

# USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NO LIMITE DE DEPOSIÇÃO EM GALERIAS PLUVIAIS

Adhemar Romero<sup>1</sup> e José Junji Ota<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Civil na POTAMOS e Mestrando no PPGERHA - UFPR, Belo Horizonte – MG, Brasil.

<sup>2</sup> Professor Adjunto do PPGERHA – UFPR / LACTEC / CEHPAR, Curitiba – PR, Brasil.

E-mail: adhe.romero@gmail.com, ota.dhs@ufpr.br

## Resumo

A busca pelas condições de projeto de galerias de águas pluviais auto-limpantes é fundamental para o dimensionamento dessas estruturas de forma a evitar problemas de sedimentos durante as cheias e minimizar a necessidade de manutenções. 508 experimentos laboratoriais foram analisados, com o objetivo de se propor a utilização de redes neurais artificiais para a determinação da concentração volumétrica de sedimentos no limite de deposição em galerias de águas pluviais. As redes neurais foram treinadas com dados experimentais de quatro autores e avaliadas através de um conjunto de 250 padrões de entrada. Após o treinamento e simulação das redes, foi feita uma análise baseada no coeficiente de correlação  $R^2$  para a seleção da rede com melhor desempenho. Concluiu-se que as redes neurais podem ser utilizadas para a determinação da concentração volumétrica no limite da deposição. Quando comparada, a rede neural artificial superou as demais equações obtidas por ajustes múltiplos pelo método dos mínimos quadrados. Entretanto, as análises comparativas entre as redes neurais e as demais equações, apontam que a equação que mais se aproxima dos resultados obtidos corresponde a equação de Ota (1999).

**Palavras-chave:** Concentração volumétrica; Limite de deposição de sedimentos; Transporte de sedimentos; Drenagem urbana.

## Introdução

O transporte de sedimentos está presente na maioria das obras hidráulicas. Inerente à própria operação da estrutura, os sedimentos carregados pelos escoamentos podem desenvolver ou agravar processos de deposição e obstruções, demandando manutenções mais frequentes. Usualmente, para o projeto dessas estruturas, são considerados critérios simplistas de velocidades e/ou tensões tangenciais mínimas auto-limpantes.

Alternativamente a esses critérios, são propostas na literatura equações empíricas devidas a Mayerle (1991), Ab Ghani (1993) e May *et al.* (1996). Ota (1999) apresentou um estudo mais teórico, mas nenhuma dessas equações está aceita em definitivo. A partir da necessidade de reprodução do comportamento da concentração volumétrica de sedimentos no limite de deposição, a inteligência artificial se apresenta como um método alternativo em relação às equações, tornando uma ferramenta importante no aspecto de comparação e/ou seleção de uma equação que melhor representa o transporte de sedimentos em canais de seção circular (tubos).

## Redes neurais artificiais

Uma Rede Neural Artificial (RNA) pode ser definida como um sistema computacional capaz de simular o processo decisório do sistema nervoso de um ser humano (GRAUPE, 2013). Em outras palavras, pode ser caracterizada como um sistema de processamento de informações altamente complexo, não linear e paralelo, possuindo a capacidade de organizar sua forma estrutural, com o objetivo de realizar tarefas como classificação de padrões, percepções, controle motor, entre outras (KUBAT, 1999).

Dentre as principais características das RNA apresentadas por Silva et al. (2016) destaca-se a capacidade das RNA como um aproximador universal de funções.

Existem diversas arquiteturas de Redes Neurais Artificiais. Entre elas encontram-se as redes do tipo Perceptron Multicamadas, as quais são caracterizadas por possuírem pelo menos uma camada de neurônios escondida em sua estrutura (SILVA et al., 2016). Este tipo de arquitetura pode ser classificado como uma rede feed forward, a qual é aplicada nas mais diversas áreas da ciência (SVOZIL et al., 1997).

Os neurônios, quando organizados de tal maneira a formar este tipo de arquitetura, proporcionam a esta RNA uma notável habilidade de extrair as informações essenciais de um conjunto de treinamento e aplicar em um conjunto de pontos novos não apresentados à rede na fase de aprendizagem (SIETSMA; DOW, 1991). O número de neurônios das camadas escondidas de processamento possibilita a classificação não linear dos padrões de entrada (SILVA et al., 2017).

