

DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO NOS TUBOS DE SAÍDA LISO E DE CONCRETO DE UM RESERVATÓRIO PARA VÁRIAS TEMPERATURAS UTILIZANDO-SE O SCILAB

DETERMINATION OF PRESSURE IN THE SMOOTH AND CONCRETE OUTPUT TUBES OF A RESERVOIR FOR VARIOUS TEMPERATURES USING SCILAB

Luciana Claudía Martins Ferreira Diogenes, graduada e mestre em Física pela Unicamp, doutora em Engenharia Mecânica pela Unicamp

Resumo: Em projetos que envolvem perda de energia no tubo podem ser descritos com uma equação de energia em específica, escolhendo-se dois pontos. Conhecendo-se algumas variáveis dessa equação, pode-se encontrar o valor da pressão em um dos pontos. Pensando em um escoamento de água em regime turbulento em um reservatório com tubo de saída contendo uma bomba, a variação da temperatura faz com que a massa específica e a viscosidade dinâmica alterem os seus valores e isso influencia no valor da pressão que a bomba deverá produzir para gerar uma vazão específica. Baseado nesse fato, a temperatura da água foi variada de 0 a 100 °C e com a ajuda do software Scilab, a pressão manométrica pode ser calculada. O regime de escoamento considerado foi o turbulento.

Palavras-chave: escoamento, pressão, reservatório, temperatura.

Abstract: In projects involving energy loss in the tube can be described with a specific energy equation by choosing two points. Knowing some variables of this equation, one can find the pressure value at one of the points. Thinking of a turbulent flow of water in a reservoir with an outlet pipe containing a pump, the temperature variation causes the specific mass and the dynamic viscosity to change their values and this influences the value of the pressure that the pump should produce to generate a specific flow. Based on this fact, the water temperature was varied from 0 to 100 °C and with the help of Scilab software, the gauge pressure can be calculated. The flow regime considered was the turbulent one.

Keywords: flow, pressure, reservoir, temperature.

I. INTRODUÇÃO

Projetar sistemas hidráulicos nem sempre pode ser uma tarefa fácil. Sempre pode haver alguma variável desconhecida quando se considera um sistema constituído de fluido em um escoamento cujo trajeto é simples ou único. Alguns exemplos mais comuns de projeção de sistemas simples é quando existe um tubo de comprimento L e diâmetro D , sob uma vazão Q e queda de pressão Δp . Nesse caso ((FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2010, p.324):

- Pode se conhecer L , D e Q , para determinar Δp ;
- Pode se conhecer Δp , D e Q , para determinar L ;
- Pode se conhecer L , D e Δp , para determinar Q ;
- Pode se conhecer L , Δp e Q , para determinar D .

O fluido em movimento apresenta suas próprias propriedades de massa específica e viscosidade dinâmica variando com a temperatura. A água, por exemplo, pode ter essas propriedades visualizadas na tabela 01. A viscosidade absoluta ou dinâmica, μ , é dada em (N.s/m²) e a massa específica ρ em (kg/m³).

Tabela 01: Dados de massa específica e viscosidade dinâmica da água para diferentes temperaturas.

Fonte: [1, p.667].

Temperatura T (°C)	Massa Específica, ρ (kg/m ³)	Viscosidade Dinâmica, μ (N.s/m ²)
0	1.000	1,76*10 ⁻³
5	1.000	1,51*10 ⁻³
10	1.000	1,30*10 ⁻³
15	999	1,14*10 ⁻³
20	998	1,01*10 ⁻³
25	997	8,93*10 ⁻⁴
30	996	8,00*10 ⁻⁴
35	994	7,21*10 ⁻⁴
40	992	6,53*10 ⁻⁴
45	990	5,95*10 ⁻⁴
50	988	5,46*10 ⁻⁴
55	986	5,02*10 ⁻⁴
60	983	4,64*10 ⁻⁴
65	980	4,31*10 ⁻⁴
70	978	4,01*10 ⁻⁴
75	975	3,75*10 ⁻⁴
80	972	3,52*10 ⁻⁴
85	969	3,31*10 ⁻⁴
90	965	3,12*10 ⁻⁴
95	962	2,95*10 ⁻⁴
100	958	2,79*10 ⁻⁴

A equação de energia para escoamento de trajeto único, permanente e incompressível, a qual permite calcular a perda de carga total é dada por ((FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2010, p.323):

