

# ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS STORM WATER MANAGEMENT E REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO<sup>1</sup>

REIS, R. P. A., Universidade Federal de Goiás, email: ricardoprado.reis@outlook.com;  
ILHA, M. S. O., Universidade Estadual de Campinas, email: milha@fec.unicamp.br

## ABSTRACT

*Stormwater infiltration systems applied to the lots gain importance as compensatory practices of runoff management. In this research two models were compared for the performance evaluation of an experimental infiltration trench built in Campinas, São Paulo, Brazil. In order to do so, the Storm Water Management Model 5.1 (SWMM) was compared to an Artificial Neural Networks (ANN) model developed through experimental area monitoring data. Two design rainfalls were tested: one of 52 mm/h and 30 min of duration, and other of 192 mm/h and 8 min of duration, whose volumes were discharged into infiltration trench, with cross section of 0,6 x 0,6 m and length of 5,0 m, filled with crushed stone. The hydraulic profiles simulated by SWMM 5.1 and ANN model were compared with experimental data. The ANN model was better adjusted to the observed performance data, resulting in design volumes between 0.5% and 0.75% higher than those observed for design rains. The SWMM model presented values between 32.7% and 41.1% higher than those observed. In terms of constructive cost, the ANN-sized system would result in savings of 24% to 28.8% higher than SWMM-sized systems.*

**Keywords:** Infiltration Trench, Low Impact Development (LID), SWMM 5.1, ANN model, stormwater infiltration.

## 1 INTRODUÇÃO

O acréscimo de superfícies impermeabilizadas e de áreas edificadas altera o balanço hídrico das cidades, reduz a infiltração da água no solo e amplia a vazão e a velocidade de escoamento das águas pluviais que, devido a sua magnitude, podem resultar em cheias urbanas. Segundo Menezes Filho e Tucci (2012), em média, cada habitante de um centro urbano gera uma área impermeável de 90 m<sup>2</sup>. Associado a isto, a cada 10% de aumento na área impermeável ocorre aproximadamente 100% de aumento no coeficiente de escoamento de cheia e no volume do escoamento superficial (TUCCI, 2000).

Em busca de medidas para mitigar os impactos ocasionados pelo acréscimo do volume de escoamento superficial, práticas de desenvolvimento de baixo impacto, também denominadas práticas LID (*Low Impact Development*), dentre elas, os sistemas de infiltração de água pluvial, vêm sendo adotados para controlar o excesso de escoamento superficial e, conseqüentemente, melhorar o desempenho ambiental das edificações.

Para a implementação de sistemas de infiltração de águas pluviais em edificações, o solo deve possuir características adequadas de permeabilidade e estruturais. Além disso, é necessário que se disponha de

<sup>1</sup> REIS, R. P. A., ILHA, M. S.O. Estudo comparativo entre os modelos Storm Water Management Model e Redes Neurais Artificiais na avaliação do desempenho de trincheira de infiltração. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

espaço para locar a superfície estabelecida para a infiltração do volume de projeto (Reis, Ilha e Teixeira, 2013).

Apesar dos benefícios proporcionados pelos sistemas de infiltração, Davis et al. (2012), Rieger e Disse (2013), Freni, Mannina e Viviani (2009) ressaltam as dificuldades de se estabelecer um padrão único para a sua concepção, devido às muitas variáveis que influenciam no desempenho hidrológico do sistema. Assim, a utilização de modelos numéricos para uma concepção mais criteriosa é uma prática comum, que auxilia na verificação do desempenho hidrológico pretendido e no dimensionamento do volume dos sistemas de infiltração de água pluvial.

Dentre os modelos mais utilizados, o SWMM (*Storm Water Management Model*), desenvolvido pelo EPA, é um dos mais utilizados na simulação e avaliação de desempenho de sistemas de infiltração de água pluvial. A sua ampla utilização se deve ao SWMM ser gratuito, estável e possuir uma grande comunidade de suporte (LI e BABCOCK, 2014).

