

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

O desastre do Rio Doce: estudo do escoamento da lama por modelos de transporte de massa

Camila Marques dos Reis da Silva¹

Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP

Nelson Callegari Junior²

Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação, UNESP, Rio Claro, SP

Jamil Viana Pereira³

Departamento de Matemática, UNESP, Rio Claro, SP

Muitos desastres ambientais estão associados à mineração de compostos metálicos, pois a extração mineral normalmente ocorre por processo úmido e, conseqüentemente, os rejeitos originam uma espécie de lama, que é depositada em uma barragem. Na história ocorreram muitas falhas catastróficas das barragens de rejeitos [1]. Da mesma maneira, ocorreu uma falha na cidade de Mariana (MG) em 5 de novembro de 2015 carregando uma enorme quantidade de rejeitos da mineração de ferro para o Rio Doce [2]. Neste trabalho, este foi o cenário escolhido para a aplicação de três modelos de transporte de massa. O transporte de massa, um fenômeno que pode ser modelado em equações diferenciais, ocorre em um rio transportando um contaminante, como a lama, através dos processos de advecção e difusão, respeitando a Lei da Conservação da Massa [3,4]. Os objetivos deste trabalho são: i) estimar o tempo necessário para a lama deixar o rio através de dois modelos (denominados I e II); ii) analisar a dinâmica do escoamento da lama no rio através dos modelos (II e III), envolvendo transporte de massa.

Primeiro assumimos condições para aplicação dos modelos: única entrada de lama no rio, representada pela função delta de Dirac, e vazão constante do rio. Analiticamente, encontrou-se a solução das equações de cada modelo. Utilizando os conceitos de taxa de variação e variáveis separáveis obteve-se o modelo I (modelo de transporte por advecção), apresentado pela Equação (1).

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{rt}{v}} \quad (1)$$

sendo $Q(t)$ a quantidade de lama (km^3), Q_0 a quantidade de lama inicial, v o volume do rio (km^3), t o tempo (dias) e r a vazão (km^3/dia). O modelo II, ou modelo de transporte por advecção e difusão, é uma função de duas variáveis $C_{ad}(x, t)$, solução da equação de advecção-difusão. O modelo II é mostrado pela Equação (2).

$$C_{ad}(x, t) = \frac{M}{\sqrt{4\pi Et}} e^{-\frac{(x-Ut)^2}{4Et}}. \quad (2)$$

¹camila@rc.unesp.br

²calleg@rc.unesp.br

³jamil@rc.unesp.br

sendo $C_{ad}(x, t)$ a concentração (kg/m^3), M a massa de lama normalizada pela área da seção transversal do rio (kg/m^2), E o coeficiente de dispersão longitudinal (m^2/s), U a velocidade do fluxo do rio (m/s), x a posição e t o tempo. O modelo III, modelo de transporte por difusão, é uma função de duas variáveis $C_d(x, t)$, solução da equação da difusão. O modelo III é apresentada pela Equação (3).

$$C_d(x, t) = \frac{M}{\sqrt{4\pi Et}} e^{-\frac{(x)^2}{4Et}}. \quad (3)$$

O modelo I resultou em uma estimativa do tempo que a lama permanece no rio. Porém, considera apenas o processo de advecção que ocorre no rio e não permite visualizar a distribuição da lama no trecho afetado pelo desastre. Para melhor analisar a situação do desastre, foi utilizado o modelo II, obtendo a quantidade de lama presente num tempo t , a sua distribuição ao longo do rio e incluir o processo de difusão que ocorre no rio. A solução $C_{ad}(x, t)$ fornece, se for fixado o tempo, a quantidade de lama em cada posição do rio; e se for fixada a posição (uma cidade), a distribuição da lama na posição escolhida em um determinado intervalo de tempo. No modelo II, fixando $x=674.4\text{km}$, correspondente à posição de Linhares-ES, local de encontro do Rio Doce com o oceano, análises gráficas mostram o pico da concentração de lama sobre o tempo real que a lama levou para chegar a Linhares: 16 dias, validando o modelo. O modelo III permite fazer uma análise de como a lama se comporta quando é transportada apenas pela difusão dentro do rio.

Em conclusão, estimou-se o tempo para a lama deixar o Rio Doce pelos modelos I e II. O modelo II apresenta a vantagem de fornecer a distribuição da lama ao longo do rio e prever o tempo real (16 dias) necessário para ela atingir o oceano em Linhares-ES. Mostraremos que este resultado é observado devido ao processo de advecção que depende diretamente da velocidade do fluxo do rio que foi alterada pela alta velocidade da onda da lama em um primeiro momento. Para previsões mais precisas torna-se necessário refinar os parâmetros considerados, como compartimentar o rio, contribuindo para que outro modelo mais elaborado seja desenvolvido e aplicado à situação do Rio Doce e em outras situações de transporte de poluentes em rios.

Referências

- [1] F.G. Bell. *Geological hazard: their assessment, avoidance and mitigation*. Department of Geology and Applied Geology, University of Natal, Durban, South Africa. E&FN Spon, an imprint of Routledge, London, UK, 1999.
- [2] IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana- MG*. 2015.
- [3] S.C. Chapra. *Surface water- quality modeling*. New York: McGraw-Hill, 1997.
- [4] M. C. Potter e D. C. Wiggert. *Mecânica dos Fluidos*. São Paulo: Cengage Learning, 2009.