UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA QUÍMICA I

Prof. Gerônimo Virgínio Tagliaferro

FENÔMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL

Programa Resumido

1) Determinação do número de Reynolds
2) Medidas de vazão em líquidos
3) Determinação de potência de bomba
4) Esvaziamento de tanques cilíndricos
5) Determinação do fator de atrito em tubulações
6) Ensaios reológicos.

FENÔMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL

Experimentos:

1) Determinação do número de Reynolds, utilizando o aparato experimental;
2) Medidas de Vazão em líquidos: determinação da vazão com utilização de placa de orifício, Venturi e rotâmetro;
3) Determinação de potência de bomba centrífuga a partir da vazão volumétrica e das perdas de carga distribuída e localizada nas linhas de sucção e recalque de um sistema hidráulico;
4) Esvaziamento de tanques cilíndricos: aplicação das equações de conservação de massa e energia na determinação do tempo de esvaziamento de tanques e comparação com dados experimentais;
5) Determinação do fator de atrito em tubulações: avaliação do fator de atrito em função do número de Reynolds em tubulações
6) Ensaios reológicos: com a utilização de vários tipos de viscosímetros para determinar as viscosidades dinâmica e cinemática.

FENÔMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL

AVALIAÇÃO:

P1 = Prova Teórica

MR = Média dos Relatórios Experimentais (6 experimentos)

$$\text{MÉDIA} = P1*0,4 + MR*0,6$$

CRITÉRIO: Aprovação: MF > 5,0 Reprovação: MF < 3,0 Recuperação: 3,0 < MF < 5,0

RECUPERAÇÃO: NF = (MF + PR)/2 onde: PR = prova de recuperação.

Aprovação: NF > 5,0 Reprovação: NF < 5,0

Bibliografia

1) FOX, R.W.; PRITCHARD, P.J.; McDONALD, A.T. Introdução à Mecânica dos Fluidos. Ed. Gen LTC, 7 ed, Rio de Janeiro/RJ, 2010.
2) ÇENGEL, Y.A.; COMBALA, J.M. Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações. McGraw-Hill Education (AMGH Editora Ltda), Porto Alegre/ RS, 2007.
3) COUPER, JR.; PENNEY, W.R.; FAIR, J.R.; WALAS, S.M. Chemical Process Equipment: Selection and Design. Amsterdam: Elsevier, 2005.
4) TROPEA, C.; YARIN, A.L.; FOSS, J.F. Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Ed Springer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007

Seis grupos formados

Grupos e datas dos experimentos												
Grupos/Datas	**16/08/18**	**23/08/18**	**30/08/18**	**13/09/18**	**20/09/18**	**27/09/18**	**04/10/18**	**11/10/18**	**18/10/18**	**25/10/18**	**01/11/18**	**08/11/18**
Grupo 1	Exp 1	-	Exp 4	-	Exp 5	-	Exp 6	-	Exp 2	-	Exp 3	-
Grupo 2	Exp 2	-	Exp 5	-	Exp 6	-	Exp 1	-	Exp 3	-	Exp 4	-
Grupo 3	Exp 3	-	Exp 6	-	Exp 1	-	Exp 5	-	Exp 4	-	Exp2	-
Grupo 4	-	Exp 1	-	Exp 4	-	Exp 5	-	Exp 6	-	Exp 2	-	Exp 3
Grupo 5	-	Exp 2	-	Exp 5	-	Exp 6	-	Exp 1	-	Exp 3	-	Exp 4
Grupo 6	-	Exp 3	-	Exp 6	-	Exp 1	-	Exp 5	-	Exp 4	-	Exp2

Prova P1 – 29/11/2018 – Na sala 106.