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\bar{v}_1^2}{2} + gz_1\right) - \left(\frac{p_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{\bar{v}_2^2}{2} + gz_2\right) = h_{lT} = \sum h_l + \sum h_{lm} \quad (1)$$

onde g é a aceleração da gravidade $9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$, α_1 e α_2 são os coeficientes de energia cinética nos dois pontos selecionados no escoamento, h_l são as perdas de carga maiores e h_{lm} as perdas de cargas menores (FOX; PRITCHARD, MCDONALD, 2010) e a perda de carga total é dada por:

$$h_{lT} = h_l + h_{lm} \quad (2)$$

As perdas de carga distribuídas, h_l , são dadas por (FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2010, p. 313):

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2} \quad (3)$$

A equação 4 é usada para calcular perda de cargas menores (ou localizadas) [1, p. 317]:

$$h_{lm} = K \frac{\bar{v}^2}{2} \quad (4)$$

O módulo da velocidade média \bar{v} é calculado ((FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2010, p. 293):

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

Segundo (ÇENGEL; CIMBALA, 2012), o escoamento em um tubo circular é definido como laminar, escoamento de transição e turbulento de acordo com o número de Reynolds:

- $Re \leq 2.300$ regime laminar
- $2.300 < Re \leq 4.000$ escoamento de transição
- $Re \geq 4.000$ escoamento turbulento

O número de Reynolds que define se um escoamento é laminar ou turbulento. Para calculá-lo, é necessário conhecer a massa específica, viscosidade dinâmica, diâmetro do tubo e velocidade média (FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2010, p. 288):

$$Re = \frac{\rho \bar{v} D}{\mu} \quad (6)$$

onde μ é a viscosidade, [N.s/m²], ρ é a massa específica [kg/m³], ν é a viscosidade cinemática [m²/s], D é o diâmetro [m] e \bar{V} a velocidade média [m/s].

A equação para o regime laminar em uma tubulação circular é dada por (ÇENGEL; CIMBALA, 2012):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (7)$$

Segundo (ÇENGEL; CIMBALA, 2012), em 1942, o engenheiro norte-americano Hunter Rouse (1906-1996) deu a confirmação para a equação de Colebrook (equação 8) produzindo um gráfico que tem f como função do número de Re e do produto $Re \sqrt{f}$ além de apresentar a relação do escoamento laminar e uma tabela de rugosidade do tubo comercial. Lewis F. Moody (1880-1953) fez algumas alterações no diagrama de Rouse, dando origem a forma que é utilizada hoje em dia, ao nome diagrama de Moody. Desde então passou a apresentar o fator de atrito de Darcy para escoamento como função do número de Reynolds e de e/D em um amplo intervalo.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0 \log \left(\frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (8)$$

O diagrama de Moody é apresentado na figura 01:

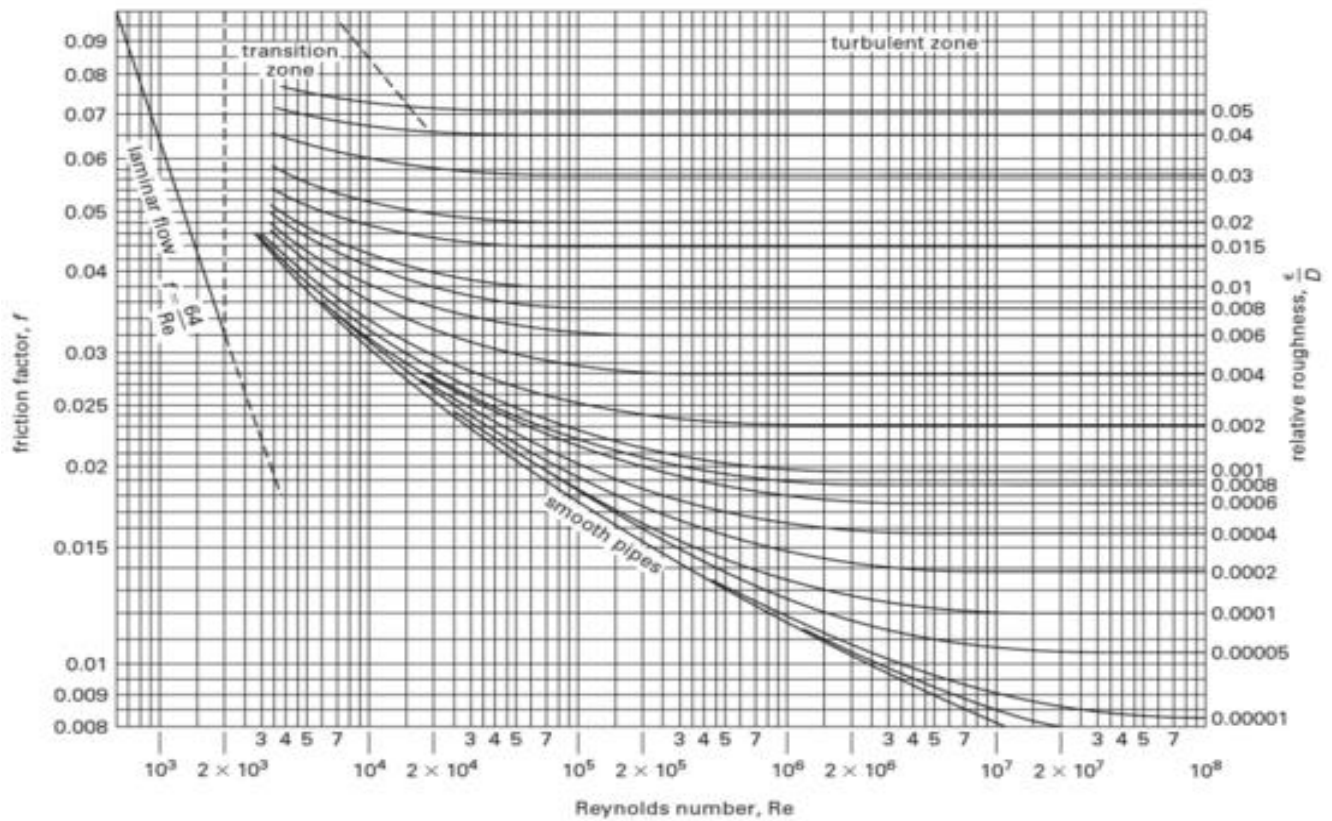


Figura 01. Diagrama de Moody.
 Fonte: (Lindeburg, 2013).

As rugosidades de cada material utilizado na tubulação podem variar. A figura 02 mostra alguns valores de rugosidade em ft e mm.

Valores equivalentes de rugosidade para tubos comerciais novos*

Material	Rugosidade, ϵ	
	ft	mm
Vidro, plástico	0 (lisa)	
Concreto	0,003–0,03	0,9–9
Bastão de madeira	0,0016	0,5
Borracha, unformizada	0,000033	0,01
Tubulação de cobre ou latão	0,000005	0,0015
Ferro fundido	0,00085	0,26
Ferro galvanizado	0,0005	0,15
Ferro forjado	0,00015	0,046
Aço inoxidável	0,000007	0,002
Aço comercial	0,00015	0,045

*A incerteza desses valores pode chegar a $\pm 60\%$.

Figura 02. Valores de rugosidade ϵ para alguns materiais. Nesse trabalho, foram escolhidos o vidro ou plástico, cobre ou latão e aço inoxidável.

Fonte: [2, p. 295].

II. METODOLOGIA

O sistema estudado é constituído por um reservatório contendo água e um tubo reto que poderá liso ou de concreto (figura 03). Uma bomba é colocada na saída da tubulação para buscar a vazão desejada. As dimensões desse sistema estudado são apresentadas a seguir:

- Altura do reservatório a partir da linha de centro, $d= 10$ m;
- Diâmetro do tubo, $D= 75$ mm;
- Comprimento do tubo, $L= 100$ m;
- Vazão, $Q= 0,01$ m³/s;
- $p_1= p_{\text{bomba}}$;
- $p_2= 0$ kPa;

- $\bar{V}_1 = \bar{V}$;
- $\bar{V}_2 \approx 0 \text{ m/s}$;
- $K=1$;
- $\alpha_1 \approx 1$;
- $z_1 = 0 \text{ m}$;
- $z_2 = d = 10 \text{ m}$;
- Rugosidade, $e= 0 \text{ mm}$ para tubo liso e $e= 9 \text{ mm}$ para o concreto.

