

**XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA PARA PEQUENAS  
BACIAS: UMA ABORDAGEM BASEADA EM AGENTES**

*Juan Carlos Ticona Gutierrez; Juan Martín Bravo*

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
juancarlos.ticonag@gmail.com; jumarbra@iph.ufrgs.br*

**RESUMO:**

Este artigo apresenta o Modelo de Escoamento Baseado em Agentes (MEBA), o modelo tem uma abordagem de modelagem hidrológica onde se integra um sistema de informações geográficas e uma modelagem baseada em agentes, com a finalidade de representar os processos de escoamento superficial e balanço hídrico em uma bacia hidrográfica, discretizada espacialmente com células regulares. Onde cada agente representa uma camada de água do tamanho de uma célula, que se movimenta na bacia interagindo com o ambiente e outros agentes, até chegar no exutorio da bacia. Neste trabalho são apresentadas as suposições feitas para a representação dos fenômenos de escoamento e balanço hídrico atribuídas aos agentes.

**PALAVRAS CHAVE:** Modelo baseado em agentes, Modelagem hidrológica, sistemas multiagente

## INTRODUCCIÓN

Os fenômenos naturais possuem grande complexidade, uma abordagem por meio da utilização de leis empíricas e de hipóteses destes fenômenos torna-se necessária para compreensão física do que acontece numa bacia hidrográfica. Os modelos distribuídos permitem uma análise mais criteriosa da influência das modificações que ocorrem nas bacias (Tucci, 1998). Os modelos hidrológicos distribuídos são modelos que levam em consideração a distribuição espacial da bacia através da geração de uma malha composta por pequenos elementos denominados células. Para cada célula da malha o modelo hidrológico realiza o balanço hídrico assim como a propagação dos escoamentos para outra célula (Silva et al., 2009). Com o advento do radar de tempo, os modelos chuva-vazão podem usar campos de chuva contínua para previsão de vazão quase em tempo real. Os avanços na captura e armazenamento de dados têm sido fundamentais para testar e desenvolver a nossa compreensão dos processos hidrológicos (Beven, 2015). Exemplos de modelos que integram o espaço em um relacionamento causal simples de agente são relativamente poucos. Em tais modelos, o ambiente é o único fator que rege o comportamento do agente. Os agentes adotam estratégias que lhes permitem reagir a um ambiente heterogêneo, considerando seus objetivos e ações (Parker et al., 2003). Melhorar o nível de realismo na representação do ambiente pode levar não apenas a uma compreensão aprimorada dos resultados do modelo, mas também a uma fundamentação teórica e empírica aprimorada de todo o campo da modelagem baseada em agentes (Stanilov, 2012).

## OBJETIVO

Apresentar uma ferramenta computacional para auxiliar à compreensão do conceito de escoamento superficial representados em sala de aula.

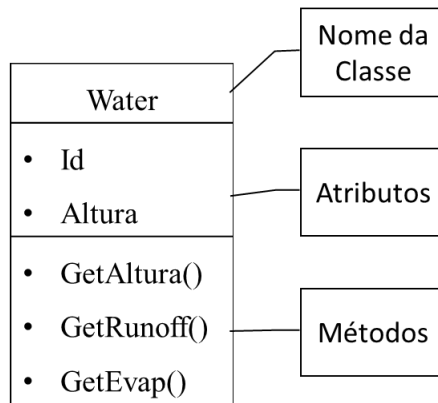
## METODOLOGIA

### AGENTES

Uma classe de modelos que tem chamado atenção mais recentemente para a solução de diversos problemas, não apenas de engenharia, são os modelos baseados em agentes - MBA (Gilbert e Bankes, 2002; Janssen, 2005; Castle e Crooks, 2006; Macal e North, 2010; Maretto et al., 2011). Um agente pode ser uma entidade física ou virtual que possa agir, perceber seu ambiente e interagir com outros agentes, é autônomo e tem habilidades para atingir os seus objetivos e tendências. O Modelo Baseado em Agentes é um simulador de um sistema de inteligência artificial distribuída, na qual é utilizado um conjunto de componentes com comportamento próprio pré-definido, os chamados de agentes (Macal e North, 2010).

