

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PME-3453 MÁQUINAS DE FLUXO – LABORATÓRIO

EXPERIÊNCIA Nº 4

**VERIFICAÇÃO DAS LEIS DE SEMELHANÇA
PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS RADIAIS**

PROF. SÉRGIO ROBERTO CECCATO

2023

1. Introdução

O objetivo da presente experiência é a verificação da validade das leis de semelhança para bombas centrífugas. Para isso, serão levantadas curvas de altura manométrica da bomba (H_m) em função da vazão (Q), para duas rotações (n_1 e n_2) distintas da bomba. Espera-se produzir como resultado principal uma avaliação comparativa entre o modelo teórico e o experimental, interpretando os eventuais desvios.

2. Resumo Teórico

2.1. Equação da Energia para Escoamentos

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z$$

Energia na seção 1 (entrada da bomba):

$$H_1 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1$$

Energia na seção 2 (saída da bomba):

$$H_2 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

Energia transferida da bomba para o fluido, sendo o índice 1 entrada da bomba, e o índice 2 saída da bomba :

$$H_m = H_2 - H_1 = \left(\frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1)$$

$$v_1 = v_2$$

$$H_m = \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} + \Delta z$$

Para a geometria da instalação conforme o “Esquema da Instalação” abaixo temos:

$$M_r = \frac{p_2}{\gamma}$$

M_r = Leituras no **Manômetro**: instalado no recalque da bomba, para as medições das **pressões relativas**, no caso acima da atmosférica (leituras **positivas**), na tubulação de recalque;

$$M_s = \frac{p_1}{\gamma}$$

M_s = Leituras no **Vacuômetro**: instalado na sucção da bomba, para as medições das **pressões relativas**, no caso abaixo da atmosférica (leituras **negativas**), na tubulação de sucção;

Temos portanto o sinal **menos** antes da leitura de $\frac{p_1}{\gamma}$, logo, **para a geometria da presente instalação**, podemos escrever de uma maneira geral a soma em módulo:

$$H_m = M_r + M_s + \Delta z$$

2.2. Coeficientes da Análise Dimensional

Coeficiente de energia:

$$C_E = \frac{g \cdot H_m}{n^2 \cdot D^2}$$

Coeficiente de vazão:

$$C_Q = \frac{Q}{n \cdot D^3}$$

Condições de semelhança para mudança de rotação:

$$C_{E n_1} = C_{E n_2} \rightarrow H_{m1} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot H_{m2}$$

$$C_{Q n_1} = C_{Q n_2} \rightarrow Q_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \cdot Q_2$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$H_{m2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot H_{m1}$$

$$H_{m2} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 \cdot H_{m1}$$

Se H_{m1} e Q_1 , são pontos conhecidos de uma determinada curva de uma bomba a uma rotação n_1 e H_{m2} e Q_2 são pontos a serem determinados a uma rotação n_2 , podemos portanto escrever de uma forma geral:

