

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

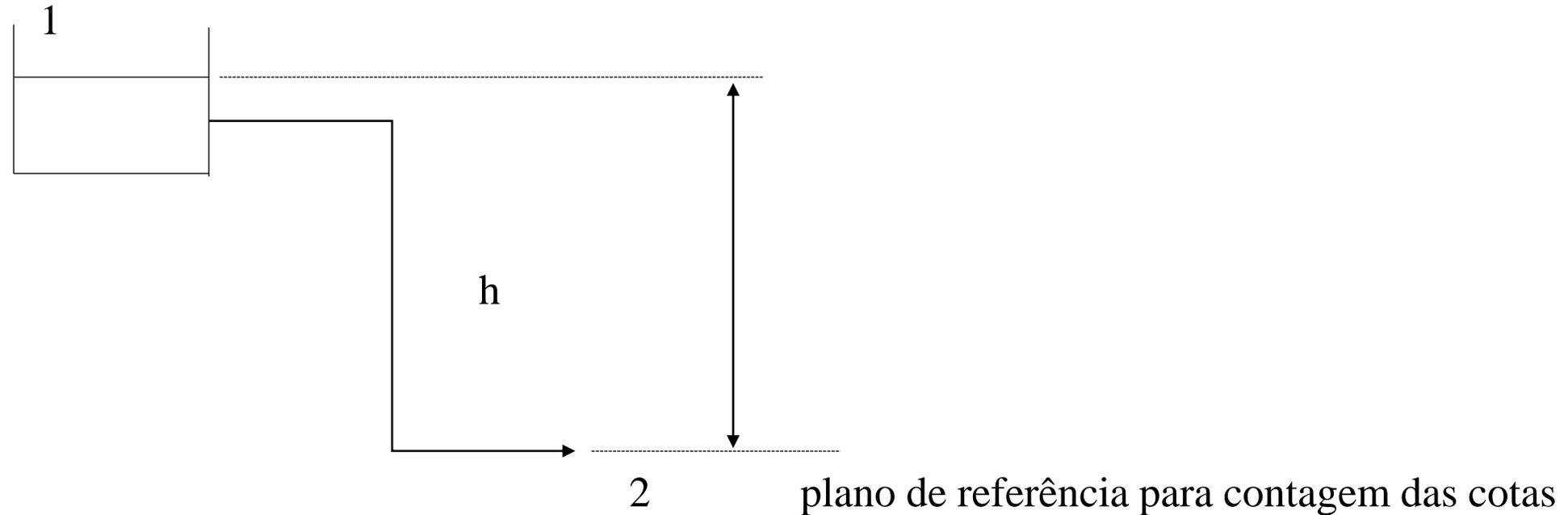
Muitas vezes, há tubulações existentes que devem ser utilizadas para transportar um fluido. Neste caso, deve-se **avaliar** a vazão que é possível se obter com a tubulação. Em outras vezes, necessita-se de uma determinada vazão para um dado processo e, para isso, há a necessidade de se **projetar** a tubulação.

Analizando cada tipo de problema:

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Avaliação de tubulação:

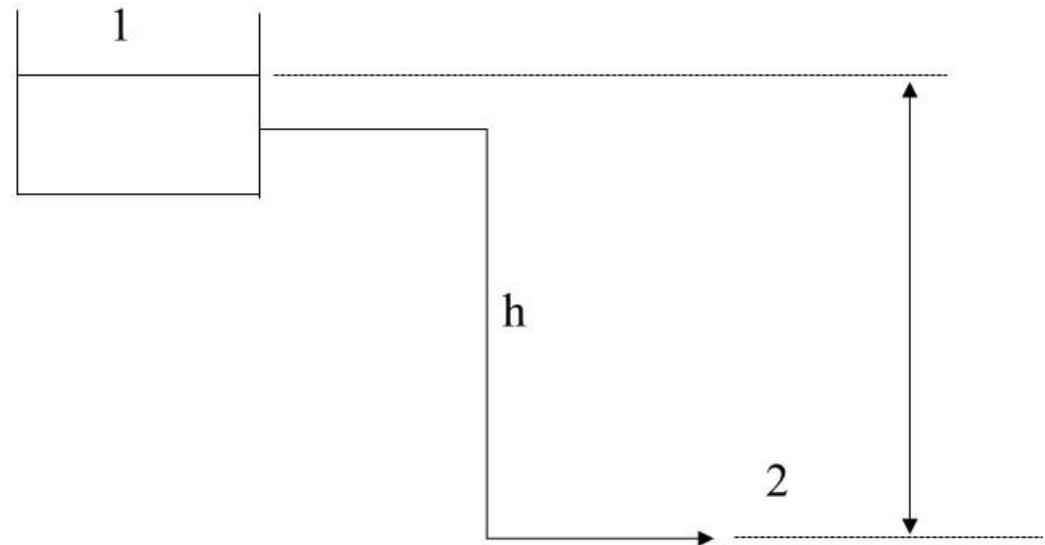


PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

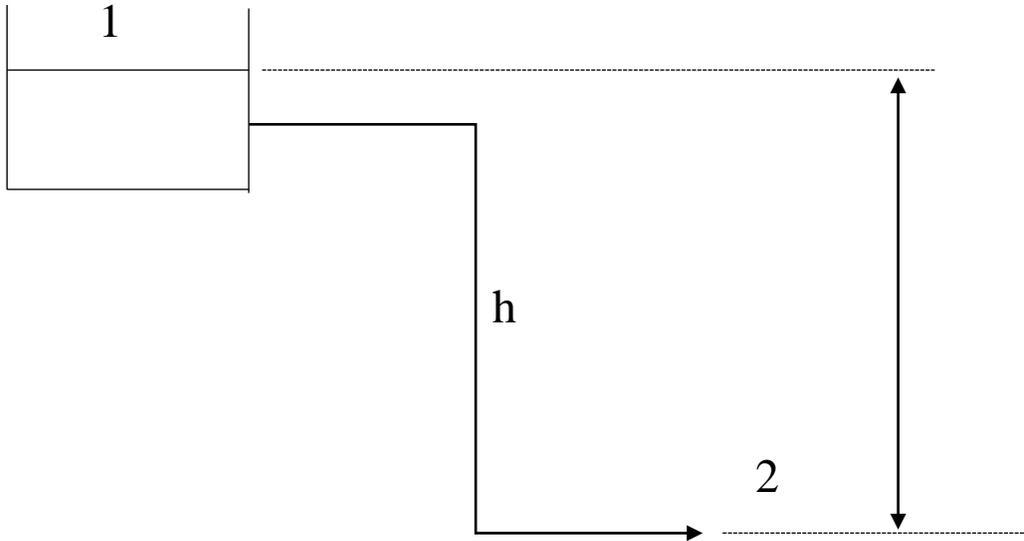
Supondo a drenagem do tanque mostrada na figura. Sabe-se que todo o sistema está aberto à atmosfera, o desnível entre a superfície do tanque e o ponto de descarga seja h . a tubulação é de um material específico definido, **tem diâmetro interno D definido** e apresenta um comprimento total L conhecido. No comprimento L , inclui-se o comprimento equivalente de todas as singularidades existentes na tubulação.

Aplicando-se a equação de Bernoulli no Volume de controle compreendido entre a superfície livre do tanque e o ponto de descarga, pontos 1 e 2, tem-se:



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES



$$\frac{\Delta v_b^2}{2} + g\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho} + \eta_p W_s + lwf = 0$$