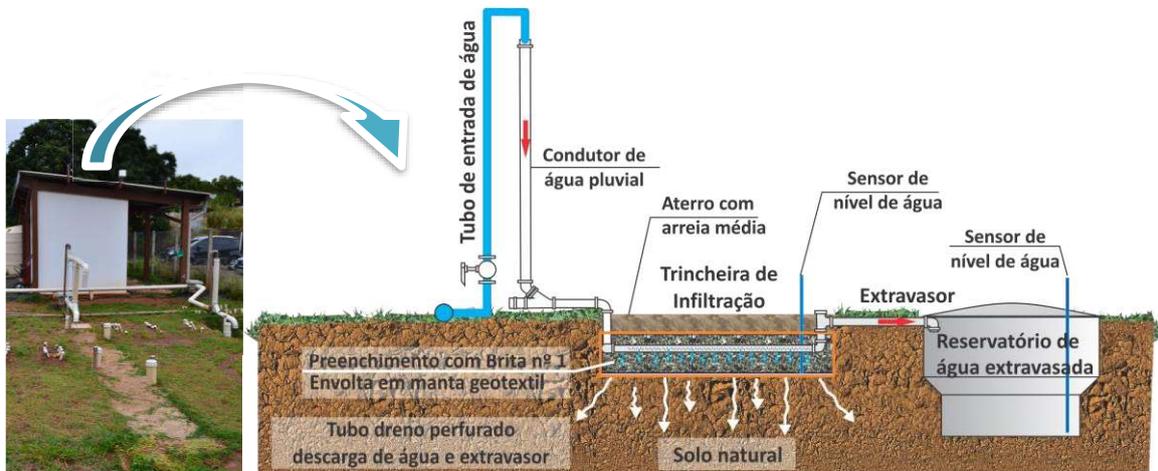
Apesar disto, Zhang e Guo (2014), Li e Babcock Jr. (2014), apontam algumas limitações e imprecisões no uso do SWMM, principalmente quando aplicado a pequenas áreas e chuvas eventos de menor intensidade. Por outro lado, Radfar e Rocaway (2015) indicam que a utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA) tem grande potencial na interpretação de padrões não lineares. Assim, uma RNA, pode ser uma opção para interpretar as correlações entre as diversas variáveis envolvidas no processo de infiltração de água pluvial.

Este estudo visa comparar os dados observados em uma trincheira de infiltração experimental e os resultados obtidos por simulação, empregando-se dois diferentes modelos: SWMM 5.1.012 e Modelo de Redes Neurais Artificiais (RNA), a fim de avaliar qual deles apresenta o melhor ajuste das curvas dos hidrogramas de escoamento com relação às condições observadas.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi executada uma trincheira de infiltração experimental, com seção transversal de 0,60 x 0,60 m e 5,0 m de comprimento, preenchida com brita nº 1 envolta em geotêxtil (Bidim® RT-7), instalada a uma profundidade de 0,80 m da superfície, com uma camada de aterro de 0,20 m sobre a mesma (FIGURA 1).

Figura 1 - Esquema de instalação da trincheira experimental de infiltração de água de chuva.



Fonte: Os autores.

Foram realizados ensaios com vazões de descarga controladas,  $2,75 \text{ m}^3/\text{h}$  durante 30 minutos e  $10,18 \text{ m}^3/\text{h}$  durante 8 minutos. Estes ensaios equivalem a chuvas de intensidade de  $52 \text{ mm/h}$  e  $192 \text{ mm/h}$ , respectivamente, definidas conforme a equação de chuva de Zuffo e Leme (2005), equação adequada para a região estudada.

Os volumes de descarga no interior do sistema de infiltração foram monitorados por medidores de vazão classe “D”, modelo Hydrus da marca Sappel/Diehl. Já os volumes retidos no interior do sistema e extravasado para o reservatório enterrado foram medidos por meio de sensores de nível de água, modelo HOB0 U20-001-01 da OnSet. Assim, foi possível traçar os hidrogramas reais de escoamento da trincheira e definir o volume necessário equivalente à chuva de projeto.