Componentes dos Grupos e Presença nos Experimentos

	Nome/datas/ presença	16/08/18	30/08/18	20/09/18	04/10/18	18/10/18	01/11/18
Grupo 1	Vinicius Felizardo de Oliveira						
	Gabriela Furlan Chudzinski						
	Priscila Pereira						
	Aline Ávila						
	Lucas Romero						
	Joana Gonçalves dos Santos						
	Adriele Braga da Mota						
Grupo 2	Diogo Sevilha Couto						
	Bruno Henrique Gomes Oliveira						
	Guilherme Fernandes de Mattos						
	Pedro Henrique de Oliveira Torres						
	Gabriel Ferreira Martins Silva						
	Leonardo Jordão						
	Valéria Oliveira						
Grupo 3	Jose Luiz da Silva Sabio						
	Rafael de Paiva e Silva						
	Victor Hugo Ferreira Alves						
	Marcos Lopes						
	Paulo Miki						
	Fernando Spinola Espirito Santo Lourenço						

	Nome/datas/ presença	23/08/18	13/09/18	27/09/18	11/10/18	25/10/18	08/11/18
Grupo 4	Fernanda Fuzinaga Higa						
	Vanessa de Souza Fonseca						
	Letícia Mira Buzone						
	Marjorie Cristina Albiero Nogueira						
	Fellipe Potzik Dutra						
	Kaio Gabriel Pereira						
Grupo 5	Dauane Rezende Sa						
	Rafaela Medeiros Dionizio						
	Marcela de Oliveira Leite						
	Karina de Paula Santos Vieira						
	Lucas Figueiredo						
	Juliana Giancoli						
	Julia Resende						
	Isabela Gouvea Silva						
Grupo 6	Ana Zanetti Fernandes						
	Camila Mota Mancilha						
	Cynthia Higajo Mishima						
	Dheyne Elen Souza Telles						
	Isabela Gonçalves Pavan						
	Luisa Ricieri Borchio						

ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO CIENTÍFICO

- Capa: Título do Experimento e identificação do grupo e dos integrantes (nome e número de matrícula)
- Sumário (resumo)
- Introdução
- Materiais e Métodos
- Resultados e Discussão
- Conclusão
- Referências Bibliográficas

EXPERIMENTO 1

ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

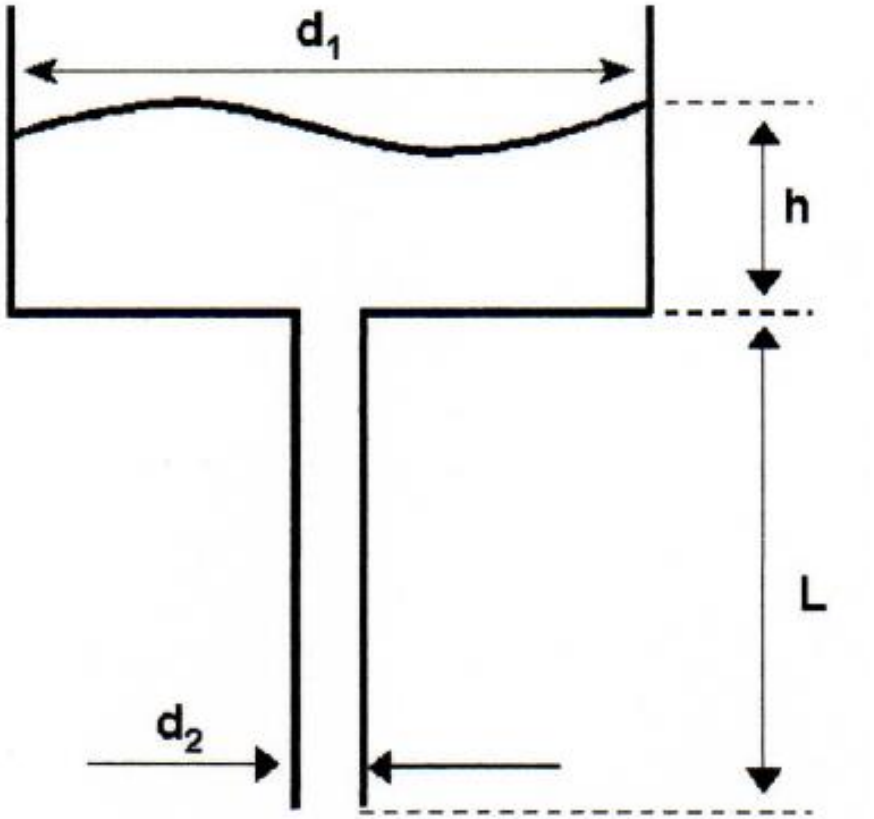
INTRODUÇÃO

A experiência consiste em analisar através de dutos a vazão de água de um recipiente cilíndrico e também as aplicações das equações de conservação de energia e conservação da massa para escoamento em recipiente de formato cilíndrico com duto de saída também cilíndrico.

