

VOZES DIVERSAS

DIFERENTES SABERES



SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA XXX SIC

15 A 19 OUTUBRO CAMPUS DO VALE



Efeito da presença de sedimentos sobre a rugosidade de condutos de drenagem urbana

Bruno Alvarez Scapin (BIC UFRGS), Ana Luiza de Oliveira Borges (Orientadora)
IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas
brunoscapin11@gmail.com



Introdução

Em escoamentos à superfície livre, existe uma relação definida entre a vazão escoada, a profundidade e a velocidade média, dependente da forma da seção transversal e da natureza do material que constitui o canal. Esta relação pode ser facilmente equacionada quando são conhecidos os aspectos que compõem a rugosidade hidráulica do canal.

Os condutos de drenagem podem estar sujeitos ao aporte de sedimentos (sobretudo areia), que se depositando junto ao fundo alteram sua rugosidade. À medida que este material é mobilizado pelo escoamento, ele se deforma, criando geometrias posicionais (formas de fundo) que afetam os parâmetros hidráulicos do escoamento.

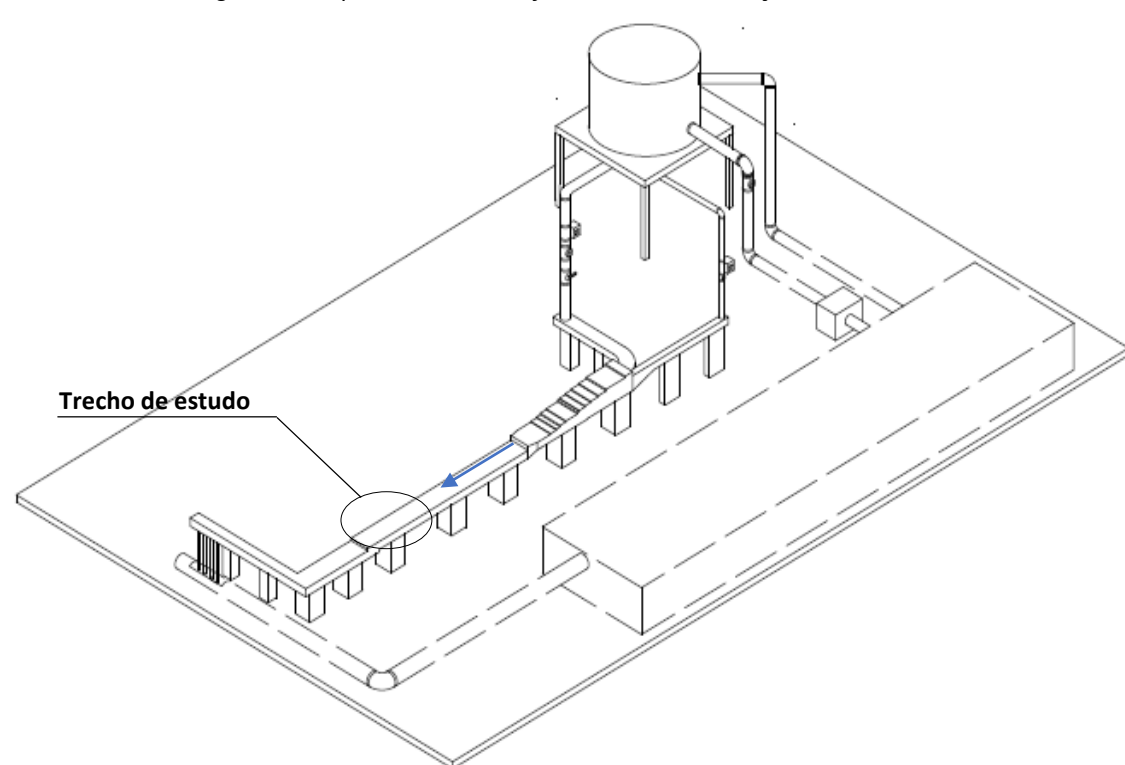
Existem diversos modelos que visam equacionar a rugosidade hidráulica equivalente em canais de fundo móvel e, portanto, mensurar numericamente a resistência ao escoamento de acordo com o tipo e tamanho do sedimento (resistência de superfície) e com a deformação do meio (resistência de forma).

O objetivo deste estudo é avaliar as modificações, no escoamento e na rugosidade de fundo, causadas pelo trânsito de sedimentos em trecho de conduto escoando à superfície livre e em regime permanente, bem como testar a aplicabilidade dos modelos propostos por Liu-Hwang (1952) e van Rijn (1982).