O solo da área experimental é classificado como CL – argila arenosa magra (ASTM D2487-10, 2011). A taxa de infiltração foi definida por meio de ensaios de rebaixamento de água, executados conforme ABGE (1996) e, obtido por meio de três poços, escavados a trado, com  $0,15 \text{ m}$  de diâmetro e  $2,50 \text{ m}$  de profundidade, resultando em um valor médio de  $8,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ .

Para a modelagem dos hidrogramas de saída da trincheira, utilizou-se o módulo LID do SWMM 5.1.012, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2018) e, também, um modelo desenvolvido com a metodologia de Redes Neurais Artificiais (RNA), especificamente para a pesquisa, com dados observados dos ensaios de campo.

As condições de modelagem para a determinação do balanço de massas consideraram as vazões de descarga no interior da trincheira como parâmetro de entrada e a percolação por meio da superfície da trincheira, a infiltração da água na interface trincheira-solo e a condição de extravasamento como parâmetros de saída. No caso da RNA, ainda foi considerada a temperatura e umidade relativa e, também, a temperatura da água, visando representar as condições de evapotranspiração e de

viscosidade da água no processo de infiltração. Ressalta-se que os dados utilizados na avaliação foram aqueles reservados para a validação do modelo RNA e não foram utilizados para seu treinamento. O SWMM utilizou o modelo Green-Ampt para a simulação da infiltração da água pluvial na trincheira de infiltração.

A partir dos hidrogramas de saída da trincheira modelados, foi possível comparar os valores percentuais de amortecimento do volume total de descarga, o valor do pico de vazão durante o extravasamento e o volume requerido para a chuva de projeto, que consiste no volume retido durante o ensaio somado ao volume total extravasado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 2 e 3 apresentam os hidrogramas resultantes: do monitoramento da trincheira experimental; do modelo do SWMM e do modelo RNA.

Verifica-se que as curvas resultantes do modelo SWMM apresentam um início precoce de extravasamento e picos de vazão mais elevados durante o extravasamento. Por outro lado, pode-se dizer que a modelagem por meio da RNA se mostrou mais ajustada aos valores reais, apresentando o tempo até o início do extravasamento, a vazão de pico e o volume escoado bem próximos aos valores observados experimentalmente. A Tabela 1 apresenta uma avaliação comparativa dos principais parâmetros analisados nesse estudo.

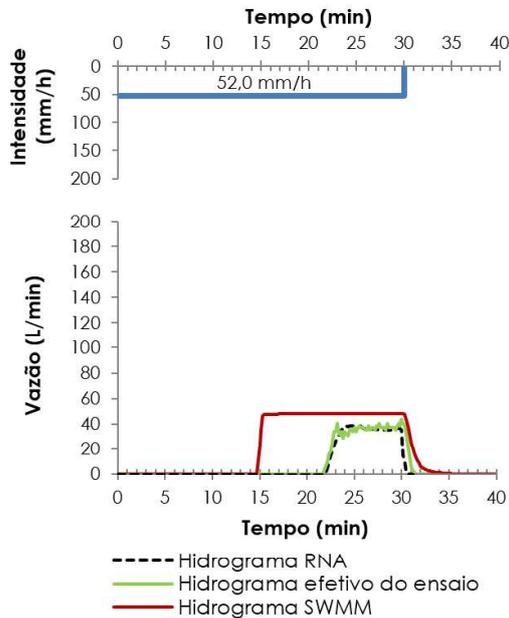
Com relação ao amortecimento dos volumes totais de descarga, para ambas as chuvas empregadas nos ensaios, a trincheira de infiltração atingiu a sua capacidade limite de retenção equivalente ao volume de projeto, resultando em extravasamento.

