

FÓRMULA DE MANNING APLICADA A CANAIS RETILÍNEOS, LISOS, DECLIVIDADE GRANDE EM REGIME TURBULENTO E TAMANHO RELATIVAMENTE CURTO E PROPOSTA DE FÓRMULA ALTERNATIVA

1 linha em branco, fonte Times New Roman, corpo 10

Nome do Autor Principal⁽¹⁾

Bruno Miguel Ledezma Román

Endereço⁽¹⁾: Rua Heitor Penteado 1460 - Sumarezinho – São Paulo- SP - CEP: 05438-100 - Brasil - e-mail: tomabrunex@yahoo.es

RESUMO

Este trabalho surge graças aos trabalhos acadêmicos desenvolvidos em 3 faculdades do estado de São Paulo, FMU, Uninove, UNIB e São Judas nas quais os trabalhos práticos desenvolvidos no que se refere ao cálculo do número de Manning forneciam resultados incoerentes.

Foi aplicada a fórmula de Manning a pelo menos 100 provas práticas de escoamento em tubos de PVC retilíneos, lisos com declividade média a grande, no regime turbulento com resultados muito variados onde só um 5% das experiências fornece o resultado perto do valor teórico de $0,01 \text{ m/s}^{(1/3)}$

Foi também aplicada esta mesma fórmula no canal retangular de vidro de declividade variável da UNIB usando declividades muito pequenas, sob regime de transição com resultados muito precisos desta vez, todos perto do $0,01 \text{ m/s}^{(1/3)}$

Para finalizar a pesquisa foram desenvolvidas pelo autor 48 testes em condições controladas de laboratório em 3 diferentes diâmetros de tubos de PVC com 4 declividades diferentes e 4 vazões diferentes nos quais foi provado que a fórmula de Manning não fornece resultados coerentes sob certas condições específicas.

Para finalizar a pesquisa propõe-se uma fórmula semi-empírica que fornece os resultados muito aproximados para as condições previamente descritas

PALAVRAS-CHAVE: Manning, canais, nova fórmula

INTRODUÇÃO

Este trabalho surge após a falta de resultados coerentes nos trabalhos práticos de hidráulica nas Universidades Uninove, FMU e UNIB da cidade de São Paulo.

O trabalho prático consiste em medir praticamente o coeficiente de Manning armando sistemas de canais circulares de PVC, fornecendo e medindo uma vazão conhecida. Como resultados das experiências verificou-se que os resultados entre o coeficiente de Manning mensurado e o experimental eram muito diferentes (figura 1)



Figura 1.- Exemplo dos sistemas desenvolvidos pelos alunos

MATERIAIS E METODOS

A primeira parte do trabalho foi por análise dos resultados obtidos das práticas desenvolvidas pelos alunos das faculdades Uninove, FMU, UNIB e São Judas que demonstram que o coeficiente de Manning dos valores bem diferentes ao valor padrão tabelado.

Posteriormente foram desenvolvidas pelo autor 48 provas adicionais em condições de laboratório com o intuito de verificar porque os resultados não bateram.

DESENVOLVIMENTO E ANALISE DE RESULTADOS

Determinando o coeficiente de Manning teórico dos testes dos alunos podemos observar na figura 2 que temos erros de até 3 vezes maior que o tabelado para PVC (0,01) e que só uns 4 testes deram um resultado aproximado do valor teórico.

Analisando os 48 testes finais na figura 3, notamos que todos ficaram abaixo do valor padrão e só uns 4 ficam muito perto do valor padrão de 0,01

