Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente



35ETC-06549

VERIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MANNING EM TUBOS DE PVC DE DIFERENTES IDADES, DECLIVIDADE MÍNIMA E CRITÉRIO DA TENSÃO TRATIVA PARA PROJETO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO

Autor: Glauber Nelson Voigt
Companhia Águas de Joinville
Coautores: Diogo Marcelo Zimmermann e Robison Negri
Centro Universitário Católica de Santa Catarina

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

Experimento em Laboratório de Hidráulica

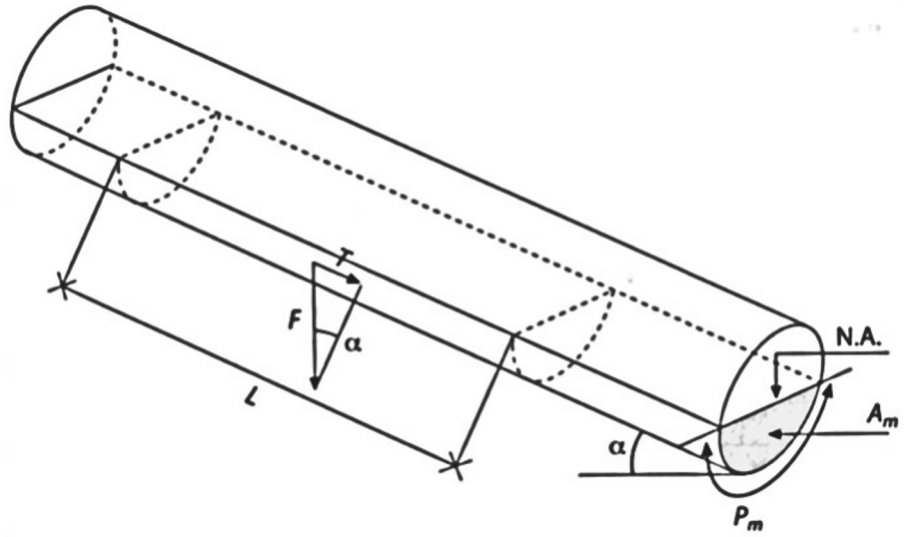
- Amostras de tubulações de PVC coletadas em trechos de redes de esgoto existente em operação há: 05; 15; 25; e 35 anos
- Qual valor de n preferencialmente deve ser utilizado em projetos de redes coletoras de esgoto?
- Divergência entre as normas ABNT NBR 9649/1986 e NBR 14486/2000



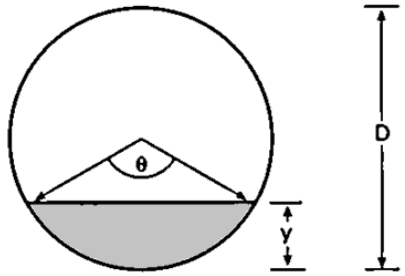
Fonte: O autor, 2023.

Equações Gerais

- Escoamento permanente e uniforme
- Condição de equilíbrio entre as forças resistivas e aceleradoras
- Elementos geométricos da seção circular
- Cálculo das relações trigonométricas



Fonte: Azevedo Netto, 2015.



$$Am = \frac{D^2 \times (\theta - sen\theta)}{8}$$

$$Pm = \frac{D \times \theta}{2}$$

$$Rh = \frac{Am}{Pm}$$

Equação de Manning a partir de Chézy

- Equação de Chézy

$$\mathbf{v = C(Rh \times I)^{1/2}}$$

- Equação de Manning

$$\mathbf{C = \frac{1}{n} \times (Rh)^{1/6}}$$

$$\mathbf{Q = \frac{Am}{n} \times (Rh)^{2/3} \times I^{1/2}}$$

Tabela 1 - Valores do coeficiente n de Manning

Material dos condutos	n de Manning
Cerâmico	0,013
Concreto	0,013
PVC	0,010
Ferro fundido com revestimento	0,012
Ferro fundido sem revestimento	0,013
Cimento amianto	0,011
Aço soldado	0,011
Poliéster, polietileno	0,011

Fonte: Tsutiya e Alem Sobrinho, 2000.

- Simplicidade e eficácia
- Variação relativamente pequena, o que dá consistência à fórmula de Manning

Literatura e Opinião de Especialistas

- “[...] Esse valor deve ser mantido, mesmo quando se utilizam materiais inicialmente menos rugosos e com comprimentos maiores do que os tradicionais, devido ao fato de que, em sistema de esgoto, o número de ligações, poços de visita e demais singularidades permanece o mesmo, independentemente do tipo de material da tubulação utilizada.” (METCALF & EDDY, 1981 apud TSUTIYA E ALEM SOBRINHO, 2000, p.80).

