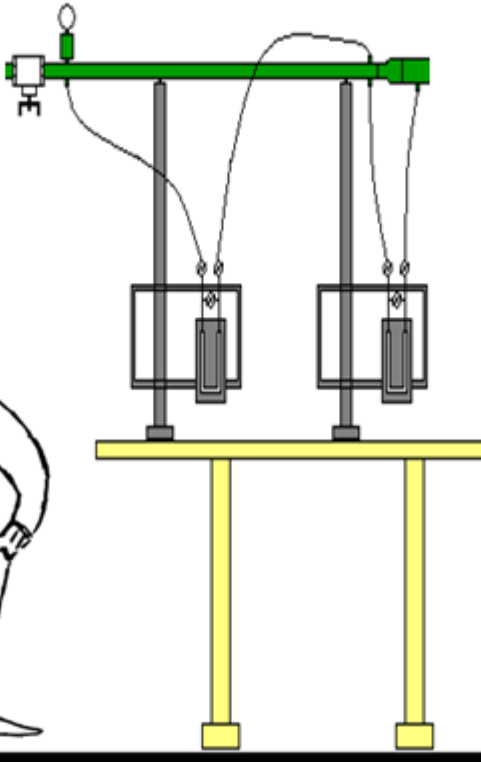


# Experiência de bomba

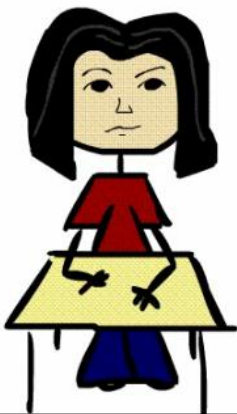
Segundo semestre de 2012

Antes de falar da experiência quero falar um pouco das representações gráficas que vocês têm entregues e muitas vezes de forma inadequada!

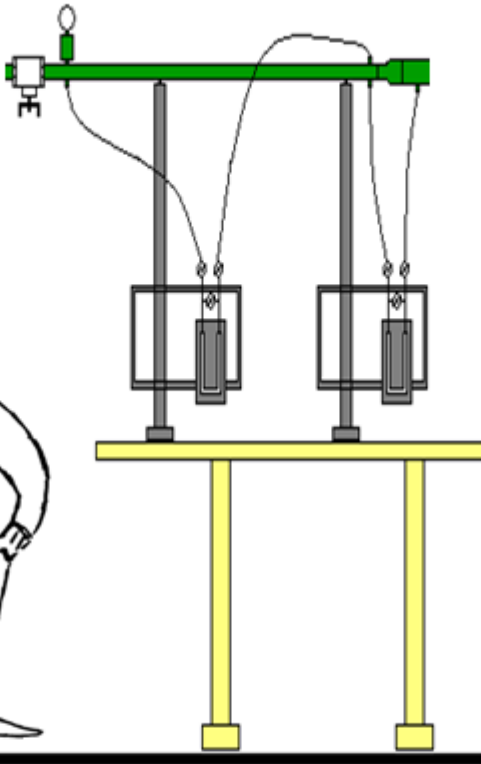


Em primeiro lugar sempre devemos conhecer o tipo de representação gráfica que buscamos!

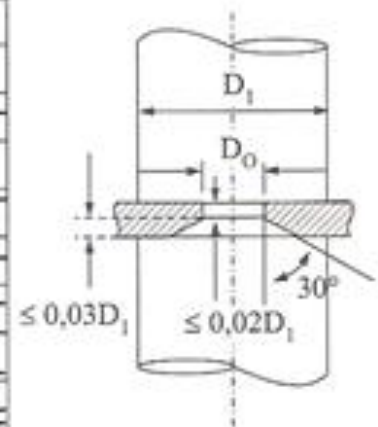
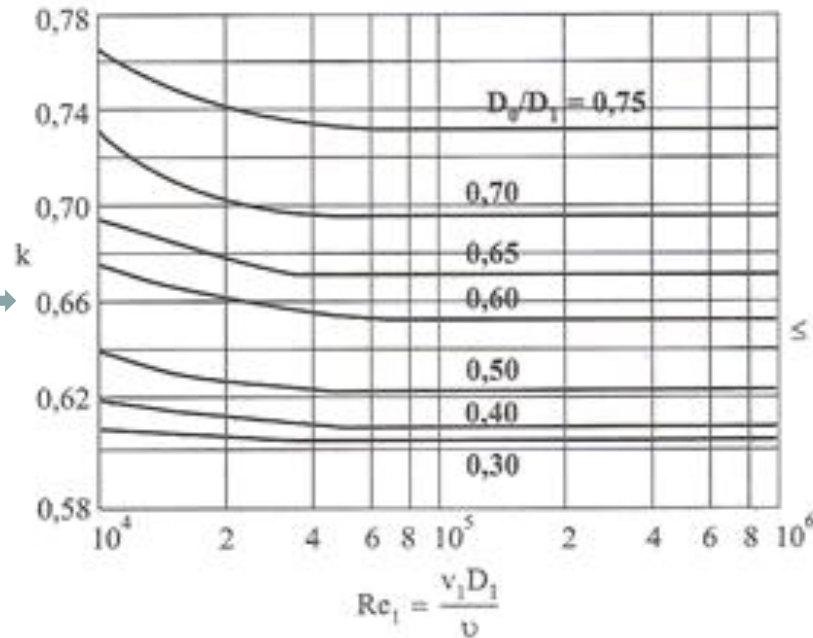
Por que?



Sabendo o tipo da curva podemos comparar a curva experimental com aquela que se conhece nas bibliografias!



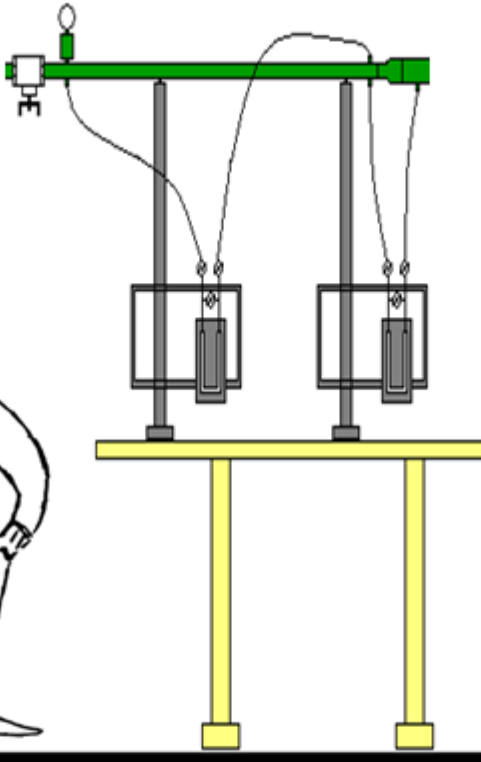
Curva característica da placa de orifício:



Exemplo



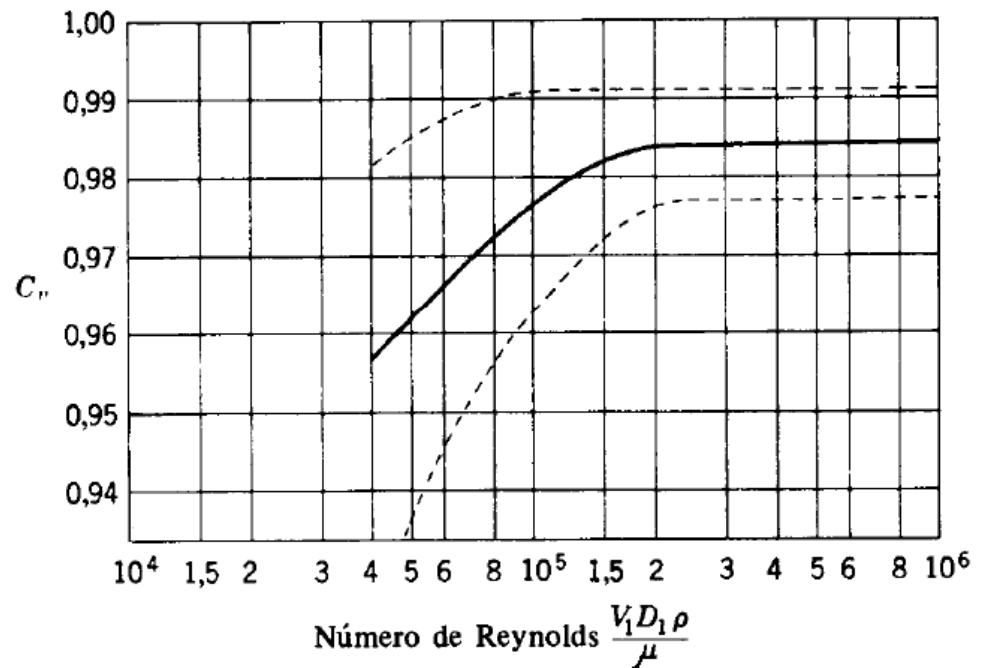
# Outro exemplo:



$$C_v = C_d \text{ já que } C_c = 1$$

E o  $Re_1$  é calculado com a vazão real, salvo informação ao contrário!