Materiais e métodos

Para realizar o estudo foi utilizado um trecho do modelo físico do Conduto Forçado Álvaro Chaves (Fig. 1), construído no Pavilhão Fluvial do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, o qual reproduz, na escala 1:15, a geometria e as singularidades deste conduto. Os ensaios foram realizados em um trecho do conduto, livre de perturbações, com seção retangular (largura de 42,5cm, declividade de 0,1%), escoando em regime permanente e subcrítico.

Figura 1 – Esquema do modelo físico do Conduto Forçado Álvaro Chaves.



À montante do trecho de estudo foi colocado um leito de areia com granulometria extensa ($D_{10}= 130,07$ mm, $D_{50}= 216,88$ mm e $D_{90}= 354,13$ mm). Através de medidores de vazão eletromagnéticos foram ajustadas vazões de entre 390 l/min e 520 l/min para a realização de ensaios consecutivos, com durações de aproximadamente 30 minutos cada. Após a estabilização da lâmina de água e das deformações, foram realizadas as medições das profundidades em duas seções cuja distância foi também avaliada. Ao finalizar as medições, foram fechados lentamente os registros de entrada e de saída de água para interromper o escoamento, de forma a preservar a camada de sedimento depositada no modelo e, posteriormente, foram realizadas as medições das características geométricas das formas de fundo, capturadas as imagens e coletadas amostras ao longo de todo o trecho estudado. Uma vez que as formas de fundo alteram a declividade do canal, a linha de água medida foi calculada através do método das diferenças finitas, fazendo-se variar o valor do coeficiente de rugosidade, de forma a respeitar as profundidades e a vazão medidas, permitindo a obtenção da declividade da linha de energia.

O modelo proposto por Liu-Hwang (1952) se assemelha à fórmula de Strickler-Manning, mas o coeficiente de rugosidade (C) e os expoentes do raio hidráulico (R_H) e da declividade (I) são valores que variam segundo a granulometria do sedimento e a deformação por ele sofrida (Eq.1).

$$V = C \alpha R_H^x I^y \quad \text{Eq.1}$$

O modelo de van Rijn (1982) equaciona a rugosidade do canal (K_s) com base em duas componentes de resistência (Eq. 2): a componente da rugosidade relacionada ao grão e a componente de uma rugosidade relacionada à geometria das formas de fundo (Δ = altura, λ = comprimento, $\Psi = \Delta/\lambda$ = declividade da forma).

$$K_s = 3 D_{90} + 1.1 \Delta [1 - e^{-2.5\Psi}] \quad \text{Eq.2}$$

O coeficiente de rugosidade de Chézy é obtido através da Eq. 3.

$$C = 5.75 \sqrt{g} \log \left(12 \frac{R_H}{K_s} \right) \quad \text{Eq.3}$$

Resultados

Dados Experimentais: Os ensaios realizados originaram formas de fundo classificadas como ondulações (Ripples) segundo o critério de Bogardi. Ao longo dos ensaios realizados foi observada uma variação nas características geométricas das formas de fundo, à medida que a vazão era alterada (Figs. 2, 3 e 4). Em ensaios com maiores vazões, as formas de fundo permaneciam mais definidas, espaçadas e com maiores alturas. Já a granulometria do material de fundo não sofreu grandes alterações.

Figura 2 – Ensaio 1; 420 l/min.

Figura 3 – Ensaio 6; 520 l/min.

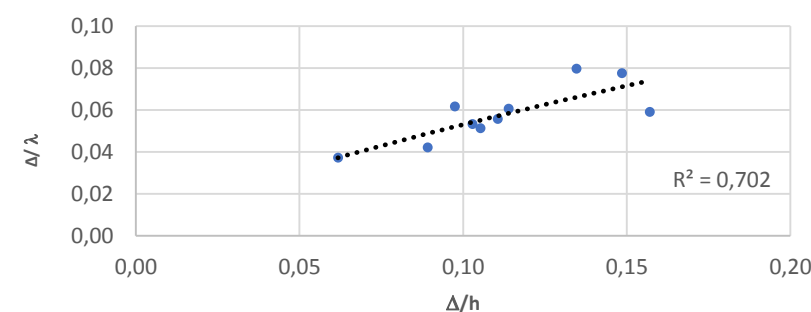
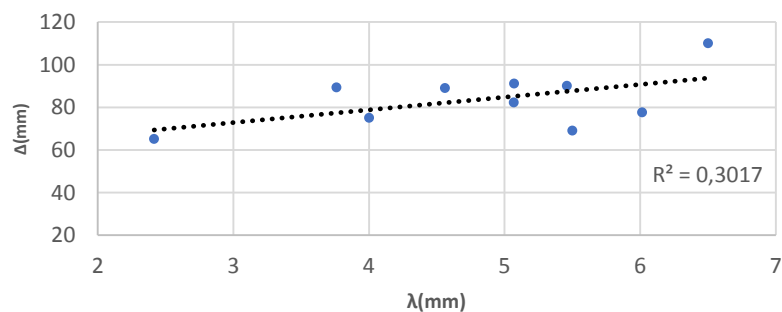
Figura 4 – Ensaio 9; 400 l/min.