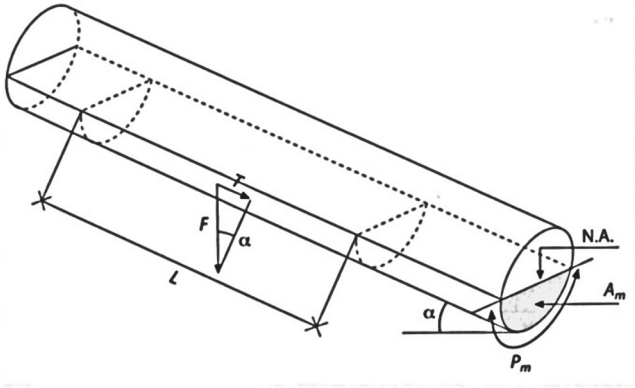
Literatura e Opinião de Especialistas

- “[...] havendo formação de limo, as paredes da tubulação tornam-se uma superfície uniforme e permanecem constantes ao longo do tempo, portanto, a rugosidade em tubulações de esgoto é a mesma e independe do material da tubulação.” (WPCF, 1970 apud TSUTIYA E ALEM SOBRINHO, 2000, p.80).

Autolimpeza da Tubulação e Critério da Tensão Trativa

- Tensão tangencial exercida sobre a parede do conduto pelo líquido em escoamento que atua sobre o material sedimentado, promovendo seu arraste

$$\sigma = \gamma \times Rh \times I$$



Fonte: Azevedo Netto, 2015.

- Norma ABNT NBR 9649/ 1986 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário: valor mínimo da tensão trativa média σ = 1,00 Pa, adequada para garantir o arraste de partículas inorgânicas de até 1,0 mm de diâmetro

$$Imin = 0,0055 \times Qi^{-0,47} \longrightarrow Imin = 0,00454\ m/m$$

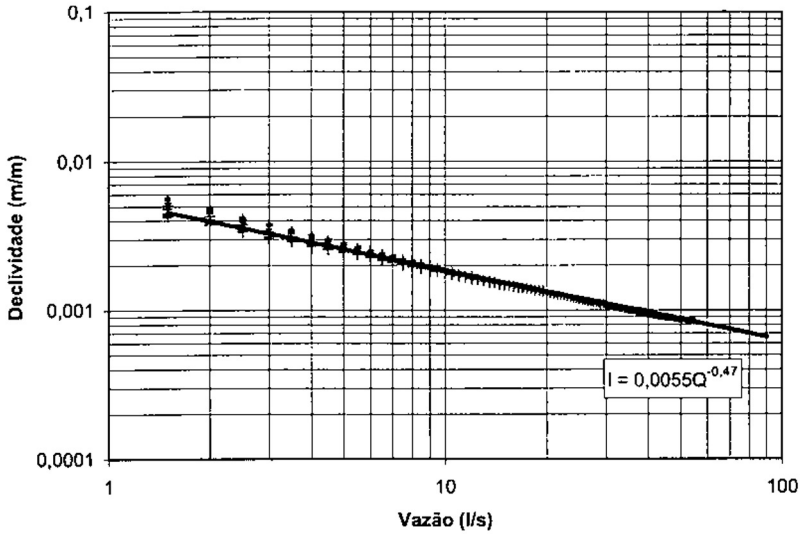
Declividade Mínima

- A expressão aproximada para a determinação da declividade mínima (NBR 9649/ 1986)

$$\mathbf{I} = \left(\frac{\mathbf{n} \times \mathbf{Q}}{\mathbf{Rh}^{2/3}}\right)^2 \times \frac{\boldsymbol{\gamma}}{\boldsymbol{\sigma}}$$

- Norma ABNT NBR 14486/ 2000 – Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário – Projeto de redes coletoras com tubos de PVC: valor mínimo da tensão trativa média σ = 0,60 Pa e coeficiente de Manning n = 0,010

$$\boldsymbol{I}\mathbf{min} = \mathbf{0,0035} \times \mathbf{Qi}^{-\mathbf{0,47}} \longrightarrow \boldsymbol{I}\mathbf{min} = \mathbf{0,00289}\ \boldsymbol{m/m}$$



Fonte: Tsutiya e Alem Sobrinho, 2000.