Curva característica venturi:



Exemplo de tabelas de alunos:

água a 26°C  
 $\rho$  (kg/m³)  $\nu$  (m²/s)  
 996,8 8,73E-07

mercúrio  
 $\rho$  (kg/m³)  
 13531

Tabela de dados

Ensaio	h(mm)	$\Delta h$ (mm)	t(s)	$A_{\text{tanque}}$ (m²)
1	0	0	infinito	0,55
2	12	100	55,5	$D_1$ (mm)
3	24	100	38,12	40,89
4	36	100	30,66	$D_o$ (mm)
5	48	100	25,96	29,76
6	60	100	22,85	

Fica claro que a curva anterior foi obtida através de uma planilha eletrônica e é sempre MELHOR trabalhar com ela!

Fórmulas

$$Q_{\text{real}} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t}; A_o = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

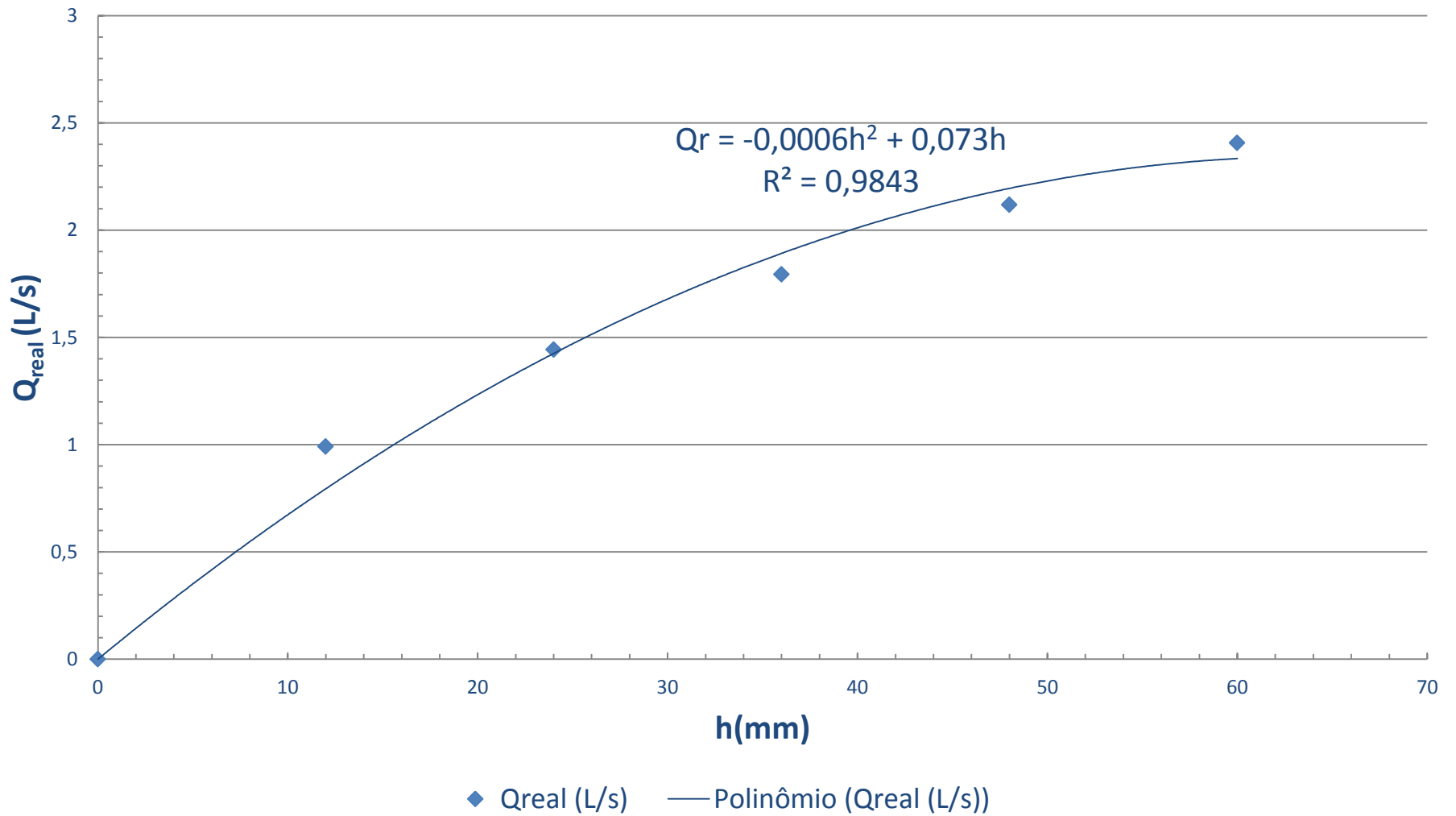
$$k = \frac{Q_{\text{real}}}{A_o \times \sqrt{2gh \left( \frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)}}; Re_1 = \frac{v_1 \times D_1}{\nu} = \frac{4 \times Q_{\text{real}}}{\pi \times D_1 \times \nu}$$