$$v_{b1} = 0$$

$$v_{b2} = ?$$

$$z1 = h$$

$$z2 = 0$$

$$p1 = p2 = 0$$

$$\eta_p W_s = 0 \text{ (sem trabalho de eixo)}$$

$$lwf = \frac{2fLv_b^2}{D}$$

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

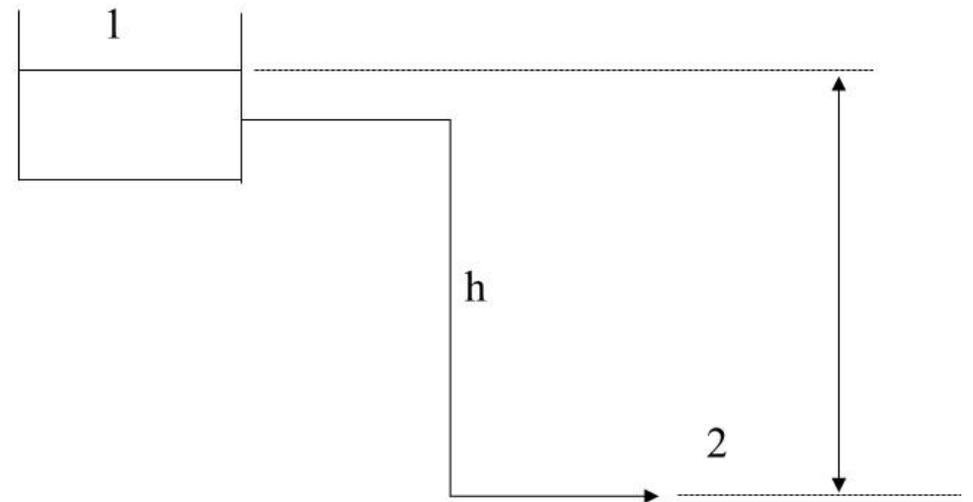
AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Em lwf, a velocidade v_b é a a velocidade que o fluido tem no ponto de descarga, v_{b2} , que a incógnita do problema. Uma vez que se tenha essa velocidade, conhecido o diâmetro da tubulação, a vazão está determinada.

A equação de Bernoulli simplificada fica então como:

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + lwf = 0 \text{ (eq A)}$$

Ou
$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + \frac{2fLv_{b2}^2}{D} = 0 \text{ (eq B)}$$



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Procedimento de cálculo: utilização do Diagrama de Moody.

- 1) Com o material da tubulação e o Diâmetro interno D , obtém-se a rugosidade relativa e/D .
- 2) Na curva de e/D determinada, obtém-se o valor do fator de atrito, f_1 , na região em que o fator de atrito fica independente do número de Re , no Diagrama de Moddy
- 3) Com o valor de f , na equação B, obtém-se uma primeira estimativa da velocidade v_{b2_1} (primeira estimativa de v_{b2}).
- 4) Com o valor de v_{b2} , pode-se estimar o número de Reynolds:

$$Re_1 = \frac{Dv_{b2_1}\rho}{\mu}$$

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + \frac{2fLv_{b2}^2}{D} = 0 \text{ (eq B)}$$

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

5) Com Re_1 e e/D obtém-se um novo valor para o fator de atrito: f_2 .

6) Com f_2 , na eq B, obtém-se uma nova estimativa para vb_2 : vb_{2_2} .

7) Comparam-se as velocidades: última estimativa com a velocidade calculada anteriormente: vb_{2_2} com vb_{2_1} :

-se forem iguais: o cálculo está encerrado.

-se forem diferentes, deve-se retornar ao passo 4, com o último valor de vb_2 calculado.

Prossegue-se com o cálculo até que ocorra convergência: $vb_{2(i)}$ seja igual a $vb_{2(i-1)}$.

Como o valor de vb_2 final, **obtém-se a vazão volumétrica** fornecida pela tubulação existente:

$$\dot{q} = \frac{\pi D^2}{4} v_{b2}$$

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Procedimento de cálculo: utilização do Número de Kármán – Λ

Sabe-se que:

$$Re = \frac{Dv_b\rho}{\mu}$$

$$lwf = \frac{2fLv_b^2}{D}$$

Desta equação, obtém-se a expressão para o fator de atrito:

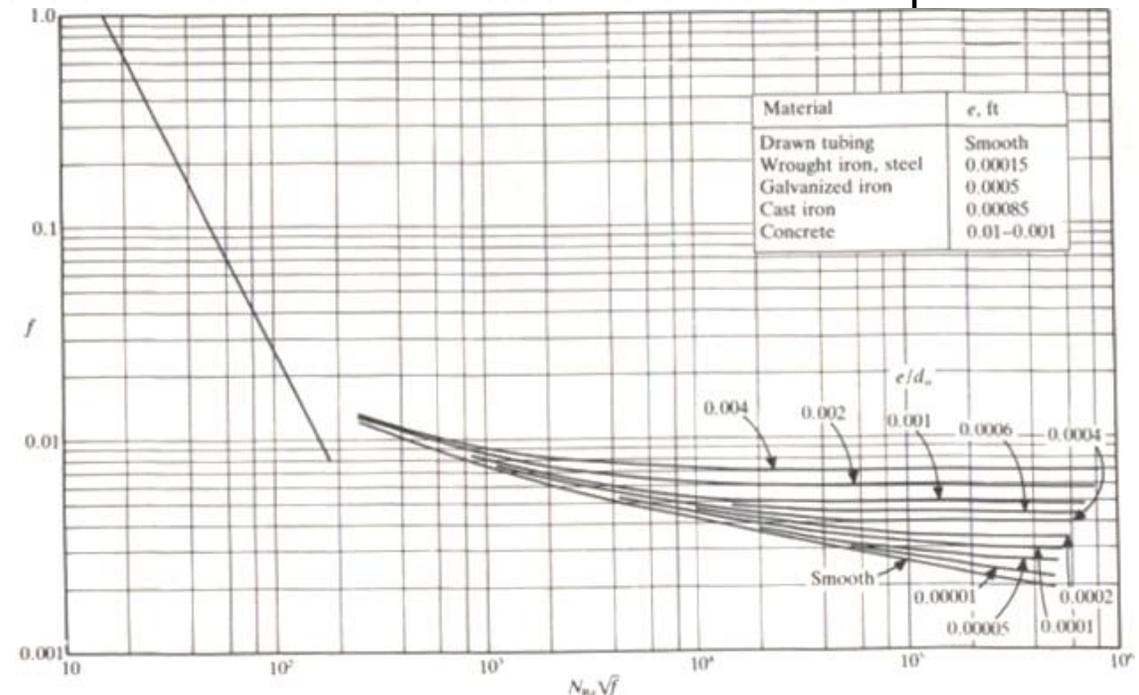
$$f = \frac{lwfD}{2Lv_b^2}$$

Fazendo-se: $Re\sqrt{f} = \frac{D\rho}{\mu} \sqrt{\frac{lwfD}{2L}} = \Lambda$ (número de Kármán) (eq C)

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

- 1) Pela eq A, desprezando-se, inicialmente, o termo de energia cinética, estima-se lwf_1 . $\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + lwf = 0$ (eq A)
- 2) Com lwf_1 na eq C, estima-se Λ_1 . $Re\sqrt{f} = \frac{D\rho}{\mu} \sqrt{\frac{lwfD}{2L}} = \Lambda$
- 3) Com Λ_1 e e/D , obtém-se uma primeira estimativa do fator de atrito f_1 .



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

- 4) Com f_1 na eq B, obtém-se uma primeira estimativa de $vb2_1$.
- 5) Com $vb2_1$ na eq A, obtém-se uma segunda estimativa para lwf : lwf_2 .
- 6) Com lwf_2 na eq C, obtém-se um novo valor de Λ_2 .
- 7) Com Λ_2 e e/D , obtém-se um novo fator de atrito, f_2 .
- 8) Com f_2 , na eq B, estima-se um novo valor par $vb2$: $vb2_2$.
- 9) Comparam-se a última estimativa de $vb2$ com a estimativa anterior: $vb2_2$ e $vb2_1$:
 - se forem iguais: o procedimento de cálculo está terminado.
 - se forem diferentes, volta-se ao passo 5 e repete-se o processo até que convergência: $vb2_{(i)}$ seja igual a $vb2_{(i-1)}$.