Para a chuva de menor intensidade, a trincheira de infiltração apresentou um amortecimento do volume total de descarga um pouco maior do que para a chuva de maior intensidade. Isto se deve a menor velocidade de enchimento e, conseqüentemente, maior tempo de infiltração até o momento do extravasamento. Para este parâmetro, a simulação realizada com o SWMM apresentou valores entre 30,68 e 35,20% menores que os valores observados, já na modelagem via RNA as diferenças se limitaram a valores entre 0,4 e 0,7% menores.

Com relação a vazão de pico resultante após o extravasamento da trincheira, o modelo SWMM apresentou valores entre 10,9 e 22,5%, acima dos valores observados e as RNAs resultaram valores entre 1,14 a 8,8% abaixo dos observados. Apesar de mais próximos dos observados, esses valores representariam um sub-dimensionamento das tubulações posicionadas a montante da trincheira.

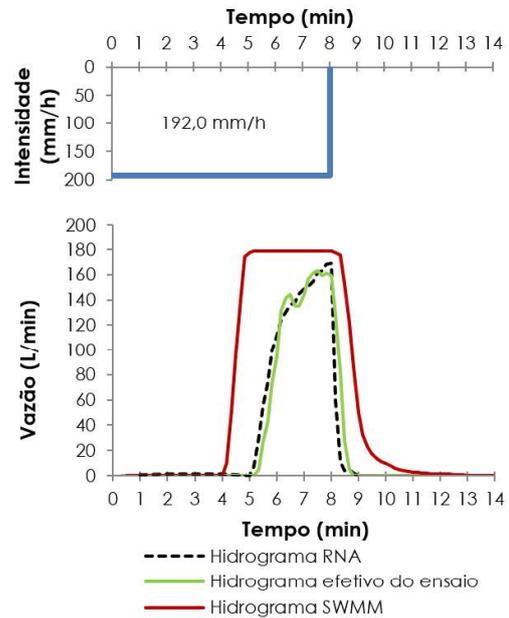
Por último, com relação ao volume útil necessário para a chuva de projeto, o modelo RNA apresentou um ajuste melhor do que o SWMM, com diferenças de apenas 5,4 e 10 Litros em relação aos valores observados.

Figura 2 - Hidrogramas modelados versus efetivo - chuva de 52 mm/h e 30 min de duração.



Fonte: Os autores.

Figura 3 - Hidrogramas modelados versus efetivo - chuva de 192 mm/h e 8 min de duração.



Fonte: Os autores.

Tabela 1 – Parâmetros modelados e observados experimentalmente.

	Parâmetro	Valores observados experimentalmente	Modelagem por meio do SWMM	Modelagem por meio da RNA
Chuva de projeto: 52 mm/h duração 30 min	Amortecimento do volume total de descarga (1.377 Litros)	78,6%	43,4%	78,2%
	Vazão de pico do hidrograma de escoamento	Vazão referencia (39,17 L/min)	Acréscimo de 22,5% do escoamento medido	Decréscimo de 8,8 % do escoamento medido
	Volume necessário para a chuva de projeto	1.178,2 Litros	1.662,5 Litros (acréscimo de 41,1%)	1.183,6 Litros (acréscimo de 0,46%)
Chuva de projeto: 192 mm/h duração 8 min	Amortecimento do volume total de descarga (1.356,8 Litros)	72,0%	41,32%	71,3%
	Vazão de pico do hidrograma de escoamento	Vazão referencia (161,14 L/min)	Acréscimo de 10,9% do escoamento medido	Decréscimo de 1,14 % do escoamento medido
	Volume necessário para a chuva de projeto	1.275,3 Litros	1.692,3 Litros (acréscimo de 32,7%)	1.285,3 Litros (acréscimo de 0,78%)

Fonte: Os autores.

