

XXX CLH

CONGRESO LATINOAMERICANO
DE HIDRAULICA | BRASIL | 2022

ANALES

- VOLÚMEN 4 -

HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS



International Association
for Hydro-Environment
Engineering and Research

Hosted by
Spain Water and IWHR, China

Organizadores

Dr. Cristiano Poletto - UFRGS (Presidente)
Dr. José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP
Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim - UNICAMP

**ANALES DEL
XXX CONGRESO LATINOAMERICANO DE
HIDRÁULICA 2022**

**- VOLÚMEN 4 -
HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS**



Madrid – España
2023

Copyright © 2023, by IAHR Publishing.

Derechos Reservados en 2023 por **IAHR Publishing.**

Montaje: Cristiano Poletto

Organización General de la Obra: Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho;
André Luís Sotero Salustiano Martim

Maquetación: Juliane Fagotti; Cícero Manz Fagotti

Relectura General: Elissandro Voigt Beier

Portada: Juliane Fagotti

Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim
(Organizadores)

ANALES del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica – VOLÚMEN 4 –
HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS / Organizadores: Cristiano Poletto; José
Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim – MADRI, España: IAHR
Publishing, 2023.

244p.: il.;

ISBN • 978-90-832612-5-6

*ES AUTORIZADA la libre reproducción, total o parcial, por cualquier medio, sin
autorización escrita del Editor o de los Organizadores.*

ESTUDO DA DINÂMICA DE CORRENTES DE TURBIDEZ EM SISTEMAS CANAL-BACIA POR SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM DIFERENÇAS FINITAS DE SEGUNDA ORDEM

Bruno Alvarez Scapin, Edith Beatriz Camaño Schettini

Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
brunoscapin@ufrgs.br, bcamano@iph.ufrgs.br

Introdução

As correntes de densidade são fluxos que se manifestam devido à diferença de energia potencial entre misturas. As correntes de turbidez são um caso específico de corrente de densidade de baixa concentração e reologia Newtoniana, formadas pela presença de partículas em suspensão, devido à ação da turbulência do escoamento. Este processo é um agente relacionado ao transporte de sedimentos em ambientes subaquáticos, de fundos horizontais ou inclinados, sendo o responsável pela formação de estruturas deposicionais (chamadas turbiditos), cujas características diferem conforme as propriedades da corrente e as condições topográficas do seu meio de propagação (Manica, 2009; Meiburg & Kneller, 2010).

Segundo Thomas et al. (2004), todo o estudo desenvolvido durante a fase de prospecção de petróleo é capaz de fornecer informações técnicas com um investimento relativamente baixo se comparado ao custo de perfurações de um único poço. Assim, é evidente que o entendimento deste processo sedimentológico pode contribuir para a identificação e localização de reservatórios de hidrocarbonetos.

De acordo com Lombardi et al. (2018), atualmente a configuração mais estudada para a modelagem deste fenômeno é a de *lock-release* em canal. Apesar da importância do estudo de correntes sujeitas a este tipo de configuração, a investigação da dinâmica de correntes em configuração não canalizada é necessária para a melhor compreensão da formação de depósitos sedimentares. Para a modelagem de correntes de turbidez são utilizados dois tipos de abordagens: a física e a numérica.

A originalidade do presente trabalho está no uso de uma abordagem numérica de baixa ordem para o estudo do fenômeno em questão. Além disso, diferentemente ao observado em grande parte dos trabalhos presentes na bibliografia atual, as simulações serão realizadas em uma configuração de canal-bacia. As simulações foram realizadas utilizando o código SuLi (Monteiro & Schettini, 2015), em diferenças finitas de segunda ordem.

Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é o estudo da dinâmica do transporte e deposição de sedimentos de correntes de turbidez, formadas por configuração *lock-release* em canal-bacia, por meio de uma abordagem numérica, analisando a influência de distintos parâmetros físicos na propagação da corrente.

Metodologia

Para caracterizar matematicamente as grandezas de um escoamento incompressível e Newtoniano, são utilizadas a equação da Continuidade e da quantidade de movimento, dadas por:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad [1]$$

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{V} + \rho_m \mathbf{g} \quad [2]$$

onde \mathbf{V} é o vetor velocidade, ρ a massa específica do fluido, ρ_m a massa específica da mistura, p a pressão, μ a viscosidade dinâmica e \mathbf{g} o vetor aceleração gravitacional. O código SuLi resolve o sistema de equações tridimensionais, através do método de projeção, proposto por Chorin (1968), o qual consiste em, inicialmente, considerar a pressão como sendo hidrostática e calcular um campo de velocidades provisório. Posteriormente, com o uso deste campo, em conjunto com as equações da quantidade de movimento e da Continuidade, obtêm-se a equação de Poisson para o cálculo da pressão total, a qual é resolvida pelo método do gradiente conjugado. Finalmente, o gradiente da pressão é utilizado para corrigir o campo de velocidades provisório.

