

## ANÁLISE DA RUGOSIDADE INTERNA EM DIFERENTES TUBOS DE POLICLORETO DE VINILA

Juciano Gabriel da Silva<sup>1</sup>, Luciana Marini Kopp<sup>2</sup>, Adriano Valentim Diotto<sup>3</sup>, Kamilla da Silva  
Martins Pitana<sup>4</sup>, Leticia Caroline Silva da Costa<sup>5</sup>, Lessandro Coll Faria<sup>6</sup>

**RESUMO:** O correto dimensionamento de projetos hidráulicos é fundamental para obter máxima eficiência dos sistemas de irrigação. Portanto, necessita-se de informações precisas sobre as características dos materiais e a escolha das variáveis corretas pelo projetista. Deste modo, o objetivo do trabalho foi avaliar a diferença na rugosidade absoluta em tubos de PVC de diferentes fabricantes e sua influência no fator de atrito. O experimento foi conduzido por meio de ensaios de laboratório com 3 modelos de tubos de policloreto de vinila (PVC) utilizados na irrigação por aspersão convencional, intitulados, de acordo com normas técnicas da ABNT, como linha Agropecuária, Permanente e Móvel, proveniente de 2 fabricantes diferentes. A rugosidade absoluta foi aferida com auxílio de um rugosímetro de bancada, sendo que para cada modelo foram realizadas 60 repetições, e, posteriormente, utilizada a estimativa do fator de atrito com auxílio da equação de Churchill (1977). Os resultados mostraram que a rugosidade medida para tubos de mesmo fabricante causou menos variação no seu resultado, quando comparada com a medição em tubos de marcas diferentes. Esta diferença de rugosidade entre os fabricantes altera o resultado do fator de atrito, devendo ser avaliado com mais detalhes quanto ao seu impacto na perda de carga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fator de atrito, Número de Reynolds, irrigação.

<sup>1</sup> Doutorando em Recursos Hídricos, CDTEC/UFPEL, 53999536133, jucianogabriel@gmail.

<sup>2</sup> Professora Adjunta FAEM/UFPEL, 53981595677, luciana.kopp@ufpel.edu.br

<sup>3</sup> Professor Adjunto na Universidade Federal de Lavras, 35998726075, adriano.diotto@ufla.br

<sup>4</sup> Mestranda em Recursos Hídricos, CDTEC/UFPEL, 51992417746, kamillamartinspitana@gmail.com

<sup>5</sup> Graduanda em Recursos Hídricos, CDTEC/UFPEL, 31984350078, leticiacosta991@hotmail.com

<sup>6</sup> Professor Associado CDTEC/UFPEL, 53999711510, lessandro.faria@ufpel.edu.br

## ANALYSIS OF INTERNAL ROUGHNESS IN DIFFERENT POLYVINYL CHLORIDE TUBES

**ABSTRACT:** Correct dimensioning of hydraulic projects is essential to obtain maximum efficiency of irrigation systems. Therefore, accurate information on the characteristics of the materials and the choice of the correct variables by the designer are required. Thus, the objective of the study was to evaluate the difference in absolute roughness in PVC pipes from different manufacturers and its influence on the friction factor. The experiment was conducted through laboratory tests with 3 models of polyvinyl chloride (PVC) pipes used in conventional sprinkler irrigation, named, according to ABNT technical standards, as Agricultural, Permanent and Mobile systems, from 2 different manufacturers. The absolute roughness was measured using a benchtop roughness meter, with 60 repetitions for each model, and then the friction factor was estimated using the Churchill equation (1977). The results showed that the roughness measured for pipes from the same manufacturer caused less variation in its result, when compared to the measurement on pipes from different brands. This difference in roughness between manufacturers alters the friction factor result and should be evaluated in more detail regarding its impact on head loss.

**KEYWORDS:** Friction factor, Reynolds number, irrigation.

### INTRODUÇÃO

Para um correto dimensionamento dos sistemas de irrigação por aspersão é importante enfatizar os parâmetros hidráulicos, como as características da tubulação e sua influência na perda de carga. Quantificar a perda de carga é essencial no dimensionamento das tubulações, pois modifica a altura manométrica, a vazão, a pressão de serviço (PINTO et al., 2016) e, conseqüentemente, altera rendimento do sistema de bombeamento.

