITOS UTILIZANDO O MODELO KANAKO 2D

Rossano Dalla Lana Michel^{1} & Masato Kobiyama² & Gean Paulo Michel³ Maurício Andrade Paixão³*

Resumo – Desastres naturais relacionados a fluxos de detritos vêm aumentando no Brasil. Este fenômeno se desenvolve, principalmente, em regiões rurais e montanhosas, onde os agricultores vivem sem muito apoio das autoridades públicas. Portanto, é necessário buscar medidas preventivas estruturais adequadas à realidade rural. Uma alternativa é a construção de reservatórios ao longo do canal que auxiliem na mitigação da propagação do fluxo de detritos. Assim sendo, o presente trabalho utilizou o modelo Kanako 2D para analisar como diferentes geometrias e posicionamentos de reservatórios artificiais podem influenciar na propagação de um fluxo de detritos. Os resultados de 7 diferentes cenários demonstraram que a localização do reservatório foi mais relevante que sua geometria, pois se colocado em um local menos favorável, é necessário um volume de reservatório muito maior para frear a ação do evento à jusante.

Palavras-Chave – Fluxo de detritos, KANAKO-2D, reservatório.

ANALYSYS OF THE INFLUENCE OF RESERVOIRS IN PROPAGATION OF A DEBRIS FLOW USING KANAKO 2D MODEL

Abstract – Natural disasters related to debris flows have been increasing in Brazil. This phenomenon occurs mainly in rural and mountainous regions where farmers live without much support from public authorities. Therefore, it is necessary to seek structural preventive measures appropriate to the rural reality. An alternative is the construction of reservoirs along the river channel that support to mitigate the debris flow propagation. Therefore, the present work used the KANAKO 2D model to analyze how different geometries and positioning of artificial reservoir can influence on the debris flow propagation. The results of 7 different scenarios showed that the reservoir location was more relevant than its geometry, because if placed at a less favorable location, a much larger reservoir volume is required to brake the downstream event.

Keywords – Debris flow, KANAKO-2D, reservoir.

¹ Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), rossanodlm@gmail.com.

² Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), masato.kobiyama@ufrgs.br.

³ Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), gean.michel@ufrgs.br.

⁴ Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), mauricio.paixao@ufrgs.br.

* Autor Correspondente.

INTRODUÇÃO

A expansão de atividades agrícolas e florestais, o ecoturismo, a urbanização, a exploração de recursos hídricos, as construções de usinas hidrelétricas, entre outros, foram aceleradas em regiões montanhosas no Brasil. Normalmente, essas atividades são executadas sem planejamento adequado. Esta é uma das razões para o aumento significativo de desastres relacionados à fluxo de detritos no Brasil.

No ano de 2000, ocorreram diversos eventos de movimentos de massa (uma combinação de escorregamentos com fluxo de detritos) na região dos municípios de Alto Feliz e São Vendelino/RS. De acordo com Paixão (2017), na bacia Böni os escorregamentos translacionais convergiram para um canal o qual propagou um fluxo de detritos que acabou causando a morte de quatro pessoa.

Assim, tanto no mundo quanto no Brasil, é preciso implementar medidas preventivas adequadas contra fluxos de detritos para cada região. Países ricos como EUA, Canadá, Japão, Itália, Suíça, e Áustria tendem a construir barragens de controle (check-dam, SABO dam, etc.) contra esses fenômenos. Entretanto, as regiões montanhosas e rurais no Brasil têm comunidades formadas por pequenos agricultores que geralmente não recebem muito apoio dos governos municipal, estadual e federal. Sob tais circunstâncias econômicas, esses agricultores não conseguem construir barragens de controle, o que exige medidas simples e de baixo custo para as comunidades situadas em regiões montanhosas e rurais brasileiras.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi investigar a eficiência de diferentes reservatórios artificiais para a redução de desastres relacionados a fluxos de detritos, utilizando o modelo Kanako-2D proposto por Nakatani et al. (2008). Como esses açudes são pequenos, simples e populares entre os agricultores, sua construção pode ser uma das soluções para a ocorrência de desastres relacionados a fluxos de detritos no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia do arroio Böni está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na divisa entre os municípios de Alto Feliz e São Vendelino. Esta bacia abrange uma área de 2,28 km², possuindo uma variação altimétrica de 325 metros, sendo a altitude mínima de 357 metros. O arroio Böni é afluente do arroio Forromeco, o qual, por sua vez, possui exutório no rio Cai, uma das principais bacias hidrográficas do estado (Figura 1)