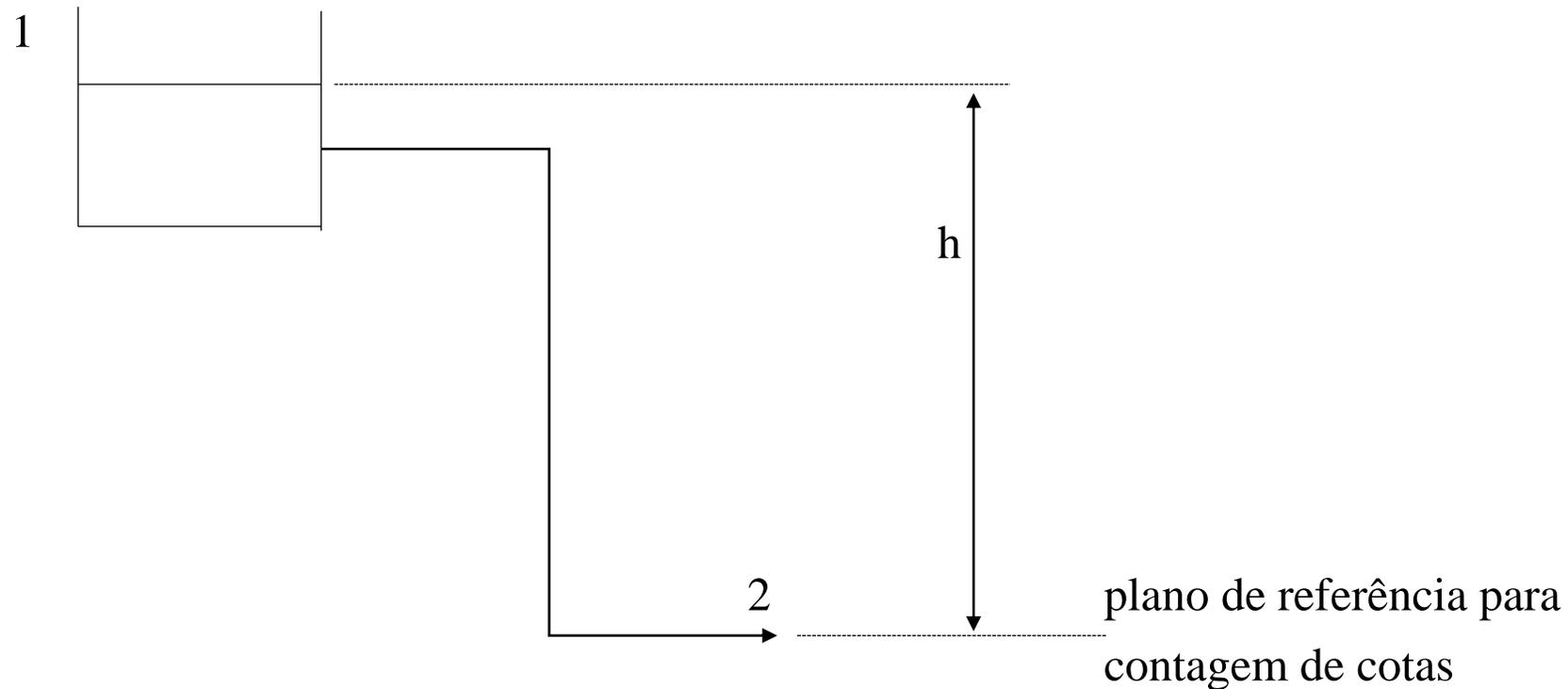
$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + lwf = 0 \text{ (eq A)}$$

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + \frac{2fLv_{b2}^2}{D} = 0 \text{ (eq B)}$$

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Projeto de Tubulação:



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Supondo a drenagem do tanque mostrada na figura anterior. Sabe-se que todo o sistema está aberto à atmosfera, o desnível entre a superfície do tanque e o ponto de descarga seja h . a tubulação é de um material específico definido, e apresenta um comprimento total L conhecido. No comprimento L , inclui-se o comprimento equivalente de todas as singularidades existentes na tubulação. **Deseja-se, com a tubulação, obter uma determinada vazão q . Neste caso, a tubulação não é existente.** Dispõe-se do comprimento necessário de tubo em função do ponto de alimentação e de descarga conhecidos. Este é um caso de **projeto de tubulação.**

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Aplicando-se a equação de Bernoulli no Volume de controle compreendido entre a superfície livre do tanque e o ponto de descarga, pontos 1 e 2, tem-se:

$$\frac{\Delta v_b^2}{2} + g\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho} + \eta_p W_s + l w_f = 0$$