Em geral, há um aumento do espaçamento entre as cristas das formas de fundo em função do aumento de sua altura (Fig 5). Da mesma forma, a declividade das formas aumenta com o aumento da rugosidade relativa: relação entre a altura da forma e a profundidade do escoamento (Fig. 6).

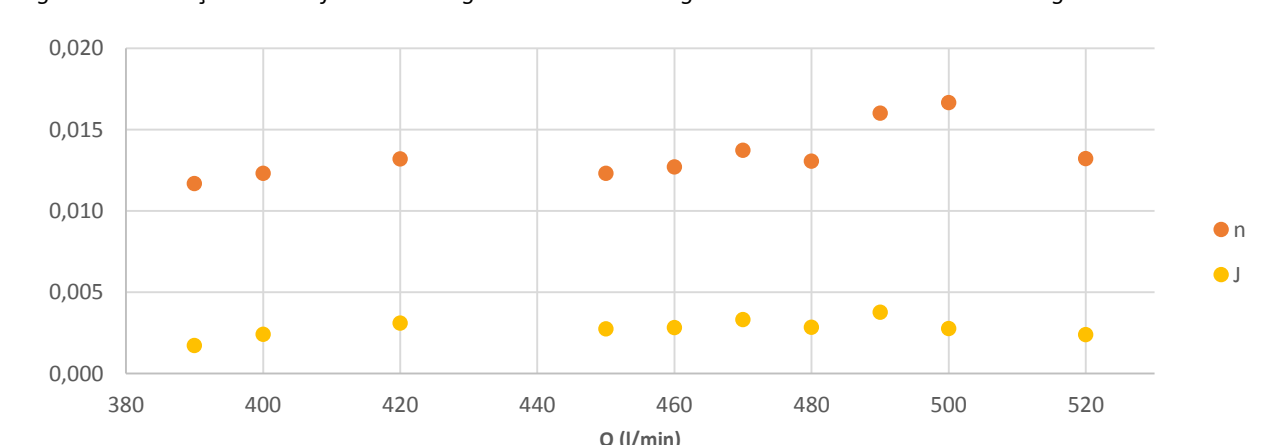
Figura 5 – Relação entre altura e espaçamento das cristas.

Figura 6 – Relação entre a declividade das formas e a rugosidade relativa.



Os resultados demonstraram uma variação tanto no coeficiente de Manning (n), quanto na declividade da linha de água (J), segundo a intensidade da vazão (Fig. 7). Tal fato é resultado da mudança da geometria das formas de fundo, as quais alteram a rugosidade hidráulica, assim como da mudança da altura da lâmina de água alterando o perímetro molhado da seção.

Figura 7 – Alterações no coeficiente de rugosidade de Manning e na declividade da linha de energia do escoamento.



Ajustes de modelos de cálculo: A figura 8 mostra a variação do coeficiente de rugosidade de Chézy. A figura 9 apresenta as vazões estimadas através dos métodos de Liu-Hwang, van Rijn. O método que melhor se ajustou foi o proposto por Liu-Hwang, com erros de previsão da vazão escoada inferiores a 15%. Também foi estimada a vazão com a equação de Strickler-Manning, fazendo o uso da declividade de fundo como variável. O baixo ajuste obtido fortalece a adoção de métodos de cálculo de linha de água para a estimativa da declividade da linha de energia.

Figura 8 – Vazão observada e coeficiente de Chézy.