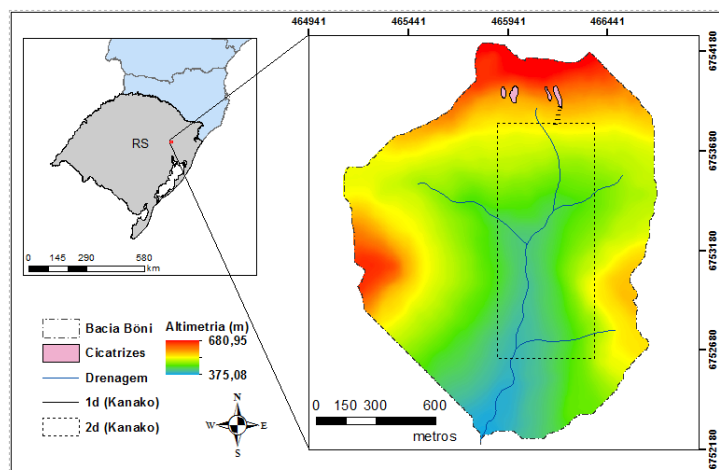


Figura 1 Área de estudo: Bacia do arroio Böni.

A área de estudo está situada na escarpa da Formação Serra Geral, o que caracteriza uma paisagem montanhosa, com vertentes declivosas. Sua litologia varia de basaltos e latitos da facies Gramado, aos riodacitos e quartzos latitos da facies Caxias na porção norte da bacia (Viero e Silva, 2010). A bacia possui duas classes de solos: (i) neossolo nas encostas; e (ii) nitossolo nas regiões próximas à rede de drenagem (Flores et al., 2007).

Kanako 2D

O Kanako 2D é um modelo computacional fisicamente embasado, desenvolvido por Nakatani et al. (2008) e que na versão utilizada (i.e., KANAKO-2D v2.0.0) conta com uma interface gráfica definida como amigável pelos próprios desenvolvedores. O modelo simula o fluxo a partir de sua entrada no canal com equações unidimensionais e a propagação e deposição na planície aluvial é simulada bidimensionalmente (Paixão, 2017). 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 :

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

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

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

Nas equações, h é a espessura do fluxo, u é a velocidade na direção x , v é a velocidade na direção y , 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 da gravidade, 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_* 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.

Dados Utilizados

A componente bidimensional do modelo Kanako 2D utiliza um modelo digital de terreno (MDT) como base para a propagação. O MDT utilizado neste trabalho foi obtido junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e possui uma resolução de 2,5 m x 2,5m.

Para iniciar a propagação do fluxo na componente unidimensional, é necessário definir um hidrograma de entrada. O volume total do hidrograma foi calculado com base nas quatro cicatrizes de escorregamentos ocorridos no ano de 2000 (Figura 1). Michel (2015), a partir de dados de campo, constatou que a profundidade média do solo nas encostas da região é de 2 metros. Logo, com base nesse valor e nas áreas dos escorregamentos, calculou-se o o volume de material que convergiu para o canal no evento do ano 2000. O volume (V) calculado foi de 20.000 m³ de material (solo).

O hidrograma de entrada na componente 1D do modelo foi construído com base na teoria do hidrograma triangular de Whipple (1992), com tempo de ascensão de 1/3 do tempo total. O tempo de ascensão calculado foi de 33 segundos. A vazão de pico do hidrograma (Q_{max}) foi calculada pela fórmula proposta por Rieckemann (1999). A vazão de pico obtida foi de 382 m³/s.

$$Q_{max} = 0,1.V^{0,833} \quad (5)$$

Os dados topográficos são a base para a propagação da componente bidimensional do modelo. Estes dados são extraídos do MDT da área de estudo.