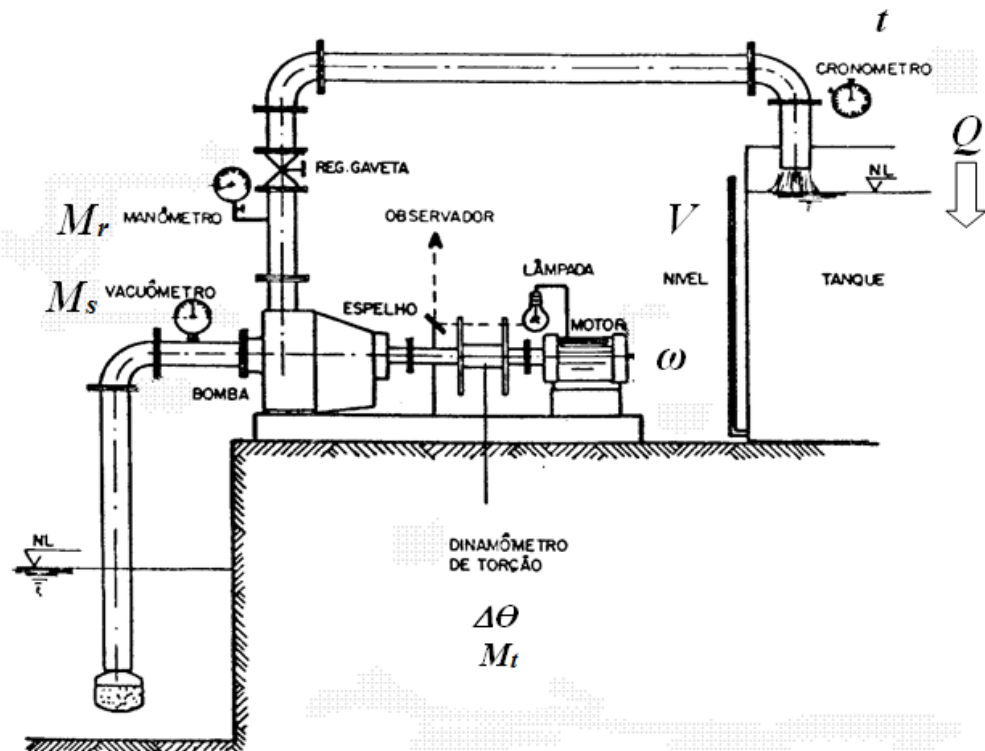
$$H_{m2} = \frac{H_{m1}}{Q_1^2} \cdot Q_2^2$$

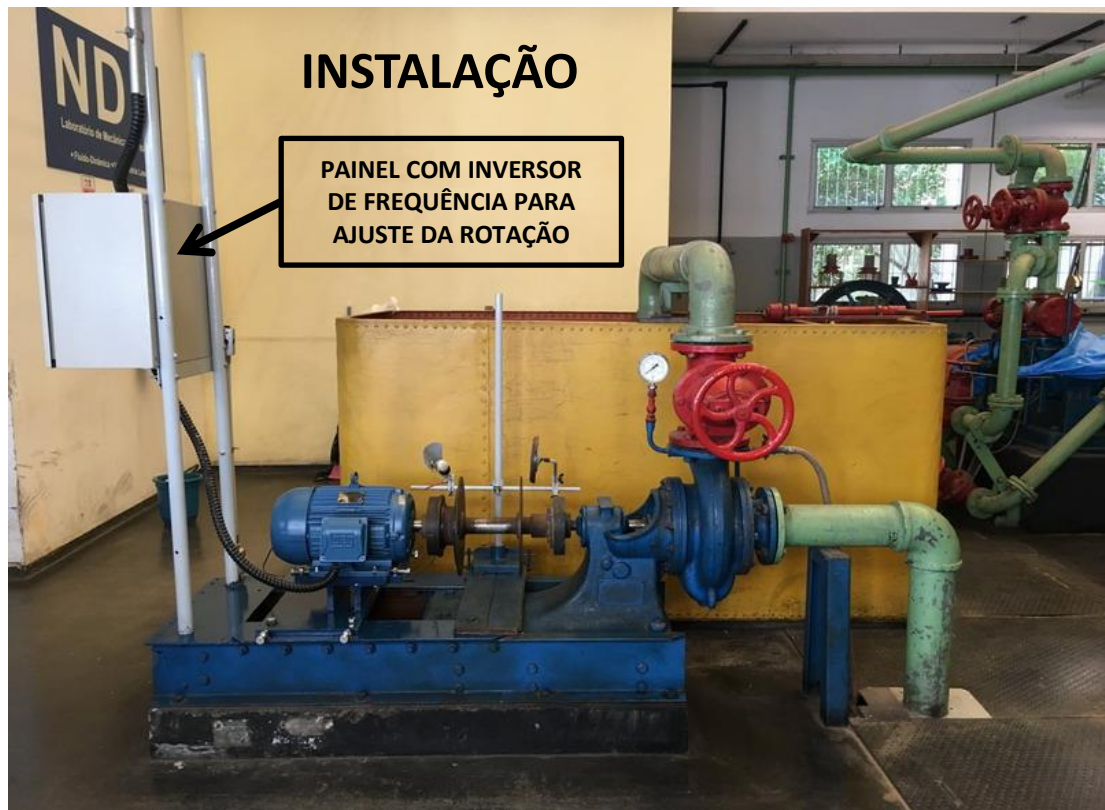
$$H = K \cdot Q^2$$

Esta equação é denominada por:

