



Vamos obter as curvas $H_B=f(Q)$ e $\eta_B=f(Q)$ em uma outra bancada de laboratório!

E como vamos chamar esta nova experiência?

Exemplo de projeto de formatura.

Experiência do freio dinamométrico

objetivos

conhecer um freio dinamométrico

$$HB = f(Q)$$

obter as curvas

$$\text{rendimento da bomba} = f(Q)$$



aprender

a calcular em uma dada rotação

vazão

carga manométrica

potência da bomba

rendimento da bomba

corrigir os cálculos acima para uma rotação n



Trecho da bancada utilizado nesta experiência



1 = bomba MARK de 4 CV

2 = fita adesiva para det. n

3 = motor elétrico de 5 CV

4 = esfera

5 = célula de carga

6 = manovacuômetro

7 = manômetro

8 = analisador Kratos

9 = válv. globo para controlar a vazão (Q)

10 = tubulação de sucção

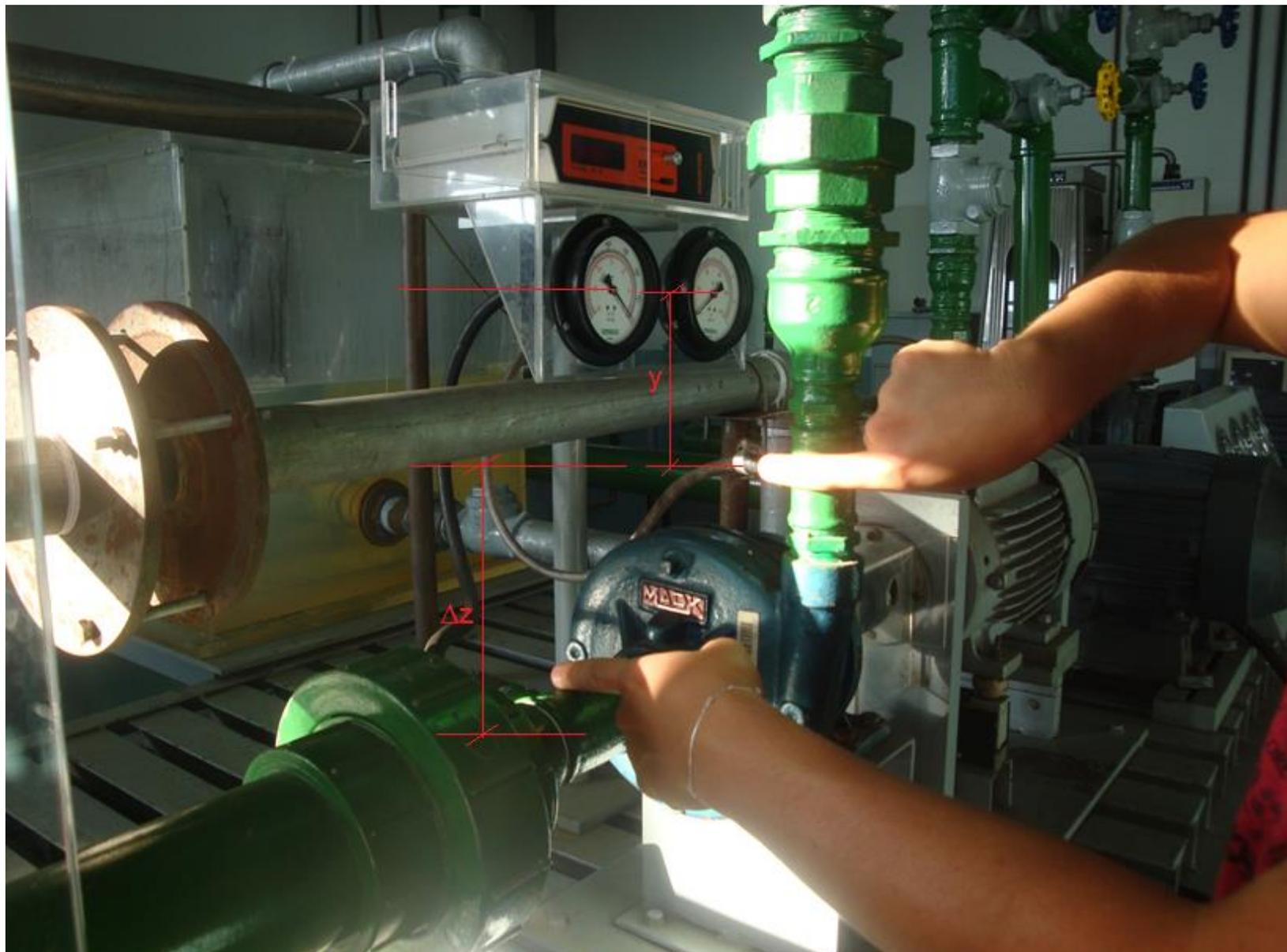
11 = tubulação de recalque

12 = tubulação de recalque

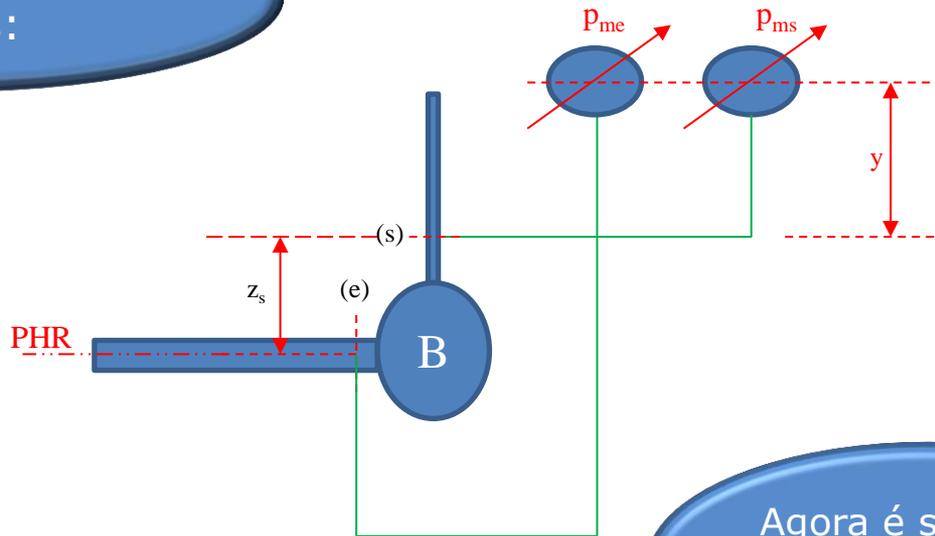
13 = tanque de distribuição

14 = piezômetro p/ det. da Q

Visualizando a seção de entrada e saída da bomba e as cotas para corrigir as pressões manométricas para esta experiência.



Esquemáticamente,
temos:

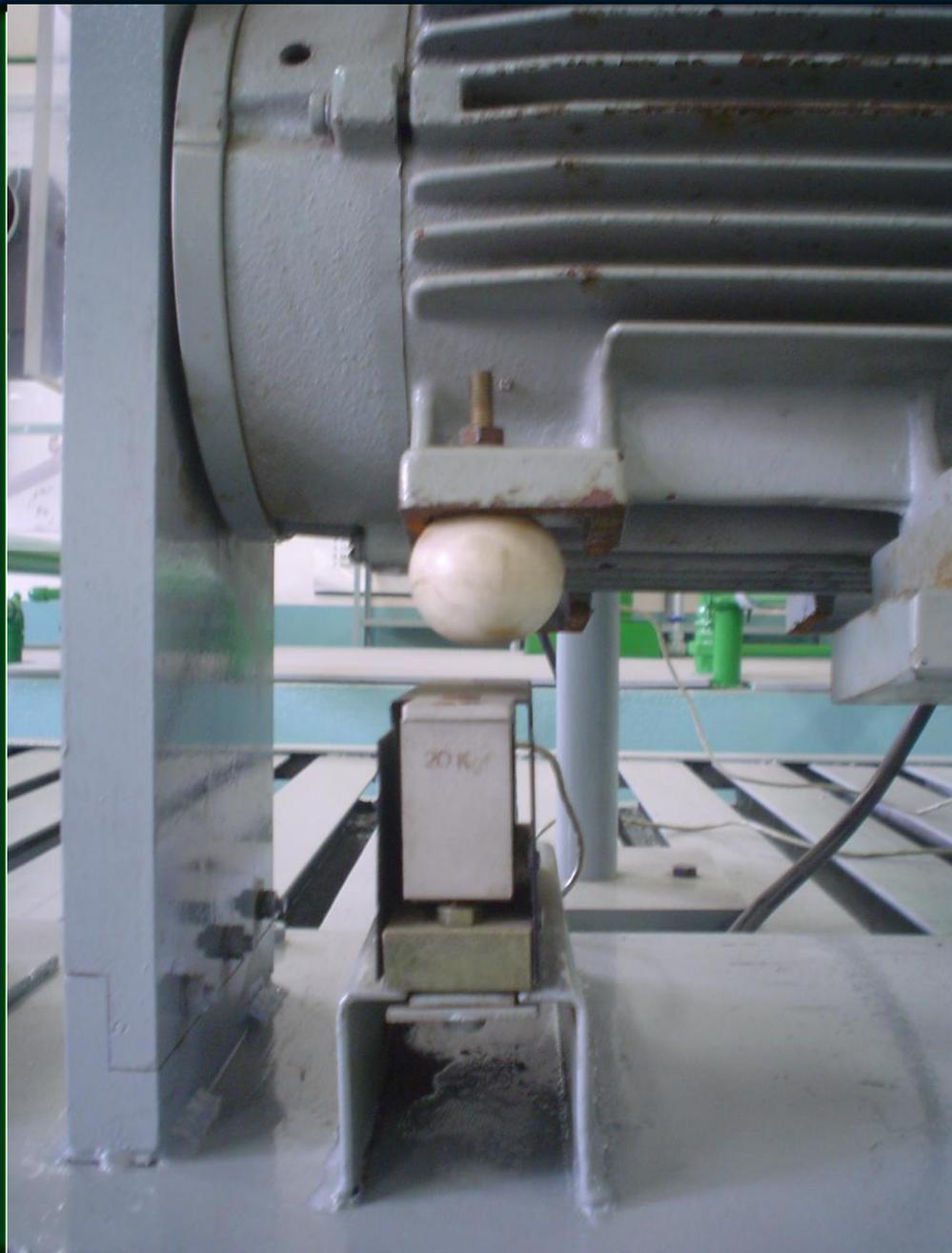


Agora é só aplicar
a equação da
energia.

$$H_e + H_B = H_s$$

$$z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_B = z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2}{2g}$$



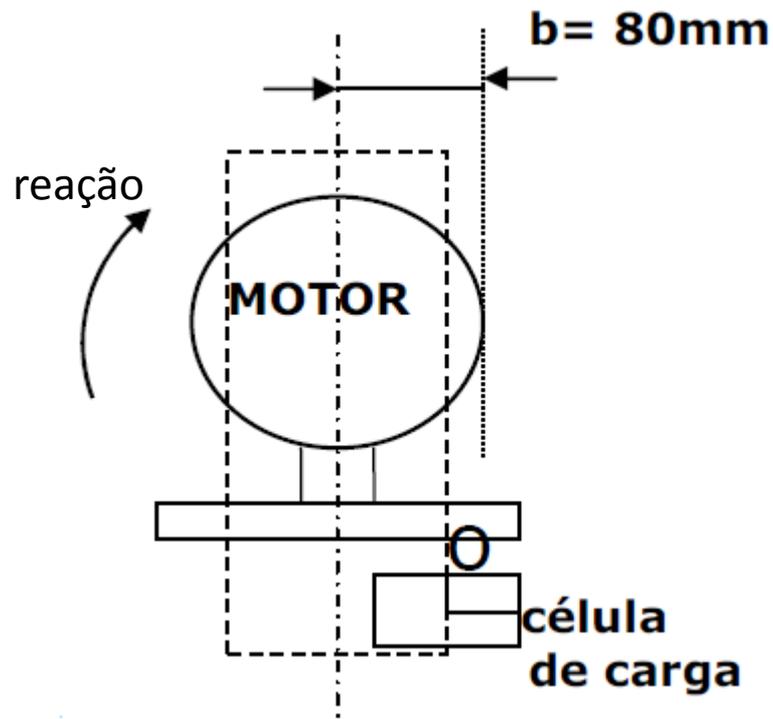


Ao acionar o conjunto motor bomba, olhando-o por trás, este girará no sentido horário, como a carcaça (estator) está solta, pelo princípio da ação e reação, ela tenderá a girar no sentido anti-horário e uma esfera presa em uma das "patas" do motor, pressionará uma célula de carga que irá registrar a força aplicada, já que a célula de carga está ligada a um analisador, no caso da Kratos.

