

Rugosidade das Tubulações

Coeficiente de Manning para Tubos de PVC e Tubos de Concreto



Boletim Técnico 01

Luiz Bandeira de Mello Laterza

Fevereiro de 2016

1. Rugosidade das paredes dos tubos

1.1 Tubos helicoidais de PVC

Em 1998, antes de introduzir os tubos de PVC Rib Loc no Brasil, a empresa Tubos e Conexões Tigre decidiu contratar a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para avaliar diversos aspectos desta tecnologia e promover a sua adaptação à realidade do país.

Um dos aspectos avaliados pela EPUSP foi a rugosidade das paredes dos tubos. Para isso, foi realizado pela Profa. Dra. Yvone de Lucca um experimento na Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH, órgão do Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo - DAEE, onde situa-se o laboratório de hidráulica da universidade. O valor da rugosidade encontrado nos ensaios foi $n=0,00922 \pm 0,00061$, conforme a referência (1). O coeficiente de Manning obtido foi **$n=0,0092$** (entre $n=0,0086$ e $n=0,0098$).



Ensaio da Rugosidade de Tubos de PVC RibLoc realizado na FCTH/EPUSP

Esse resultado se aproxima muito dos valores encontrados em dois ensaios realizados anteriormente nos Estados Unidos da América e na Austrália.

Em 1985 o Professor Roland W. Jeppson ensaiou, no Utah Water Research Laboratory, tubos helicoidais de PVC da marca Perma-Loc, fabricados pela John Mansville (maior fabricante de tubos de PVC dos E.U.A). O resultado obtido para esses tubos helicoidais de PVC, muito semelhantes aos tubos Rib Loc, indicou o seguinte coeficiente de Manning: **$n=0,009$** , conforme a referência (2).

Em 1991 pesquisadores australianos do laboratório de engenharia civil da Techsearch Inc., ensaiaram os tubos helicoidais de PVC fabricados pela empresa Rib Loc Pty Ltd. O resultado obtido indicou o seguinte coeficiente de Manning: $n=0,0080$ (para altas velocidades) e **$n=0,0094$** (para baixas velocidades), conforme a referência (3).

Como os resultados dos diversos ensaios indicaram valores entre $n=0,0080$ e $n=0,0098$, para o coeficiente de Manning, a Tigre recomendou em seu manual

técnico a utilização do valor médio **n=0,009** nos tubos helicoidais de PVC, conforme a referência (4).

A Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro recomenda para tubos de PVC os seguintes coeficientes de Manning: **mínimo (n=0,009), máximo (n=0,011)**, conforme a referência (5).

Inúmeras publicações na literatura nacional e internacional indicam para a rugosidade das paredes dos tubos de PVC valores do coeficiente de Manning variando entre n=0,009 a n=0,011.

A Uni-Bell PVC Pipe Association, que congrega os fabricantes de tubos de PVC americanos, além de ter publicado um volumoso Manual Técnico sobre o produto, mantém um site com valiosas informações sobre diversos aspectos e propriedades dos tubos de PVC. Em relação ao coeficiente de Manning dos tubos, a Uni-Bell indica, na página 359, do capítulo 9 (Hydraulics) do Handbook of PVC Pipe, o coeficiente **n=0,009** conforme referencia (6).

Nas páginas 358 e 359 deste Manual Técnico, é apresentada uma discussão sobre o assunto, combatendo a antiga tese de que a rugosidade das tubulações independe do material da qual é feita, uma vez que a camada de limo e gordura que pode se formar no interior dos tubos seria quem determina a rugosidade. Essa argumentação foi construída com base no trabalho de Bland, Bayley e Thomas realizado no Water Research Center da Inglaterra e publicado em 1978 no Journal of the Water Pollution Control Federation cujo título era "Accumulation of Slime in Drainage Pipes and Their Effect on Flow Resistance". Vale ressaltar que essa tese tem sido amplamente divulgada pelos fabricantes de tubos de concreto tentando eliminar as diferenças reais existentes entre as rugosidades dos tubos de PVC e concreto.

