

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CARGA CINÉTICA “K” EM INSTALAÇÕES DE TRANSPORTE DE ÁGUA: OTIMIZAÇÃO VISANDO A MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS.

Fernanda Marques dos Santos¹

Stephanie Oliveira Neves²

Carlos Kenzo Yoshitake Pinto³

Henrique Shiguemitsu Danno⁴

Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho⁵

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Resumo

Dependendo da magnitude de uma instalação hidráulica, os impactos econômico-ambientais decorrentes da mesma podem se tornar significativos, portanto um projeto assentado em bases racionais e otimizadas torna-se uma ferramenta indispensável na mitigação desses impactos. O presente trabalho objetivou determinar o coeficiente de carga cinética adimensional (K) em acessórios comerciais de PVC utilizando como fluido circulante a água de abastecimento, sob números de Reynolds na faixa entre $4,6 \cdot 10^3$ e $3,9 \cdot 10^4$, ou seja, regimes de baixa e média turbulência. As canalizações e acessórios empregados possuem diâmetros nominais variando entre 20 a 32 mm. Utilizou-se uma bancada de teste, constituída de bomba centrífuga, manômetros diferenciais, circuitos primário e secundário de tubos retos e diversos dispositivos acessórios. Sob as condições testadas, verificou-se uma variação de K em comparação com valores usualmente adotados em projetos, podendo ser atingidos valores até 9 vezes superiores aos comumente adotados para alguns dispositivos acessórios. Com base nos resultados obtidos, aconselha-se uma maior atenção com a estimativa de perda de carga no dimensionamento de sistemas que trabalhem nas faixas de turbulência analisadas. Embora a maioria das aplicações funcione com regimes de turbulência nos quais Reynolds esteja acima de $5 \cdot 10^4$, para o qual k é praticamente constante, sabe-se que nem todos os sistemas operam nessa condição, como é o caso de algumas instalações de irrigação e de sistemas prediais de água fria, o que pode resultar em alterações no dimensionamento com maiores custos de instalação e operação desses sistemas.

Palavras-chave: Perda de carga localizada; Acessórios Hidráulicos; Turbulência.

¹Aluna do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, São Paulo, Brasil, feer.m.santos@gmail.com.

²Aluna do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, São Paulo, Brasil, stephanie.oliveira210@gmail.com.

³Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, São Paulo, Brasil, pccarloskenzo@gmail.com.

⁴Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, São Paulo, Brasil, henriquedanno@gmail.com.

⁵Prof. Dr. Jorge L. R. Pantoja Filho, Centro de Ciências da Natureza, Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, São Paulo, Brasil, pantojafilho@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Um projeto hidráulico, dependendo da sua magnitude, pode causar impactos significativos tanto economicamente quanto ambientalmente. Um dos parâmetros fundamentais desse tipo de projeto é a perda de carga total provocada pelo escoamento da água no sistema, pois a mesma implicará, em última instância, na determinação dos diâmetros das canalizações e na potência requerida pelo sistema elevatório. Um cálculo preciso pode baratear o custo com equipamentos, bem como sua operação, diminuindo, por exemplo, o impacto ambiental decorrente do uso de energia elétrica de uma bomba superdimensionada.

A perda de carga localizada pode ser estimada por diferentes métodos, sendo um dos mais utilizados o de Borda-Bélanger, o qual relaciona a perda de carga em um acessório com a velocidade de aproximação da corrente de água e um coeficiente de carga cinética (K) (Chanson, 2009; Ziterell et al., 2009). Os valores do coeficiente adimensional K fornecidos nas tabelas largamente divulgadas na literatura especializada e aplicados em projetos são fundamentados em escoamentos cujo número de Reynolds seja superior a aproximadamente $5 \cdot 10^4$ devido a estabilidade no valor de K para Reynolds superiores esse valor, pois verificou-se em trabalhos experimentais que K assume um valor praticamente constante a partir do referido grau de turbulência, daí seu emprego generalizado para as mais diversas finalidades (Porto, 2008). Todavia, nem sempre o escoamento turbulento dá-se nessa faixa, pois em muitas operações práticas, como é o caso de alguns sistemas de irrigação e instalações prediais de água fria, os números de Reynolds podem ser bem inferiores a $5 \cdot 10^4$. Sendo assim, a utilização de um coeficiente testado e experimentado em uma determinada faixa de turbulência pode não ser adequada para o caso do escoamento da água em outra faixa de magnitude inferior, podendo tornar temerário seu emprego nessas condições.