Os parâmetros do modelo utilizados nas simulações estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de entrada do Kanako 2D

Parâmetro	Unidade	Valores
Massa específica do leito móvel	kg/m ³	2650
Massa específica da fase fluída	kg/m ³	1000
Concentração da camada móvel	m ³ /m ³	0,65
Coefficiente de rugosidade de Manning	s/m ^{1/3}	0,03
Coefficiente da taxa de erosão	-	0,0007
Coefficiente da taxa de deposição	-	0,05
Diâmetro médio das partículas	m	0,45
Ângulo de atrito interno	°	37
Profundidade Mínima do fluxo	m	0,01
Profundidade mínima na frente do fluxo	m	0,01
Concentração de sedimentos (hidrograma)	m ³ /m ³	0,50
Vazão de pico (hidrograma)	m ³ /s	382

Construção dos Reservatórios

A inserção dos reservatórios foi realizada diretamente no MDT, antes de cada simulação. Para isso construiu-se manualmente um raster de mesma resolução que o MDT, contendo as configurações desejadas de reservatório. Para inserir o reservatório no MDT, esse raster foi utilizado para uma operação matemática entre rasters utilizando um software de geoprocessamento.

Todas as simulações utilizaram os mesmos parâmetros de entrada, sendo que as únicas modificações são as posições e geometrias dos reservatórios. No total, foram realizadas as simulações de 7 diferentes situações em relação à existência, tamanho e local do reservatório.

Inicialmente realizou-se uma simulação sem que houvesse nenhum reservatório no caminho do fluxo (a). Em (b) foi simulado o comportamento do fluxo com a existência do atual reservatório que existe na região. Neste caso o volume total do reservatório foi de 6850 m³.

A simulação (c) possui um reservatório com volume de 6.300 m^3 ($35 \text{ m} \times 45 \text{ m} \times 4 \text{ m}$), e este obteve sucesso na contenção do fluxo. Na situação (d) o reservatório foi adicionado no mesmo local da situação (c), porém com uma geometria diferente resultando em volume de 6.400 m^3 ($40 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 4 \text{ m}$). Em (e), a posição utilizada foi a mesma de (c) e (d), mas com geometria retangular posicionada paralelamente ao canal resultando em um volume de 6.300 m^3 ($45 \text{ m} \times 35 \text{ m} \times 4 \text{ m}$).

No caso (f) a localização do reservatório é próxima ao início da propagação do fluxo na área 2D. Em (f) o reservatório possui 32.000 m^3 ($80 \text{ m} \times 80 \text{ m} \times 5 \text{ m}$)

Em (g) foi simulado uma combinação de dois reservatórios. O reservatório mais a montante, tem um volume de 10.000 m^3 ($50 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 4 \text{ m}$). O reservatório mais a jusante foi o mesmo utilizado na simulação (d).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações (Figura 2) demonstram a eficiência de diferentes configurações de reservatórios na propagação do fluxo de detritos.