## 4 CONCLUSÕES

As soluções de infiltração de águas pluviais ainda necessitam de aprimoramento e consolidação das técnicas de concepção, implantação e operação. O desenvolvimento de modelos numéricos para a concepção, mais criteriosa, destes sistemas vêm auxiliando na interpretação e correlação mais precisa dos diversos parâmetros hidráulicos, geotécnicos e climáticos envolvidos no seu desempenho operacional.

O estudo apresentado comparou a aplicação dos modelos SWMM 5.1 e de um modelo baseado em Redes Neurais Artificiais (RNA) na representação de desempenho hidrológico e na concepção do volume de projeto de uma trincheira de infiltração experimental. O modelo RNA se mostrou mais ajustado às condições observadas na trincheira experimental, representando hidrogramas de escoamento superficial mais próximos dos reais. O volume de projeto, definido por meio do modelo RNA, situou-se entre 0,46% e 0,78% mais elevados que na situação real. Isto se reflete não somente em uma concepção mais adequada e próxima ao desempenho esperado, mas também, em custos executivos menores que o sistema concebido por meio do modelo SWMM.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de financiamento e apoiadoras do projeto: CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo; CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

## REFERENCIAS

ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Ensaio de Permeabilidade em Solos: orientações para sua execução no campo: procedimentos.** ABGE, Boletim nº. 4, São Paulo. 1996.

ASTM **STANDARD D2487.** Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). American Society for Testing Materials International. West Conshohocken, PA. 2011.

DAVIS, A. P.; TRAVER, R. G.; HUNT, W. F.; LEE R.; BROWN, R. A.; OLSZEWSKI, J. M. Hydrologic Performance of Bioretention Storm-Water Control Measures. **Journal of Hydrologic Engineering.** ASCE – American Society of Civil Engineers. Vol. 17. p.p. 604-614. 2012.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2017) **Storm Water Management Model (SWMM).** Disponível em: < <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> > Acessado em 20 de março de 2018.

FRENI, Gabriele; MANNINA, Giorgio; VIVIANI Gaspere. Stormwater infiltration trenches: a conceptual modelling approach. **Water Science & Technology**. IWA Publishing. 2009. 185-199p.

LI, Yanling; BABCOCK Jr. Roger W. Green roof hydrologic performance and modeling: a review. **Water Science & Technology**. IWA Publishing. V. 69, n. 4, p. 727-738. 2014.

MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável: Porto Alegre – RS. **Rega – Revista de gestão de Água da América Latina**. ABRH – Associação Brasileira de recursos Hídricos. Vol. 9, nº. 1. 49-55p. 2012.

RADFAR, Ata; ROCKAWAY, Thomas Doan. Neural Networks Models for Captured Runoff Prediction of Permeable Interlocking Concrete Pavements. In: **WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS 2015: FLOODS, DROUGHTS, AND ECOSYSTEMS**. ASCE - American Society of Civil Engineers. Austin, Texas, USA. 17 a 21 de maio de 2015.

REIS, Ricardo. P. A.; ILHA, Marina S. O.; TEIXEIRA, P. C. Sistemas prediais de infiltração de água de chuva: aplicações, limitações e perspectivas. **[REEC] Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. v.7, n.3. DOI. 10.5216/reec.v7i3.27672. 13 p. 2013.

RIEGER, Wolfgang; DISSE, Markus. A physically-based model approach to assess the effectiveness of single and combined measures of decentralized flood protection. **Hydrologie und Wasserbewirtschaftung**, v. 57, n. 1, p. 14-25, 2013.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol. 5, n. 1, Jan/mar. 61-68p. 2000.

ZHANG, Shouhong; GUO, Yiping. SWMM simulation of the storm water volume control performance of permeable pavement systems. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 20, n. 8, p. 06014010, 2014.

ZUFFO, A. C.; LEME, P. E. **GRADEX e Santa Barbara: método híbrido para cálculo de vazão de projeto para macrodrenagem urbana**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., João Pessoa, 2005. Anais... João Pessoa, 2005.