Nota-se, com base em uma varredura na literatura disponível, que são relativamente escassos os números de trabalhos que apresentem uma abordagem para esse problema específico ficando assim, clara a necessidade do estabelecimento de coeficientes mais precisos para o emprego em projetos hidráulicos cuja operação seja realizada sob condições de baixa e média turbulência.

O objetivo do presente trabalho, portanto, é determinar o coeficiente de carga cinética K para diferentes acessórios hidráulicos, sob condições em que a turbulência

esteja compreendida entre $4,6 \cdot 10^3 < \text{Re}_y < 3,9 \cdot 10^4$, visando mitigar e otimizar os impactos econômicos e ambientais em aplicações práticas operando em graus de turbulência moderados.

METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia, do Centro de Ciências da Natureza (CCN), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus Lagoa do Sino. Para o sistema experimental, foi utilizada uma bancada de ensaio de perda de carga, a qual foi empregada para o controle, o monitoramento e a aquisição dos dados necessários ao desenvolvimento do trabalho. Empregou-se como fluido manométrico o clorofórmio (massa molar: $119,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; densidade: $1,48 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). A temperatura dos testes foi de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, para a qual os pesos específicos da água e do clorofórmio são, respectivamente, de $9792,6$ e $14609,1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$. Os ensaios foram realizados em triplicata. Para produzir os graus de turbulência desejados, operou-se o sistema com base em três vazões de teste, 6 , 15 e $30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente, para as quais os números de Reynolds resultantes variaram entre $4,6 \cdot 10^3$ e $3,9 \cdot 10^4$. Para o cálculo da perda de carga localizada foi utilizada a clássica equação de Borda-Bélanger, a qual é resultante da dedução da expressão relativa à perda de carga devido ao alargamento brusco, partindo-se do Teorema de Bernoulli e considerando-se o impulso das forças que atuam nas seções e a variação da quantidade de movimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

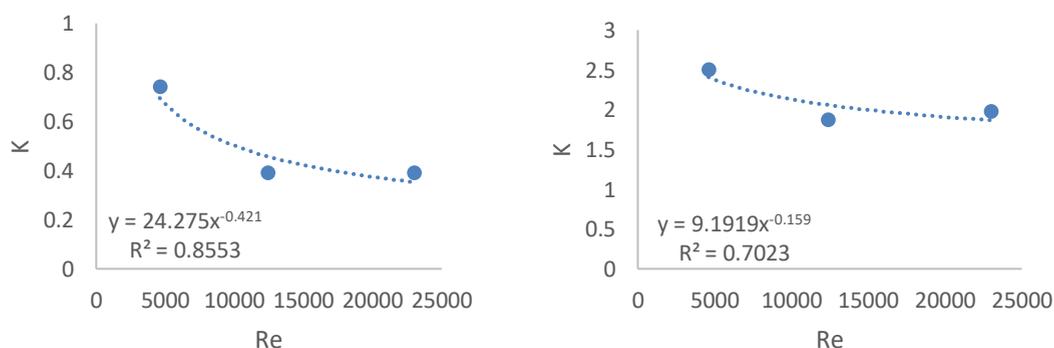
De maneira geral, observou-se a diminuição do valor K à medida em que o grau de turbulência foi aumentado. Conforme pode ser verificado na Tabela 1, para o caso da válvula de gaveta DN 32, este valor assume $0,79$ quando o número de Reynolds corresponde a $4,63 \cdot 10^3$ atingindo o valor médio e constante adotado em projetos de $0,2$ para Reynolds maiores ou iguais a $5 \cdot 10^4$. A mesma análise pode ser feita para os cotovelos de DN 20,25 e 32, cujos valores para K também são significativamente superiores àqueles preconizados. Discrepâncias ainda mais significativas foram

verificadas quando da redução brusca de diâmetro, com valores de K sendo até 9 vezes superiores, quando a vazão aplicada foi comparativamente mais baixa.