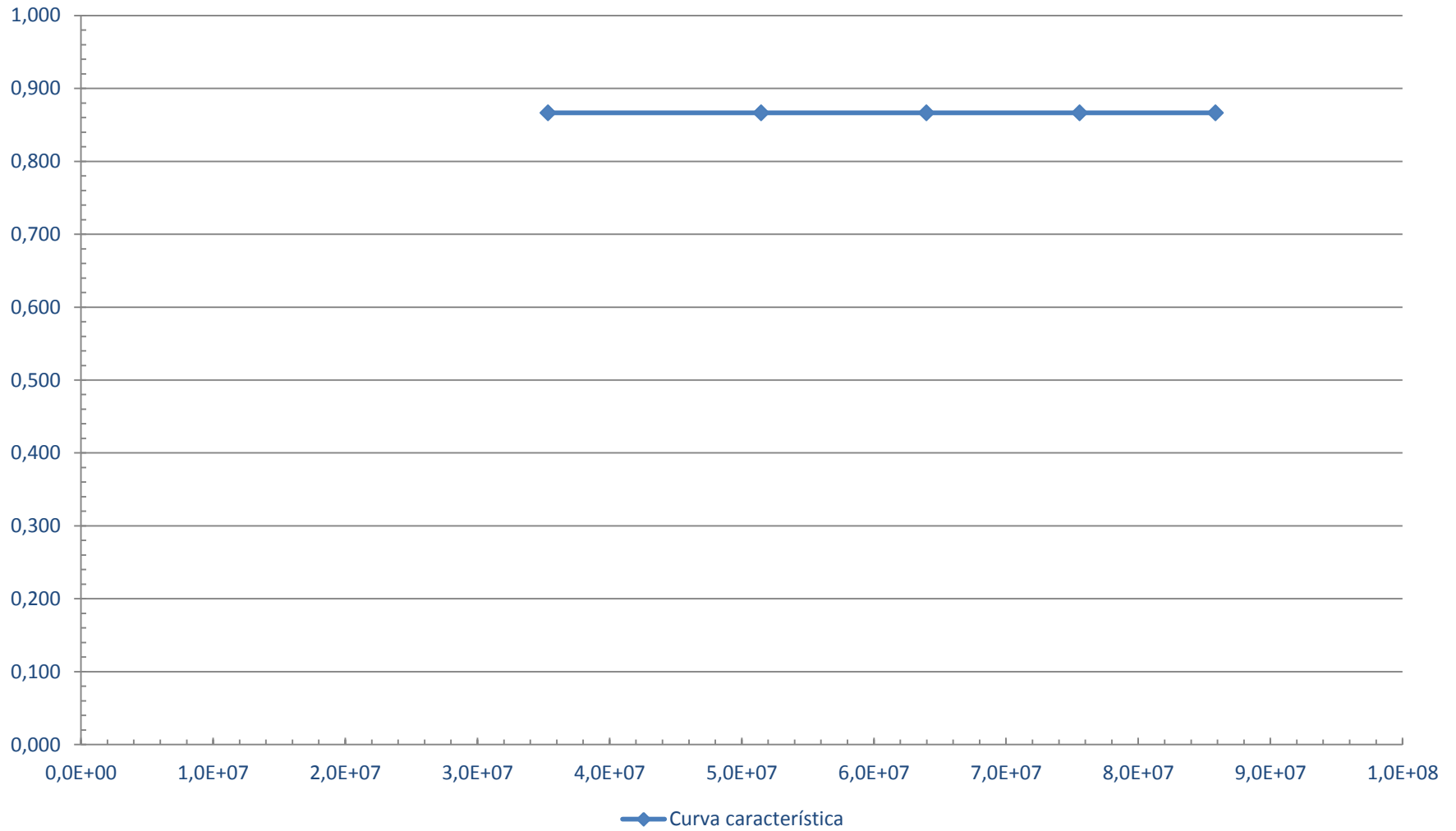
### Tabela de resultados

Ensaio	h(mm)	Q <sub>real</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>real</sub> (L/s)	K		
1	0	0	0		K <sub>médio</sub>	Re <sub>1</sub>
2	12	0,000991	0,991	0,828	0,866	3,5E+07
3	24	0,00144	1,4	0,853	0,866	5,1E+07
4	36	0,00179	1,8	0,866	0,866	6,4E+07
5	48	0,00212	2,1	0,886	0,866	7,6E+07
6	60	0,00241	2,4	0,900	0,866	8,6E+07
Ao (m <sup>2</sup> )		g(m/s <sup>2</sup> )				
0,000696		9,8				

## Curva de calibração

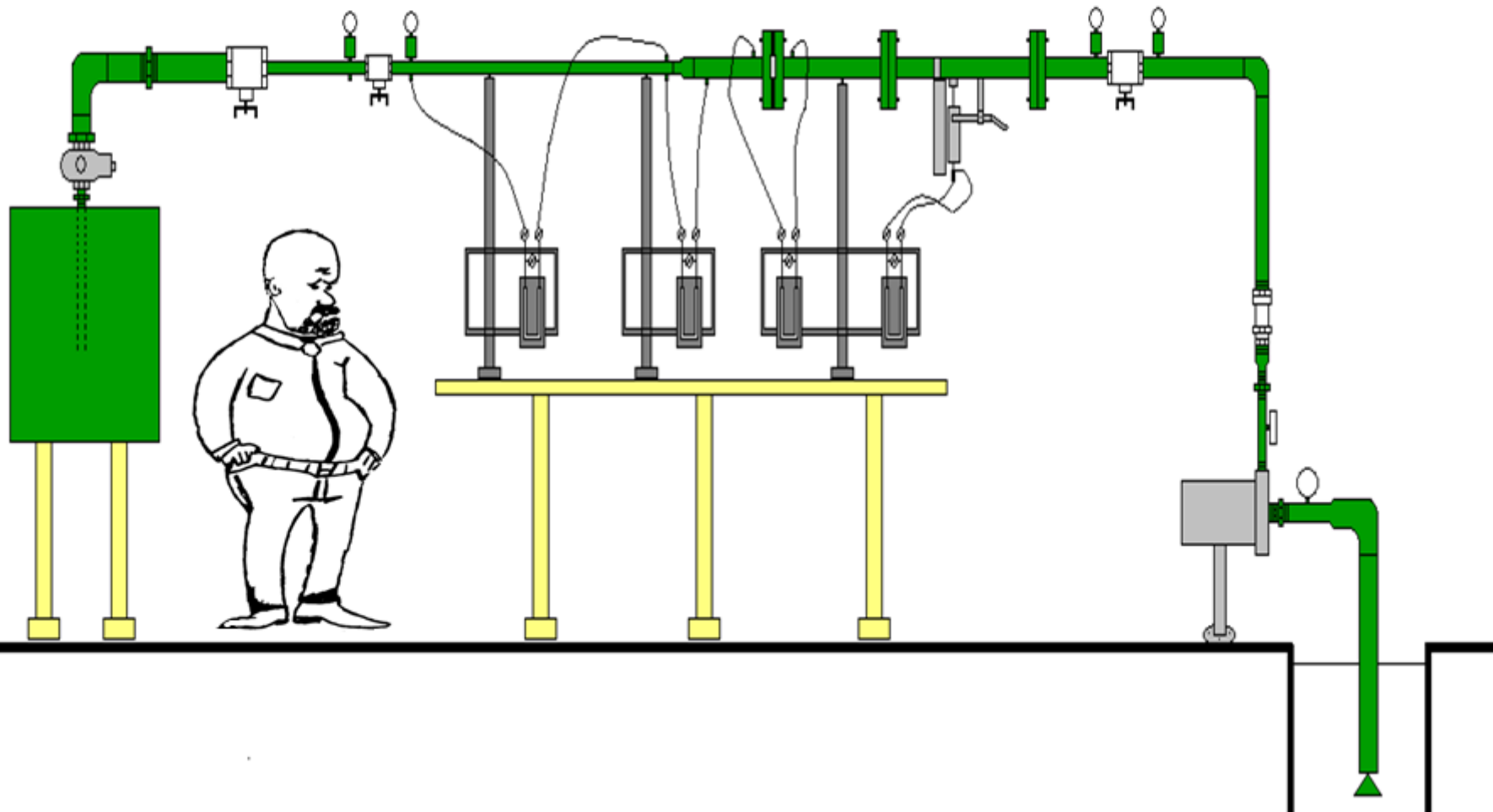


## Curva característica

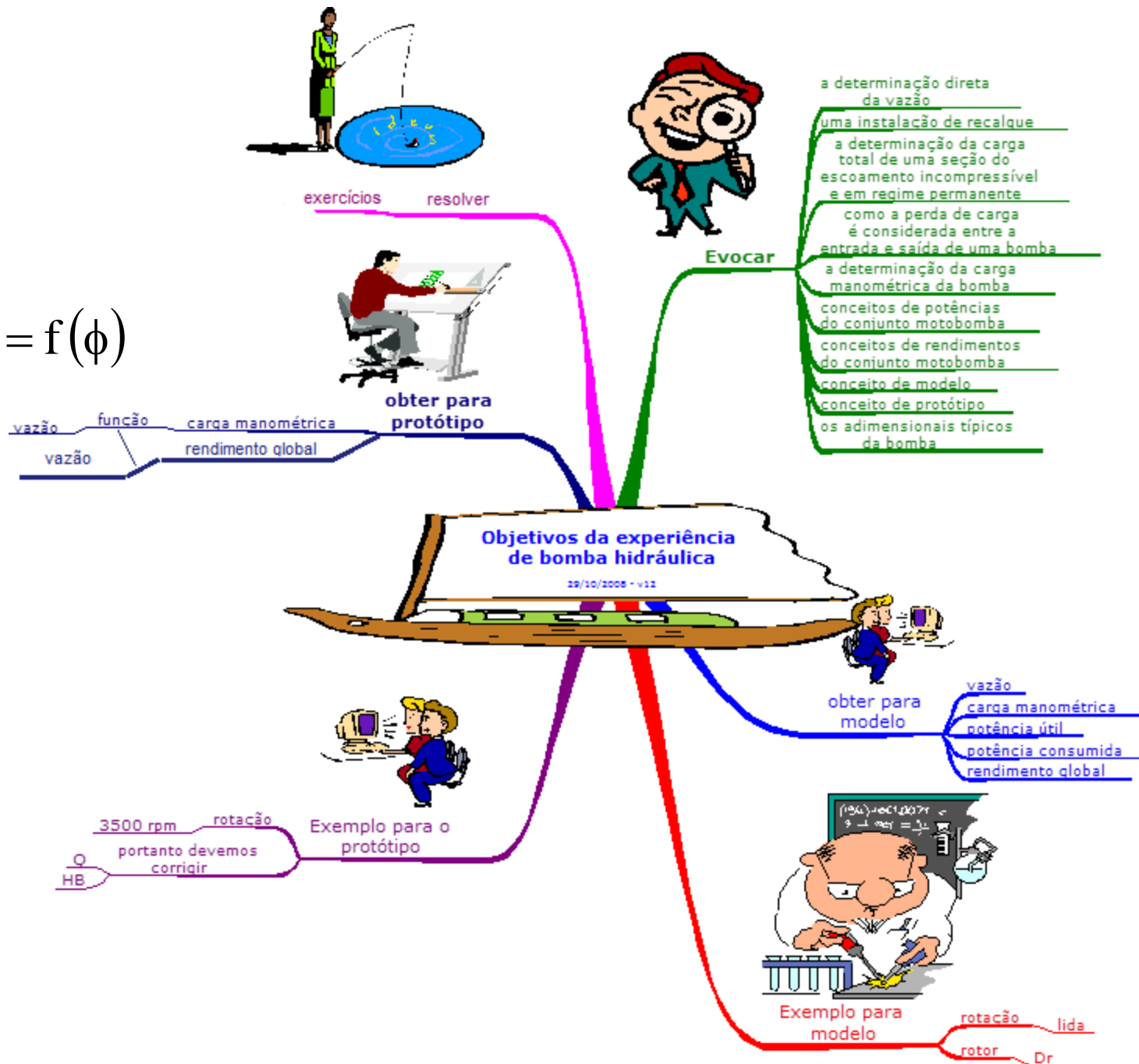




Vamos iniciar a nossa experiência de hoje, que é a experiência de bomba aplicada a uma bomba centrífuga que foi instalada em uma instalação de recalque, que é uma instalação particular de bombeamento, que no nosso caso é representada por uma bancada do laboratório.



