



Encontro Nacional  
de Águas Urbanas

16, 17 e 18 de setembro de 2014

Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP

## **CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL CHEMFLO PARA SIMULAÇÃO DE UMA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO**

### **CHEMFLO CALIBRATION TO SIMULATE AN INFILTRATION TRENCH**

**Tays de Aguiar Bento<sup>1</sup>; Alexandra Rodrigues Finotti<sup>1</sup>; Marla Josefa Nem Mujovo<sup>1</sup>; Vladimir Caramori Borges de Sousa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, taykinha@hotmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Alagoas.

*Palavras-Chave: Técnicas compensatórias, simulação, Chemflo, Trincheiras de Infiltração.*

*Key Words: Best Management Practice, simulation, Chemflo, Infiltration Trench.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Sistemas compensatórias de drenagem urbana são estruturas que visam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental (BAPTISTA *et al.* 2005). Essas técnicas tem como fundamento o controle do volume excedente do escoamento superficial, sendo a infiltração um dos principais mecanismos utilizados. Dentre os sistemas compensatórios, as trincheiras de infiltração são estruturas de fácil concepção, operação e de baixo custo. Basicamente é uma vala em forma de prisma forrada com manta geotêxtil e preenchida com material granular graúdo podendo ser ou não recoberta com vegetação sem raízes profundas (BAPTISTA *et al.* 2005). No Brasil o uso deste tipo de estrutura vem se difundindo especialmente a partir de projetos pilotos. Sousa (2002) construiu e operou duas trincheiras de infiltração e verificou a aplicabilidade do modelo de Bouwer a seus dados. Lucas (2011) utilizou métodos computacionais para a verificação do comportamento da infiltração da água para um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração dimensionadas e obteve bons resultados de simulação utilizando o método de PULS.

Segundo Lucas e ASCE (2009), a infiltração é um dos processos mais importantes em sistemas de biorretenção como as trincheiras de infiltração. Como envolve o fluxo na zona não saturada é um fenômeno de grande complexidade. Assim as ferramentas computacionais que permitem a implementação das equações diferenciais de fluxo no meio não saturado ajudam a simular seu comportamento em variadas situações, auxiliando na concepção, operação da estrutura, bem como em uma avaliação global do sistema (Ramísio *et al.*, 2012). Existem muitos programas computacionais que simulam o fenômeno da infiltração. O Chemflo é um deles. Trata-se de um



programa gratuito que apresenta relativa simplicidade de operação além de um ambiente bem amigável. O programa está disponível na página de internet da universidade do estado de Oklahoma. Com intuito de avaliar a performance do Chemflo na simulação de trincheiras de infiltração, apresentamos neste trabalho a sua calibração com dados de uma trincheira de infiltração implantada e operada por Souza (2002).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O Chemflo é um programa para simulação de fluxo unidimensional em meio poroso não saturado que permite a simulação do fluxo de água e o transporte de contaminantes. Utiliza equação de Richards para simular o fluxo da água resolvida por diferenças finitas. O programa também pode simular o transporte de contaminantes o que não foi considerado neste trabalho. Neste trabalho foi utilizado o modelo de Van Genuchten (1980) para representar a variação da pressão com o conteúdo volumétrico de água no solo. Devem ser definidas duas condições de contorno a da superfície do perfil de solo e outra para a base do perfil.

A trincheira construída por Souza (2002) possui uma área útil de 7,2 m<sup>2</sup> com 9 m de comprimento, 0,8 m de largura e 1 m de profundidade. Foi projetada segundo o método “Rain-Envelope-Method”, utilizando 0,57 para coeficiente de escoamento e um período de retorno de 5 anos. Para a utilização no programa foi considerado um modelo conceitual da trincheira experimental de Souza (2002) considerando dois perfis de solo divididos em três materiais. O primeiro perfil apresenta 100 cm de profundidade e foi definido como a própria trincheira considerada preenchida de areia grossa. O segundo perfil, abaixo da trincheira, apresenta 700 cm e foi definida como zona não saturada. Esse segundo perfil foi considerado como sendo composto por dois tipos de materiais, nos primeiros 65 cm o material é franco argiloso já nos últimos 635cm o material é franco.