“PARÁBOLA DE FUNCIONAMENTO SEMELHANTE”

3. Esquema da Instalação





Será utilizado nesta experiência:

Inversor de Frequência: para a variação e a medição da rotação do motor acoplado ao eixo do rotor da bomba;

Vacuômetro: para as medições das **pressões relativas**, no caso abaixo da atmosférica (**negativas**), na tubulação de sucção;

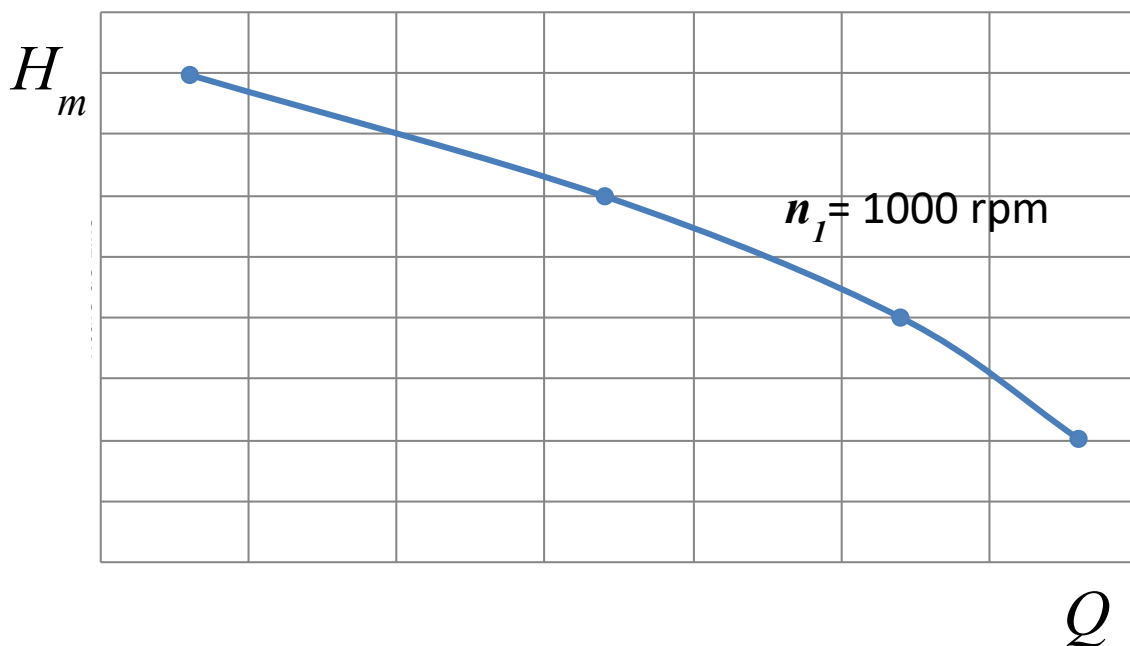
Manômetro: para as medições das **pressões relativas**, no caso acima da atmosférica (**positivas**), na tubulação de recalque;

Registro Gaveta: para a regulagem da vazão;