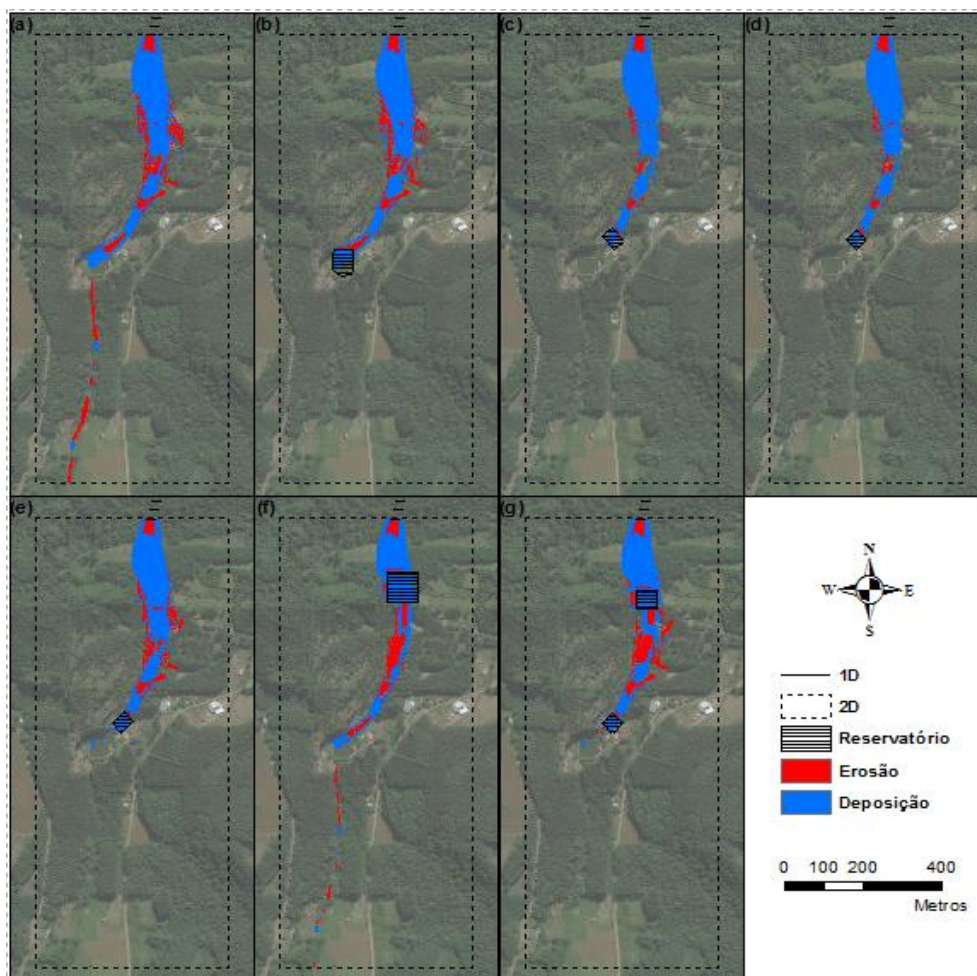


Figura 2. Resultados das simulações com Kanako 2D: (a) sem reservatório; (b) atual reservatório; (c) reservatório imaginário com volume de 6.300 m^3 ($35 \text{ m} \times 45 \text{ m} \times 4 \text{ m}$); (d) reservatório imaginário com volume de 6.400 m^3 ($40 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 4 \text{ m}$); (e) reservatório imaginário com volume de 6.300 m^3 ($45 \text{ m} \times 35 \text{ m} \times 4 \text{ m}$); (f) reservatório imaginário com volume de 32.000 m^3 ($80 \text{ m} \times 80 \text{ m} \times 5 \text{ m}$) e (g) dois reservatórios.

O caso (a), sem reservatório, demonstra a propagação do fluxo para jusante a uma longa distância. O caso (b) demonstra que o reservatório existente na região possui um bom dimensionamento, sendo eficiente na contenção da propagação do fluxo. O reservatório do caso (c) demonstrou maior eficiência na contenção do fluxo pois é o que possui o menor volume dentre os simulados. Esse reservatório foi posicionado em uma região mais encaixada do canal, o que proporciona que o fluxo se concentre, facilitando assim sua contenção. Porém, o reservatório do caso (d) não conseguiu conter o fluxo em sua totalidade.

Com os resultados de (c), (d) e (e), percebe-se que a geometria do reservatório influencia na sua eficiência em conter a propagação do fluxo, pois ambos se encontram na mesma posição, com volumes semelhantes, porém com eficiências diferentes. Para o (d) conseguir conter o mesmo fluxo, precisou ser construído com um volume de 100 m³ a mais que em (c).

No caso (f), a localização do reservatório se demonstrou a pior dentre as analisadas, pois mesmo com volumes extremamente altos de reservatórios, o fluxo não foi contido.

A simulação (g) possui dois reservatórios. Quando simulado somente o reservatório a jusante, ele se demonstrou eficiente em conter a propagação do fluxo. Já, quando simulado uma combinação de reservatórios, o fluxo se propagou para além dos reservatórios. Esse fato indica que possivelmente o primeiro reservatório funcionou como uma barragem para o fluxo, que quando extravasou essa barragem se propagou com maior energia do que quando possuía um caminho livre.

CONCLUSÕES

A localização do reservatório demonstrou-se mais relevante que sua geometria, pois se colocado em um local menos favorável, é necessário um volume de reservatório muito maior para reduzir a ação do evento à jusante.

A medida estrutural de construção de um reservatório demonstrou-se eficiente no que foi proposto: mitigar a propagação de um fluxo de detritos. Esta medida pode ser adotada como opção favorável, pois, além de servir como uma medida de prevenção de um desastre, pode também servir como um reservatório de água para agricultura ou até mesmo um reservatório para criação de peixes.

De acordo com as simulações, o reservatório que hoje existe na região de estudo conseguiria impedir a propagação de um fluxo de detritos de dimensões semelhantes às que ocorreram no ano de 2000.

Dentre as configurações de reservatórios simuladas, a que se mostrou mais eficiente foi a da simulação (c), pois foi o reservatório de menor volume.

REFERÊNCIAS

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

MICHEL, G.P. Estimativa da profundidade do solo e seu efeito na modelagem de escorregamentos. 2015. 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 “Kanakano 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.

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

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

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.