Tem por objetivo também mostrar a importância da formulação teórica para a comparação com as medidas experimentais.

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

ARRANJO FÍSICO



Onde:

d_1 = diâmetro do recipiente
d_2 = diâmetro do duto de saída
L = altura do duto de saída
h = posição da superfície livre do fluído

Diâmetro do Reservatório Φ = 141 mm
Duto A | Duto B | Duto C | Duto D | Duto E | Duto F
D (mm) | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 3,1 | 4,8 | 7,9
L (mm) | 75 | 150 | 300 | 600 | 600 | 600

Diâmetro do Re
Duto
D (mm) 4,8
L (mm) 75

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

EQUAÇÃO QUE REGE O FENÔMENO

Equação desenvolvida pelo prof. René Khattar:

$$t = 2 \cdot \left[\frac{1}{2g} \left[\left(1 + k + \frac{f \cdot L}{d_2} \right) \cdot \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^4 - 1 \right] \right]^{0,5} \cdot \left[(h_0 + L)^{0,5} - (h + L)^{0,5} \right]$$

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

OUTRAS RELAÇÕES RELEVANTES

$$f = 0{,}316 \cdot \mathrm{Re}^{-0{,}25}$$

$$k = 0{,}5$$

$$4000 \leq \mathrm{Re} \geq 10^5$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \cdot v_2 \cdot d_2}{\mu} = \frac{v_2 \cdot d_2}{\nu}$$

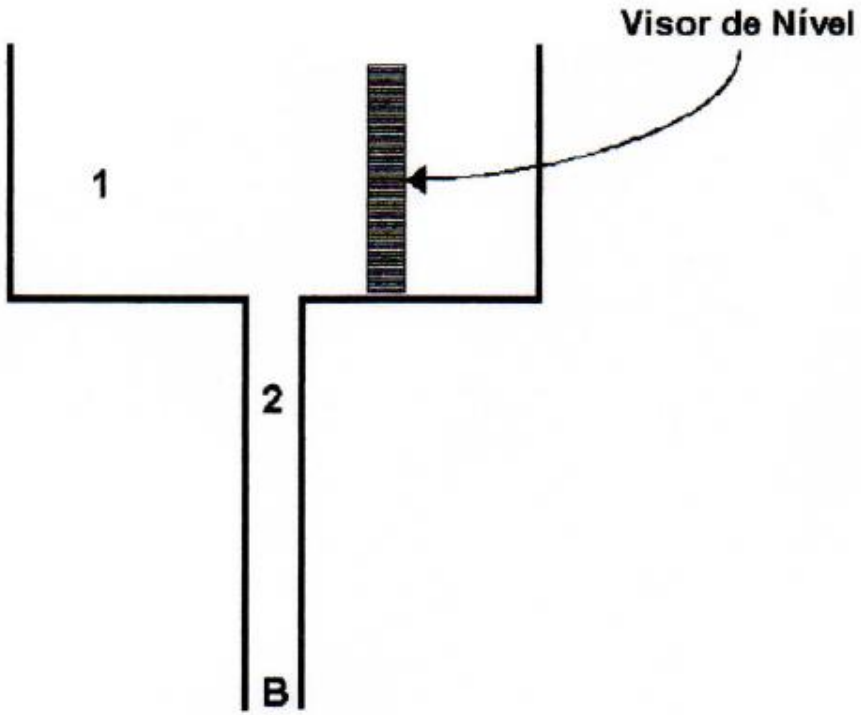
$$h_d = f \cdot \frac{L}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g}$$