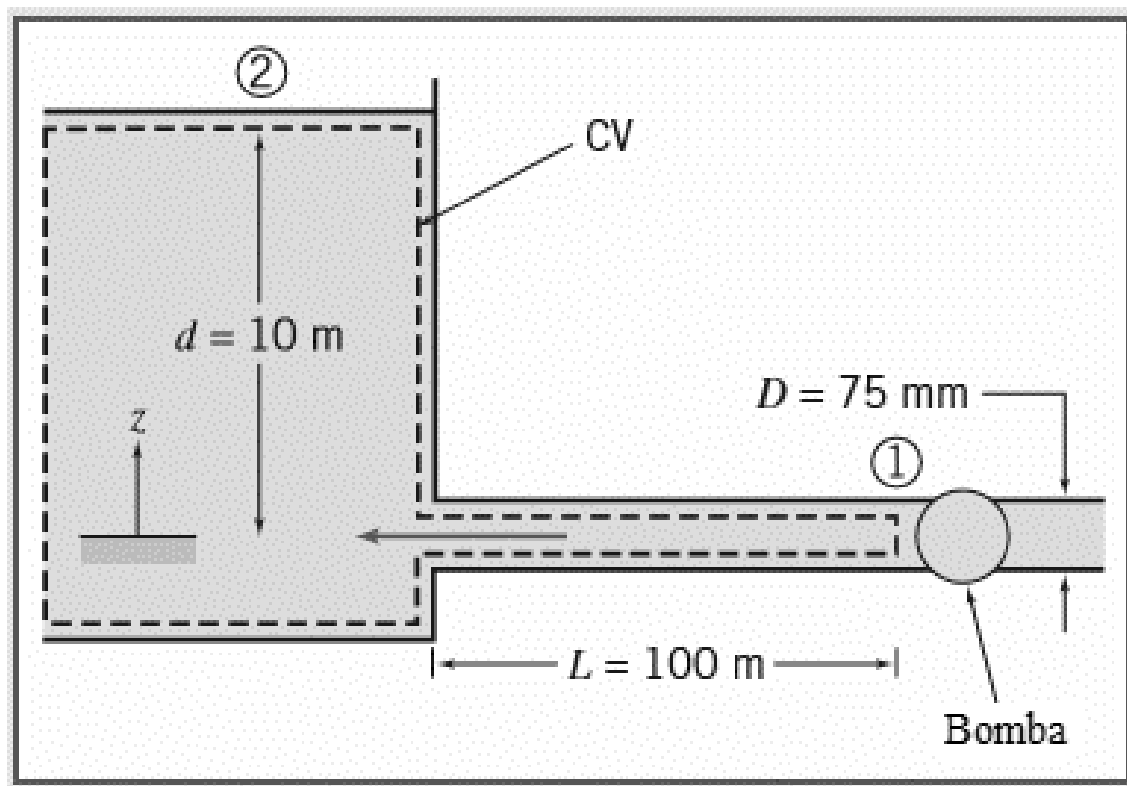


Figura 03. Dimensões do reservatório e da tubulação.

Fonte: (PRITCHARD, 2011, p.372).

Sendo $\Delta p = p_1 - p_2 = p_{bomba}$, com as substituições adequadas das perdas de carga, a equação 1 torna-se:

$$\frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\bar{V}^2}{2} - gd = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} + \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (9)$$

A equação 9 pode ser reescrita como:

$$p_{bomba} = \Delta p = \left(gd + f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \right) \quad (10)$$

O módulo da velocidade apresentado na equação 5, para um tubo circular com diâmetro D, é calculado como:

$$\bar{V} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (11)$$

O programa para calcular a pressão na bomba para um tubo de concreto é detalhado a seguir. Para um tubo liso, basta trocar o valor de rugosidade $e=9$ mm para $e=0$ mm. A equação de Colebrook foi inserida para calcular o fator de atrito correspondente ao número de Reynolds.

```
clear
d=10;
D= 75*10^-3;
L=100;
Q= 0.01;
p2=0;
V2=0;
K=1;
alpha1=1;
z1=0;
z2=d;
e=9*10^-3;
i=1;
rug= e/D;
RE=[];
F=[];
pbombafinal=[];

T=[0;5;10;15;20;25;30;35;40;45;50;55;60;65;70;75;80;85;90;95;100];
rho=[1000;1000;1000;999;998;997;996;994;992;990;988;986;983;980;978;975;972;969;965;962;958];
mu=[1.76*10^-3;1.51*10^-3;1.30*10^-3;1.14*10^-3;1.01*10^-3;8.93*10^-4;8.00*10^-4;7.21*10^-4;6.53*10^-4;5.95*10^-4;5.46*10^-4;5.02*10^-4;4.64*10^-4;4.31*10^-4;4.01*10^-4;3.75*10^-4;3.52*10^-4;3.31*10^-4;3.12*10^-4;2.95*10^-4;2.79*10^-4];

for i=1:21

V=4*Q/(%pi*D^2);
```



```

Re=(rho(i)*V*D)/mu(i);
deff("y=Y(f)", "y=-1/sqrt(f)-2.0*log10(rug/3.7+ 2.51/(Re*sqrt(f)))");
[f yapro]= fsolve(0.008, Y);
pbomba=rho(i)*(9.8*d+f*(L/D)*(V^2/2));
F=[F;f];
RE=[RE;Re];
pbombafinal=[pbombafinal;pbomba];

end

format(6)
a=string(T);
aa=cat(1, T['°C'], a);
b=string(rho);
bb=cat(1, 'rho[kg/m^3]', b);
c=string(mu);
cc=cat(1, 'mu(N.s/m2)', c);
d=string(RE*10^-5);
dd=cat(1, 'Re*10^5', d);
e=string(F);
ee=cat(1, 'f', e);
f=string(pbombafinal*10^-3);
ff=cat(1, 'pbomba[kPa]', f);

Tabela=cat(2, aa, bb, cc, dd, ee, ff)

```

O código construído no Scilab apresenta como saída uma tabela cujas colunas informam a temperatura, massa específica, viscosidade dinâmica, número de Reynolds, fator de atrito e a pressão da bomba.