$$\psi = f(\phi)$$



Bancada e trecho da mesma que será utilizado na experiência







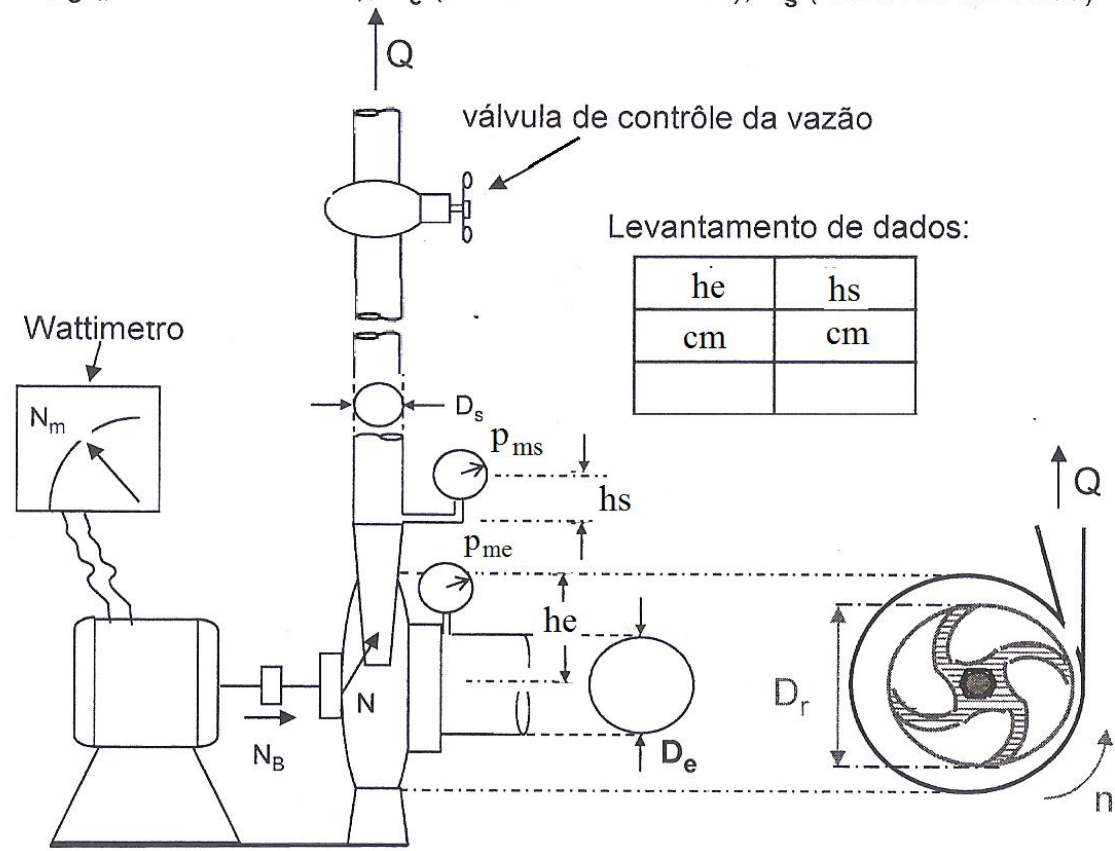
Observem as pressões de saída



# Experiência da Bomba Centrífuga; grandezas envolvidas:

$Q$  (vazão em volume);  $D_r$  (diâmetro do rotor);  $n$  (rotação);  
 $H_B$  (energia por unidade de peso fornecida ao fluido pela bomba);  
 $N_B$  (Potência da bomba);  $N$  (Potência fornecida ao fluido);  
 $N_m$  (Potência do motor elétrico, fornecida pela rede);  $p_e$  (pressão de entrada);  
 $p_s$  (pressão de saída);  $D_e$  (diâmetro de entrada);  $D_s$  (diâmetro de saída)

Síntese da experiência proposta!



Levantamento de dados:

$h_e$	$h_s$
cm	cm

Levantamento de dados:

$\Delta h$	$\Delta t$	$p_{me}$	$p_{ms}$
mm	s	mmHg	KPa

Cálculos:

$Q$	$H_B$	$\psi$	$\phi$
Litros / s	m	Adimensionais	

# Para a construção da CCB

O primeiro passo é saber  
determinar a carga  
manométrica ( $H_B$ )

# Determinação da carga manométrica

$$H_{\text{inicial}} + H_B = H_{\text{final}} + H_{p_{i-f}}$$

$$H_{\text{entrada}} + H_B = H_{\text{saida}}$$

nãoselevaemcontaaperdaporqueela já é considerada  
no rendimento da bomba

$$Z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} + H_B = Z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g}$$

PHR na entrada da bomba

Determinação da carga potencial, para isto deve-se adotar um plano horizontal de referência (PHR).

Se o mesmo for adotado no eixo da bomba, tem-se:

$$Z_e =$$
$$Z_s =$$



Leituras das pressões para a determinação da carga de pressão, para isto tem-se:

- vacuômetro (poderia ser também um manovacuômetro) na seção de entrada
- manômetro na seção de saída

# Cuidado!







EXISTEM  
DIFERENÇAS!



Qual a diferença?

A leitura do aparelho pode ser diferente da pressão que se deseja determinar na seção.

Para a construção da CCB  
deve-se determinar a  
vazão

E aí para cada posição da válvula  
globo determina-se a vazão no  
reservatório superior





$$Q = \frac{\text{Volume}}{t} = \frac{A_{\text{tan que}} \times \Delta h}{t}$$

Com a vazão é possível calcular a velocidade média do escoamento, tanto na seção de entrada, como na seção de saída da bomba, já que:

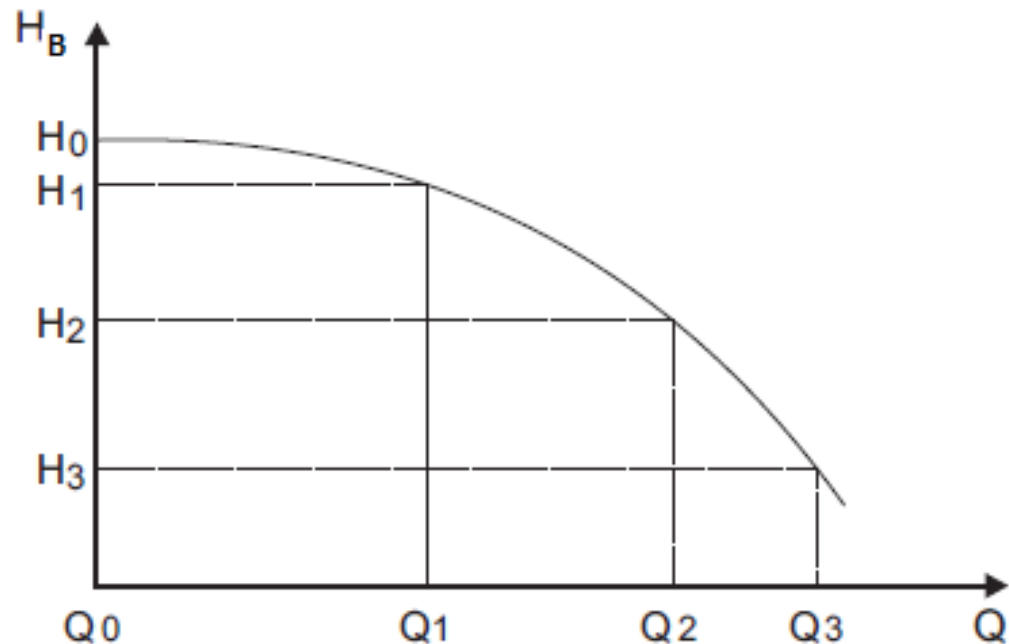
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$