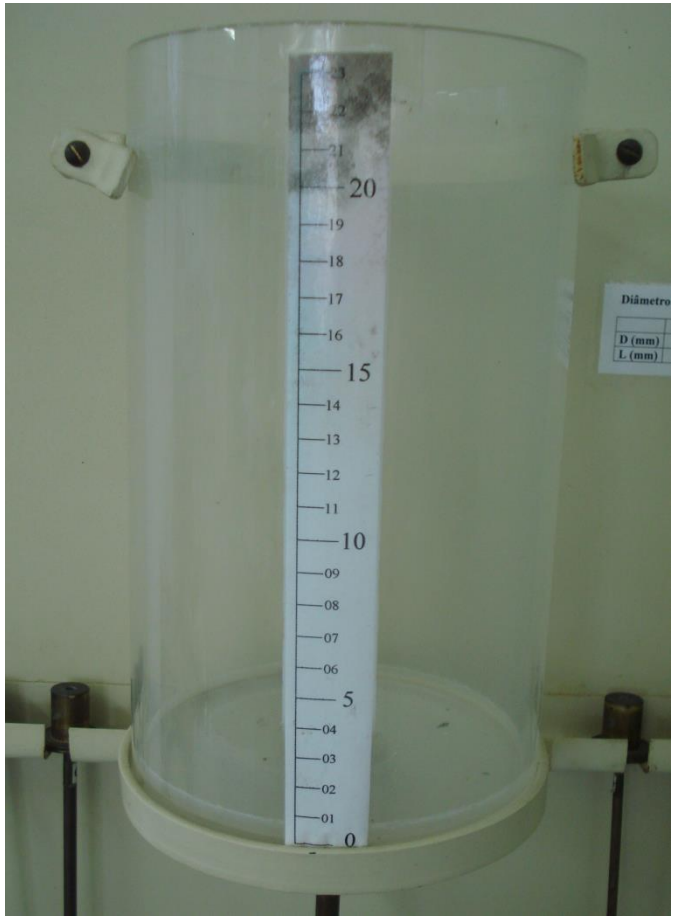
$$h_l = k \cdot \frac{v_2^2}{2g}$$

$$Desvio\ (\%) = \frac{\left| t_{exp} - t_{teo} \right|}{t_{teo}} \cdot 100$$

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL





EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

P1 – Colocar o fluido no recipiente (1) até uma altura (h_0) de referência, estando o duto (2) conectado no tanque e vedado em B

P2 – Abrir em B e anotar através de um cronômetro o tempo para atingir uma determinada altura (h).

P3 – Repete-se o experimento mais duas vezes para se obter uma média dos tempos encontrados.

P4 – Muda-se o duto (2) e retorna-se ao P1, até o término do número de dutos a serem ensaiados.

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os dutos de saída tem as seguintes dimensões:

	A	B	C	D	E	F
L (mm)	75	150	300	600	600	600
d_2 (mm)	4,8	4,8	4,8	3,1	4,8	7,8

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

OBSERVAÇÃO: os dados contidos nas tabelas mostradas a seguir deverão ser entregues ao professor ao término do experimento. O grupo deverá providenciar uma cópia para que possam elaborar o relatório.

Duto A

h(cm)										
t_1 (s)										
t_2 (s)										
t_3 (s)										

Duto B

h(cm)										
t_1 (s)										
t_2 (s)										
t_3 (s)										

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

OBSERVAÇÃO: os dados contidos nas tabelas mostradas a seguir deverão ser entregues ao professor ao término do experimento. O grupo deverá providenciar uma cópia para que possam elaborar o relatório.

Duto C

h(cm)										
t_1 (s)										
t_2 (s)										
t_3 (s)										

Duto D

h(cm)										
t_1 (s)										
t_2 (s)										
t_3 (s)										

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

OBSERVAÇÃO: os dados contidos nas tabelas mostradas a seguir deverão ser entregues ao professor ao término do experimento. O grupo deverá providenciar uma cópia para que possam elaborar o relatório.

Duto E

h(cm)										
t_1 (s)										
t_2 (s)										
t_3 (s)										

Duto F

h(cm)										
t_1 (s)										
t_2 (s)										
t_3 (s)										

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

RESULTADOS

Calcular:

- V_1, V_2, Re, f, h_l, h_d, $t_{teórico}$ e o desvio de cada tempo encontrado;

- Plotar os gráficos t_{exp} versus altura e $t_{teórico}$ versus altura;

- Completar a tabela a seguir com os devidos valores calculados para cada duto (A, B, C, D, E, F).