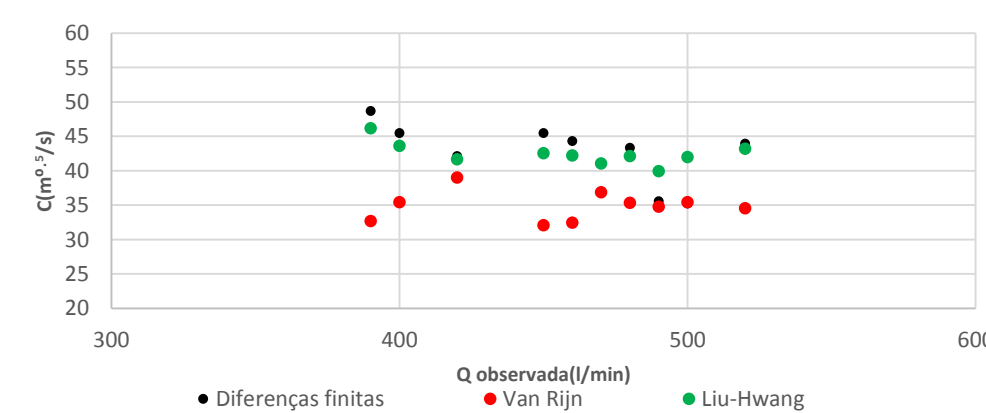
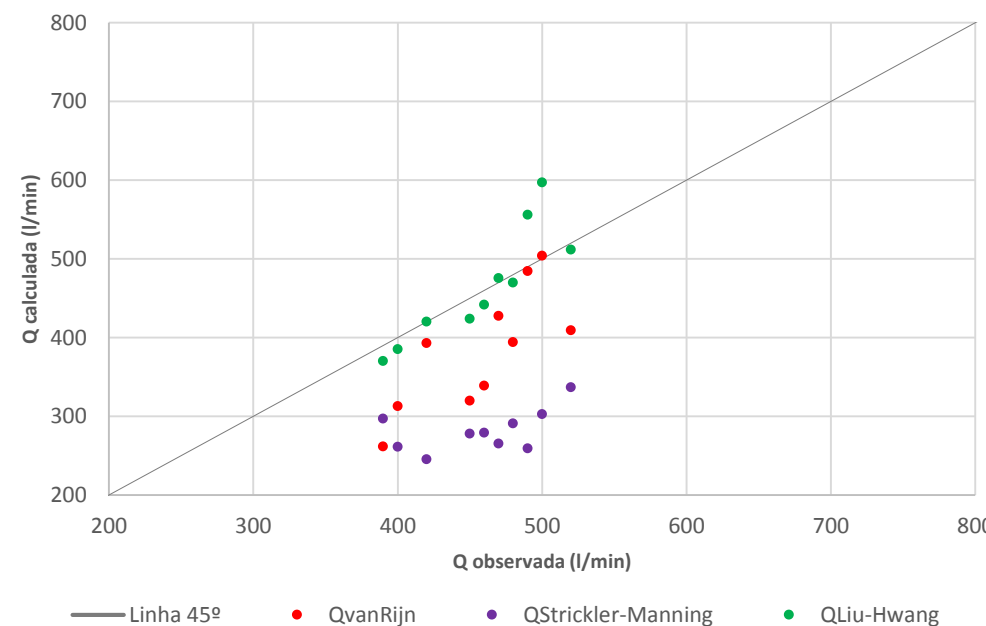