Na calibração do programa foram utilizados os dados gerados por Souza (2002) que são apresentados na tabela 1. Os dados de precipitação foram convertidos em intensidade que é única forma admitida pelo programa. A precipitação média calculada para o evento de calibração foi de 23,04 cm/h para uma duração da chuva de 8,42 horas. Para condição inicial foram utilizados potenciais matriciais extraídos da curva de retenção ajustada para o modelo de Van Genuchten utilizando o programa Rosetta. A curva de retenção foi obtida com dados de testes de infiltração realizados no solo no qual foi implantada a trincheira. Considerando o solo inicialmente seco a referida curva de retenção ajustada fornece um valor de -300cm utilizado como condição inicial de pressão para o programa. A calibração foi realizada a partir de tentativa e erro fazendo a variação dos parâmetros de entrada relacionados com a condutividade hidráulica do solo:  $\alpha$  e  $K_s$ . A precipitação escolhida para a realização da calibração apresentava características mais ou menos uniformes uma vez que o programa aceita somente precipitações constantes ao longo do tempo. Para validação da calibração foram utilizados os seguintes estimadores estatísticos de ajuste de modelos: Erro Percentual (Eqm), Razão dos desvios (RD) e o Coeficiente de Eficiência de Nash-

Sutcliffe (R). As faixas de variação consideradas aceitáveis foram extraídas do estudo de Moriasi et al. (2007) e apresentam os seguintes valores  $-25% < E_{qm} < 25%$ ,  $R > 0,50$  e  $RD < 0,70$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

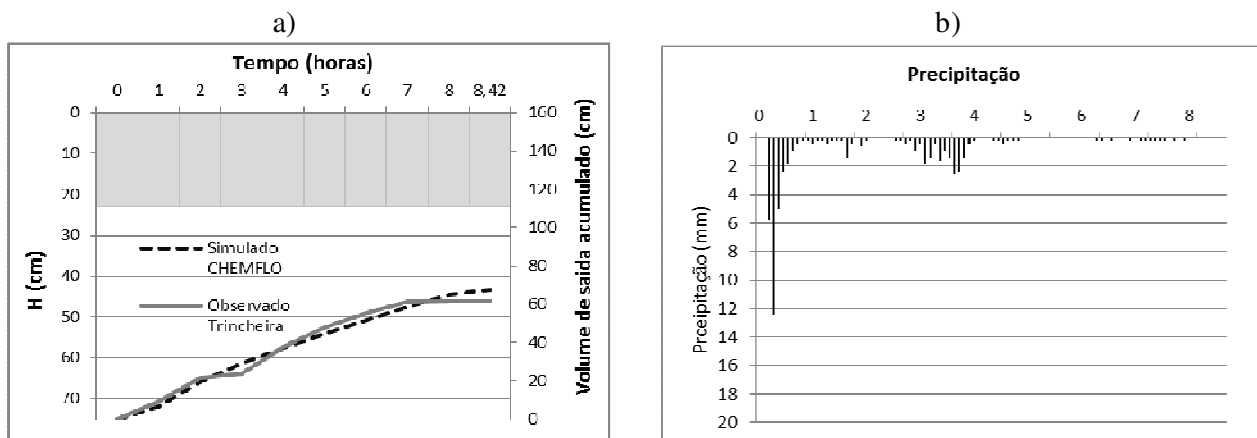
Após os testes iniciais de sensibilidade do programa verificou-se que os parâmetros mais sensíveis foram o parâmetro de ajuste da função condutividade hidráulica ( $\alpha$ ) e a condutividade hidráulica saturada (Ks). Os parâmetros calibrados são mostrados na Tabela 1. Os resultados dos estimadores estatísticos encontrados para a calibração considerada satisfatória foram de 0,07% para o  $E_{qm}$ , 0,99 para o R e 0,0006 para o RD. A condutividade hidráulica ajustada apresentou valores da ordem de sete vezes menor que o parâmetro inicialmente adotado para a condição de campo na trincheira. Para as camadas abaixo da trincheira o valor calibrado foi aproximadamente três vezes maior. Portanto, para calibrar o modelo foi preciso reduzir a condutividade na trincheira e aumentar no solo abaixo. Desta forma pode-se dizer que a trincheira conduz menos água que a situação medida em campo e o solo abaixo mais água que a medição de campo.