$$v_{b1} = 0$$

$$v_{b2} = ?$$

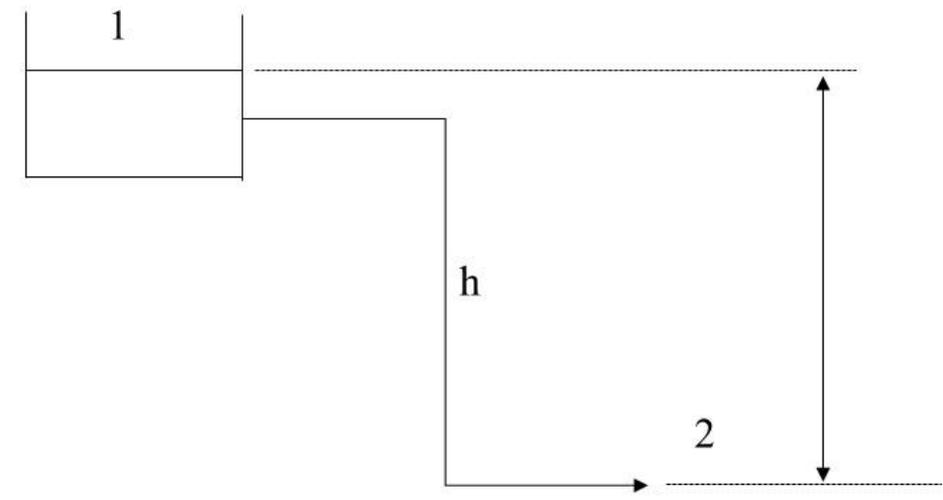
$$z_1 = h$$

$$z_2 = 0$$

$$p_1 = p_2 = 0$$

$$\eta_p W_s = 0 \text{ (sem trabalho de eixo)}$$

$$l w_f = \frac{2fL v_b^2}{D}$$



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Em lwf, a velocidade v_b é a a velocidade que o fluido tem no ponto de descarga, v_{b2} , que a a incógnita do problema. Uma vez que se tenha essa velocidade, conhecido o diâmetro da tubulação, a vazão está determinada.

A equação de Bernoulli simplificada fica então como:

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + lwf = 0 \text{ (eq A)}$$

ou

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + \frac{2fLv_{b2}^2}{D} = 0 \text{ (eq B)}$$

Sabe-se também que:

$$\dot{q} = \frac{\pi D^2}{4} v_{b2}$$

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Desta equação obtém-se:

$$v_{b2} = \frac{4\dot{q}}{\pi D^2} \text{ (eq C)}$$

ou

$$D = \sqrt{\frac{4\dot{q}}{\pi v_{b2}}} \text{ (eq D)}$$

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Procedimento utilizando o Diagrama de Moody:

1) Adotar um valor de velocidade recomendada para o processo em questão, como primeira estimativa para v_{b2} : $v_{b2_1} = v_{b2_{rec}}$.

2) Com $v_{b2_{rec}}$ na eq D, estima-se D_1 (primeira estimativa para o diâmetro da tubulação).

3) Com $v_{b2_{rec}}$ e D_1 , determina-se Re_1 e e/D_1 : $Re_1 = \frac{D_1 v_{b2_{rec}} \rho}{\mu}$

4) Com Re_1 e e/D_1 , no diagrama de Moody, obtém-se um primeiro valor para o fator de atrito, f_1 .

5) Com f_1 e $v_{b2_{rec}}$, na eq B, estima-se um novo valor de diâmetro: D_2 .

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + \frac{2fLv_{b2}^2}{D} = 0 \text{ (eq B)}$$

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

6) Comparam-se D_2 e D_1 :

-se iguais, o processo de cálculo convergiu.

-se diferentes, seguir para o passo 7.

7) Com a estimativa de diâmetro D_2 , na eq C, estima-se v_{b2} .

8) Com D_2 e v_{b2} :

$$Re_2 = \frac{D_2 v_{b2} \rho}{\mu} \text{ e } e/D_2.$$

9) Com Re_2 e e/D_2 , obtém-se um novo valor para o fator de atrito f_2 .

10) Com v_{b2} e f_2 , na eq B estima-se um novo valor para o diâmetro D_3 .

11) Comparam-se os dois últimos diâmetros obtidos: D_3 e D_2 .

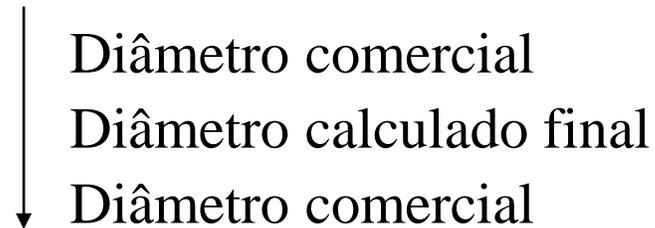
-se iguais, houve convergência;

-se diferentes, volta-se ao passo 7, até que ocorra convergência.

