4. DUTOS NÃO-CIRCULARES

TUDO QUE FOI VISTO NESTE CAPÍTULO SOBRE PERDAS DE CARGA É VÁLIDO APENAS PARA DUTOS CIRCULARES.

VEREMOS, AGORA, ALGUNS PROCEDIMENTOS APLICÁVEIS A DUTOS QUE NÃO SEJAM CIRCULARES.

O NÚMERO DE REYNOLDS, POR EXEMPLO, PASSA A SER CALCULADO ATRAVÉS DE

$$Re_{D_h} = \frac{\overline{V} D_h}{\nu} \qquad (21)$$

ONDE

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad \text{(DIÂMETRO HIDRÁULICO; UNIDADE = METROS)} \qquad (22)$$

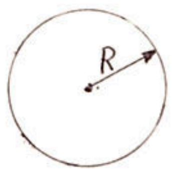
E

A = ÁREA DE PASSAGEM DO FLUIDO NA SEÇÃO TRANSVERSAL DO DUTO (m)

P = PERÍMETRO MOLHADO OU COMPRIMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO DUTO EM CONTATO COM O FLUIDO (m)

EXEMPLOS:

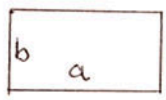
1- DUTO CIRCULAR:



$$A = \pi R^2 \qquad P = 2\pi R$$

$$D_h = \frac{4\pi R^2}{2\pi R} = 2R = D$$

2- DUTO RETANGULAR:



$$A = ab \qquad P = 2(a+b)$$

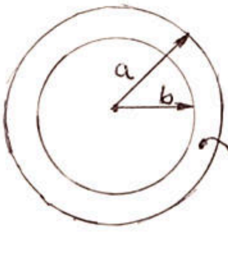
$$D_h = \frac{4ab}{2(a+b)}$$

* SE $a=b$ (DUTO QUADRADO): $D_h = \dfrac{4a^2}{4a} = a$ = LADO DO QUADRADO

* SE $a \to \infty$ (PLACAS PARALELAS INFINITAS):

$$D_h = \frac{4b\infty}{2\infty} = 2b = \text{DOBRO DA DISTÂNCIA ENTRE AS PLACAS}$$

3-DUTOS CIRCULARES CONCÊNTRICOS:



$$A=\pi(a^2-b^2) \qquad P=2\pi(a+b)$$

$$D_h=\frac{4\pi(a^2-b^2)}{2\pi(a+b)}=\frac{2(a+b)(a-b)}{(a+b)}=2(a-b)$$

CONFORME DEMONSTROU-SE NO ÍTEM 2 DESTE CAPÍTULO, O FATOR DE ATRITO PARA ESCOAMENTO LAMINAR COMPLETAMENTE DESENVOLVIDO NUM DUTO CIRCULAR É DADO PELA EQ. (12):

$$f=\frac{64}{Re_D}$$

QUE PODE SER REESCRITA COMO:

$$64=Re_D\, f \tag{23}$$

A EQ. (23) PODE SER GENERALIZADA PARA QUALQUER TIPO DE DUTO ATRAVÉS DE

$$Po=Re_{D_h}\, f \tag{24}$$

ONDE

$Po=$ NÚMERO DE POISEUILLE (ADIMENSIONAL)

O NÚMERO DE POISEUILLE É DADO NA FIGURA 11 PARA ESCOAMENTO LAMINAR PLENAMENTE DESENVOLVIDO EM DUTOS DE DIVERSOS TIPOS. ESTES RESULTADOS FORAM OBTIDOS RESOLVENDO-SE ANALITICAMENTE AS EQUAÇÕES DE NAVIER-STOKES DE ACORDO COM O PROCEDIMENTO VISTO NO ÍTEM 8 DO CAPÍTULO 4.