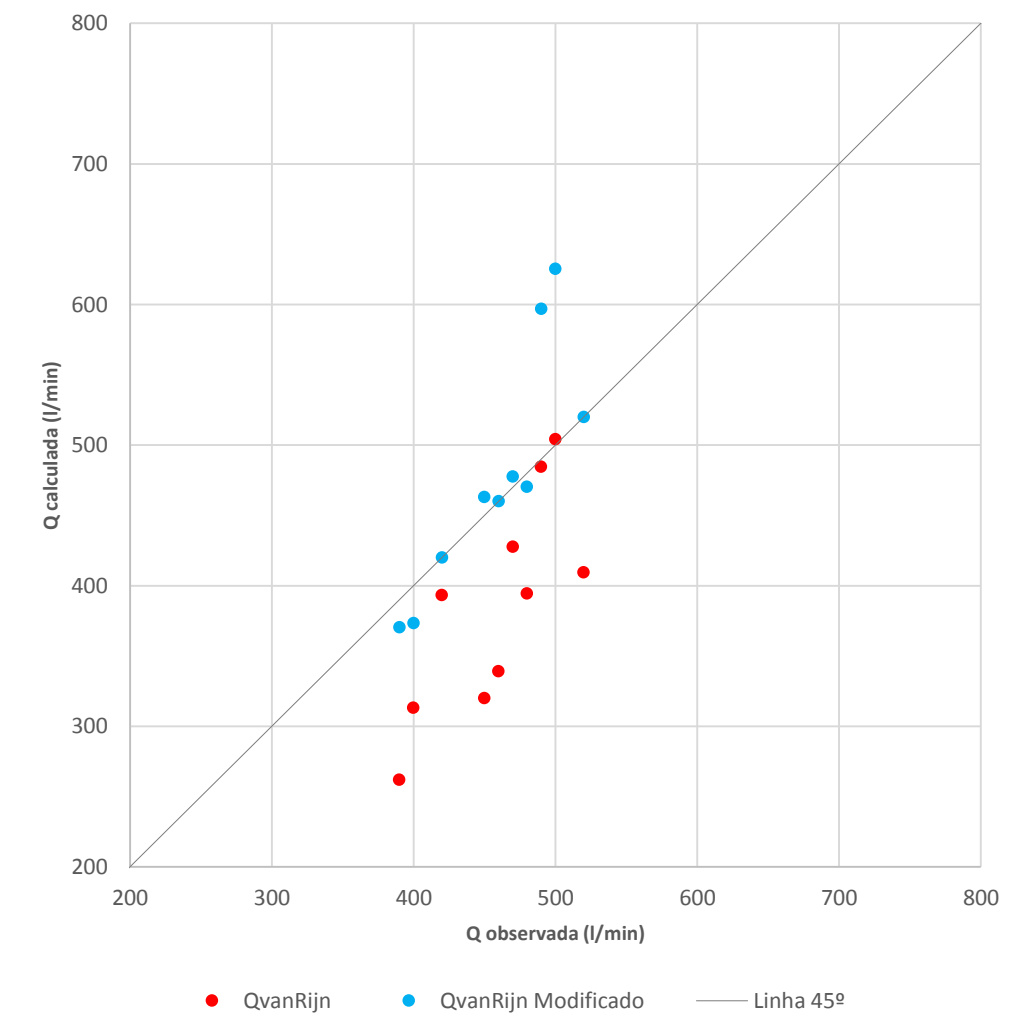
Figura 9 – Vazão observada e vazão calculada.



Com a finalidade de desenvolver uma fórmula que correlacionasse melhor os valores medidos com os valores calculados, foi sugerida uma mudança na fórmula de van Rijn. Para isto, a componente relativa à rugosidade de superfície foi ponderada com uma constante com menor peso e, para a componente relativa à rugosidade de forma, um novo adimensional foi estabelecido relacionando a geometria da forma de fundo e o raio hidráulico do escoamento (Eq. 4).

$$K_s = 1.23 D_{90} + 1.16 \Delta e^{-0.15 \frac{\Delta^2}{R_H \lambda}} \quad \text{Eq.4}$$

Figura 10 – Vazão observada e vazão calculada usando lei ajustada para estimar K_s .



Conclusão

Este estudo evidencia a alteração dos parâmetros hidráulicos de acordo com a geração e a mobilidade das formas de fundo, afetando diretamente a resistência oferecida pelas paredes ao escoamento, com reflexos sobre a linha de água e a declividade da linha de energia.

A comparação entre os modelos de previsão da vazão escoada, possibilitou perceber que nem sempre os modelos mais complexos resultam em melhores valores. Também, foi percebido que a consideração das medições das formas de fundo, permitiu propor uma adaptação do modelo de van Rijn, a fim de melhorar as previsões.

Devido à complexidade do estudo de canais de fundo móvel, sobretudo em função da mobilidade do sedimento, recomenda-se avaliar os parâmetros hidráulicos em um trecho, detalhando a evolução das profundidades, bem como as deformações do fundo.

Referências

- DA SILVA, Juliana Kaiber. *Identificação de instabilidades hidráulicas em sistema de drenagem urbana - investigação experimental do conduto forçado Álvaro Chaves*. 2015. 97f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2015.
- GARDE, R. J. *Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems*. University of Roorkee, Roorkee. 1977.
- LIU H., K. and HWANG, S. Y. *A discharge formula for flow in straight alluvial channels*. Civil Engineering, Department Colorado State University. 1952.
- VAN RIJN, L. C. *The prediction of bed forms and alluvial roughness*. Euromech Conference Sediment Transport. Istanbul, Turkey. 1982.