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Para a seleção do diâmetro comercial adequado:



A seta indica o aumento do valor do diâmetro. Deve-se selecionar o maior diâmetro comercial imediatamente acima do diâmetro calculado. Justifica-se tal fato pelo cálculo do valor da perda de energia mecânica, l_{wf} :

$$l_{wf} = \frac{2fLv_b^2}{D}$$

Como o objetivo é minimizar l_{wf} , com o maior diâmetro comercial imediatamente acima, tem-se uma diminuição da velocidade média e, como mostra a eq para l_{wf} , o valor deste diminui.

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Procedimento, empregado o número de Kármán:

1) Adotar um valor de velocidade recomendada para o processo em questão, como primeira estimativa para v_{b2} : $v_{b2_1} = v_{b2_{rec}}$.

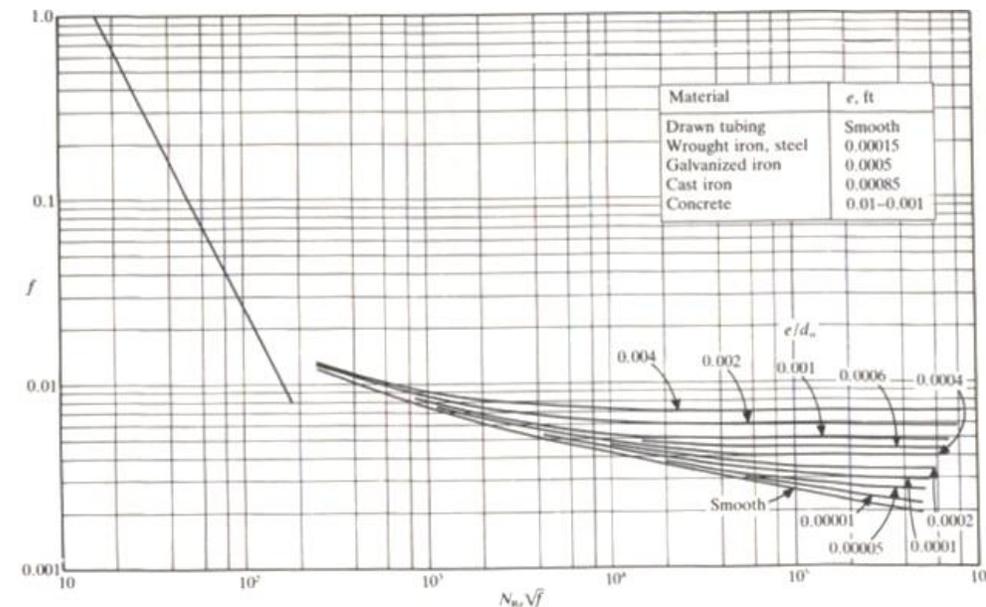
2) Com $v_{b_{rec}}$ na eq A, faz-se uma primeira estimativa de l_{wf} : l_{wf_1} .

2) Com $v_{b2_{rec}}$ na eq D, estima-se D_1 . $D = \sqrt{\frac{4\dot{q}}{\pi v_{b2}}} \text{ (eq D)}$

3) Com l_{wf_1} e D_1 , estima-se Λ_1 .

4) Com Λ_1 e e/D_1 , obtém-se a primeira estimativa do fator de atrito: f_1 .

5) Com f_1 e $v_{b2_1} = v_{b_{rec}}$, na eq B, estima-se D_2 .



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

6))Comparam-se D_2 e D_1 :

-se iguais, o processo de cálculo convergiu.

-se diferentes, seguir para o passo 7.

7)Com D_2 na eq C, estima-se vb_2 .

8)Com vb_2 , na eq A, estima-se lwf_2 .

9)Com D_2 e lwf_2 , obtém-se Λ_2 .

10)Com Λ_2 e e/D_2 , estima-se f_2 .

11)Com f_2 e vb_2 , na eq B, estima-se D_3 .

12)Comparam-se os dois últimos diâmetros obtidos:

-se iguais, o cálculo convergiu;

-se diferentes, voltar ao passo 7 até que $D_{(i)}$ e $D_{(i-1)}$ sejam iguais.

A seleção do diâmetro comercial a ser adotado é como já comentado.