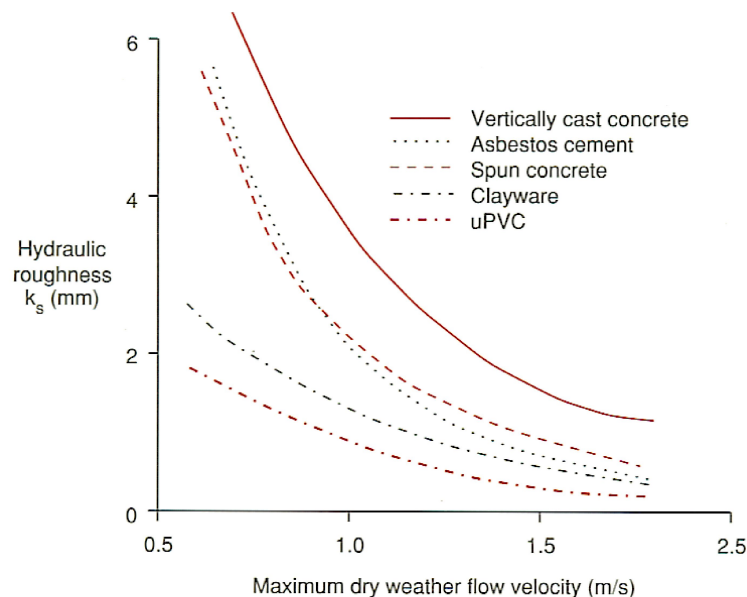
Entretanto, a tese acima foi contestada em trabalhos realizados posteriormente, entre os quais o de Perkins e Gardner (7), do Hydraulics Research Station, também na Inglaterra, de 1982, intitulado "Measurement of the hydraulic roughness of slimed sewer pipes". Este trabalho mostrou que, apesar de haver o crescimento de limo e incrustações de gordura no interior de tubulações de esgoto sanitário, isto ocorre em menor intensidade nas tubulações mais lisas, pois as placas de limo e as incrustações se desprendem mais facilmente das paredes lisas e menos porosas. Os autores concluem que existe uma significativa diferença na rugosidade dos tubos fabricados com diferentes materiais e recomendam a utilização de um coeficientes para cada material.

Os valores da rugosidade recomendados neste trabalho são **para em tubulações que conduzem esgoto sanitário**, em seção plena, com formação de limo até meia-seção.

Os coeficiente de Manning obtidos para velocidades normais (em torno de 1,2 m/s) são apresentados nas tabelas abaixo:

Material	Valor médio	Valor Alto
Concreto	0,012	0,014
PVC	0,009	0,010

Finalmente, o Wallingfort Research Centre (8) publicou o seguinte gráfico definindo a rugosidade das tubulações construídas com diferentes materiais, em função da velocidade de escoamento:



Apesar do gráfico definir a rugosidade hidráulica equivalente (k_s) para cálculo do fator de atrito pela fórmula Coolebrook-White, pode-se obter os valores dos coeficientes de Manning utilizando a seguinte relação:

$$n = \frac{1}{8\sqrt{g}} k^{1/6}$$

Portanto, não existe mais amparo técnico que suporte a alegação de um único coeficiente de rugosidade para todos os materiais. Tanto os estudos acadêmicos, como os dados de campo, suportam a existência de uma variação no coeficiente de rugosidade das tubulações, em função do:

- material da tubulação;
- número de juntas entre tubos;
- qualidade das juntas.

A superfície lisa e não-porosa dos tubos de PVC, a menor saliência ou reentrância existente em suas juntas, o maior comprimento das barras (que leva a um menor número de juntas) e a maior resistência à abrasão dos tubos de PVC são fatores que confirmam os ensaios laboratoriais, mostrando as razões de seu menor coeficiente de Manning.

O manual da Uni-Bell (6) afirma que nenhum estudo técnico publicado até hoje já relatou coeficientes de rugosidade $n=0,013$ para tubos de PVC, seja em laboratório, seja em campo. Ao contrário, os estudos de laboratório e também de campo sempre encontraram valores para o coeficiente de Manning variando entre 0,007 e 0,011 para as condições normais de trabalho. A referencia a esses estudos pode ser encontrada na bibliografia do “*Handbook of PVC Pipe*” da Uni-Bell.

1.2 Tubos de Concreto

Apesar do concreto ser o material mais amplamente utilizado na construção de bueiros e galerias de águas pluviais, não foram encontrados na literatura ensaios laboratoriais caracterizando a rugosidade das paredes e o coeficiente de Manning obtido para esse tipo de tubulação.

O manual de drenagem do DNIT (9), apresenta, na tabela 34, página 114, valores para os coeficientes de rugosidade indicadas para diversos tipos de condutos:

Para condutos de concreto, são indicadas as seguintes faixas de valores, em função de seu acabamento:

acabamento com colher.....0,011 a 0,012
acabamento com desempenadeira.....0,013 a 0,015
sem acabamento.....0,014 a 0,017

A tabela 26, encontrada na página 95 deste mesmo manual, apresentada os valores normalmente utilizados:

Tubos de concreto.....0,015
Células de concreto.....0,015

Quando deduz as fórmulas para o dimensionamento de bueiros, entre as páginas 25 e 35, o manual do DNIT adota para os tubos de concreto o coeficiente de rugosidade $n=0,015$.

Das citações acima, pode-se concluir que o valor o coeficiente de Manning indicado pelo DNIT para os tubos de concreto seja **$n=0,015$** .

