

**SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO DE MANCHAS DE VEGETAÇÃO EM UM CANAL**Taís N. Yamasaki<sup>1\*</sup>, Johannes G. Janzen<sup>2</sup>

1. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PPGTA-UFMS)
2. Professor na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG) da UFMS/orientador

**Resumo**

A vegetação aquática é capaz de interagir com o campo de escoamento, modificando a hidráulica do canal e promovendo benefícios ecológicos. Ela também pode influenciar o transporte de sedimento, modificando a morfologia do leito de sedimento. O objetivo deste estudo numérico foi o de simular o crescimento de manchas de vegetação em um canal, observando como elas evoluem de manchas iniciais para paisagens vegetadas. A partir do campo de velocidades, as regiões de esperado crescimento vegetal foram obtidas com base em uma faixa de velocidades reduzidas. Durante as simulações, as manchas interagiram entre si, o que fez com que algumas delas se unissem para formar manchas maiores, enquanto outras fossem erodidas. Ao fim, as manchas tornaram-se uma ilha alongada de vegetação.

**Palavras-chave:** Fluidodinâmica Computacional; evolução; campo de escoamento.

**Apoio financeiro:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

**Introdução**

A vegetação aquática desempenha um importante papel no funcionamento de ecossistemas. Do ponto de vista hidrodinâmico, a vegetação modifica o escoamento em termos de velocidade, turbulência e pressão, criando novos padrões de escoamento. Visto que o escoamento de sistemas naturais contém sedimentos, nutrientes e organismos, a vegetação aquática impacta diretamente tais componentes, promovendo, por exemplo, a retenção de sedimentos (KLEEBERG *et al.*, 2010) e o abrigo para animais (VAN KATWIJK *et al.*, 2010).

As interações que ocorrem entre a vegetação e o escoamento, e que resultam nos serviços mencionados acima, são dinâmicas e complexas, e podem ser estudadas sob diversas escalas e para diferentes fins. Na pequena escala de uma folha, estudos têm investigado como ocorrem os processos de transferência de massa, responsáveis pelo fluxo de nutrientes e gases (ABDELRHMAN, 2007; LEI & NEPF, 2016). Na escala intermediária, de centímetros a poucos metros, manchas de vegetação têm sido estudadas na compreensão da hidráulica de canais (SUKHODOLOV & SUKHODOLOVA, 2005; GREEN, 2006), na retenção e disposição de sedimentos (BOUMA *et al.*, 2007) e na evolução da vegetação (VANDENBRUWAENE *et al.*, 2011; DE LIMA *et al.*, 2015). Em grandes escalas, como a de paisagens vegetadas, estudos têm investigado os efeitos da vegetação na morfologia de regiões alagadas (LARSEN & HARVEY, 2011) e de rios (TAL & PAOLA, 2007).

Além dos estudos de campo e de laboratório, o uso de modelos computacionais na pesquisa de escoamentos vegetados vem aumentando, especialmente com a aplicação da Fluidodinâmica Computacional (CFD). O CFD pode se mostrar uma técnica valiosa, pois é capaz de solucionar numericamente as equações discretizadas da conservação da quantidade de movimento e massa, obtendo resultados com alto detalhamento, de forma não intrusiva, e reduzindo o tempo e os custos quando comparado com métodos convencionais (laboratório e de campo). Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi simular o crescimento de manchas de vegetação em um canal, a partir dos campos de escoamento obtidos com o CFD, observando como elas interagem entre si e evoluem para se tornar paisagens vegetadas.

**Metodologia**

A geometria do modelo computacional consistiu em um canal retangular, de comprimento igual a  $115D$  e largura igual a  $20D$  ( $D$  é o diâmetro da mancha). Manchas de vegetação de diâmetro  $D = 22$  cm foram inicialmente posicionadas de forma aleatória (Fig. 1). Um escoamento uniforme foi imposto na entrada do canal, com velocidade longitudinal  $u = U_0 = 9,8$  cm/s, e velocidade transversal nula. Na saída, a pressão estática foi definida como 0 Pa. A condição de não deslizamento foi aplicada nas paredes laterais do canal. Condições de simetria foram aplicadas no fundo e na superfície do canal.

A malha possuiu aproximadamente 47000 elementos. Ela apresentou um menor espaçamento em regiões de grandes gradientes de velocidade. O número de elementos foi definido de acordo com o procedimento sistemático de Celik *et al.* (2008). Detalhes do estudo independente da malha não estão presentes aqui por questões de brevidade.