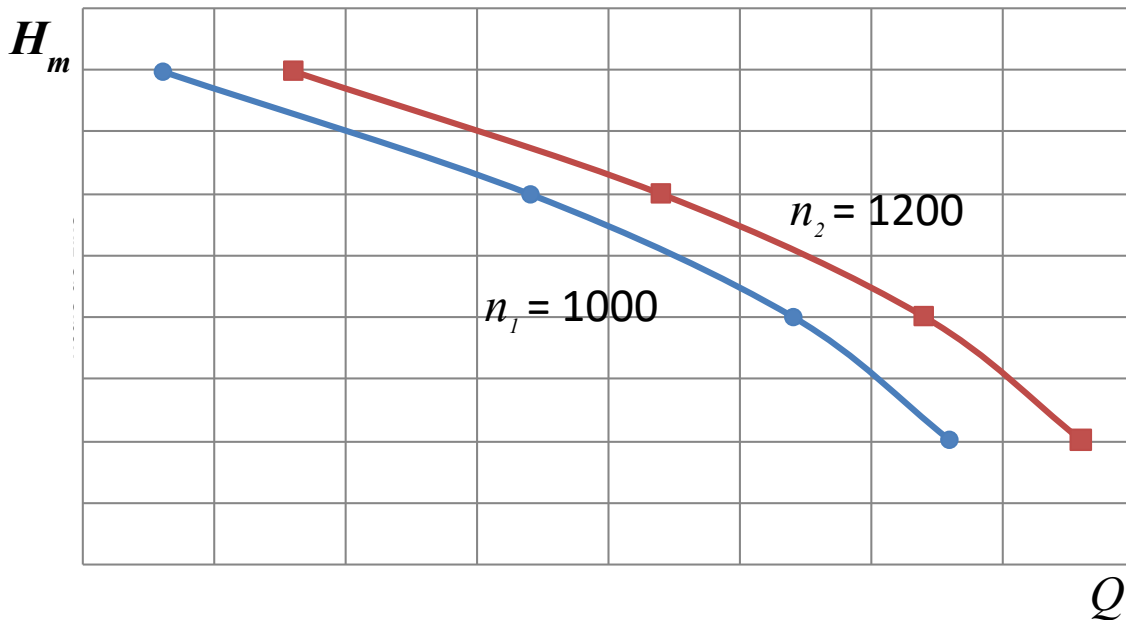
Reservatório de 2000 L: para a medição das vazões.

4. Procedimento no Ensaio

- a. Regular a rotação do motor para $n_I = 1000$ rpm
- b. Regular o registro gaveta para uma determinada vazão (Q)
- c. Manter a rotação do motor ($n_I = 1000$ rpm) constante
- d. Medir M_r (valores positivos), M_s (valores negativos) e Δz
- e. Medir a vazão (Q) no reservatório de 2000 L
- f. Repetir os procedimentos de **b.** até **f.** para pelo menos cinco vazões
- g. Levantar a curva $H_{m\ 1000} = f(Q)$ para a rotação $n_I = 1.000$ rpm



- h. Alterar a rotação para $n_2 = 1200$ rpm
- i. Repetir os procedimentos de **b.** até **f.** para pelo menos cinco vazões
- j. Levantar no mesmo gráfico a curva de $H_{m1200} = f(Q)$ para a rotação $n_2 = 1.200$ rpm



(Indicar no gráfico diferentes marcadores para os pontos das curvas distintas.)

5. Dados Experimentais e Calculados (Tabela Sugerida)

n rpm	PONTOS	Mr		Ms		Δz m	Hm m	Vol. l	Tempo s	Q l/s
		(*)	m	(*)	m					
$n_1=1000$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
$n_2=1200$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									

(*) Verificar as unidades de medida de pressão dos manômetros

6. Verificação das Condições de Semelhança

Tendo levantado todos os pontos os quais permitem traçar as duas curvas experimentais para as rotações de $n_1 = 1.000$ rpm e $n_2 = 1.200$ rpm resta validar o modelo de semelhança.

Para isso calcular teoricamente H_{m1000} e Q_{1000} através das equações de semelhança utilizando preferivelmente pelo menos três pontos da curva $H_{m1200} = f(Q_{1200})$ e não os obtidos experimentalmente para que não sejam ampliados os erros experimentais.

Levantar a curva teórica $H_{m1000} = f(Q_{1000})$ e comparar com a curva já obtida experimentalmente. O comportamento esperado é a proximidade das curvas com consequente validação do modelo.

