

AJUSTE DO COEFICIENTE C DA EQUAÇÃO DE HAZEN-WILLIAMS PARA CONDUTOS FORÇADOS

LETÍCIA CAROLINE SILVA COSTA¹; KAMILA DA SILVA MARTINS PITANA²; THAIS NOUALS³; GUSTAVO BORGES LIMA⁴; JUCIANO GABRIEL DA SILVA⁵; LESSANDRO COLL FARIA⁶

¹ Universidade Federal de Pelotas – leticiacosta991@hotmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – kamillamartinspitana@gmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas – thaisnouals1605@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Pelotas – gu_poa@hotmail.com

⁵ Universidade Federal de Pelotas – jucianogabriel@gmail.com

⁶ Universidade Federal de Pelotas – lessandro.faria@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Determinar precisamente a perda de carga é extremamente importante para projetos de engenharia hidráulica, sendo essencial principalmente para o dimensionamento correto de tubulações em sistemas de condução de água. Entre os métodos disponíveis para determinar a perda de carga está o uso de equações que estimam empiricamente este fenômeno (PORTO, 2006).

A equação de Hazen-Williams tem destaque pela sua forma prática e simples de aplicação, entretanto, esta fórmula se baseia em testes práticos e usa um coeficiente de atrito “C” fixo para cada tipo de tubulação, o que pode resultar em imprecisões, uma vez que o valor poderá mudar dependendo da velocidade da água e do diâmetro da tubulação (SOUZA, 2018). Por isso, usar sempre o mesmo valor fixo poderá resultar em uma perda de carga imprecisa.

A equação de Darcy-Weisbach é considerada universalmente aceita com uma precisão maior para o cálculo da perda de carga em condutos forçados e por isso ela serve como um padrão de referência para avaliar a acurácia de métodos mais simples (MIRANDA et al., 2019). Porém, sua aplicação é bem mais complexa se comparada com Hazen-Williams. Portanto, a busca por uma precisão maior na equação de Hazen-Williams, mantendo sua praticidade, tem motivado estudos que visam ajustar o coeficiente C às reais condições do escoamento. Deste modo, este trabalho determina uma equação para ajustar o coeficiente C da equação de Hazen-Williams aplicada a tubos de PVC.