Materiais e Métodos

- Verificação de uma possível variação do valor do coeficiente n de Manning ao longo do tempo
- Testes experimentais em laboratório de hidráulica, utilizando tubos de PVC de diferentes idades
- Preparação de um canal de escoamento hidráulico compatível com as características das tubulações de PVC utilizadas nos ensaios
- Remoção de tubulações de PVC do Sistema de Esgotamento Sanitário – SES existente do município de Joinville/SC

Critérios adotados para escolha das amostras de tubulações

- Ano de implantação do coletor e data de início de operação; Altura de lâmina líquida; Vazão e declividade compatível; Característica da tubulação



Fonte: O autor, 2023.

Tabela 2 - Dimensões das amostras de tubos de PVC com parede maciça

Diâmetro Nominal DN (mm)	Diâmetro Externo DE (mm)	Espessura de parede (mm)	Comprimento da amostra (m)
150,0	160,0	3,6	2,5

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.

Características do canal de escoamento hidráulico

- Reservatórios de entrada e saída em PVC, cada um com capacidade para 300 litros de água; Dois Tê's de redução 90°; Uma bomba centrífuga de 0,33 CV monofásico; Um manômetro de pressão; Um registro de gaveta; Um medidor de vazão tipo rotâmetro; Tubulação de recirculação de água em PVC soldável



Fonte: O autor, 2023.

Características do canal de escoamento hidráulico

- Equipamento desenvolvido especialmente para o experimento permite determinar o valor do coeficiente de rugosidade n de Manning de cada tubulação testada



Fonte: O autor, 2023.



Fonte: O autor, 2023.

Leitura da vazão e declividade da tubulação

- Range de medição do instrumento de 20 a 160 litros por minuto, onde ± 2% de precisão de fundo de escala é aplicável (variação de 3,33 l/min ou 0,0000555 m³/s)
- Leitura da declividade com auxílio de nível topográfico e mira estadimétrica (com graduação milimetrada no fundo)



Fonte: O autor, 2023.



Fonte: O autor, 2023.

Análise e discussão dos resultados

	Tubo PVC (Idade 0)	Tubo PVC (05 anos)	Tubo PVC (15 anos)	Tubo PVC (25 anos)	Tubo PVC (35 anos)
y	0,03280	0,03780	0,03980	0,03760	0,04030
Am	0,00290	0,00356	0,00377	0,00360	0,00390
Pm	0,14746	0,15956	0,16323	0,16070	0,16760
Rh	0,01967	0,02231	0,02311	0,02240	0,02327
y/d	0,21466	0,24738	0,26047	0,24900	0,27174
Q	0,00200	0,00216	0,00212	0,00212	0,00212
I	0,00801	0,00641	0,00594	0,00717	0,00611
Valor de n	0,0095	0,0104	0,0111	0,0114	0,0117
n ($Q_{+2\%}$)	0,0092	0,0102	0,0109	0,0111	0,0114
n ($Q_{-2\%}$)	**0,0097**	**0,0106**	**0,0113**	**0,0117**	**0,0121**

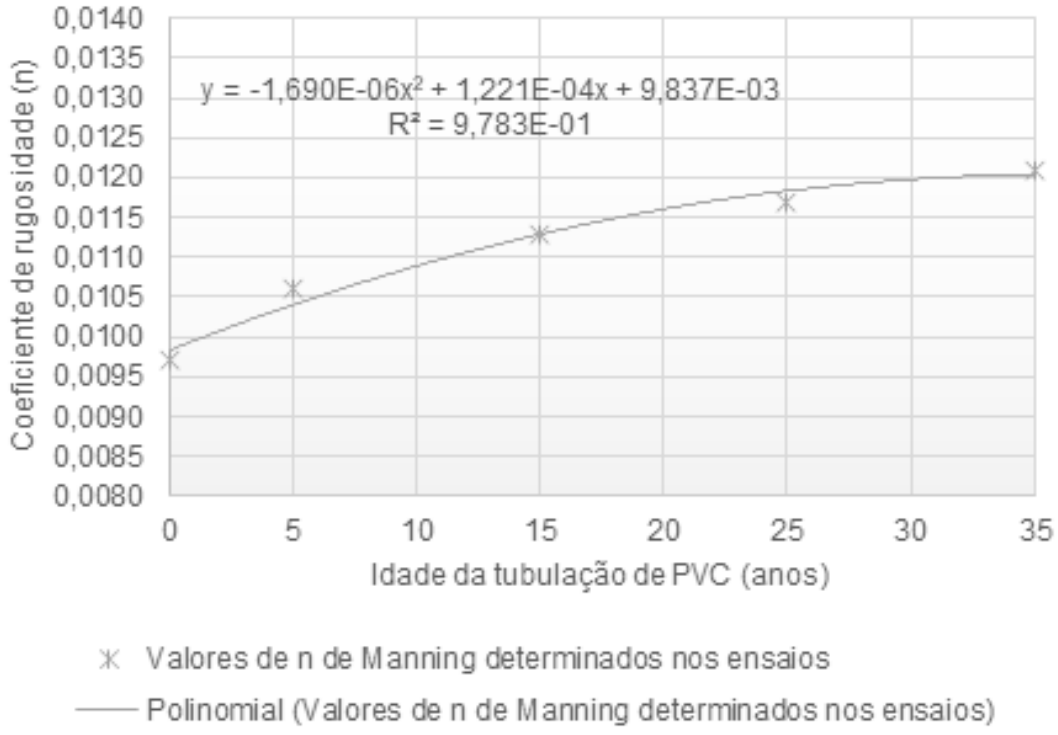
Fonte: O autor, 2023.