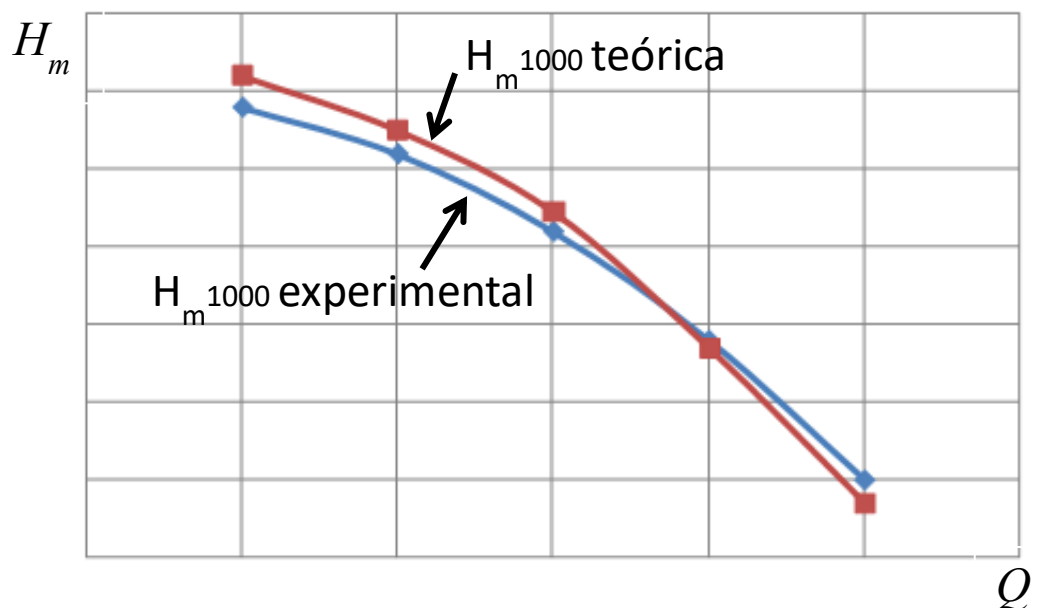
	PONTOS ESCOLHIDOS DA CURVA		PONTOS CALCULADOS TEÓRICAMENTE	
PONTOS	H_{m1200} (m)	Q_{1200} (l/s)	H_{m1000} (m)	Q_{1000} (l/s)
1				
2				
3				
4				

$$C_{E n_1} = C_{E n_2}$$

$$H_{m1} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot H_{m2}$$

$$C_{Q n_1} = C_{Q n_2}$$

$$Q_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \cdot Q_2$$

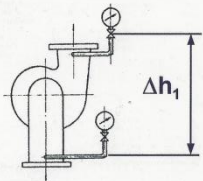
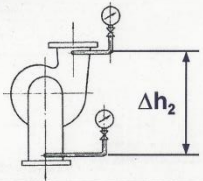
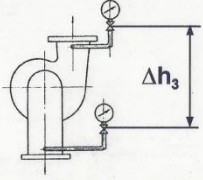


7. Observações

- Procurar dispor os gráficos ao longo de toda a área de plotagem;
- Plotar os gráficos iniciando as escalas no (0,0) do sistema cartesiano
- Buscar escalas adequadas nos eixos;
- Colocar Título do Gráfico;
- Colocar Títulos dos eixos com as escalas utilizadas;
- Colocar Legenda da curva;
- Colocar Linhas de grade em ambas as direções.

8. Anexos

$$\Delta z = \Delta h$$

MANÔMETRO DE SUÇÃO (ENTRADA DA BOMBA)	MANÔMETRO DE RECALQUE (SAIDA DA BOMBA)	MEDIDA DO Δh A SER CONSIDERADA	ESQUEMA
ABAIXO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	ACIMA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Δh_1	
ABAIXO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	ABAIXO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Δh_2	
ACIMA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	ACIMA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Δh_3	

Anexo – 01: Considerações sobre as posições dos manômetros e as pressões na entrada e na saída de uma bomba

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PME-3453 – MÁQUINAS DE FLUXO – LABORATÓRIO

EXPERIÊNCIA N° 4

VERIFICAÇÃO DAS LEIS DE SEMELHANÇA
PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS RADIAIS

PROF. SÉRGIO ROBERTO CECCATO

ALUNO : _____ TURMA: _____

N° USP : _____

DATA : _____

VISTO : _____

DADOS EXPERIMENTAIS

n rpm	PONTOS	M_r		M_s		Δz	H_m	Vol.	Tempo	Q
		(*)	m	(*)	m	m	m	L	s	L/s
$n_1=1000$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
$n_2=1200$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									

(*) Verificar as unidades de medida de pressão dos manômetros

DADOS COMPLEMENTARES:

05 / 2020

Anexo – 02: Folha de coleta de dados experimentais