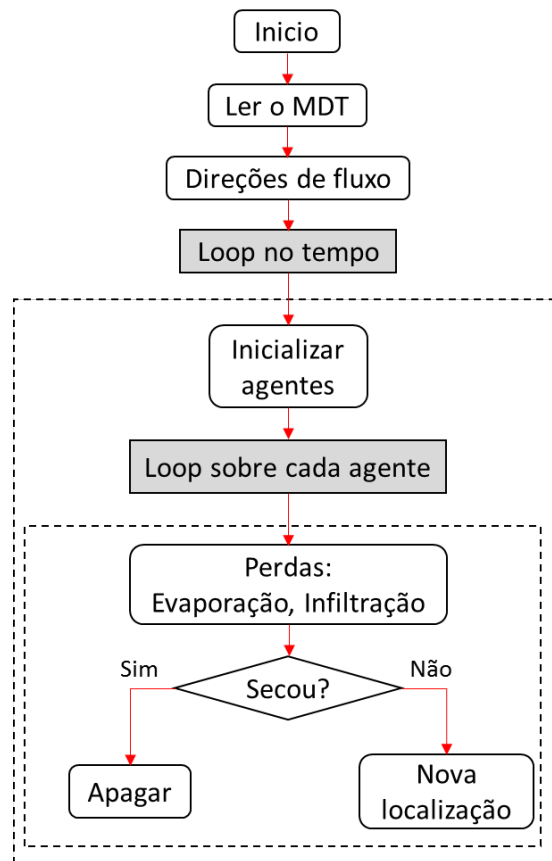
### MODELO MEBA

A interface gráfica esta desenvolvida na plataforma do NetLogo (ver **Figura 5**), o objetivo deste modelo é simular o escoamento superficial ao longo de uma área geográfica, representado pelo MDE de uma bacia hidrográfica hipotética. O objetivo dos agentes apresentados neste trabalho é traçar o fluxo de água através da captação da parcela em que cai como chuva para a água, deixando a captação como escoamento, sendo infiltrada no solo ou evaporando na atmosfera e as mudanças da localização em função da topografia, como visto no fluxograma do modelo na **Figura 2**.



**Figura 1.-** Representação geral de uma classe em UML

Para permitir representar as complexidades do sistema, o modelo permite que o conjunto de objetos interajam entre si e finalmente pode representar o fluxo de escoamento superficial através do exutorio da bacia. A estrutura geral do MEBA pode ser expressada em duas fases: escoamento, que é representado pela movimentação dos agentes e o balanço hídrico que é representada a partir de perdas de massa.



**Figura2.-** Fluxograma do MEBA.

### MOVIMENTAÇÃO DOS AGENTES

A nova posição do agente se determina localizando da célula vizinha com uma elevação menor a posição inicial. Considerando que o agente é uma lâmina de água quadrada de altura “y” e largura “b”, como na Figura 3, a velocidade média de deslocamento do agente no ambiente, se determina a partir de uma adaptação da equação de Manning [1].

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} s^{1/2} \quad [1]$$

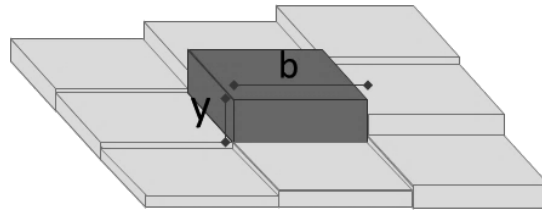


Figura 3.-Esquema do agente no ambiente.

Sendo assim, o rádio hidráulico (R) da equação de Manning, determinada usando as dimensões do agente, se pode reescrever da seguinte forma:

$$V = \frac{1}{n} \left(\frac{b \cdot y}{b}\right)^{2/3} s^{0.5} \quad [2]$$

Finalmente, a velocidade do agente é expressada como uma função da declividade (s), a altura da lâmina (y) e o coeficiente de Manning (n) correspondente à posição do agente, como mostrado na equação [3].

$$V = \frac{1}{n} y^{2/3} s^{0.5} \quad [3]$$

A declividade do terreno (s) é calculada como a diferença de elevação entre a célula nova e a célula atual (**Figura4**) dividido sobre a distância horizontal entre os centroides das células. A distância depende da direção de deslocamento do agente como se apresenta na Figura4.-Direções de movimento do agente.

, se segue uma direção cardinal a nova posição pode ser 1, 3, 5 ou 7, e a distância horizontal de deslocamento é “b”; se a direção de deslocamento é diagonal a nova posição pode ser 2, 4, 6 ou 8, a distância horizontal de deslocamento é “ $b\sqrt{2}$ ”.

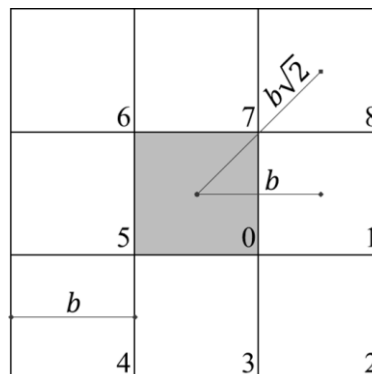


Figura4.-Direções de movimento do agente.

## PERDAS DE MASSA

As perdas de massa do agente associadas a processos de evaporação e infiltração, são representadas por uma taxa de evaporação de lâmina constante e a equação do SCS, respectivamente.