EXPERIMENTO 1: ESTUDO DO TEMPO DE ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA ALTURA, PARA RECIPIENTE CILÍNDRICOS

h (m)	t (s)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	Re	f	h_l (m)	h_d (m)	$t_{teór}$ (s)	e (%)

EXPERIMENTO 2

DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

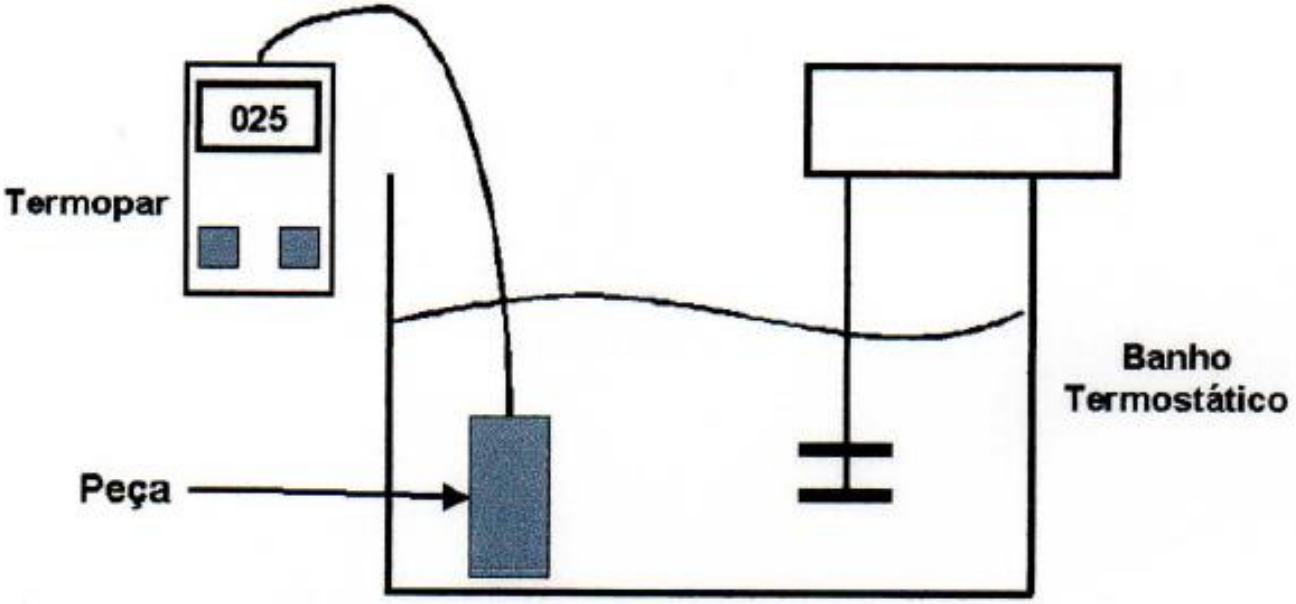
EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