O campo de velocidades foi obtido através da aplicação do código FLUENT®. Esse código usa o método do volume finito para a discretização espacial do domínio. As equações governantes são integradas em cada volume de controle, de forma que a massa e a quantidade de movimento são conservados. As simulações utilizaram as equações bidimensionais de Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS), em estado estacionário, com o modelo de turbulência  $k-\epsilon$ .

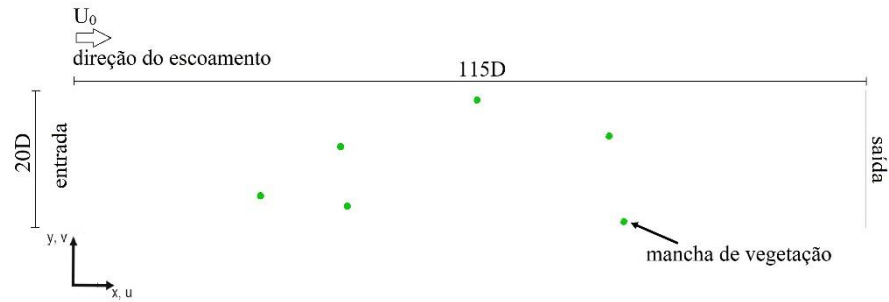


Fig. 1 - vista superior do canal. As manchas de vegetação estão representadas por círculo verdes. A água chega ao canal com velocidade inicial  $U_0 = 9,8$  cm/s, e escoar da esquerda para a direita.

Regiões de deposição são usualmente associadas a regiões de velocidade baixa (GURNELL *et al.*, 2001). Por outro lado, velocidades elevadas, acima da velocidade relacionada ao movimento do sedimento, podem deslocar nutrientes e inibir o crescimento vegetal (BOUMA *et al.*, 2009). Para explorar como as mudanças no campo de velocidades podem influenciar a deposição, utilizou-se um valor de velocidade para definir as regiões de deposição e erosão esperadas no canal. Sabendo-se que a velocidade dependerá do tamanho do sedimento (partículas menores têm um valor de velocidade menor), um valor de velocidade de corte (LV) foi utilizado no estudo:  $LV = u/U_0 = 0,5$ , representando materiais finos. Apesar de não poder conectar esta velocidade a tamanhos específicos de sedimentos, o LV permite um teste exploratório de como ele influencia a área da deposição e o crescimento da vegetação. Por fim, considerou-se que velocidades maiores que LV inibiriam o crescimento vegetal.

O crescimento da vegetação ficou então condicionada ao LV. Com o campo de velocidades obtido em cada passo de simulação, uma nova vegetação foi originada, de forma que a adição de vegetação ocorreu onde a velocidade total  $< LV$ , e a remoção ocorreu onde a velocidade total  $> LV$ . Essa rotina de simulações foi repetida até que a forma da vegetação não se alterasse mais, indicando que ela atingiu a estabilidade.

### Resultados e Discussão

O resultado da evolução das manchas encontra-se na Fig. 2. Inicialmente, as manchas cresceram predominantemente na direção do escoamento (passos 1 e 4), justamente nas regiões atrás das manchas, denominadas esteiras estacionárias. Esse efeito se deve à porosidade da mancha, que promove a redução da velocidade na sua esteira e a aceleração do escoamento nas suas laterais. Com o avanço das simulações (passo 13) a água passou a formar canais entre as manchas, moldando-as de forma mais heterogênea (triangular, retangular, ondulada). Do passo 13 ao 23, é possível observar que a mancha da frente uniu-se com a mancha encostada na saída do canal, enquanto a maioria das manchas próximas à parede superior foram erodidas. Isso significa que houve interações entre manchas, de forma que a mancha da frente passou a desviar lateralmente mais escoamento com velocidades maiores que LV, atingindo as manchas menores que se encontravam na parte superior do canal. Ao fim do processo de evolução, a vegetação tornou-se uma única ilha alongada, com as bordas suaves e simetria longitudinal, similar ao caso “channeled” observado em Kondziolka & Nepf (2014) (Fig. 4 do artigo destes autores).



Fig. 2 - evolução das manchas de vegetação. Os números indicam o passo da simulação. As manchas evoluíram para uma ilha alongada. A entrada do canal não aparece aqui para fins de melhor ajuste da figura.