As tubulações de policloreto de vinila utilizados para irrigação por aspersão, são classificadas em linha Agropecuária (NBR 14654, ABNT), linha Irrigação para sistemas móveis (NBR 15282, ABNT) e linha Irrigação para sistemas permanentes (NBR 14311 e 14312, ABNT). Os padrões para a fabricação de cada linha do produto são estabelecidos em normas da ABNT. Entretanto, cada empresa pode ter mudanças em sua forma de fabricação ao longo do tempo.

As paredes internas dos tubos dificilmente são completamente lisas, ou seja, existe a presença de irregularidades denominadas de rugosidade (MARUSÍCPALOKA, PAZANIN, 2020). A condição da camada de rugosidade está associada às características do material, acabamento de superfícies (OLIVEIRA et al., 2010) e modifica-se de acordo com o envelhecimento dos tubos (KELLNER; AKUTSU; REIS, 2016; BEZZERA et al., 2017). Entretanto a rugosidade pode ser um efeito da etapa de fabricação (MARUSÍCPALOKA; PAZANIN, 2020) em que um nível maior de acabamento de uma superfície seria antieconômico (BUSSE et al., 2015) e conseqüentemente aumentaria muito o custo final do produto.

A maioria dos valores tabelados embasados nas experiências de Johann Nikuradse, foram obtidos há muito tempo e pode não refletir com precisão a rugosidade dos tubos comerciais atuais, dadas as mudanças nos materiais e nos processos de fabricação dos tubos (ROCHA et al., 2017). Atualmente existem poucas informações atualizadas e valores exatos para um correto dimensionamento dos sistemas, sendo uma alternativa a medição dessas rugosidades por meio de instrumentos especializados, como a leitura do parâmetro Ra através do rugosímetro de bancada (PIMENTA, et al., 2022).

Devido a necessidade de mais informações sobre o valor de rugosidade média na parede interna das tubulações, este estudo tem como objetivo analisar a variação de rugosidade interna absoluta em tubos de diferentes linhas e fabricantes e seu do impacto no resultado do fator de atrito pela equação de Churchill.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas (CDTec/UFPel). Para este estudo utilizou-se tubos de PVC de duas marcas comerciais (Fabricante A e Fabricante B) e de três classificações da ABNT (linha Agropecuária, linha Irrigação para sistemas Móveis e linha Irrigação para sistemas Permanentes), totalizando 6 tubos adquiridos no mercado local.

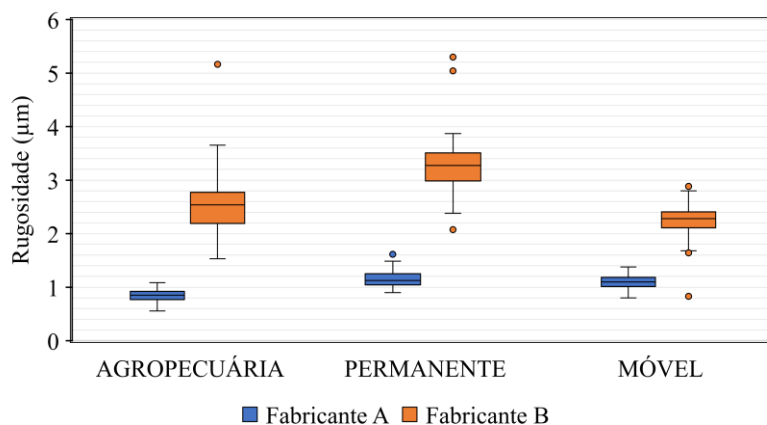
A rugosidade absoluta nos tubos de PVC foi obtida através da medição do parâmetro Ra com auxílio do rugosímetro de bancada (Mitutoyo, série SJ-410), os seus parâmetros e especificações foram ajustados de acordo a norma ISO 4287:1997. O preparo das amostras foi realizado de acordo com a metodologia adaptada de Rocha et al. (2017), em que cada tubo foi dividido em 10 partes iguais, cada parte foi realizada 3 medidas no sentido transversal e longitudinal ao fluxo, totalizando 60 amostragens de rugosidade para cada tubulação estudada.