USANDO O CONCEITO DE DIÂMETRO HIDRÁULICO (D_h), A EQ. (7), USADA PARA CALCULAR A PERDA DE CARGA CONTÍNUA, PASSA A SER

$$h_c=f\frac{L}{D_h}\frac{\overline{V}^2}{2} \qquad \text{(LAMINAR)} \tag{25}$$

EXEMPLO: CALCULAR A PERDA DE CARGA E A QUEDA DE PRESSÃO QUE A ÁGUA SOFRE AO ESCOAR NUM DUTO CIRCULAR COM $D=0{,}01\,m$ E NUM DUTO QUADRADO COM $H=0{,}01\,m$.

DADOS: $\bar{V}=0{,}1\,m/s$ $\quad L=100\,m$ $\quad \nu=10^{-6}\,m^2/s$ $\quad \rho=10^3\,kg/m^3$

$$D_h^{\circ}=D=0{,}01\,m \qquad D_h^{\square}=H=0{,}01\,m$$

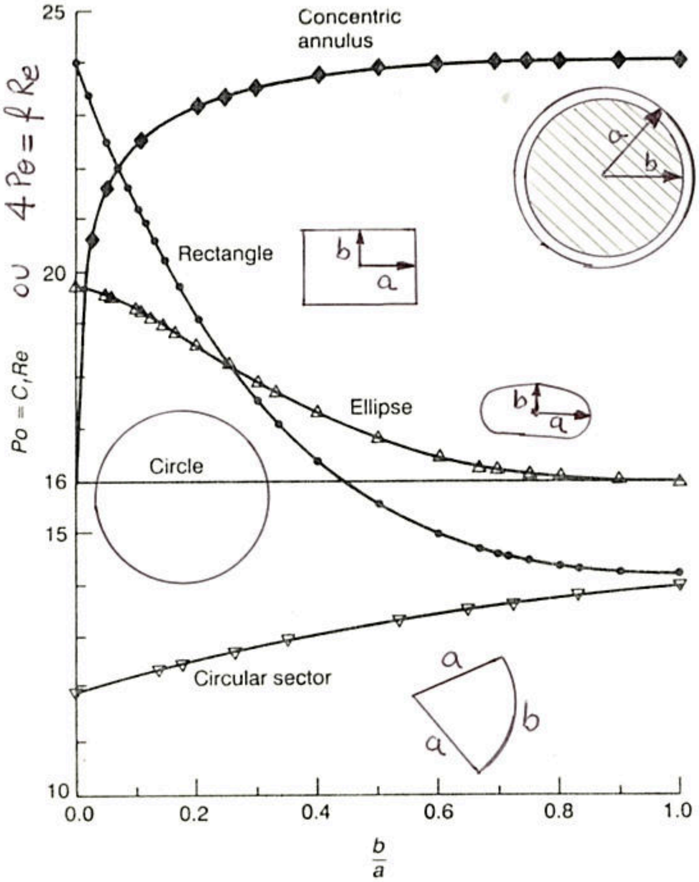
$$Re_{D_h}^{\circ}=\frac{\bar{V}D_h^{\circ}}{\nu}=1000 \qquad Re_{D_h}^{\square}=\frac{\bar{V}D_h^{\square}}{\nu}=1000$$

- DUTO CIRCULAR: $P_O=Re_{D_h}^{\circ}f_{\circ}=64 \longrightarrow f_{\circ}=0{,}064$
- DUTO QUADRADO: $P_O=Re_{D_h}^{\square}f_{\square}=57 \longrightarrow f_{\square}=0{,}057$

DA EQ.(25) OBTÊM-SE

$$h_c^{\circ}=3{,}20\,m^2/s^2 \qquad E \qquad h_c^{\square}=2{,}85\,m^2/s^2$$

SHAH E LONDON (1978)



ESCOAMENTO LAMINAR

$f = 4C_f$

P_O = NÚMERO DE POISEUILLE (ADIMENSIONAL)

C_f = FATOR DE ATRITO DE FANNING (ADIMENSIONAL)

f = " " " " DARCY "

Re = NÚMERO DE REYNOLDS = $\frac{\bar{V} D_h}{\nu}$ "

$\bar{V}$ = VELOCIDADE MÉDIA DO ESCOAMENTO (m/s)

D_h = DIÂMETRO HIDRÁULICO = $\frac{4A}{P}$ (m)

ν = VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m^2/s)

FIGURA 11.