Conforme Meire *et al.* (2014) argumentaram, duas manchas circulares de diâmetro  $D$ , colocadas em uma mesma posição em  $x$  (direção longitudinal), mas com um espaçamento  $\Delta$  em  $y$  (direção transversal), tenderiam a se tornar uma única mancha de largura  $2D+\Delta$ . No presente caso, apesar de as manchas terem sido posicionadas aleatoriamente no canal, é interessante verificar se o mesmo ocorre para elas. A Fig. 3 mostra a vegetação final em cinza, as manchas iniciais em verde, e a água preenchendo o canal em azul. É possível aproximar o estudo de Meire *et al.* (2014) de duas formas: com as manchas marcadas na Fig. 3 com “1” e “2”, que são as mais próximas de estarem alinhadas em  $x$ ; e com as manchas “1” e “3”, que apresentam o maior espaçamento em  $y$ . Observa-se que a vegetação final tem largura inferior ao espaçamento lateral tanto para o

par de manchas 1 e 2, quanto ao par 1 e 3. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de ter havido mais de duas manchas iniciais no canal, o que produziu as interações de união e erosão, ou pelo fato de o LV ter sido restritivo a um crescimento maior da vegetação.

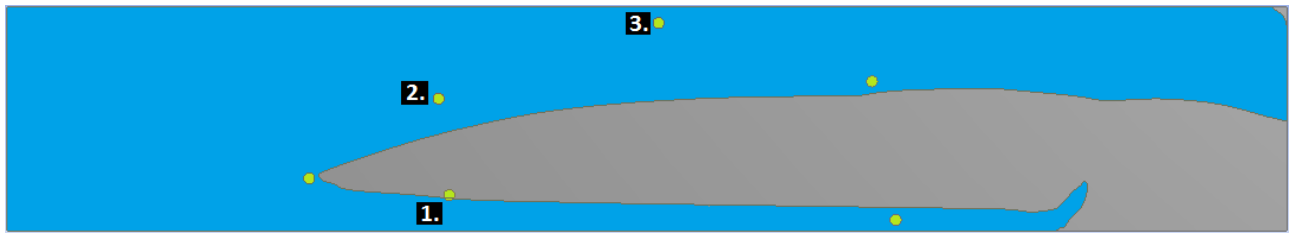


Fig. 3 – largura da vegetação final em comparação com as manchas iniciais.

Outro fator que pode influenciar a vegetação final é o posicionamento da primeira mancha, a que fica mais próxima da entrada do canal. A Fig. 4 compara o caso atual (a) com um outro cenário simulado (b), cuja primeira mancha estava mais à frente. Os dois cenários evoluíram para uma ilha alongada, mas a ilha em (b) tornou-se mais longa que a ilha em (a). É possível observar que o início da ilha coincide com o posicionamento da primeira mancha inicial, e foi por isso que a ilha em (b) cresceu mais longitudinalmente. Ao mesmo tempo, a vegetação final em (a) está mais próxima da parede inferior, concordando com a posição da primeira mancha. Isso significa que a primeira mancha pode influenciar tanto o tamanho da vegetação final como a sua localização dentro do canal.

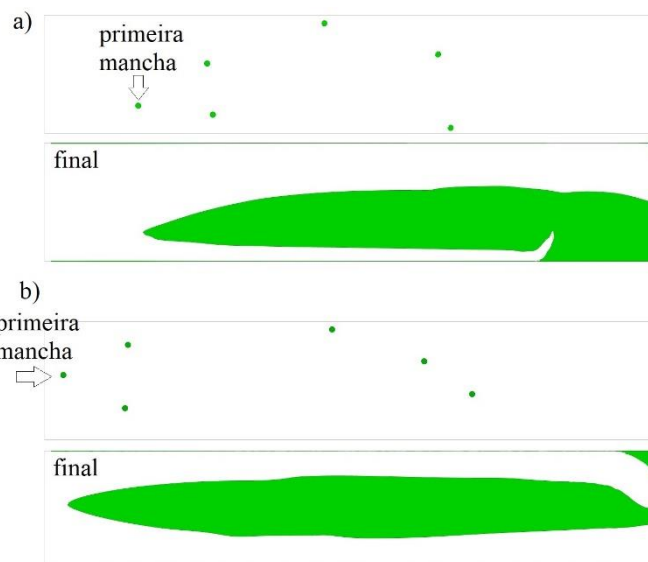


Fig. 4 – comparação entre dois cenários de evolução. Em (a), a primeira mancha está mais distante da entrada do que em (b). Conseqüentemente, a vegetação final em (b) tornou-se mais alongada. A entrada do canal não aparece aqui para fins de melhor ajuste da figura.

## Conclusões

Este trabalho apresentou, de forma numérica, o processo de evolução de manchas de vegetação em um canal. O crescimento das manchas se deu a jusante, com maior predominância na direção longitudinal do que na transversal, o que resultou em uma ilha alongada de vegetação final. As manchas interagiram entre si, promovendo a união e a erosão, o que demonstra que o processo de evolução é dinâmico. Por fim, a posição da primeira mancha mostrou ter importância na extensão e na localização da vegetação final.