III. RESULTADOS

Os resultados do cálculo da pressão p_{bomba} para o tubo liso ($e= 0$ mm) é apresentando na tabela 02. A tabela 03 considera um tubo de concreto com $e= 9$ mm, de acordo com valor máximo tomado da tabela 01.

Os valores de Re foram apresentados para averiguar se o regime de escoamento encontra-se no turbulento, uma vez que foi utilizada a aproximação de $\alpha_1 \sim 0$.

Tabela 02: Pressão na bomba para cada valor de temperatura em tubo liso e=0 mm.

T (°C)	Re*10 ⁵	f	p _{bomba} (kPa)
0	0,965	0,018	153
5	1,124	0,018	153
10	1,306	0,017	153
15	1,488	0,017	153
20	1,677	0,016	153
25	1,895	0,016	153
30	2,114	0,015	153
35	2,34	0,015	152
40	2,579	0,015	152
45	2,825	0,015	152
50	3,072	0,014	151
55	3,334	0,014	151
60	3,597	0,014	151
65	3,86	0,014	150
70	4,14	0,014	150
75	4,414	0,013	150
80	4,688	0,013	149
85	4,97	0,013	149
90	5,251	0,013	148
95	5,536	0,013	148
100	5,829	0,013	147

Após variar a tubulação de um material liso para uma tubulação de concreto, as pressões são mostradas na tabela 03.

Tabela 03: Pressão na bomba para cada valor de temperatura em tubo de concreto e= 9 mm.

T (°C)	Re*10 ⁵	f	p _{bomba} (kPa)
0	0,965	0,113	483,7
5	1,124	0,113	483,6

10	1,306	0,113	483,5
15	1,488	0,113	483
20	1,677	0,113	482,5
25	1,895	0,113	482
30	2,114	0,113	481,5
35	2,34	0,113	480,5
40	2,579	0,113	479,5
45	2,825	0,113	478,5
50	3,072	0,113	477,5
55	3,334	0,113	476,5
60	3,597	0,113	475,1
65	3,86	0,113	473,6
70	4,14	0,113	472,6
75	4,414	0,113	471,2
80	4,688	0,113	469,7
85	4,97	0,113	468,3
90	5,251	0,113	466,3
95	5,536	0,113	464,9
100	5,829	0,113	462,9

IV. CONCLUSÃO

De acordo com as tabelas 2 e 3, independente se o tubo é liso ou de concreto, foi observado que com o aumento da temperatura houve a diminuição da p_{bomba} . No caso de um tubo liso, $e = 0$ mm, a pressão que a bomba deve produzir para gerar uma vazão $Q = 0,01$ m³/s passou de 153 kPa a 0°C para 147 kPa a 100 °C. Para o tubo de concreto $e = 9$ mm, a pressão passou de 483,7 kPa a 0°C para 462,9 kPa a 100°C.

A coluna do número de Reynolds torna-se necessária para verificar se o escoamento está no regime turbulento ($Re > 2.300$) uma vez, que se usou a aproximação $\alpha \sim 1$. O menor Re encontrado foi quando a temperatura era de 0° C ($Re = 96.500$) mostrando que a aproximação de α para 1 pode ser realizada. O Re não depende do tipo de tubulação por isso que para qualquer um dos tubos os valores encontrados apresentaram-se o mesmo. O fator de atrito calculado pela equação de Colebrook depende da rugosidade, sendo dessa forma, diferente para cada tipo de tubo.

Intuitivamente já era esperado que a pressão que a bomba deveria produzir seria maior para o tubo de concreto uma vez, que a rugosidade é uma barreira para o escoamento.

REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M., “Mecânica dos fluídos fundamentos e aplicações”, Mc Graw Hill, 2012.

FOX, R. W., PRITCHARD, Philio J.; MCDONALD, A. T., “Mecânica dos fluidos”. 7ª ed., LTC, 2010.

PRITCHARD, P. J. “Fox and McDonald’s Introduction to fluid mechanics”, 8ª ed., John Wiley & Sons, inc, 2011. ISBN-13 9780470547557.