Supondo o coeficiente de energia ( $\alpha = 1,0$ ),  
temos:

$$H_B = (Z_s - Z_e) + \left( \frac{p_s - p_e}{\gamma} \right) + \left( \frac{v_s^2 - v_e^2}{2g} \right)$$

Com a carga manométrica e a vazão, traça-se a CCB para o modelo, rotação 3500 rpm e diâmetro do rotor igual a ..... mm



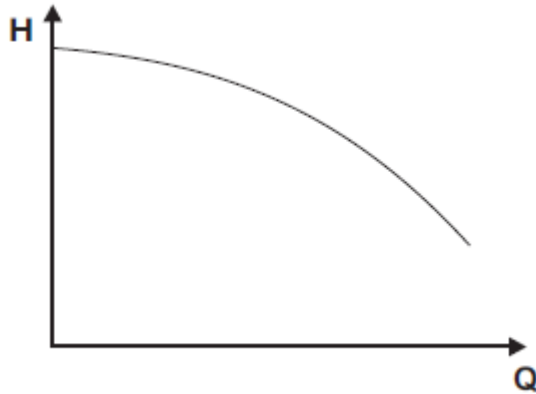
A curva anterior será obtida para a rotação de 3500 rpm e não para a rotação lida, portanto devemos corrigir a vazão e a carga manométrica obtidas para a rotação da experiência para 3500 rpm.

$$\frac{Q_{3500}}{3500/60} = \frac{Q_{\text{experiência}}}{n_{\text{experiência}}/60} \Rightarrow \frac{Q_{3500}}{3500} = \frac{Q_{\text{experiência}}}{n_{\text{lida}}}$$

$$\frac{H_{B_{3500}}}{(3500/60)^2} = \frac{H_{B_{\text{experiência}}}}{(n_{\text{experiência}}/60)^2} \Rightarrow \frac{H_{B_{3500}}}{3500^2} = \frac{H_{B_{\text{experiência}}}}{n_{\text{lida}}^2}$$

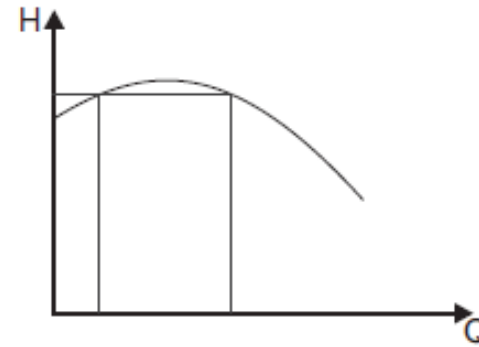
# Tipos de curvas de bomba

CURVA TIPO ESTÁVEL OU TIPO RISING



Neste tipo de curva, a altura aumenta continuamente com a diminuição da vazão. A altura correspondente a vazão nula é cerca de 10 a 20% maior que a altura para o ponto de maior eficiência.

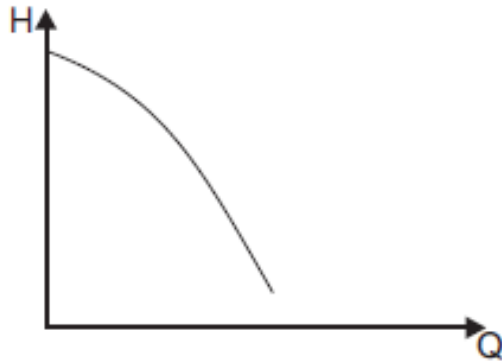
CURVA TIPO INSTÁVEL OU TIPO DROOPING



Nesta curva, a altura produzida com a vazão zero é menor do que as outras correspondentes a algumas vazões. Neste tipo de curva, verifica-se que para alturas superiores ao shut-off, dispomos de duas vazões diferentes, para uma mesma altura.

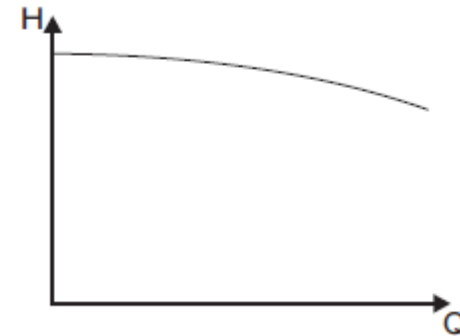
# Tipos de curvas de bomba

CURVA TIPO INCLINADO ACENTUADO OU TIPO STEEP



É uma curva do tipo estável, em que existe uma grande diferença entre a altura desenvolvida na vazão zero (shut-off) e a desenvolvida na vazão de projeto, ou seja, cerca de 40 a 50%.

CURVA TIPO PLANA OU TIPO FLAT

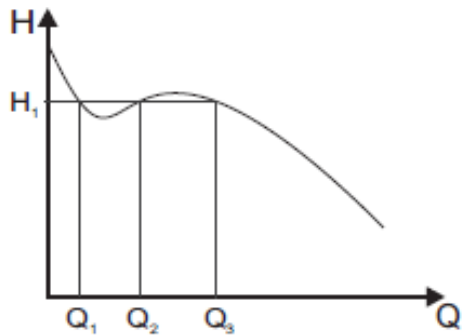


Nesta curva, a altura varia muito pouco com a vazão, desde o shut-off até o ponto de projeto.

O fabricante considera o ponto de projeto o ponto com maior rendimento

# Tipos de curvas de bomba

CURVA TIPO INSTÁVEL



É a curva na qual para uma mesma altura, corresponde duas ou mais vazões num certo trecho de instabilidade. É idêntica a curva drooping.

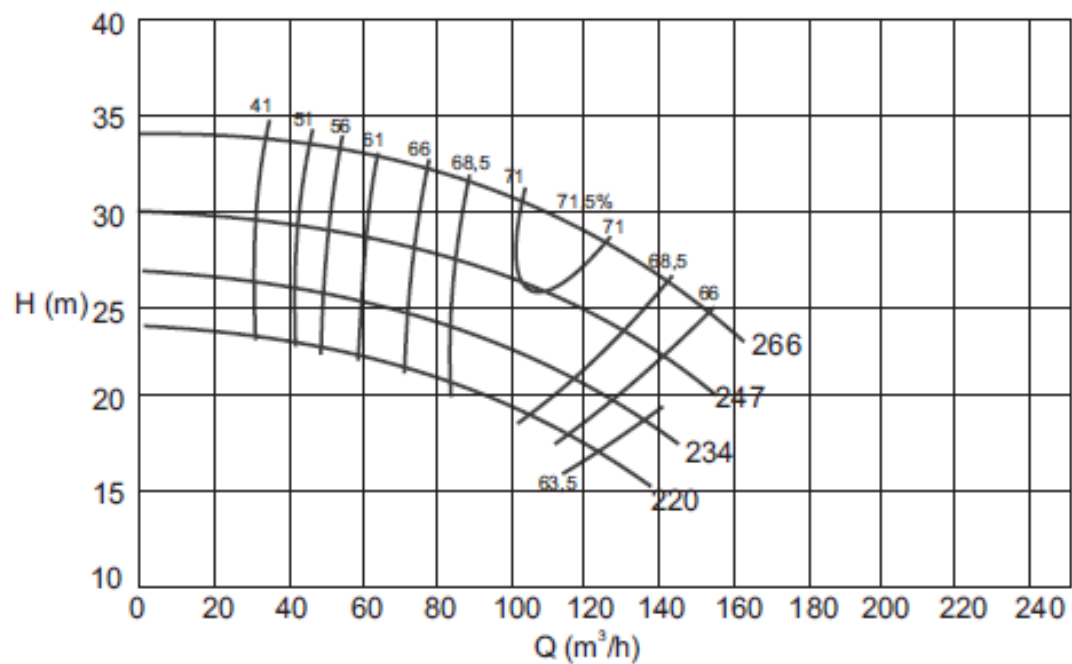
QUE TIPO  
DE CURVA  
TEM A  
BOMBA  
ENSAIADA?