Tabela 1 – Coeficiente de carga cinética adimensional “k” para diferentes acessórios, considerando os graus de turbulência.

Acessórios	K (Calculado)			K (Literatura)
	6L.min ⁻¹	15L.min ⁻¹	30L.min ⁻¹	
	(4,6.10 ³ < Re < 7,7.10 ³)	(1,2.10 ⁴ < Re < 1,9.10 ⁴)	(2,3.10 ⁴ < Re < 3,9.10 ⁴)	
Válvula de gaveta DN 32	0,79±0,01	0,54±0,01	0,55±0,02	0,20
Redução brusca DN32-DN25	1,44±0,09	1,13±0,10	1,35±0,10	0,18
Redução brusca DN25-DN20	1,66±0,12	1,13±0,15	1,28±0,16	0,18
Curva 90° DN20	0,74±0,11	0,39±0,11	0,39±0,11	0,40
Cotovelo DN 20	2,73±0,09	2,04±0,08	2,29±0,10	0,90
Ampliação DN20-DN25	0,91±0,05	0,70±0,03	0,79±0,02	
Cotovelo DN25	2,84±0,11	2,31±0,12	2,48±0,10	0,90
Curva 90° DN25	0,68±0,01	0,64±0,01	0,61±0,02	0,40
Ampliação DN25-DN32	0,59±0,02	0,52±0,02	0,61±0,03	
Cotovelo DN32	3,06±0,25	2,16±0,22	2,59±0,17	0,90
Redução brusca DN32-DN20	2,41±0,21	1,59±0,15	1,69±0,20	0,30
Ampliação DN20-DN32	0,75±0,10	0,53±0,09	0,62±0,08	
Tê cotovelo DN20	2,50±0,25	1,87±0,22	1,98±0,19	2,00

Na Figura 1, apresentam-se os valores de K observados experimentalmente em função da vazão na curva de 90° e no Tê-cotovelo, com ajuste realizado pelo modelo potencial. Para o caso da curva de 90° e o Tê-cotovelo, os valores de k, apresentaram variações menores e atingiram o patamar de estabilidade em turbulência em pelo menos um grau de magnitude inferior ($Re \sim 1,93.10^4$) ao sugerido na literatura.



(a)

(b)

Figura 1 – Curva K x Re para uma curva de 90° (a) e tê-cotovelo (b).

Sendo a perda de carga provocada pelos dispositivos supramencionados inversamente proporcional ao seu respectivo valor de K , estas variações são, portanto, significativas, podendo levar a um efeito em cascata, pois a adoção de um valor de K típico adotado em projetos aumenta o impacto na perda de energia mecânica total do sistema e o conseqüentemente a altura manométrica de projeto, a qual, por fim, aumenta o custo de aquisição e operação do conjunto motor-bomba.

CONCLUSÕES

Verificou-se, a partir dos resultados apresentados, que o valor de K obtido experimentalmente, divergiu sobremaneira em relação aos valores de K usualmente adotados em projetos hidráulicos, o qual é estabilizado para $Re > 5 \cdot 10^4$. Tal diferença considerável pode influenciar negativamente em um projeto de instalação hidráulica dependendo de sua magnitude, portanto torna-se evidente a necessidade do uso do coeficiente de carga cinética adimensional “ k ” de maneira mais precisa, almejando assim um maior equilíbrio entre os aspectos ambiental e econômico de um projeto.

Não menos importante, deve-se levar em consideração que os valores recomendados de K devem ser entendidos como valores médios, uma vez que sua determinação experimental é afetada pelos mais diferentes fatores.

REFERÊNCIAS

- CHANSON, H. **Development of the Bélanger Equation and Backwater Equation by Jean-Baptiste Bélanger (1828)**. Journal of Hydraulic Engineering, 2009.
- NETTO, A.; FERNANDEZ, M.; ARAUJO, R. – **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1998.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.
- ZITTERELL, D. B.; FRIZZONE, J. A.; RETTORE, N. O.; ULLMANN, M. N. **Perda de carga em microtubos e conectores utilizados em microaspersão**. 2009.