Para a avaliar se o conjunto de medições de rugosidade para cada tubo segue uma distribuição normal, realizou-se o teste de Normalidade de Shapiro Wilk de acordo um nível de significância de 0,05. Após atestar a normalidade do conjunto de dados, foi obtida a rugosidade média para cada tubulação. Para determinar se para cada linha existe diferença entre na rugosidade média em tubos de diferentes fabricantes, aplicou-se o teste t unilateral a um nível de significância de 0,05, na qual a hipótese 1 indica que a média populacional da rugosidade nos tubos do fabricante A é menor que à média populacional da rugosidade nos tubos do fabricante B, e na hipótese 0 a média populacional da rugosidade nos tubos do fabricante A é maior ou igual à média populacional da rugosidade nos tubos do fabricante B.

Para comparar o resultado do fator de atrito a partir das rugosidades da parede interna da tubulação dos diferentes fabricantes, realizou-se uma simulação variando dados de diâmetros de 32, 40, 50 e 75 mm, com velocidades de escoamento entre 0,5 a 3,5 m.s<sup>-1</sup>. O fator de atrito foi calculado pela equação de Churchill (1977), pois esta equação pode ser aplicada para toda faixa regime de escoamento laminar e turbulento e apresenta bom desempenho em comparação a outras equações explícitas (ASKER; TURGUT; COBAN, 2014; BENAVIDES-MUÑOZ, 2024).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 pode-se observar o diagrama Boxplot dos dados de rugosidade dos tubos de diferentes linhas e fabricantes. A partir dos resultados, percebe-se que a adoção de valores de rugosidade específicos para cada fabricante contribui para a qualidade de um valor referência em dimensionamentos hidráulicos.



**Figura 1.** Boxplot do parâmetro Ra de rugosidade dos tubos da Linha Agropecuária, Linha Permanente, e Linha Móvel produzidos por dois fabricantes diferentes.

De acordo os resultados na Figura 1, a rugosidade medida nos tubos do Fabricante A foi menor que nos tubos do Fabricante B. Esta diferença é caracterizada por irregularidades no estado de aspereza da superfície interna dos tubos, resultante do processo de fabricação dos mesmos (Rocha, 2014). De acordo com KELLNER; AKUTSU, REIS (2016), os resultados de rugosidade também podem servir como características do controle de qualidade na fabricação dos tubos pelas empresas. Portanto, ressalta-se a importância dos fabricantes dos tubos de PVC disponibilizarem os valores de rugosidade junto ao catálogo do produto.

A medição da rugosidade em tubos do fabricante B tem maior presença de valores discrepantes ou “*outliers*”, destacados no diagrama Boxplot por pontos dispersos, além da maior amplitude interquartil. Este fato também está relacionado com a maior aspereza na parede interna, causando uma dispersão maior entre os resultados das repetições.

Na Tabela 1 pode-se observar os resultados médios e seu respectivo teste de normalidade, da rugosidade absoluta dos tubos da Linha Agropecuária, Linha Permanente, e Linha Móvel de dois fabricantes diferentes, e o teste t para avaliar a diferença entre médias, através do P-valor calculado para um nível de significância de 95%.

**Tabela 1.** Rugosidade média e normalidade das amostras analisadas em tubos de irrigação de diferentes fabricantes, com o respectivo resultado do P-valor calculado.

TUBO	Fabricante A			Fabricante B		P-valor	
	normalidade Shapiro Wilk		Média ( $\mu\text{m}$ )	normalidade Shapiro Wilk			
	valor-p <sup>1</sup>	valor W <sup>1</sup>		valor-p <sup>1</sup>	valor W <sup>1</sup>		
LINHA AGROPECUÁRIA	0,606	0,984	0,851	0,651	0,984	2,502	6,52E-55
LINHA PERMANENTE	0,140	0,969	1,148	0,65	0,984	3,230	5,168E-72
LINHA MÓVEL	0,222	0,974	1,105	0,156	0,97	2,254	2,91E-56