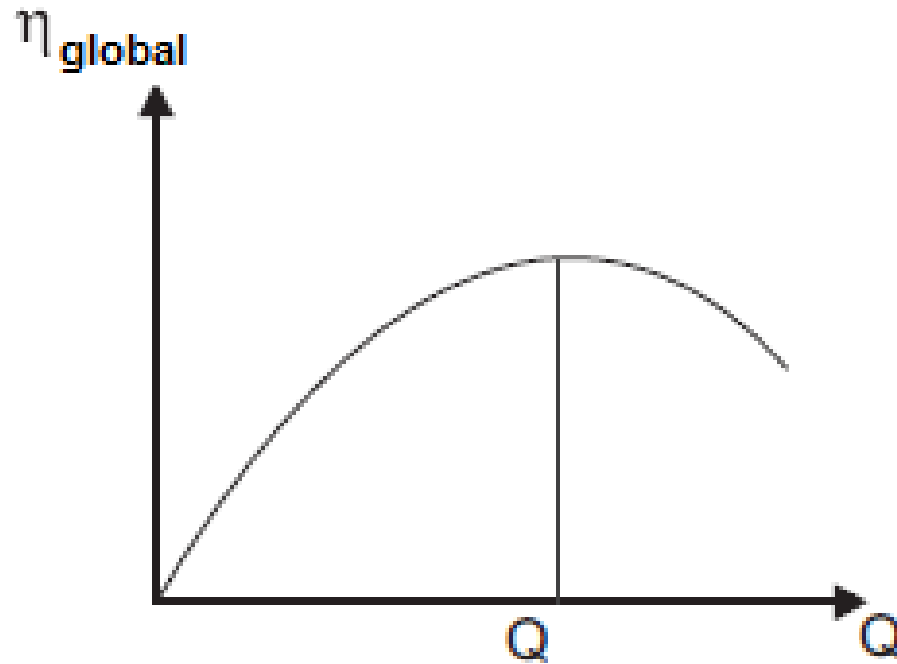
A seguir é mostrada uma família de CCB de uma determinada bomba, curvas fornecidas pelos fabricantes de bomba em função do diâmetro do rotor e para uma única rotação.

# EXEMPLO DE UMA BOMBA FABRICADA PELA KSB

KSB Meganorm 80 - 250 -IV pólos (1750 rpm)

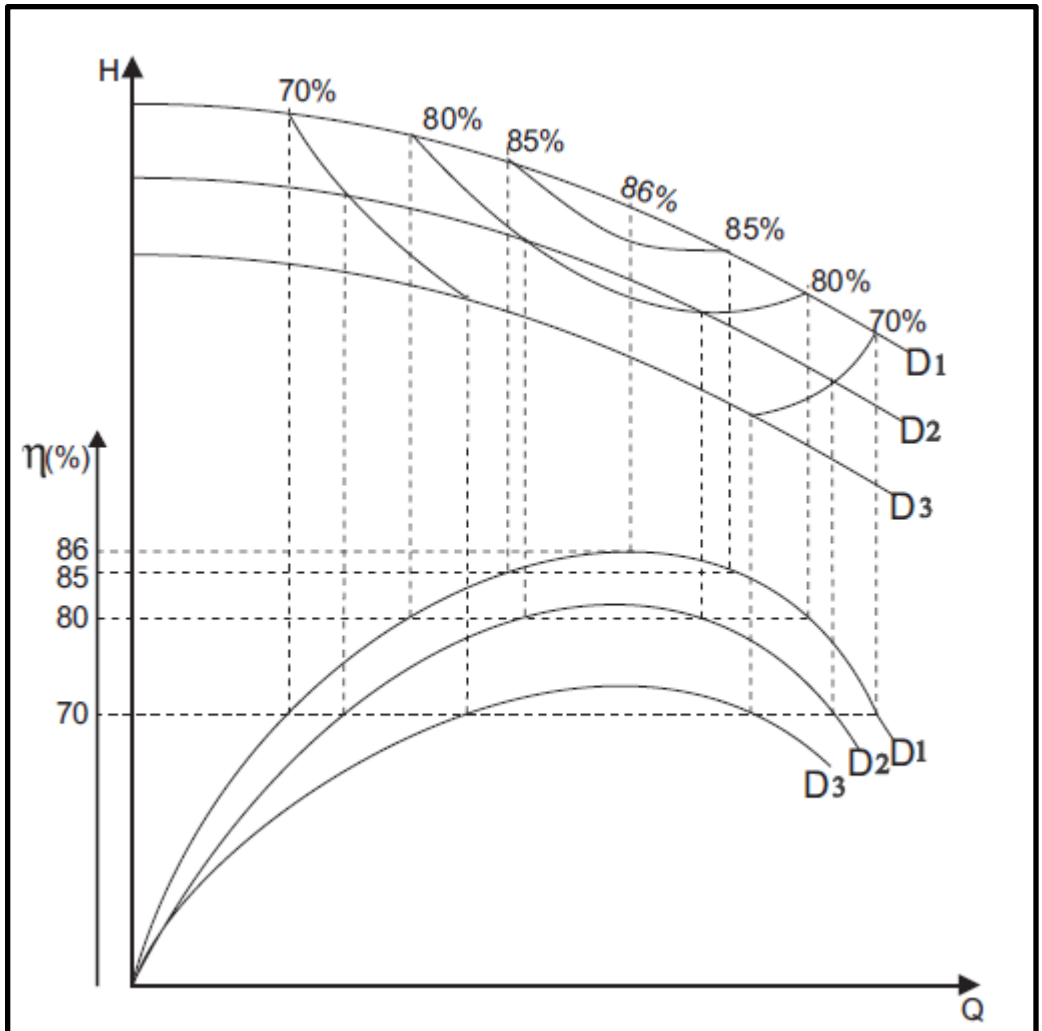


# Curva de rendimento





OBSERVEM COMO SÃO  
GERALMENTE  
REPRESENTADOS OS  
RENDIMENTOS PELOS  
FABRICANTES (CURVAS  
DE ISORENDIMENTOS)



Como obter o rendimento global?