Em 2012, a Prefeitura de São Paulo publicou o seu *manual de drenagem e manejo de águas pluviais* (10). No volume 3, página 81 - Metodologia de cálculo de galerias e canais - Definição dos fatores de atrito, o manual afirma que : “*a literatura especializada indica para os canais de concreto com revestimentos lisos e bem acabados valores de n variando de 0,012 a 0,014*”. Mas acrescenta que, devido a problemas construtivos, desgaste por intemperismo, recalques, desalinhamento de juntas e depósitos de sedimentos, a prática recomendada é adotar um coeficiente de manning **$n=0,018$** .

A Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, na publicação “Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana”, anteriormente citada (5), recomenda para tubos de Concreto os seguintes coeficientes de Manning: mínimo (**n=0,011**), máximo (**n=0,015**).

Do que foi acima exposto, fica claro que a variabilidade do coeficiente de Manning dos tubos de concreto aparentemente é maior do que a dos tubos de PVC. Isto pode ser explicado pelos diferentes processos de fabricação dos tubos (concreto vibrado, prensado ou centrifugado) e da qualidade da mão de obra utilizada em sua fabricação e instalação.

Parece depender, também, do comprimento dos tubos e da qualidade dos materiais utilizados em sua fabricação.

De fato, apesar do comprimento usual dos tubos ser 1,00 m, existem muitas empresas que fabricam tubos com 1,50 m de comprimento e outras que chegam a fabricar tubos com 2,50 m de comprimento. Como tubos mais longos reduzem o número de juntas reduzem, também, a rugosidade.

A qualidade dos materiais utilizados na fabricação (cimento e agregados) pode influenciar também a rugosidade, pois a abrasão e o ataque químico das paredes são processos que aumentam muito a rugosidade.

Isto fica evidente na figura abaixo que mostra a superfície interna de um tubo de concreto com superfície interna original e um tubo de concreto que sofreu processo de corrosão química.



2. Recomendações

Considerando-se as referências encontradas na literatura para a rugosidade das paredes dos tubos, recomendamos, a favor da segurança, a adoção dos seguintes valores do coeficiente de Manning para os tubos de drenagem de águas pluviais:

Tubos de PVC..... n = 0,010

Tubos de Concreto..... n = 0,015

Essas recomendações devem ser consideradas à luz das condições específicas de cada projeto pelo respectivo engenheiro responsável.

3. Referências Bibliográficas

- (1) Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH
Ensaio de Perda de Carga Distribuída – Tubos e Conexões Tigre
Relatório Final - Junho 1998 - 22 páginas
- (2) Jeppson, R. W.
Fluid Frictional Headloss Coefficient Determinations for Spirally Wound Ribbed PVC Sewer Pipe 18" J-M Perma-Loc PVC Sewer Pipe – Report No. 128
Utah Water Research Laboratory, Logan, Utah, September 1985
- (3) Argue, J. R.
Determination of Hydraulic Roughness of PVC Expanda Pipe – Project No. 2364 for Client Ribloc Group Ltd.
Techsearch Incorporated, Adelaide, May 1991
- (4) Tigre S.A. – Tubos e Conexões
Tigre Rib Loc – A solução mais ágil e flexível em drenagem pluvial.
Tigre, Joinville, Junho 2000
- (5) Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro
Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana
Secretaria Municipal de Obras - Rio Águas, Rio de Janeiro, Dezembro 2010
Esta publicação pode ser obtida em:
<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1377338/DLFE-215301.doc/InstrucoesTecnicasProjetosdeDrenagem1.versao.doc>
- (6) Uni-Bell PVC Pipe Association
Handbook of PVC Pipe – Design and Construction – 5th Edition
Uni-Bell, Dallas, Texas, 2013
O capítulo 9 desta publicação pode ser obtida em:
<http://www.uni-bell.org/resources.php?c=57>
- (7) Perkins, J. A. and Gardner, I. M.
Measurement of the hydraulic roughness of slimed sewer pipes – IT 237
Hydraulics Research Station, Wallingford, July 1982
- (8) Water Research Centre
Sewerage Rehabilitation Manual – Third Edition – Vol. II: Appendix J – Assessment of Hydraulic Roughness in Sewers
WRc Publications, Marlow, Bucks, 1994
- (9) DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
Manual de Drenagem de Rodovias – 2ª Edição.
Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR, Rio de Janeiro, 2006
O manual de drenagem do DNIT pode ser obtido no link:
http://www1.dnit.gov.br/normas/download/Manual_de_Drenagem_de_Rodovias.pdf

- (10) Prefeitura de São Paulo
*Manual de drenagem e manejo de águas pluviais – Aspectos Tecnológicos –
Diretrizes para Projeto – Vol. III*
Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, São Paulo, 2012
Esta publicação pode ser obtida no link:
http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/biblioteca_digital/