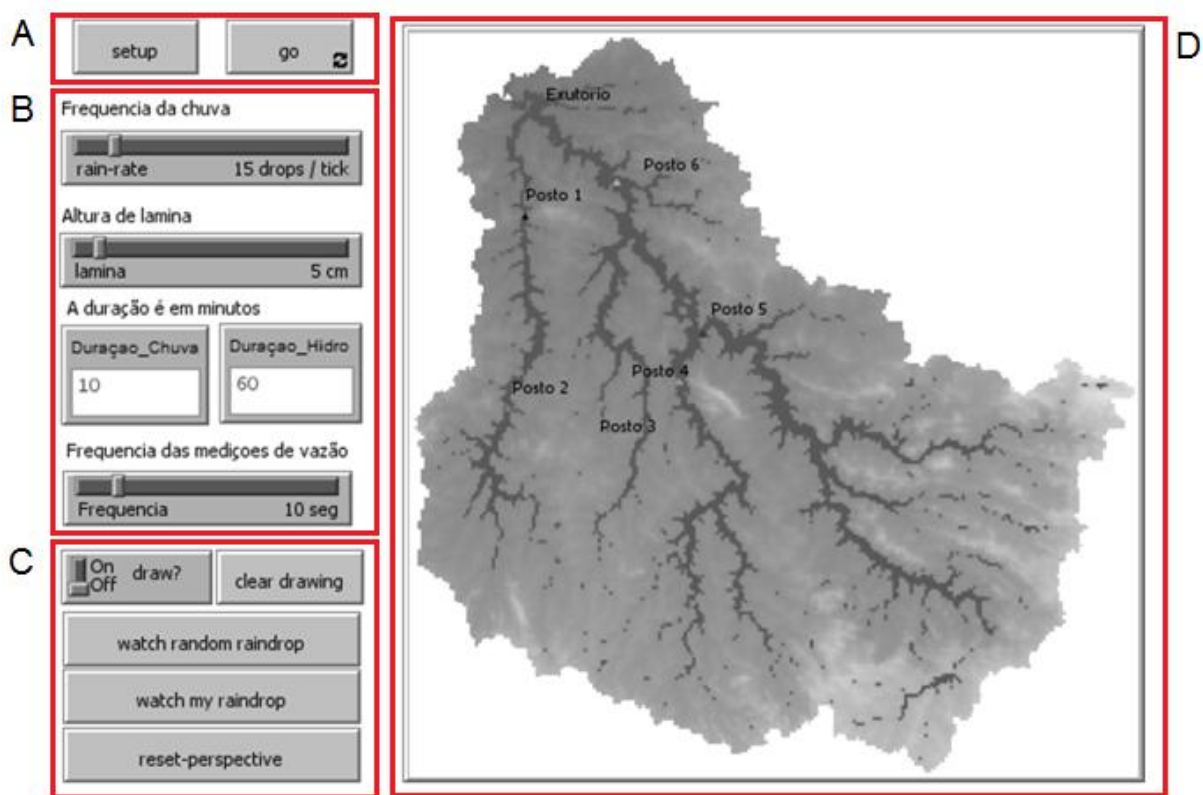
$$y_{t+1} = y_t - k_{evap} \quad [4]$$

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad \text{quando} \quad P > I_a \quad [5]$$

Onde:  $y_{t+1}$  é a altura da lâmina de água no tempo  $t+1$ ;  $y_t$  é a altura da lâmina de água no tempo  $t$ ;  $k_{evap}$  é a taxa de evaporação num intervalo de tempo;  $Q$  é escoamento em mm;  $P$  é a chuva acumulada em mm;  $I_a$  são as perdas iniciais;  $S$  é o parâmetro de armazenamento em função do CN do terreno.

## CONCLUSÕES

O modelo MEBA é capaz de fornecer informações detalhadas sobre as áreas previstas pelo modelo hidrológico para contribuir com o fluxo do canal durante um evento de tempestade. Essas informações incluem os caminhos de fluxo no terreno, a interação entre a infiltração e a evaporação durante o escoamento, o destino da água e a origem da água que forma o hidrograma de descarga. Usando essa abordagem, é possível realizar testes de cenário para avaliar o impacto potencial de mudanças na topografia ou na cobertura da terra. Pode-se considerar que o modelo desenvolvido e apresentado neste trabalho cumpre bem o papel como uma ferramenta educacional simples que permite ampliar o entendimento sobre processos hidrológicos.



**Figura 5.-** Interface do MEBA: (A) Controles para executar o modelo; (B) Parâmetros da chuva e vazão; (C) Ferramentas para seguimento dos agentes; (D) Janela de interfase gráfica da bacia.