- Resumo dos dados coletados no canal hidráulico
- Cálculos realizados a partir da equação de Manning
- Tubo de PVC (idade = 0) compatível com valores mencionados em literaturas

Análise e discussão dos resultados

- Amostra de tubulação operando no sistema de esgotamento sanitário há 35 anos revelou um valor de n na ordem de 0,012, superior ao valor indicado na norma NBR 14486 (ABNT, 2000)
- Os resultados mostram que o coeficiente de rugosidade de Manning para tubos de PVC em rede de esgoto apresenta uma variação ao longo do tempo, conforme já precedido em manual publicado por Water Pollution Control Federation – WPCF e American Society of Civil Engineers – ASCE, citado por Tsutiya e Alem Sobrinho (2000)

Variação do coeficiente de Manning em função do tempo



Fonte: O autor, 2023.

- Linha de tendência gerada por uma equação polinomial de segundo grau de fortíssima correlação
- Estimar valores intermediários entre os dados encontrados

Imagens internas das tubulações de PVC

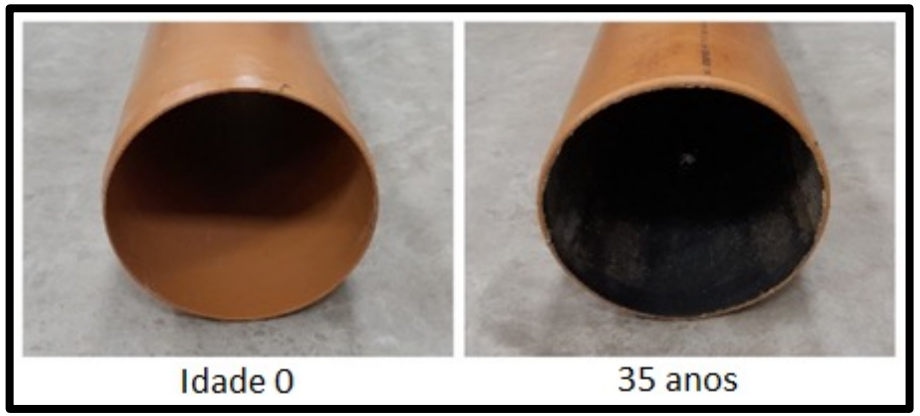


Fonte: O autor, 2023.

- Desenvolvimento clássico de uma película de limo biológico impregnada nas paredes internas dos condutos

Comparação entre tubulação nova de PVC e amostra de tubulação mais antiga

- Tubos de PVC, por mais que apresentem paredes lisas, com o passar do tempo acabam servindo como filtro biológico para o esgoto, aumentando dessa forma o seu coeficiente de rugosidade



Fonte: O autor, 2023.

Conclusões

- O coeficiente de rugosidade de Manning apresenta uma variação ao longo do tempo causada pela formação de uma película de limo biológico aderente às paredes dos condutos
- Aumento do atrito e redução da sua capacidade hidráulica
- Apoiado nos resultados apresentados, torna-se prudente a escolha para o valor do coeficiente de Manning n = 0,013 a ser adotado pelo projetista no cálculo e dimensionamento de redes de esgoto, conforme preconizado pela norma NBR 9649 (ABNT, 1986), em detrimento aos valores indicados pela norma NBR 14486 (ABNT, 2000)