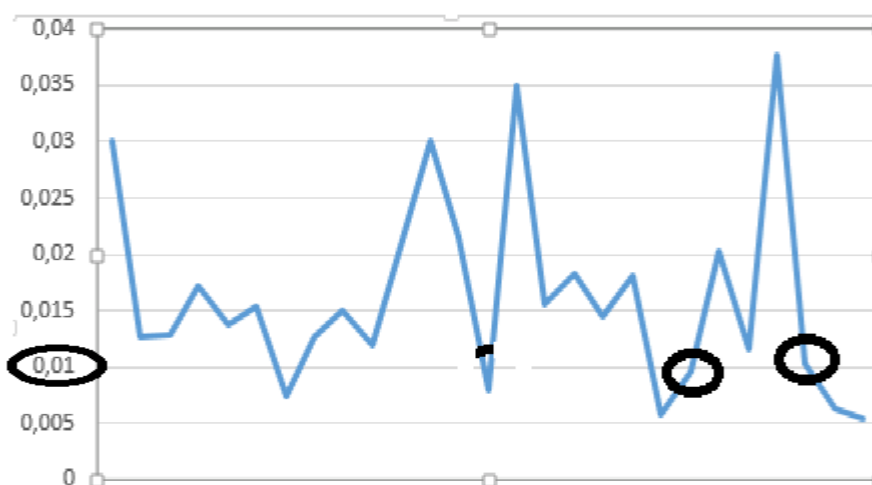


Figura 2.- Valores do coeficiente de Manning dos testes feitos pelos alunos

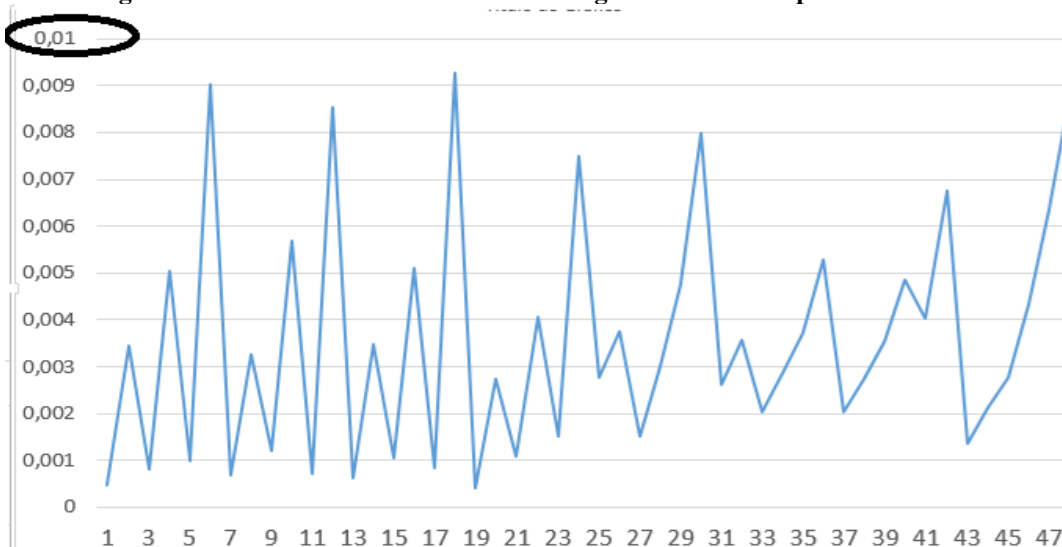


Figura 3.- Valores do coeficiente de Manning dos 48 novos testes em condições de laboratório

Foi evidenciado que os testes desenvolvidos pelos alunos as declividades era muito grandes (maiores a 10%) e a vazão usada era pequena em comparação com os 48 testes planejados que foram feitos na faixa de valores dentro dos quais um projeto real seria executado

Dado que os resultados práticos não ficaram perto dos valores de 0,01 teóricos em ambas das experiências, foram procurados os motivos teóricos do porquê deste fato acontecer.

- Dentre a bibliografia do uso do coeficiente de Manning achamos que Chin, 2000 alerta sobre os cuidados que devemos proceder ao aplicar a equação de Manning recomendando que ela deve ser aplicada somente para **regime turbulento** e somente é válida quando cumpre a seguinte fórmula:

$$n^6 (R \cdot S)^{0,5} > 1,9 \cdot 10^{-13} \quad \text{Fórmula 1}$$

Substituindo os valores da fórmula nenhum dos testes cumpre esta condição porque todos ficam na faixa dos valores E-14 (figura 4).

Já na verificação do regime de fluxo (figura 5) verificamos que uma maioria ficou no regime de transição e laminar (Reynolds menor a 4000), podendo concluir que este é o fator principal que evita que a fórmula de Manning possa ser utilizada em vários tubos de esgoto e drenagem (até uma pesquisa maior comprovar o contrário).