Primeiro lendo a potência consumida pelo conjunto motor-bomba

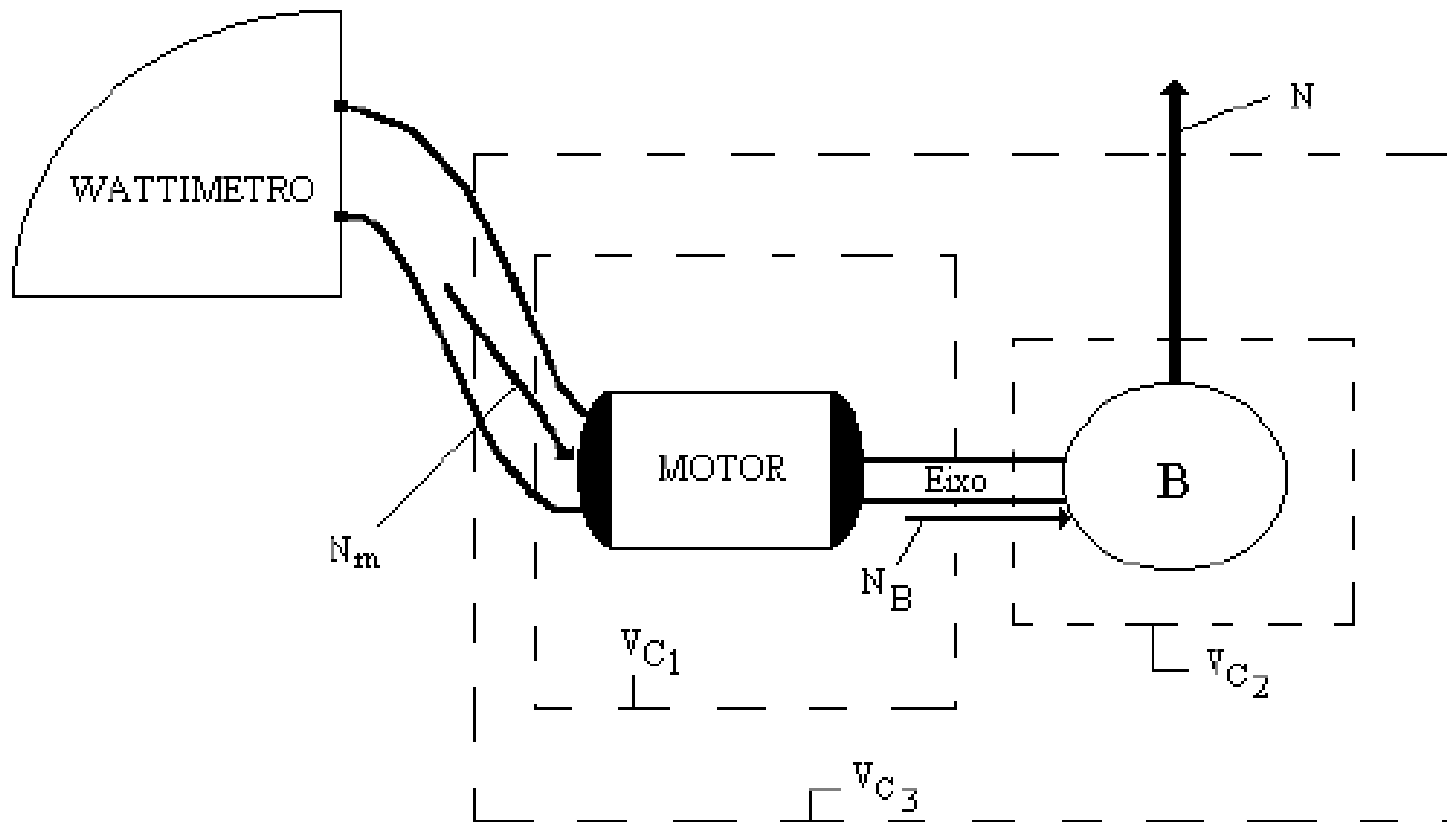


8



2 6 2004

Depois evocando o conceito  
de potência e rendimento  
para uma bomba hidráulica



# Conceito de rendimento:

$$\eta_{VC} = \frac{\text{potência que saí}}{\text{potência que entra}}$$

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{N_B}{N_m}$$

$$\eta_{\text{bomba}} = \eta_B = \frac{N}{N_B}$$

$$\eta_{\text{global}} = \frac{N}{N_m}$$

Portanto, deve-se saber determinar a potência útil da bomba, ou potência fornecida pela bomba ao fluido, ou simplesmente potência do fluido

# Determinação de N

$$H_B = \frac{\text{energia fornecida pela bomba ao fluido}}{\text{peso do fluido}} = \frac{E}{G}$$

$$\therefore E = G \times H_B = \gamma \times V \times H_B$$

$$\frac{E}{t} = N = \frac{\gamma \times V \times H_B}{t} = \gamma \times Q \times H_B$$

$$\text{Se } [\gamma] = \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \rightarrow [Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow [H_B] = \text{m} \therefore [N] = \frac{\text{kgf} \times \text{m}}{\text{s}}$$

$$1\text{CV} = 75 \frac{\text{kgf} \times \text{m}}{\text{s}} = 75 \times 9,8 \frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{s}} (\text{ou } w) = \frac{75 \times 9,8}{1000} \text{kw}$$



Agora vamos ver como se determina a curva universal

$$\psi = f(\phi)$$



Para isto deve-se evocar  
alguns dos adimensionais  
típicos da bomba  
hidráulica:

coeficiente manométrico –  $\psi$

coeficiente de vazão –  $\phi$

Onde para o modelo se tem:

$$\psi_m = \frac{g \times H_B}{n^2 \times D_r^2} = \frac{9,8 \times H_B}{\left(\frac{n_{\text{modelo}}}{60}\right)^2 \times (D_{r_{\text{modelo}}})^2}$$

$$\phi_m = \frac{Q}{n \times D_r^3} = \frac{Q}{\left(\frac{n_{\text{modelo}}}{60}\right) \times (D_{r_{\text{modelo}}})^3}$$

# Tabela de dados:

$N_m$ (kw)	$n$ (rpm)	$p_{me}$ (mmHg ou bar)	$p_{ms}$ (kPa)	$\Delta h$ (mm)	$t$ (s)

$A_{\text{tan que}} = \dots\dots$

$t_{\text{água}} = \dots\dots$

$h_{\text{entrada}} = \dots\dots \rightarrow D_{\text{int}_{\text{entrada}}} = \dots\dots$

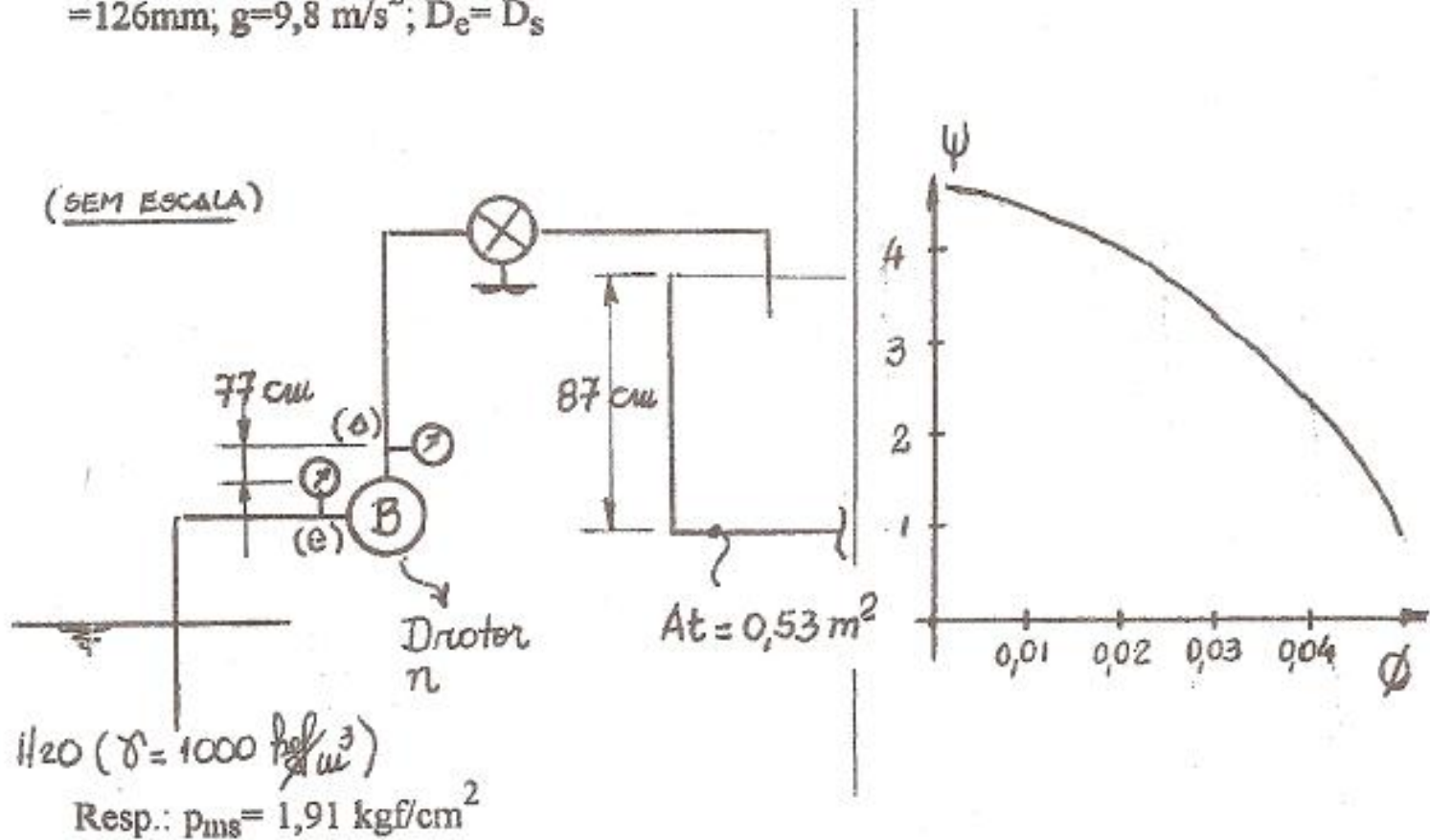
$h_{\text{saída}} = \dots\dots \rightarrow D_{\text{int}_{\text{saída}}} = \dots\dots$