INTRODUÇÃO

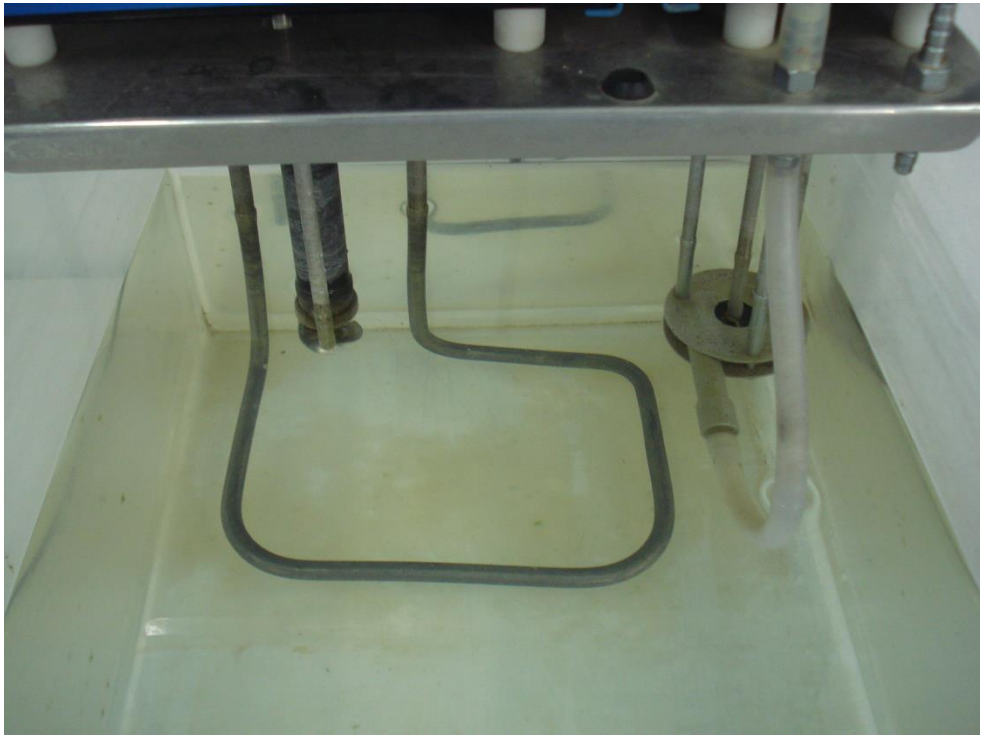
Esta experiência visa principalmente a determinação da temperatura no centro geométrico de diferentes formas sólidas (placa, cilindro e esfera). Será feita também a comparação com a análise transiente de parâmetros concentrados, objetivando verificar a validade da hipótese de parâmetros concentrados.

EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

ARRANJO FÍSICO



ARRANJO FÍSICO



EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

EQUAÇÕES QUE REGEM O FENÔMENO

$$\theta = \theta_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \qquad \theta_t = T_t - T_f \qquad \theta_0 = T_0 - T_f$$

$$\lambda = \frac{h}{\rho_s \cdot L_s \cdot cp_s} \qquad \lambda = m^2 \qquad L_s = \frac{V_s}{A_s} \qquad Bi = \frac{h \cdot L_s}{k_s}$$

Obs: Bi ≤ 0,1 (vale a hipótese de análise transiente por parâmetros concentrados)

EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

Onde:

T_0 = temperatura inicial do sólido
T_t = temperatura do sólido no tempo t
T_f = temperatura do fluído
V_s = volume do sólido
A_s = área do sólido em contato com o fluído
ρ_s = massa específica do sólido
cp_s = calor específico do sólido
h = coeficiente de convecção (valor constante neste caso)
k_s = condutividade térmica do sólido
Bi = número de Biot
L_s = comprimento equivalente

EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

P1 – Colocar a peça no fluido que está mantido a uma temperatura constante, através de um banho termostático.

P2 – Acoplar o termopar no sólido.

P3 – Efetuar a leitura da temperatura (T) e o tempo (t), durante o intervalo de temperatura estabelecido pelo Professor.

P4 – Retirar a peça do fluido e imergi-la em um banho de água gelada para acelerar o arrefecimento.

EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

P5 - Selecionar outra peça e retornar a P1.

P6 - Os experimentos serão feitos em duplicata, e na repetição, o procedimento 4 (P4) não deverá ser realizado

P7 – Quando a repetição estiver concluída, todas as peças estarão dentro do banho termostático. Retirar todas as peças e coloca-las no ar ambiente.

P8 – Efetuar a leitura da temperatura (T) e o tempo (t), durante o intervalo de tempo estabelecido pelo Professor.

EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

OBSERVAÇÃO: os dados contidos nas tabelas mostradas a seguir deverão ser entregues ao professor ao término do experimento. O grupo deverá providenciar uma cópia para que possam elaborar o relatório.