Figura 4.- Verificação de limites da equação de Manning da primeira bateria de testes

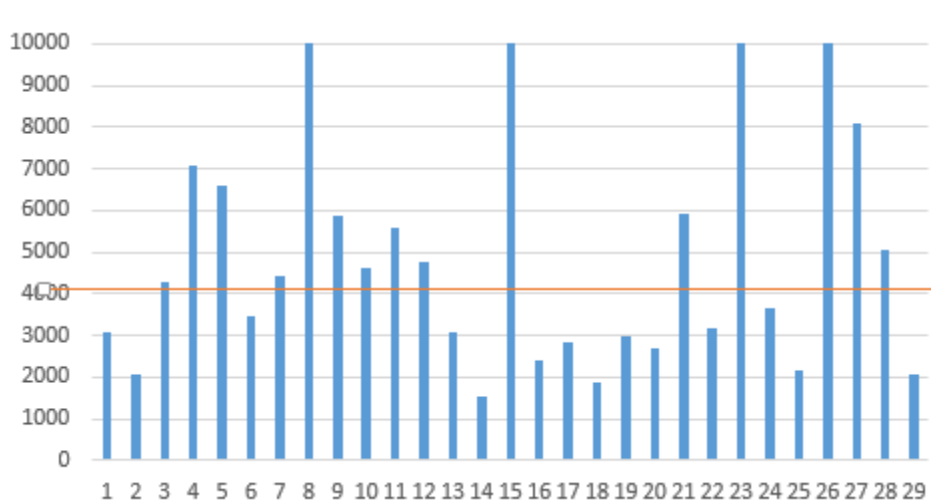


Figura 5.- Verificação dos regimes na primeira bateria de testes

- Continuando a pesquisa sobre o porquê o coeficiente de Manning teoricamente não pode ser aplicado a tubos de PVC segundo a Wikipédia, o coeficiente de Manning foi desenvolvido para rios de tamanho médio a grande de **alta rugosidade** e com **sinuosidade** e não para canais lisos, retos relativamente curtos.
- Finalmente analisando as unidades, Manning não é adimensional, tem uma dimensão de **segundo/metro^{1/3}** que não tem um significado físico em si, fato que prova que não podemos aplicar esta equação em circunstâncias diferentes às quais a fórmula empírica foi desenvolvida, ainda se formos aplicar numa outra escala dever ia-se estudar um fator de correção ou calibração para esta aplicação

PROPOSTA DE NOVA FORMULA

Foram desenvolvidos 48 testes utilizando 3 diâmetros diferentes de tubo PVC, 4 declividades diferentes para cada diâmetro estudado e 4 vazões diferentes para as 12 alternativas criadas.

Analisados os resultados destes testes em função da variável Y/D (a mais importante no que se refere ao projeto de tubos de esgoto e drenagem) evidenciou-se divergências muito grandes nos resultados entre os valores experimentais e os resultados usando o método tradicional de Manning.

- A linha laranja corresponde aos valores da variável Y/D dos 48 testes em condições de laboratório determinados usando a fórmula de Manning com valor de 0,01, sendo que valores maiores ou menos deste coeficiente modificam os resultados de forma diretamente proporcional a essa linha (para valores maiores toda a linha sobe de forma uniforme e para menores ela desce)
- A linha azul representa os valores de Y/D medidos experimentalmente