$g = \dots\dots$

# Exercícios

1

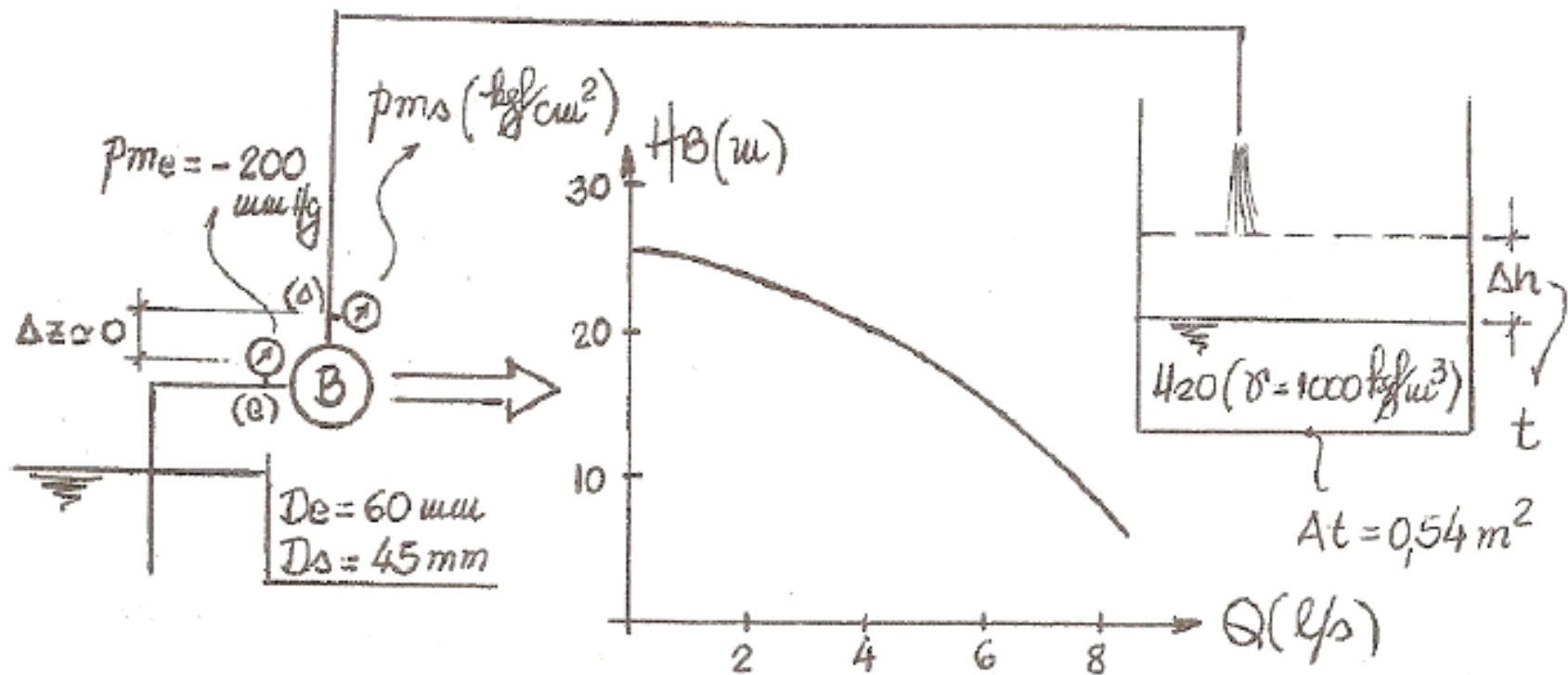
Conhecendo-se a curva universal da bomba da instalação da figura, e sabendo-se que o tanque enche em 200 s a partir de vazio, determinar a leitura do manômetro de saída da bomba. Dados:  $p_{me} = -1,5 \text{ mca}$ ;  $n = 3450 \text{ rpm}$ ;  $D_r = 126 \text{ mm}$ ;  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ;  $D_e = D_s$



2

Sabendo-se que o tempo cronometrado para um  $\Delta h = 15\text{cm}$  no tanque é 20s, determinar a leitura do manômetro de saída da bomba.

Resp.:  $p_{ms} = 1,71 \text{ kgf/cm}^2$

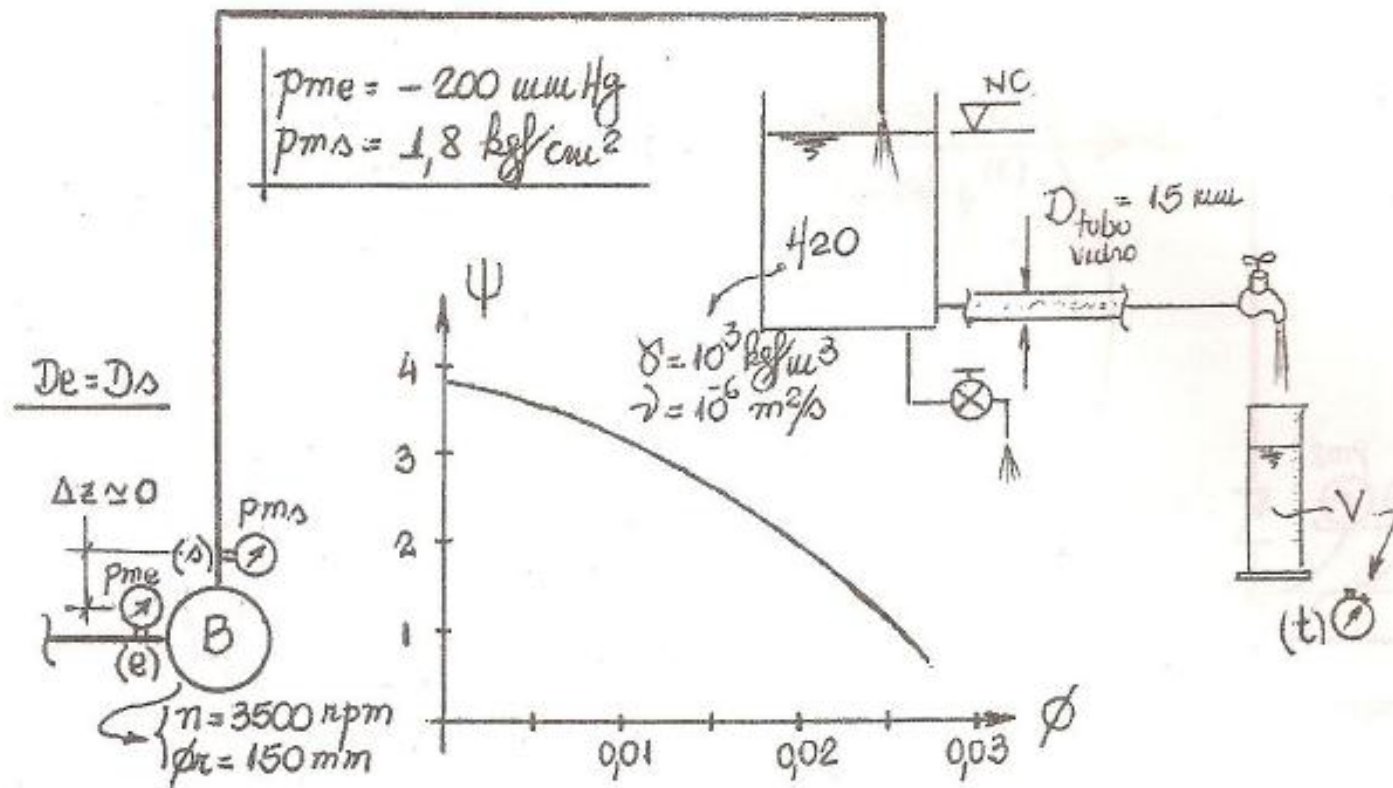


3

Um grupo realiza a Experiência de Reynolds no laboratório. A bomba, de curva universal conhecida, alimenta o tanque da figura, que permanece a nível constante. Sabendo-se que no ensaio o tipo de escoamento no tubo de vidro está passando para turbulento, determinar:

- a vazão fornecida pela bomba;
- o volume coletado no tubo graduado em 35s.

Resp.: a) 2,9L/s; b) 0,98L





4

É dada a curva universal, válida para todas as bombas semelhantes à bomba da instalação da figura. Qual a leitura do manômetro (2) em kPa, quando um desnível de 15cm, no tanque de área da seção transversal de  $2\text{m}^2$ , é preenchido em 20s? Dados: diâmetro do rotor da bomba  $D_R = 230\text{mm}$ ; rotação do rotor da bomba  $n = 3600\text{rpm}$ ;  $\gamma = 10000\text{N/m}^3$ ;  $g = 10\text{m/s}^2$ .

Se o registro for completamente fechado, qual a diferença de pressão entre a entrada e a saída da bomba?

Adimensionais de uma bomba:  $\phi = \frac{Q}{nD_R^3}$ ;  $\Psi = \frac{gH_B}{n^2D_R^2}$