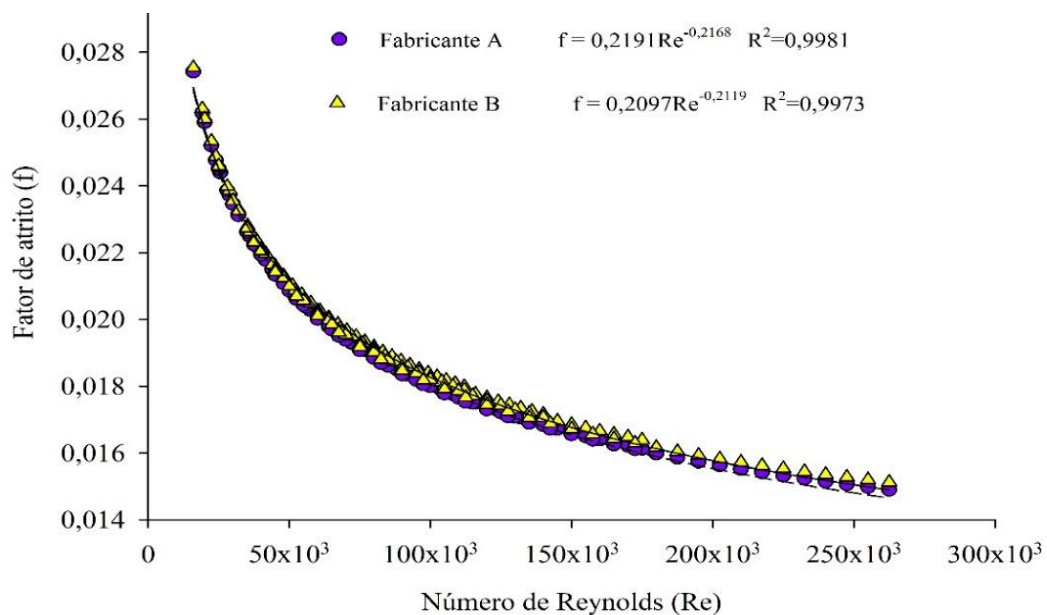
<sup>1</sup>Valor-p e valor W indicam se o conjunto de dados segue uma distribuição normal de acordo um nível de significância de 0,05 pelo teste de Shapiro Wilk.

A presença de normalidade deste conjunto de dados através do método de Shapiro Wilk ocorre quando valor-p calculado for maior que nível de significância (0,05). O valor W quanto mais próximo de 1, indica o quão bem os dados se ajustam a distribuição normal. Deste modo, observa-se que os resultados de rugosidade média em cada tubulação foram a partir de um conjunto de dados que seguem uma distribuição normal. A partir do resultado obtido pelo P-valor do teste t, a hipótese nula é rejeitada, indicando que a média da rugosidade nos tubos do

fabricante A é menor que à média da rugosidade nos tubos do fabricante B, para as linhas Agropecuária, Permanente e Móvel.

Os valores de rugosidade para tubos de PVC citados na literatura apresentam muita variabilidade ao longo do tempo. Entre eles, podemos destacar os valores médios de  $5,31 \pm 0,78 \mu\text{m}$  a  $30,95 \pm 3,71 \mu\text{m}$  (KELLNER; AKUTSU, REIS; 2016),  $6 \mu\text{m}$  (BEZZERA et al., 2017),  $3,334 \mu\text{m}$  (ROCHA et al., 2017), e  $0,9075 \pm 0,08 \mu\text{m}$  a  $1,0231 \pm 0,08 \mu\text{m}$  (PIMENTA, et al., 2022). Esta variação pode estar relacionada com a evolução no processo de fabricação que contribui para reduzir as imperfeições nas paredes dos tubos. Evidenciando a necessidade de avaliar ao longo do tempo a rugosidade dos tubos de cada fabricante.

Na Figura 1, são apresentados os resultados do fator de atrito ( $f$ ) em diferentes números de Reynolds para a rugosidade média dos Fabricantes A e B. Observa-se que a variação entre o fator de atrito calculado para as duas rugosidades médias é maior na medida que aumenta o número de Reynolds.



**Figura 2.** Fator de atrito calculado estimado pela equação de Churchill em função de diferentes números de Reynolds ( $Re$ ) para a rugosidade média de dois fabricantes.