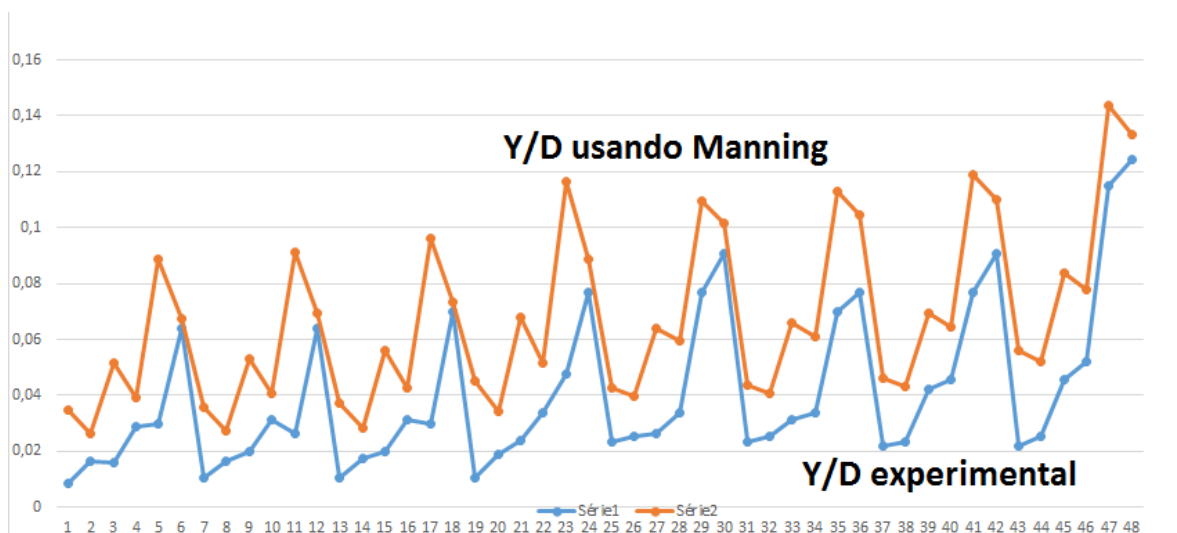


Figura 6.- Erros entre o Y/D experimental e o Y/D Calculado usando a fórmula de Manning (as duas linhas deveriam ter sido sobrepostas)

Podemos notar que:

- Ambos gráficos não tem relação direta entre eles
- Os “picos” correspondem aos testes feitos com os diâmetros menores que fornecem um valor Y/D e os valores menores correspondem aos experimentos com diâmetros maiores
- Poderíamos seguir analisando os dados variável por variável mas a divergência dos resultados já foi demonstrada para esta faixa de valores

DESENVOLVIMENTO DA FÓRMULA PROPOSTA

Foram iterados expoentes para todas as variáveis envolvidas no processo Vazão (Q), Declividade (i), Diâmetro (d) e Largura do espelho de água (B), esta última foi escolhida por dar melhores resultados que a área molhada e o perímetro molhado ficando da seguinte forma a fórmula que mais se aproxima nos resultados experimentais

$$Y/D = 0.1 * B^{2*} i^{0.22} / (Q^{0.14} * D^2) = Y/D$$

Fórmula 2

Onde

Q= Vazão em m³/s
i= Declividade em m/m
D= Diâmetro interno em m
B= Largura ou espelho hidráulico em m

A fórmula 2 mostrada no gráfico da figura 7 está em cor cinza e podemos observar que simula quase perfeitamente todos os resultados experimentais estudados:

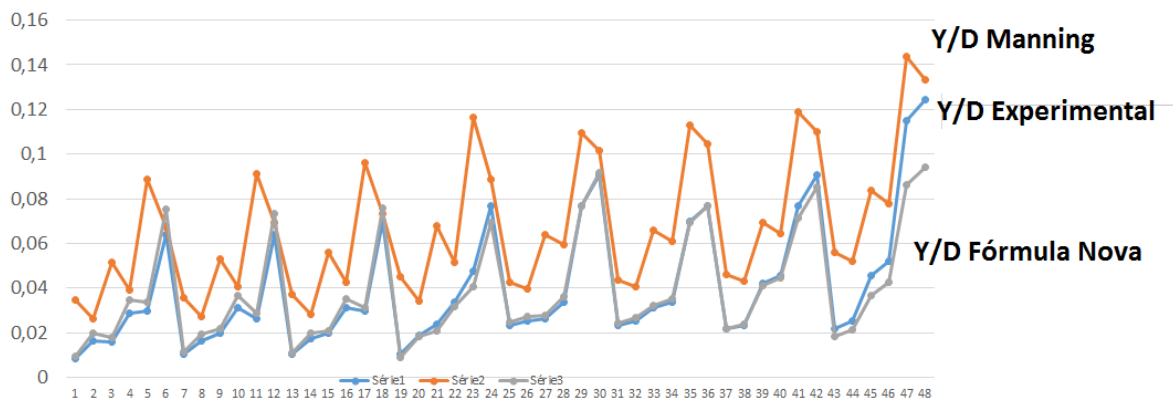


Figura 7.- Diferencia entre Y/D experimental e o Y/D feito com a nova fórmula

A fórmula iterativa 2 é funcional e eficiente para as condições criadas, porém foi evoluída para uma fórmula mais elegante e fácil que não envolve o parâmetro da largura hidráulica nem nenhuma variável geométrica surpreendentemente