## Referências bibliográficas

ABDELRHMAN, M.A. Modeling coupling between eelgrass *Zostera marina* and water flow. *Marine Ecology Progress Series*, v. 338, 2007, p. 81-96.

BOUMA, T.J.; VAN DUREN, L.A.; TEMMERMAN, S.; CLAVERIE, T.; BLANCO-GARCIA, A.; YSEBAERT, T.; HERMAN, P.M.J. Spatial flow and sedimentation patterns within patches of epibenthic structures: Combining field, flume and modelling experiments. *Continental Shelf Research*, v. 27, 2007, p. 1020-1045.

BOUMA, T.J.; FRIEDRICH, M.; KLAASSEN, P.; VAN WESENBEECK, B.K.; BRUN, F.G.; TEMMERMAN, S.; VAN KATWIJK, M.M.; GRAF, G.; HERMAN, P.M.J. Effects of shoot stiffness shoot size and current velocity on scouring sediment from around seedlings and propagules. *Marine Ecology Progress Series*, v. 388, 2009, p. 293-297.

CELIK, I.B.; GHIA, U.; ROACHE, P.J.; FREITAS, C.J.; COLEMAN, H.; RAAD, P.E. Procedure for Estimation and Reporting of Uncertainty Due to Discretization in CFD Applications. *Journal of Fluids Engineering*, v.130, 2008.

DE LIMA, P.H.S.; JANZEN, J.G.; NEPF, H.M. Flow patterns around two neighboring patches of emergent vegetation and possible implications for deposition and vegetation growth. *Environmental Fluid Mechanics*, v. 15, n. 4, 2015, p. 881-898.

GREEN, J.C. Effect of macrophyte spatial variability on channel resistance. *Advances in Water Resources*, v. 29, n. 3, 2006, p. 426-438.

GURNELL, A.M.; PETTS, G.E.; HANNAH, D.M.; SMITH, B.P.G.; EDWARDS, P.J.; KOLLMANN, J.; WARD, J.V.; TOCKNER, K. Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, 2001, p. 31–62.

KLEEBERG, A.; KÖHLER, J.; SUKHODOLOVA, T.; SUKHODOLOV, A. Effects of aquatic macrophytes on organic matter deposition, resuspension and phosphorus entrainment in a lowland river. *Freshwater Biology*, v. 55, 2010, p. 326-345.

KONDZIOLKA, J.M.; NEPF, H.M. Vegetation wakes and wake interaction shaping aquatic landscape evolution. *Limnology and Oceanography – Fluids & Environments*, v. 4, 2014, p. 106-119.

LARSEN, L.G.; HARVEY, J.W. Modeling of hydroecological feedbacks predicts distinct classes of landscape pattern, process, and restoration potential in shallow aquatic ecosystems. *Geomorphology*, v. 126, 2011, p. 279-296.

LEI, J.; NEPF, H.M. Impact of current speed on mass flux to a model flexible seagrass blade. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 121, 2016, p. 4763-4776.

MEIRE, D.; KONDZIOLKA, J.; NEPF, H.M. Interaction between neighboring vegetation patches: impact on flow and deposition. *Water Resources Research*, v. 50, 2014.

SUKHODOLOV, A.; SUKHODOLOVA, T. Morphodynamics and hydraulics of vegetated river reaches: a case study on the Müggelspree in Germany. In: PARKER, G.; GARCIA, M.; RHOADS, B. (Eds.) *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, 2005, p. 229-236.

TAL, M.; PAOLA, C. Dynamic single-thread channels maintained by the interaction of flow and vegetation. *Geomorphology*, v. 35, n. 4, 2007, p. 347-350.

VAN KATWIJK, M.M.; BOS, A.R.; HERMUS, D.C.R.; SUYKERBUYK, W. Sediment modification by seagrass beds: muddification and sandification induced by plant cover and environmental conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 89, n. 2, 2010, p. 175-181.

VANDENBRUWAENE, W.; TEMMERMAN, S.; BOUMA, T.J.; KLAASSEN, P.C.; DE VRIES, M.B.; CALLAGHAN, D.P.; VAN STEEG, P.; DEKKER, F.; VAN DUREN, L.A.; MARTINI, E.; BALKE, T.; BIERMANS, G.; SCHOELYNCK, J.; MEIRE, P. Flow interaction with dynamic vegetation patches: Implications for biogeomorphic evolution of a tidal landscape. *Journal of Geophysical Research*, v. 116, F01008, 2011.