NO TOTAL SERÃO 6 TABELAS

Peça: **Material:**

Dimensões:

Fluído: **Temperatura:**

Medida	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T (ºC)											
t_1 (s)											
t_2 (s)											

EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

Geometrias:

- ✓ Placa
- ✓ Cilindro
- ✓ Esfera

Materiais:

- ➢ Cobre e Alumínio

EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA COM O TEMPO NO CENTRO DE DIFERENTES FORMAS SÓLIDAS IMERSAS EM FLUIDO A TEMPERATURA CONSTANTE

RESULTADOS

- **Plotar os gráficos:**

✓ Temperatura x tempo (experimental)

✓ Temperatura x tempo (teórico)

- **Comparar e discutir os resultados encontrados.**

EXPERIMENTO 3

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

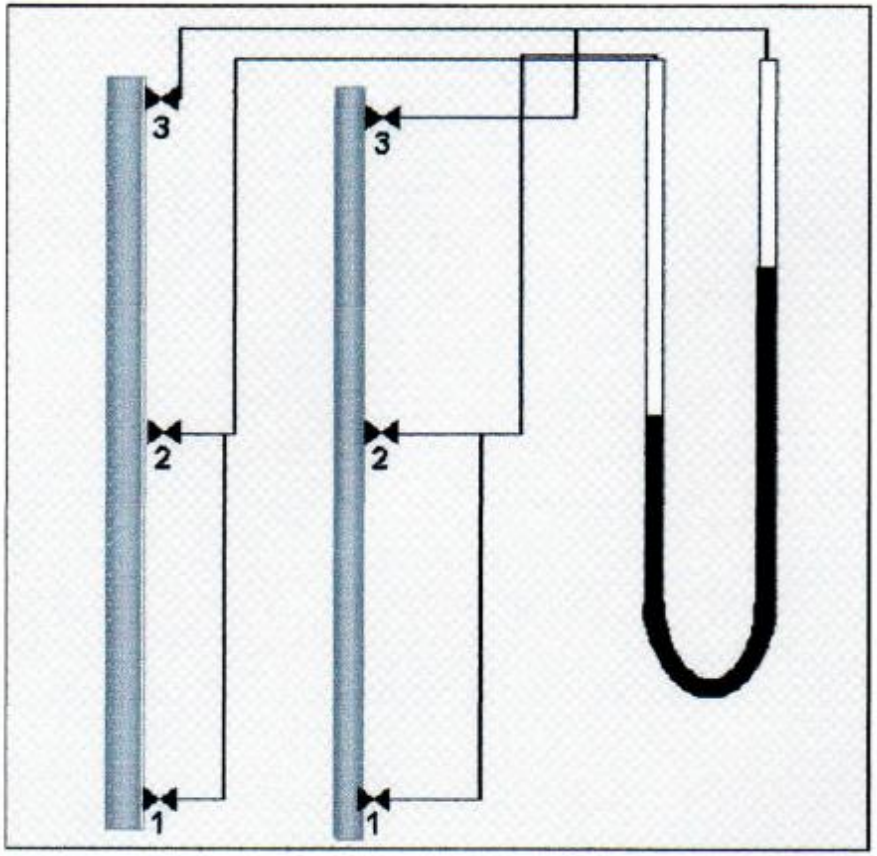
EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

INTRODUÇÃO

Esta experiência visa principalmente a aplicação da equação de conservação de energia e conservação da massa para escoamento forçado em recipiente de formato cilíndrico e a utilização de manômetro diferencial na tomada de medições.

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

ARRANJO FÍSICO



ARRANJO FÍSICO

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

EQUAÇÕES QUE REGEM O FENÔMENO

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+h_d$$

$$h_d = f\cdot\frac{L}{d_2}\cdot\frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_l = k\cdot\frac{v_2^2}{2g} \qquad k = 0{,}5$$

$$\mathrm{Re}=\frac{\rho\cdot v_2\cdot d_2}{\mu}=\frac{v_2\cdot d_2}{\nu}$$

$$f = 0{,}316\cdot \mathrm{Re}^{-0{,}25} \qquad 4000 \le \mathrm{Re} \ge 10^5$$

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

P1 – Pesar o balde utilizado no experimento vazio e anotar a massa.

P2 – Ligar a Bomba Hidráulica

P3 – Abrir as válvulas referentes aos pontos onde ocorrerá a medição da diferença de pressão.

P4 – Regular a diferença de pressão até atingir o ponto desejado, manipulando as válvulas de entrada do fluído e reciclo.