O transporte de sedimentos em suspensão é calculado com o campo de velocidades corrigido, resolvendo a equação de Advecção-Difusão, dada por:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + (\mathbf{V} - \mathbf{u}_s) \cdot \nabla \phi = K \nabla^2 \phi \quad [3]$$

onde ϕ é a concentração mássica, K é o coeficiente de difusividade mássica e \mathbf{u}_s é a velocidade de queda do sedimento. Na equação [3], a derivada temporal é aproximada com o método de *Adams-Bashforth* de segunda ordem. Os termos advectivos são aproximados com o método *upwind* de segunda ordem, e o difusivo com o método centrado. A velocidade de queda é calculada utilizando a Lei de Stokes modificada (Gladstone et al., 1998; Francisco et al., 2018), dada por:

$$u_s = \frac{d \cdot g (\rho_s - \rho)}{27 \mu} \quad [4]$$

onde d é o diâmetro de partícula e ρ_s é a massa específica do sedimento.

A validação foi realizada através da comparação com os resultados apresentados por Francisco et al. (2018), que utilizou o código de alta ordem *Xcompact3d*. Para isso, foram utilizados os mesmos parâmetros físicos, condições iniciais e de contorno. Um total de sete diâmetros diferentes foram simulados para número de Reynolds igual a 5000 (estabelecido com base na metade da altura do *lock*), onde três destes valores foram idênticos aos utilizados pelo autor de referência. Após a validação, foram simuladas correntes de partículas com diâmetros iguais a 22, 90, 120 e 150 μm (Tabela 1).

A configuração utilizada confina lateralmente o material particulado entre as paredes, o qual, uma vez liberado, se propaga na bacia em todas as direções (Figura 1).

Tabela 1.- Parâmetros de simulações

Caso	R5Kd22	R5K2	R5K4	R5K8	R5Kd90	R5Kd120	R5Kd150
d [μm]	22	35.8	50.6	71.6	90	120	150

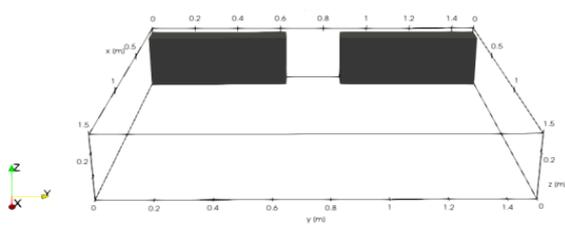


Figura 1.- Domínio de simulação.

A condição de contorno para a velocidade foi *free-slip* em todas as paredes, e *no-slip* para o fundo. Para a concentração, se utilizou fluxo nulo em todas as paredes com exceção do fundo, onde se estabeleceu a condição de saída livre para quantificar a deposição.

Resultados

Uma das grandezas calculadas neste trabalho é a taxa de sedimentação, que dá uma medida do mecanismo de deposição.

A Figura 2 apresenta a comparação dos resultados de taxa de sedimentação obtidos com os de Francisco et al. (2018). Também são apresentados os resultados para as outras granulometrias consideradas. Durante os primeiros instantes de simulação, os resultados utilizados para validação se ajustaram satisfatoriamente com os resultados da referência. Os valores foram levemente subestimados nos momentos em que ocorrem os picos de taxa de sedimentação, e superestimados para os tempos posteriores. As menores granulometrias apresentaram uma taxa de sedimentação mais constante ao longo do tempo, com menores valores para os primeiros instantes de simulação, e maiores para momentos próximos ao final da simulação.

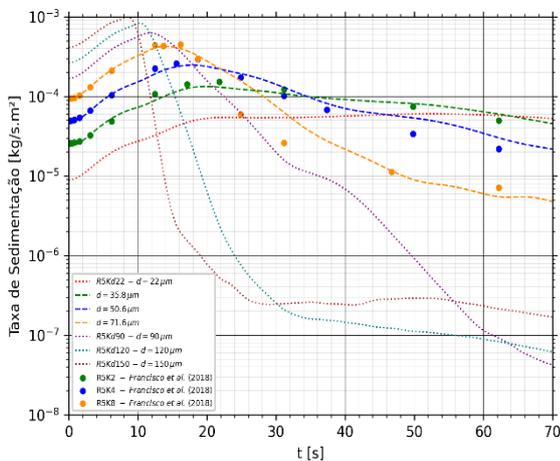


Figura 2.- Taxa de sedimentação. Linhas: resultados obtidos; Pontos: resultados de Francisco et al. (2018).