$$Y/D = 1 - 2,5 * Q^{0,14} / i^{0,22}$$

Fórmula Brunex

Onde

Q= Vazão em m³/s
i= Declividade em m/m
D= Diâmetro interno em m
B= Largura ou espelho hidráulico em m

Analisando o gráfico podemos notar que a fórmula nova reproduz praticamente igual todos os valores experimentais estudados (exceto os últimos 2 valores) enquanto que a fórmula de Manning tem uma tendência bem diferente que a experimental, esta fórmula pode ainda ser melhorada muito mais ainda, mas o trabalho para aqui devido a que precisasse um laboratório de hidráulica maior para ter uma maior amplitude de medições

O professor Podalyro Amaral de Souza foi consultado para esta pesquisa e ele forneceu uma fórmula de canais em função da fórmula de perda de carga **universal** por ser a mais correta desde o ponto de vista teórico, esta fórmula iterativa é representada em amarelo na figura 8:

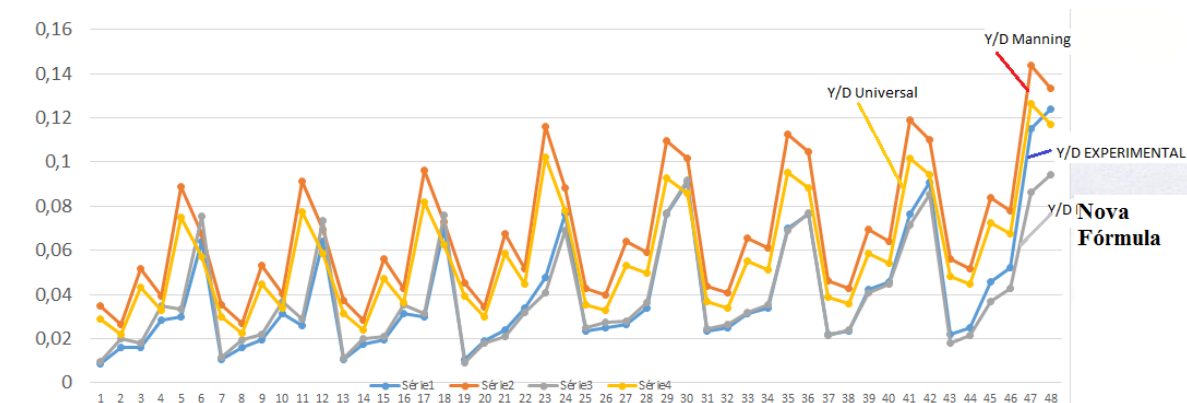


Figura 8.- Diferencia entre Y/D diversos

Este gráfico demonstra que a fórmula de Manning é baseada na fórmula de perda de carga universal por serem praticamente iguais (só varia o valor do coeficiente) mas nenhuma poderíamos aplicar dentro das limitações deste trabalho

UMA PROVA EXTRA

Hoje em dia sou professor da universidade São Judas e Ibirapuera, nesta última faculdade dei o mesmo trabalho de calcular o coeficiente de Manning experimentalmente, no qual o melhor aluno com uma semana de antecipação determinou valores experimentais bem fora da faixa dos experimentos realizados (no que se refere a declividade e vazão), motivo pelo qual decidi testar a fórmula nova

Dados experimentais

$Q=0,000145\text{m}^3/\text{s}$ (medida 3 vezes volumetricamente)

$I= 0,449 \text{ m/m}$ (esta declividade está muito além dos valores base usados nas provas de laboratório representa quase 45 graus, sendo uma declividade de relação 1:2 aproximadamente)

$D= 0,096\text{m}$. (medido)