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

P5 – Na parte de trás do equipamento há duas válvulas globo, que são acionadas por um mesmo mecanismo, e que direciona o fluxo da água. Redirecione o fluxo da água para fora do equipamento e colete com o balde já tarado, cronometrando o tempo de enchimento do balde.
P6 – Pesar a massa de água recolhida no balde.

P7 – Retornar a água do balde para o reservatório na parte de trás do equipamento.

P8 - Retorna-se ao P3, até o término do número de pontos a serem mensurados nos dois tubos.

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

OBSERVAÇÃO: os dados contidos nas tabelas mostradas a seguir deverão ser entregues ao professor ao término do experimento. O grupo deverá providenciar uma cópia para que possam elaborar o relatório.

Tubo A **ponto 1 – 3**

	1	2	3	4	5	6
Pmáx	65	63	61	59	57	55
Pmim	45	47	49	51	53	55
Massa						
Tempo						
vazão						

Tubo A **ponto 2 – 3**

	1	2	3	4	5	6
Pmáx	60	59	58	57	56	55
Pmim	50	51	52	53	54	55
Massa						
Tempo						
vazão						

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

OBSERVAÇÃO: os dados contidos nas tabelas mostradas a seguir deverão ser entregues ao professor ao término do experimento. O grupo deverá providenciar uma cópia para que possam elaborar o relatório.

Tubo B **ponto 1 – 3**

	1	2	3	4	5	6
Pmáx	80	75	70	65	60	55
Pmim	30	35	40	45	50	55
Massa						
Tempo						
vazão						

Tubo B **ponto 2 – 3**

	1	2	3	4	5	6
Pmáx	70	67	64	61	58	55
Pmim	40	43	46	49	52	55
Massa						
Tempo						
vazão						

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Anotar a temperatura da água em cada coleta e ao final do experimento adotar o valor médio da temperatura da água;

✓ Temperatura média para referência na determinação:

$$\mu_{H2O},\ \rho_{H2O}\ ,\ \rho_{Hg}$$

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Cálculo da vazão mássica:

$$\dot{m} = \frac{m_c - m_{balde}}{\Delta t}$$

Onde: $m_c = m_{água} + m_{balde}$ (massa do conjunto)

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Cálculo da velocidade:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

Onde: A = área do tubo

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Cálculo de Δp:

$$\Delta p = \left(\gamma_{Hg} - \gamma_{H2O}\right) \times \Delta h$$

Adotar g = 9,81 m/s^2

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Cálculo de hd:

$$h_d = \frac{\Delta p}{\gamma_{H2O}}$$

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Cálculo de Re:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu}$$

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Cálculo do fator de atrito (f):

$$f = h_d \times \frac{d}{L} \times \frac{2g}{V^2}$$

Onde: d = diâmetro do tubo

L = comprimento do tubo

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ Cálculo da rugosidade relativa (ε/d)

Equação de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0{,}86 \times \ln\left(\frac{\varepsilon / d}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{\mathrm{Re} \times \sqrt{f}}\right)$$

Onde d = diâmetro do tubo

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

PROCEDIMENTO

✓ A partir da rugosidade relativa (ε/d), determinar a rugosidade do tubo (ε)

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

RESULTADOS

Completar a tabela

Δh (mmHg)	Δp (Pa)	h_d (m)	$\dot{m}$ (kg/s)	V (m/s)	f	Re	ε/d	ε (m)

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

RESULTADOS

- ✓ Plotar o gráfico perda de carga x vazão
- ✓ Plotar em escala di-log
  - f x Re
  - f x ε/d

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

RESULTADOS

- ✓ Calcular a rugosidade do tubo
- ✓ Calcular o número de Reynolds

EXPERIMENTO 3: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE CARGA E DA RUGOSIDADE DO TUBO NO ESCOAMENTO FORÇADO DE LÍQUIDOS

RESULTADOS

✓ Comparação entre o valor calculado e o valor tabelado para ε

- pesquisar o valor de $\varepsilon_{tabelado}$ para o tubo de latão

$$\text{Erro (\%)} = \frac{\left|\varepsilon_{tab} - \varepsilon_{\exp}\right|}{\varepsilon_{\exp}} \times 100$$