Resultados de densidade de depósito são apresentados na Figura 3, para os casos **R5Kd22**, **R5Kd69**, **R5K8**, **R5Kd120**. Os dados obtidos evidenciam a influência da velocidade de queda da partícula na propagação da corrente e na formação de padrões deposicionais. Correntes oriundas de granulometrias mais finas tendem a gerar depósitos com feições mais complexas e se expandir a maiores distâncias, enquanto as formadas por material mais grosso, tendem a sedimentar completamente próximo ao *lock*. Os depósitos demonstraram uma leve assimetria com relação ao eixo Y, destacando a tridimensionalidade do fenômeno em questão. As magnitudes dos resultados obtidos de densidade de depósito se aproximaram às de Francisco et al. (2018).

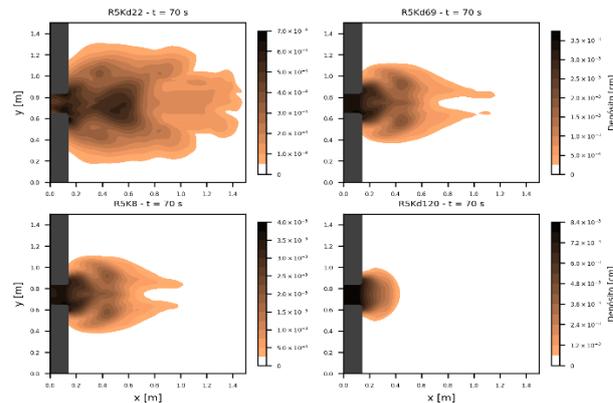


Figura 3.- Mapas de depósito.

Além das comparações apresentadas no presente trabalho, foram realizadas análises de posição da frente nos sentidos *streamwise* e *spanwise* para as configurações apresentadas.

Conclusões

O esquema numérico implementado de segunda ordem de precisão, foi capaz de representar corretamente a dinâmica de propagação de correntes de turbidez, para as condições consideradas. Os resultados das grandezas referentes à taxa de sedimentação, densidade de depósito e posição da frente, se aproximaram aos resultados de Francisco et al. (2018). À medida que a velocidade de queda aumenta, ocorre maior distanciamento entre os resultados obtidos e os de referência. É de se esperar que, com o refinamento dos parâmetros de discretização esta diferença tenda a diminuir.

O presente trabalho quantifica a influência do tamanho de partícula na dinâmica de propagação de correntes de turbidez e na sedimentação do material particulado. A alteração dos valores de diâmetro de partícula demonstrou afetar a dinâmica de propagação do fenômeno, mesmo considerando pequenas diferenças entre os valores desta grandeza.

Referencias

Chorin, A. J. (1968). "Numerical solution of the navier-stokes equations". *Mathematics of Computation* 22 745–762.

Francisco, E., Espath, L., Laizet, S., and Silvestrini, J. (2018). "Reynolds number and settling velocity influence for finite-release particle-laden gravity currents in a basin". *Computers & Geosciences*.

Gladstone, C., Phillips, J., and Sparks, R. (1998). "Experiments on bidisperse, constant-volume gravity currents: propagation and sediment deposition". *Sedimentology* 45, 5, 833– 843.

Lombardi, V., Adduce, C., and Rocca, M. L. (2018). "Unconfined lock-exchange gravity currents with variable lock width: laboratory experiments and shallow-water simulations." *Journal of Hydraulic Research* 56, 3 399–411.

Manica, R. (2009). "Geração de correntes de turbidez de alta densidade: condicionantes hidráulicos e deposicionais". *Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese*.

Meiburg, E., and Kneller, B. (2010). "Turbidity currents and their deposits". *Annual Review of Fluid Mechanics* 42, 1 (2010), 135–156.

Middleton, G. V. (1993). "Sediment deposition from turbidity currents". *Annual review of Earth and planetary sciences* 21, 1, 89–114.

Monteiro, L. R., and Schettini, E. B. C. (2015). "Comparação entre a aproximação hidrostática e a não-hidrostática na simulação numérica de escoamentos com superfície livre". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 20 1051–1062.

Thomas, J. E. Triggia, A. A. (2004). "Fundamentos de Engenharia de Petróleo". 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência PETROBRAS. 271 p. ISBN: 8571930996.