E DA EQ. (8), $\Delta p = (p_1 - p_2) = h_c \rho$:

$$\Delta p_0 = 3{,}2 \text{ kPa} \quad \text{E} \quad \Delta p_\square = 2{,}85 \text{ kPa}$$

NO CASO DE ESCOAMENTOS TURBULENTOS NO INTERIOR DE DUTOS NÃO-CIRCULARES USA-SE O CONCEITO DE DIÂMETRO EFETIVO (D_{ef}) DEFINIDO POR

$$D_{ef} = \frac{64 D_h}{(Po)_{LAMINAR}} \tag{26}$$

ONDE

$(Po)_{LAMINAR}$ = NÚMERO DE POISEUILLE PARA ESCOAMENTO LAMINAR

O NÚMERO DE REYNOLDS PASSA A SER CALCULADO ATRAVÉS DE

$$Re_{D_{ef}} = \frac{\overline{V} D_{ef}}{\nu} \tag{27}$$

E A RUGOSIDADE RELATIVA COM "e/D_{ef}".

O FATOR DE ATRITO (f) PASSA A SER OBTIDO COM A EQUAÇÃO DE MILLER, EQ. (13), USANDO-SE D_{ef} E $Re_{D_{ef}}$ OU ATRAVÉS DO DIAGRAMA DE MOODY COM (e/D_{ef}) E $Re_{D_{ef}}$.

FINALMENTE, A PERDA DE CARGA CONTÍNUA PARA ESCOAMENTO TURBULENTO É CALCULADA COM

$$h_c = f \frac{L}{D_{ef}} \frac{\overline{V}^2}{2} \quad \text{(TURBULENTO)} \tag{28}$$

EXEMPLO: CALCULAR A QUEDA DE PRESSÃO QUE A ÁGUA SOFRE AO ESCOAR NUM DUTO CIRCULAR COM $D = 0{,}01\ m$ E NUM DUTO QUADRADO COM $H = 0{,}01\ m$.

DADOS: $e = 0{,}05\ mm$ $\quad L = 10\ m$ $\quad \bar{V} = 10\ m/s$

$\rho = 10^3\ kg/m^3$ $\quad \nu = 10^{-6}\ m^2/s$

$Po_0 = 64$ $\quad Po_\square = 57$

$$D_{h_0} = D = 0{,}01\ m \therefore D_{ef_0} = \frac{64\, D_{h_0}}{Po_0} = \frac{64 \times 0{,}01}{64} = 0{,}01\ m = D_{h_0}$$

$$D_{h_\square} = H = 0{,}01\ m \therefore D_{ef_\square} = \frac{64\, D_{h_\square}}{Po_\square} = \frac{64\, D_{h_\square}}{57} \cong 1{,}12\, D_{h_\square}$$

$$Re^{0}_{D_{ef}} = \frac{\bar{V}\, D^{0}_{ef}}{\nu} = 1 \times 10^5 \qquad Re^{\square}_{D_{ef}} = \frac{\bar{V}\, D^{\square}_{ef}}{\nu} = 1{,}12 \times 10^5$$

$$\frac{e}{D^{0}_{ef}} = 0{,}0050 \qquad \frac{e}{D^{\square}_{ef}} = 0{,}0045$$

DA EQUAÇÃO DE MILLER, EQ. (13):

$$f_0 \cong 0{,}0316 \qquad f_\square \cong 0{,}0306$$

COM A EQ. (28) TEM-SE

$$h_{c_0} = 1580\ m^2/s^2 \qquad h_{c_\square} = 1366\ m^2/s^2$$

FINALMENTE, USANDO-SE A EQ. (8) CHEGA-SE A

$$\Delta p_0 \cong 1{,}58\ MPa \qquad \Delta p_\square \cong 1{,}37\ MPa$$