Tabela 1: Parâmetros de campo e calibrados para fluxo no perfil da trincheira de infiltração.

Camada	Parâmetros de fluxo do solo de análises de campo						Parâmetros de fluxo do solo calibrados				
	Solo [cm]	$\theta_r$ [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	$\theta_s$ [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	$\alpha$ [1/cm]	n	Ks [cm/hora]	$\theta_r$ [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	$\theta_s$ [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	$\alpha$ [1/cm]	N	Ks [cm/hora]
1	100,0	0,053	0,37	0,035	3,17	360,0	0,053	0,37	0,004	3,17	50,0
2	65,0	0,078	0,43	0,0115	1,43	3,0	0,078	0,43	0,43	1,43	4,5
3	635,0	0,068	0,42	0,0088	1,5	3,0	0,068	0,42	0,41	1,5	4,5

Parâmetro de ajuste da função condutividade hidráulica ( $\alpha$ ); Variável de Boltzmann ( $\eta$ ); Teor de umidade volumétrica m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ( $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ); Coeficiente de Condutividade hidráulica saturada cm<sup>3</sup>/hora (Ks).

Figura 1: Precipitação e curvas de variação do volume de saída acumulado na trincheira com dados experimentais e simulados com o modelo Chemflo.



Precipitação total = 54,6mm; Horas = 8,42; H = 23,04cm.



Os volumes acumulados de saída da trincheira foram plotados no gráfico apresentado na Figura 1. Verifica-se que a curva calculada com os dados da simulação apresenta-se muito semelhante à curva obtida com os dados monitorados em campo por Souza (2002). Comparando a figura 1a e 1b verifica-se que quando existe um pico de precipitação os dados observados são superiores aos dados simulados, assim como quando há um período dentro do evento sem chuva, o simulado acaba sendo superior a o observado pois o programa faz as simulações com os dados de intensidade considerada constante, não conseguindo prever exatamente o comportamento das variações. É importante recapitular que o programa faz todas as simulações como se a precipitação fosse constante, o que leva a resultados considerados satisfatórios somente para eventos onde ocorrem chuvas mais constantes e uniformes ao longo do tempo.

#### 4. CONCLUSÃO

A concepção de uma trincheira de infiltração pode ser facilitada com a utilização de softwares disponíveis no mercado, mas antes de decidir qual utilizar é preciso fazer um estudo aprofundado de qual programa se adapta melhor às condições hidrológicas do local a ser estudado. O Chemflo é um programa fácil utilização e que não requer muitos dados para a simulação do fluxo de água no perfil não saturado do solo. A partir de sua calibração foi possível constatar que ele consegue simular com resultados satisfatórios eventos com precipitação mais ou menos uniforme e constante. Para a sua calibração os parâmetros alterados foram os parâmetro de ajuste da função condutividade hidráulica ( $\alpha$ ) e do coeficiente de condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ), os quais mostraram mais sensibilidade na calibração. Os resultados se mostraram satisfatórios para um dos eventos monitorado em uma trincheira real implantada por Souza (2002).

#### REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, NASCIMENTO, N. O. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. 1 Ed. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.
- RAMÍLIO, Paulo; FLORES, Mariana; DUARTE, António. 2012. Avaliação da Eficácia de um Sistema de Detenção de Escorrências Urbanas com Base num Caso de Estudo. XV SILUBESA, Belo Horizonte – MG, 2012.
- SOUZA, V. C. B. Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- LUCAS, Willian C.; ASCE, S. M. 2009. Design of Integrated Bioinfiltration-Detention Urban Retrofits with Continuous Simulation Methods. World Environmental and Water Resources Congress 2009, Kansas City – Missouri, 2009.
- MORIASI, D. N; ARNOLD, J.G; VAN LIEW. M.W; BINGNER, R.L; HARMEL.T.L; VEITH.T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.