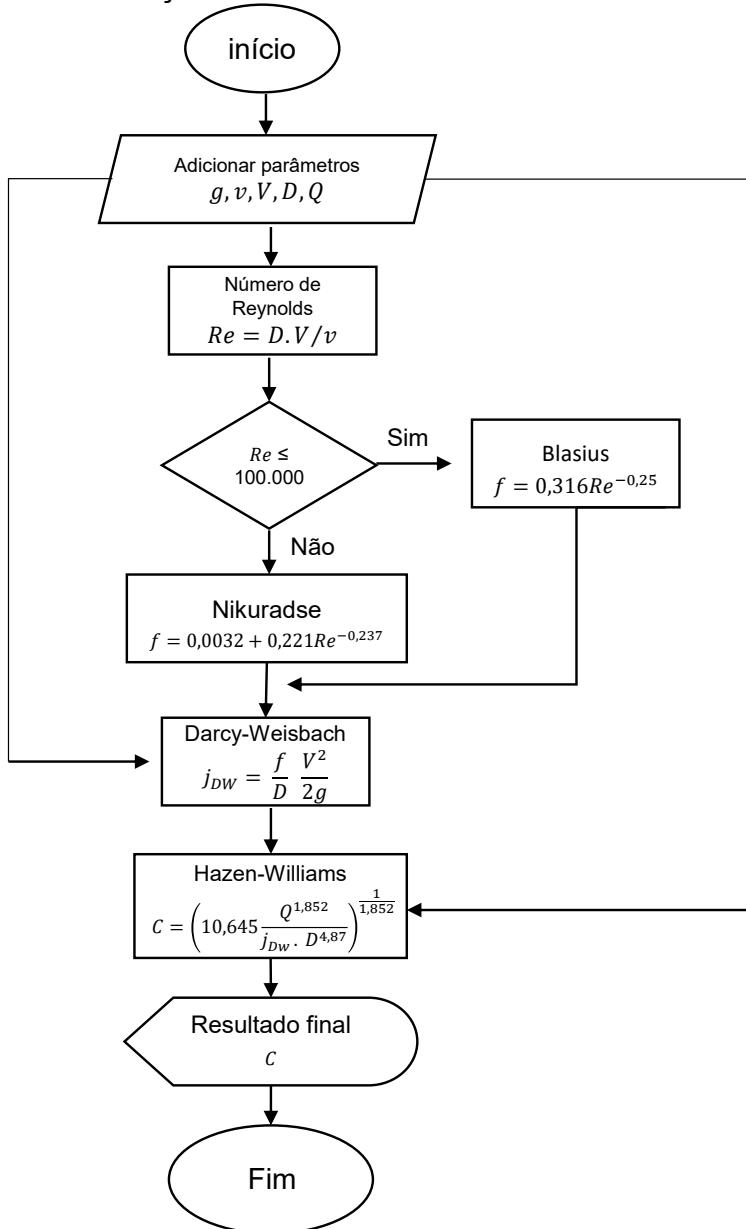
2. METODOLOGIA

Para este estudo realizou-se uma simulação comparando os resultados de perda de carga pela equação de Darcy-Weisbach, com os resultados de perda de carga pela equação de Hazen-Williams com o coeficiente C fixo em 140, 150 e ajustado pela equação proposta no estudo.

As simulações foram realizadas para a faixa de diâmetro de 20 a 500 mm, rugosidades absolutas a partir do valor mínimo e máximo indicado para tubos novos de PVC por Porto (2006), as velocidades de escoamento de 0,62, 0,75, 1,5, 1,97, e 2,4 m.s⁻¹, e a viscosidade cinemática utilizada para o cálculo foi para o fluido água a temperatura de 20 °C. Com as variáveis definidas, foi possível calcular qual o regime de escoamento que a simulação apresentava. Após a análise foi constatado que o regime de escoamento para todas as simulações foi turbulento de tubo liso,

o que explica o uso das equações Blasius e Nikuradse para determinar o fator de atrito durante as simulações.

A seguir será apresentado o algoritmo desenvolvido para encontrar o melhor valor de C para cada simulação.



onde: j_{DW} é a perda de carga unitária pela equação de Darcy-Weisbach (mca), considerando L (comprimento da tubulação) = 1m; C é o coeficiente de perda de carga equação de Hazen-Williams (adimensional), neste caso o coeficiente foi isolado na mesma equação; g é a aceleração da gravidade ($m.s^{-2}$), Q é a vazão do fluido ($m^3.s^{-1}$); Re é o número de Reynolds (adimensional); D é o diâmetro interno da tubulação (m), f é o fator de atrito; v é a viscosidade cinemática do fluido ($m^2.s$); e V é a velocidade de escoamento do fluido ($m.s^{-1}$).

A partir dos resultados de C obtidos, foi possível ajustar uma equação simplificada que determine um novo valor deste coeficiente. Para avaliar o resultado da equação de Hazen-Williams utilizando o coeficiente C ajustado, serão comparados seus resultados com a perda de carga obtida pela equação de Darcy-Weisbach a partir da análise da regressão linear, resíduos e Erro Relativo (%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

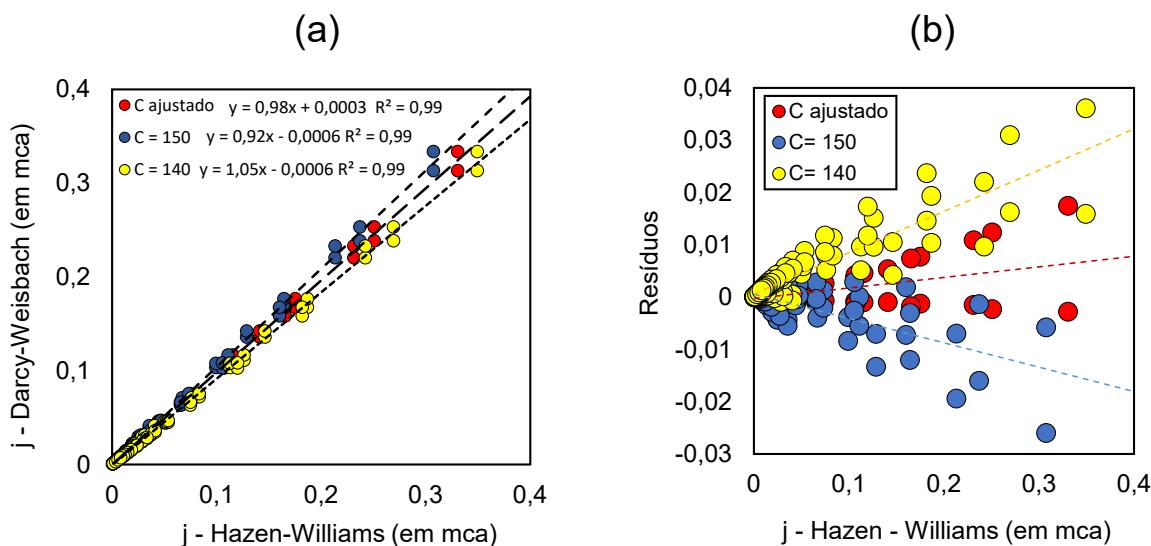
A seguir está sendo apresentada a equação (Equação 1) desenvolvida com base nos dados que foram simulados neste estudo, recomendada para ajustar o coeficiente C da fórmula de Hazen-Williams para tubulações de PVC.