No valor de Reynolds igual a 250000, por exemplo, a variação percentual do fator de atrito do Fabricante B em relação ao Fabricante A foi de 1,5%. Porém, os dados simulados também se classificam em regime de escoamento turbulento hidraulicamente liso como no estudo realizado por Pimenta et al. (2022), sendo necessário avaliar com mais precisão se a rugosidade interna ultrapassa a subcamada limite laminar do fluido.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que existe variação na rugosidade absoluta dos tubos de irrigação na medida que muda o fabricante. No entanto, a influência dos valores atuais de rugosidade no fator atrito ( $f$ ) ainda devem ser melhor estudados.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro, à Universidade Federal de Santa Maria pela disponibilidade do rugosímetro de bancada, ao Laboratório de Irrigação - CDTEC/UFPEL.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASKER, M.; TURGUT, O.E.; COBAN, M.T. **A review of non-iterative friction factor correlations for the calculation of pressure drop in pipes**. J. Sci. Technol., v.4, p.1–8, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14654**: Irrigação e drenagem – Tubos agropecuários de PVC rígido com junta soldável PN60 e PN80. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15282**: Sistemas móveis de irrigação – Tubos de PVC rígido com junta de engate rápido PN 80. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14311**: Irrigação e drenagem - Tubos de PVC rígido DEFOFO PN 60,80 e 125 com junta elástica, para sistemas permanentes de irrigação. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14312**: Irrigação e drenagem - Tubos de PVC rígido com junta soldável ou elástica PN 40 e PN 80 para sistemas permanentes de irrigação. Rio de Janeiro, 1999.
- BENAVIDES-MUÑOZ, H. M. **Modification and Improvement of the Churchill Equation for Friction Factor Calculation in Pipes**. Water, v.16, p.1-38, 2024.

BEZZERA, A. A.; CASTRO, M. A. H. C.; ARAÚJO, R. S. A. Absolute roughness calculation by the friction factor calibration using the Alternative Hydraulic Gradient Iterative Method on water distribution networks. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, 2017.

BUSSE, A.; LUTZNER, M.; SANDHAM, N. D.; Direct numerical simulation of turbulent flow over a rough surface based on a surface scan. **Computers & Fluids**, v. 116, p. 129–147, 2015.

CHURCHILL, S. W. Friction-factor equation spans all fluid-flow regimes. **Chemical Engineering**, v.84, n.24, p. 91 – 92, 1977.

CHURCHILL, S.W. **Friction factor equations span all fluid flow regimes**. Chem. Eng., v.84, n.91, 1977.

KELLNER, E.; AKUTSU, J.; REIS, L. F. R.; Avaliação da rugosidade relativa dos tubos de PVC com vistas ao dimensionamento das redes de distribuição de água. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, 2016.

MARUSIC-PALOKA, E.; PAZANIN, I. Effects of boundary roughness and inertia on the fluid flow through a corrugated pipe and the formula for the Darcy Weisbach friction coefficient. **International Journal of Engineering Science**. v. 152, 2020.

OLIVEIRA, A. L. B. M.; GARCIA, P. P. N. S. G.; SANTOS, P. A.; CAMPOS, J. A. D. B. Surface roughness and hardness of a composite resin: influence of finishing and polishing and immersion methods. **Materials Research**. v. 13, n. 3, 2010.

PIMENTA. B. D.; ROBAINA, A. D., PEITER, M. X., ROCHA, H.S., SOBENKO, C. G. C. Use of bench and portable rugosimeters in evaluating the internal roughness of PVC pipes of different diameters. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.17, 2022.

PINTO M. F.; Modelagem da redução de vazão em parcelas de irrigação devido ao incremento da perda de carga do sistema de filtragem. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 425-437, 2016.

ROCHA, H. S. **Rugosidade superficial interna de tubos para irrigação**, 2014, 75p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2014.

ROCHA, H. S.; MARQUES, P. A. A.; CAMARGO, A. P.; FRIZZONE, J. A.; SARETTA, E.; Internal surface roughness of plastic pipes for irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 143-149, 2017.