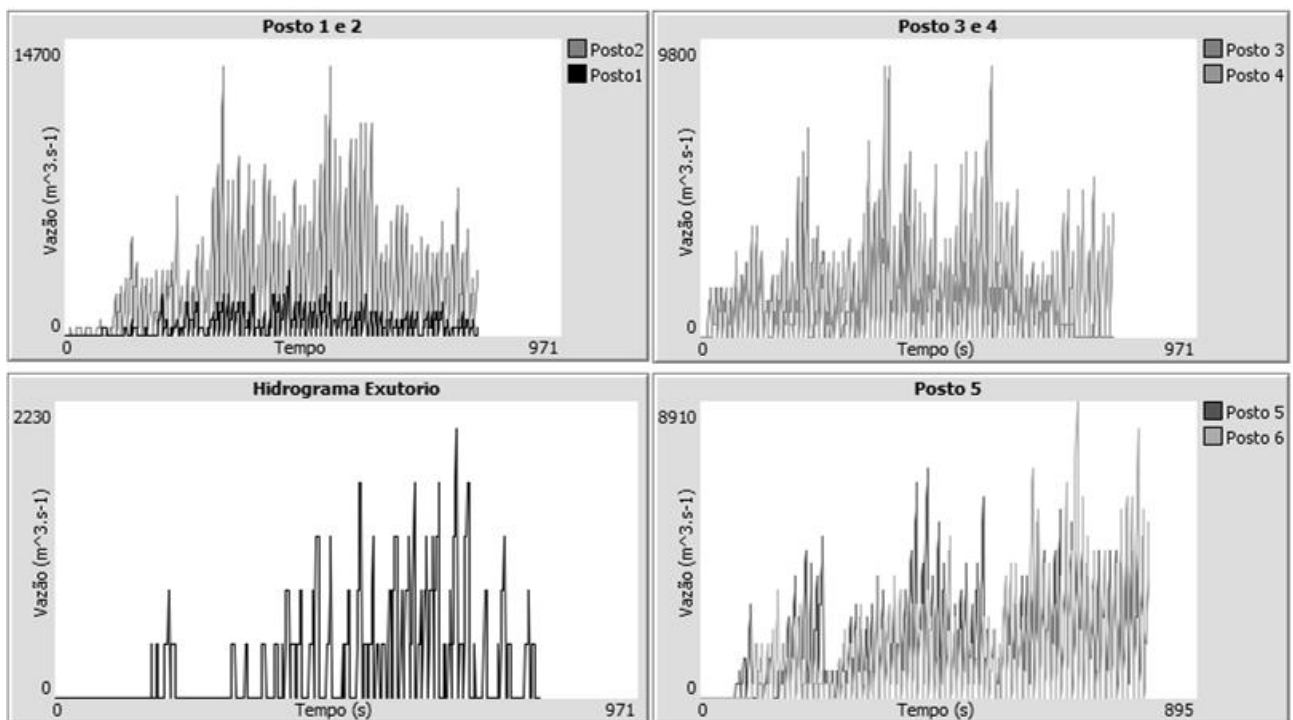


Figura 6.-Interface de saída do MEBA: Hidrogramas dos postos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e o exutório da bacia

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à UFRGS pela bolsa de iniciação científica concedida. Agradecemos ainda ao CNPq pelo apoio ao projeto de pesquisa no qual este trabalho se insere.

## REFERENCIAS

- Castle, C.J.E. and A.T. Crooks (2006). "Principles and Concepts of Agent-Based Modelling for Developing Geospatial Simulations". *Centre for Advanced Spatial Analysis (University College London): Working Paper 110*, London, England.
- Beven, K., Bathurst, J., O'Connell, E. N. D. A., Littlewood, I., Blackie, J., Robinson, M. (2015). "Hydrological modelling". *Progress in Modern Hydrology: Past, Present and Future*, 216-239.
- Gilbert, N. and S. Banks (2002). "Platforms and Methods for Agent-Based Modelling". *Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA*, 99(3), pp. 7197–7198.
- Janssen, M.A. (2005). "Agent-based modelling". In J. Proops and P. Safonov (eds) *Modeling in Ecological Economics*, Edward Elgar Publishers. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, pp. 155–172.
- Macal, C.M. and M.J. North (2010). "Tutorial on agent-based modelling and simulation". *Journal of Simulation*, 4, pp. 151-162.
- Parker, D. C.; Manson, S. M.; Janssen, M. A.; Hoffmann, M. J.; Deadman, P. (2003). "Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review". *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), pp. 314-337.
- Silva, R.V.; Kobiyama, M.; Yamashiki, Y.; Takara, K. (2009). "Investigation of geomorphological properties using Voronoi discretization". *Kyoto Daigaku Bosai KenkyujoNenpo*, Vol. 52, pp. 83-89.
- Stanilov, K. (2012). "Space in agent-based models". In: *Agent-based models of geographical systems*, Springer, Dordrecht, pp. 253-269.
- Tucci, C.E.M. (1998). "Modelos hidrológicos". *Associação Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS, p. 669.