Neste trabalho é adotada a rede do tipo Perceptron Multicamadas.

## Galerias de águas pluviais

As galerias de águas pluviais correspondem a um dos dispositivos das redes de microdrenagem urbana, as quais possuem a função de conduzir as águas provenientes do escoamento superficial para córregos ou então redes de macrodrenagem, excluindo esgotos domésticos e águas provenientes de processos industriais (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE), 2007).

No projeto de galerias utiliza-se comumente a equação de Manning para a determinação do diâmetro necessário para o adequado escoamento da vazão de projeto. Recomenda-se simplesmente que a velocidade mínima do escoamento deva estar na faixa entre 0,60 m/s e 0,80 m/s, para que não haja deposição de sedimentos no fundo dos tubos (FENDRICH et al., 1997; MAYS, 1999; TUCCI, 2004; TOMAZ, 2013). As publicações de Tomaz (2013) e May *et al.* (1996) sugerem que além de a velocidade estar acima da faixa indicada, a tensão tangencial mínima deve estar acima da faixa entre 1 N/m<sup>2</sup> e 7 N/m<sup>2</sup> para que não haja deposição de sedimentos nas galerias. Entretanto, a condição a qual estabelece o limite de deposição deve estar associada à concentração de sedimentos no escoamento.

## Equações existentes para a determinação da concentração volumétrica no limite de deposição de sedimentos no fundo de tubos

Mayerle et al. (1991) buscaram definir a máxima taxa de transporte possível de sedimentos ao longo de um tubo limpo sem deposição através da equação 1 obtidas por regressão linear.

$$C_v = 0,03 \left( \frac{V}{\sqrt{gd_{50}(S_s - 1)}} \right)^{3,54} D_{gr}^{-0,11} \left( \frac{d_{50}}{R_h} \right)^{2,47} \lambda_s^{0,57} \quad [1]$$

Onde  $C_v$  = concentração volumétrica;  $V$  = velocidade média do

escoamento;  $g$  = aceleração da gravidade;  $d_{50}$  = diâmetro do sedimento;  $S_s$  = densidade relativa do sedimento;  $R_h$  = raio hidráulico do escoamento;  $D_{gr}$  = diâmetro adimensional do sedimento;  $\lambda_s$  = fator de resistência na presença de sedimento.

Ab Ghani (1993) apresentou a equação 2, que procura abranger um maior número de experimentos com o objetivo de generalizar o fenômeno.

$$C_v = 0,03 \left( \frac{V}{\sqrt{gd_{50}(S_s-1)}} \right)^{3,54} D_{gr}^{-0,11} \left( \frac{d_{50}}{R_h} \right)^{2,47} \lambda_s^{0,57} \quad [2]$$

May *et al.* (1996) avaliou sete equações diferentes para a caracterização da concentração volumétrica no limite de deposição e diversos experimentos labororiais e ajustou a equação 3.

$$C_v = 0,0303 \left( \frac{D^2}{A} \right)^{0,6} \left[ 1 - \frac{V_t}{V} \right]^4 \left[ \frac{V^2}{gd_{50}(S_s-1)} \right]^{1,5} \quad [3]$$

Onde  $V_t$  = velocidade de movimento incipiente;  $d$  = diâmetro do sedimento;  $A$  = área do escoamento.

Ota (1999) desenvolveu uma solução semi-teórica, considerou a velocidade que as partículas de diâmetro  $d$  são transportadas sobre o leito com rugosidade  $k$  e o ângulo de atrito interno é representado através da relação  $(d/k)^{2/3}$  multiplicando o parâmetro de Shields. Fazendo as devidas deduções e simplificações, a concentração volumétrica determinada por Ota (1999) corresponde à equação 4.

$$C_v = 2,9 \xi^{2,7} \left( \frac{R_h}{d} \right)^{1,2} \left( \frac{S}{S_s-1} \right)^{1,2} \sqrt{\frac{\lambda_0}{8}} \left( \frac{d}{k} \right)^{1,8} \quad [4]$$

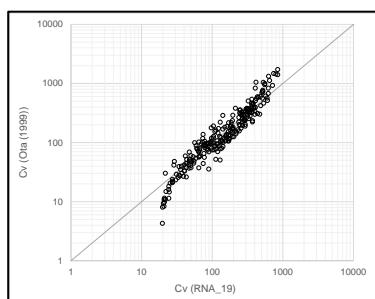
Onde  $S$  = declividade do canal;  $\lambda_0$  = fator de resistência do escoamento da água;  $\xi$  = relação entre tensão tangencial no fundo do canal e tensão tangencial média.