Altura da lâmina de água medida 12 milímetros ou 0,012 metros

Calculando o valor de Y/D experimental teremos um valor de $=0,012/0,095= 0,125 \text{ m/m}$

Usando a Fórmula Brunex temos:

$$Y/D= 1-2,5*Q^{0,14}/i^{0,22} = 1-2,5*0,000145^{0,14}/0,449^{0,22} = 0,1349 \text{ m/m}$$

O qual serve para determinar um valor de $Y=0,0129$ metros ou **12,9 milímetros** (o medido experimental foi 12 milímetros)

Usando a fórmula de Manning com valor de 0.01 temos:

$Y/D =0,04378 \text{ m/m}$ e uma altura da lamina de água correspondente de 0,0042m ou **4,2 milímetros** (o medido experimental foi 12 milímetros)

O erro calculado no Y/D neste caso seria de 65% confirmado (neste caso) que os resultados usando a fórmula de Manning não tem uma tendência aproximada dos resultados finais em tubos de PVC

*Foi usado o programa Hcanales para resolver este problema:

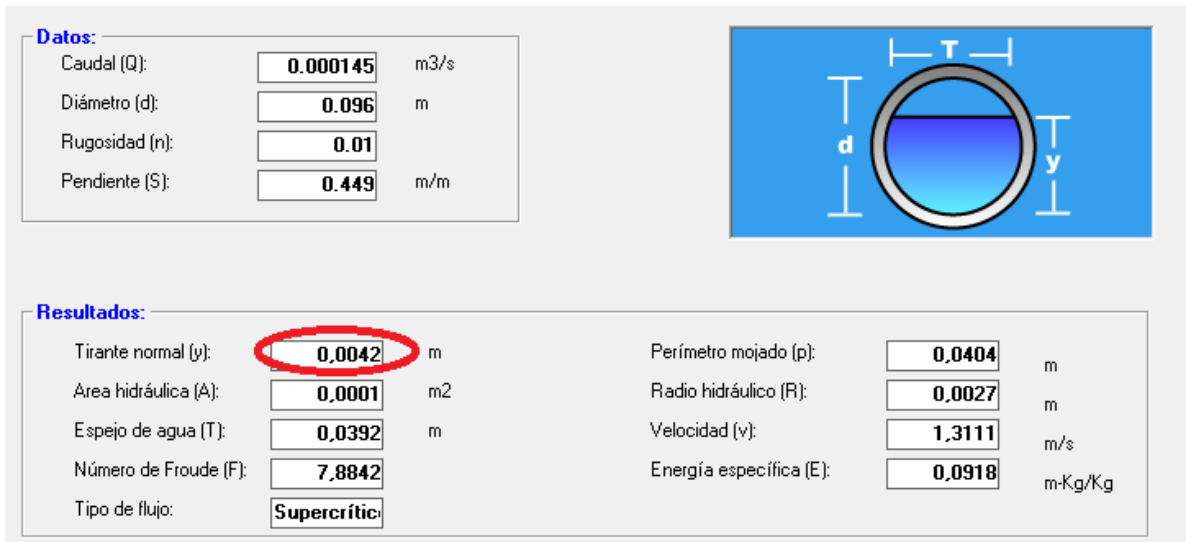


Figura 9.- dados e resultados do Software hcanales

Conclusões

- Surgem dúvidas do uso do coeficiente de Manning no que se refere na aplicação a tubos lisos retilíneos de declividade média a grande
- A fórmula de Manning é baseada na fórmula de perda de carga universal por mostrar exatamente a mesma tendência nos resultados (figura 8)
- A modificação de coeficientes demonstrou ser uma alternativa muito boa para o cálculo da nova fórmula
- É demonstrado que é possível melhorar (e muito) a fórmula de Manning para a simulação de fluxo em tubos de PVC sob estas circunstâncias
- Precisasse de mais e melhores dados para dar continuidade a esta pesquisa

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. -CHIN, DAVID A. Water Resources Engineering. Prentice Hall, 2000, 750páginas
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Manning_formula
3. Trabalhos práticos dos alunos das universidades Uninove, FMU e UNIB
4. ROMAN, Bruno Miguel Ledezma Roman. Irrigação superficial por bacias localizadas - modelação matemática e entropia máxima (2007);