$$C_{ajustado} = -1,1568(\log Q)^2 - 0,3227(\log Q) + 154,49 \quad (1)$$

Onde: Q é a vazão do fluido na tubulação de PVC (em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

A figura 1 apresenta uma relação entre a perda de carga estimada pela equação de Hazen-Williams com o coeficiente C fixo e ajustado, comparada com a perda de carga determinada pela fórmula de Darcy-Weisbach (padrão de referência). Os resultados encontrados pela equação de Hazen-Williams com o coeficiente C ajustado apresentou os valores mais próximos aos obtidos pela fórmula de Darcy-Weisbach, e resíduos menores comparado ao uso do coeficiente C fixo em 140 ou 150.

Figura 1. Relação entre a perda de carga determinada pela equação Darcy-Weisbach e Hazen – Williams com diferentes valores do C.



Na Figura 1(a), a linha de tendência com sua respectiva equação, demonstra que o uso do coeficiente fixo de 150 subestimou o resultado de perda de carga, enquanto que o coeficiente C de 140 apresentou uma tendência de superestimar o resultado. Este comportamento também é observado na Figura 1(b), onde os resíduos foram positivos na perda de carga de Hazen-Williams com o C de 140, o que indica que o seu resultado foi maior do que o obtido pela equação de Darcy-Weisbach. Os resíduos para o coeficiente C de 150 apresentaram valores negativos, o que afirma a tendência deste coeficiente fixo subestimar a perda de energia.

A tabela 1 apresenta, em porcentagem, os erros relativos médios da perda de carga calculada pela equação de Hazen-Williams em comparação com a equação de Darcy-Weisbach. Pôde-se observar, que ao aplicar o coeficiente C ajustado pela equação proposta, os erros relativos foram menores para todos os diâmetros simulados.

Tabela 1. Porcentagens médias de erro relativo entre a perda de carga estimada empiricamente pela fórmula Hazen-Williams com diferentes valores do coeficiente C, em comparação resultado pela equação de Darcy-Weisbach.

Diâmetro do tubo (mm)	% Erro Relativo Médio C = 140	% Erro Relativo Médio C = 150	% Erro Relativo Médio C ajustado
20	5,0	8,9	2,5
25	5,7	7,2	2,2
35	8,0	5,2	2,0
50	10,3	3,8	1,9
75	12,7	2,8	1,8
100	14,2	2,3	1,7
125	15,2	2,4	1,7
150	16,0	2,5	1,6
200	17,1	3,1	1,6
250	17,8	3,7	1,5
300	18,3	4,1	1,5
350	18,7	4,5	1,4
400	19,0	4,7	1,4
500	19,4	5,1	1,3

Miranda et al. (2019) encontrou erros similares em sua pesquisa ao determinar a perda de carga em tubos de PVC com o coeficiente C fixo de 140, entretanto o mesmo realizou ajustes somente para diâmetros de 50 até 120 mm. De acordo Souza (2018), usar a equação de Hazen-Williams para diâmetros inferiores a 75 mm, deve-se adotar valores de C em função da velocidade do fluxo e do diâmetro da tubulação, o que converge com a equação proposta neste trabalho.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que o uso do coeficiente C ajustado melhora a acurácia na estimativa da perda de carga em tubos de PVC pela equação de Hazen-Williams.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo apoio financeiro, e ao Laboratório de Irrigação - CDTec/UFPel.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MIRANDA, E. R.; CARVALHO, J. A. Análise da equação de perda de carga de Hazen-Williams, associada aos regimes hidráulicos para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.247-252, 1998.

PORTE, R. de M. **Hidráulica básica**. São Paulo, SP : EESC-USP, 2006.

SOUZA, J. S. C. Equações de perda de carga para dimensionamentos hidráulicos em projetos de irrigação pressurizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.7, p.3159 - 3168, 2018.