### Utilização de redes neurais artificiais para a determinação da concentração volumétrica no limite de deposição de sedimentos

Inicialmente foi determinado um conjunto de treinamento, composto dos dados experimentais obtidos nas pesquisas de May *et al.* (1996), Mayerle (1991), AbGhani (1993) e Ota (1999), totalizando 508 padrões de dados observados. Após o treinamento foi determinado um conjunto de simulação contendo 250 dados interpolados, dentro da faixa de dados do conjunto de treinamento. Assim foi verificada a aderência dos pontos simulados e as equações de May *et al.* (1996), Mayerle (1986), AbGhani (1993) e Ota (1999).

Dessa forma foi possível observar que a equação que mais se aproxima dos resultados fornecidos pelas redes neurais artificiais corresponde à equação de Ota (1999), sendo possível a seleção de uma única rede capaz de definir a concentração volumétrica no limite de deposição em tubos através da comparação com os resultados fornecidos por esta equação.

A **Figura 1** mostra a correlação entre a rede neural selecionada e a equação de Ota (1999).



**Figura 1.**- Comparação entre a concentração volumétrica obtida pelo emprego da equação 4 de Ota (1999) e pela Rede Neural Artificial.

### Resultados e discussões

A determinação da concentração volumétrica de sedimentos no limite de deposição é de fundamental importância para projetos de galerias livres de sedimentos, visto as equações analisadas na literatura são funções diretas ou indiretas da concentração volumétrica na condição limite.

O presente trabalho apresenta uma metodologia alternativa para a determinação dessa variável em função das demais características do escoamento.

Além disso, oferece um comparativo e serve como critério de seleção entre as equações já existentes com a utilização de uma metodologia nova e imparcial.

### Referências bibliográficas

- American Society of Civil Engineers (ASCE). *GravitySanitarySewer Design and Construction*. 2007.
- Fendrich, R.; Obladen, N. L.; Aisse, M. M.; Garcias, C. M. *Drenagem e controle da erosão urbana*. 4a Ed ed. Curitiba, 1997.
- Ghani, A. *Sediment Transport in Sewers*, p. 362, 1993.
- Graupe, D. *Principles of Artificial Neural Networks* (3rd Edition). 2013.
- Kubat, M. "Neural networks: a comprehensive foundation by Simon Haykin", Macmillan, 1994, ISBN 0-02-352781-7. The KnowledgeEngineeringReview, 1999.
- May, R. W. P.; Ackers, J. C.; Butler, D.; John, S. "Development of design methodology for self-cleansing sewers". *Water Science and Technology*, v. 33, n. 9, p. 195–205, 1996.
- Mayerle, R.; Nalluri, C.; Novak, P. "Sediment transport in rigidbed conveyances" *Journal of Hydraulic Research*, v. 29, n. 4, p. 475–495, 1991.
- Mays, L. W. *Hydraulic Design Handbook*. Michgam, 1999.
- Ota, J. J. "Effect of ParticleSize and GradationonSedimentTransport in StormSewers", 1999. *University of Newcastle Upon Tyne*.
- Sietsma, J.; Dow, R. J. F. "Creating artificial neural networksthat generalize." *Neural Networks*, v. 4, n. 1, p. 67–79, 1991.
- Silva, I. N.; Hernane Spatti, D.; Andrade Flauzino, R.; Liboni, L. H. B.; Reis Alves, S. F. Dos. "Artificial Neural Networks". *Springer International Publishing*, 2017.
- Silva, I. N.; Spatti, D. H.; Flausino, R. A. "Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas: Fundamentos teóricos e aspectos práticos." 2a ed. São Paulo, 2016.
- Svozil, D.; Kvasnieka, V.; Pospichal, J. "Introduction to multi-layerfeed-forward neural network." *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 39, p. 43–62, 1997.
- Tomaz, P. *Curso de Manejo de águas pluviais*. Guarulhos - SP, 2013.
- Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3a Edição ed. Porto Alegre, 2004.