A foto a seguir mostra o registro de uma força pelo analisador da Kratos, registro feito em “kgf”.



Através da força aplicada e registrada, além do torque, podemos calcular a potência da bomba (potência mecânica), já que:



Vista frontal do conjunto motor
bomba

$$N_B = \text{Momento} \times \omega$$

$$N_B = F \times \text{braço} \times 2\pi \times n$$

$$[n] = \text{rps}$$

COMO ACHAR A
ROTAÇÃO?

A rotação é obtida através de um tacômetro a laser, o qual é apontado para o adesivo branco = 2



Cuidado para não danificar o sistema

Se acionarmos o motor sem a esfera estar apoiada na célula de carga (analisador indicando zero), a mesma poderá ser danificada, por esse motivo, o acionamento do motor só deve ser feito após a esfera estar apoiada na célula de carga.

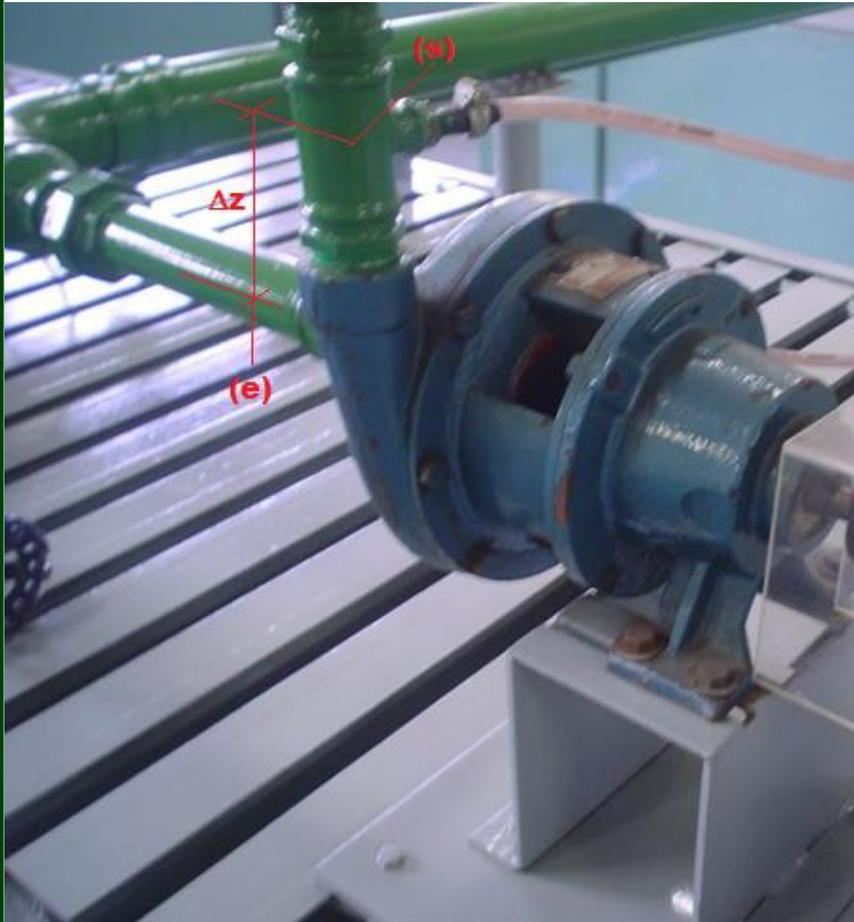


Não acionar o motor nessa situação



Acionar o motor só nessa situação

Desenvolvimento da experiência



Com a válvula controladora de vazão totalmente fechada se obtém as coordenadas do ponto de shut-off, para tal, deve-se anotar as pressões manométricas respectivamente na entrada e saída da bomba e a rotação do conjunto motor bomba. Observe que:

$$p_e = p_{me} + \gamma \times (y + z_s)$$

$$p_s = p_{ms} + \gamma \times y \therefore p_s - p_e = p_{ms} - p_{me} - \gamma \times z_s$$

$$\frac{p_s - p_e}{\gamma} = \frac{p_{ms} - p_{me}}{\gamma} - z_s$$

Aplica-se a equação da energia entre as seções de entrada e saída da bomba com o PHR no eixo da bomba:



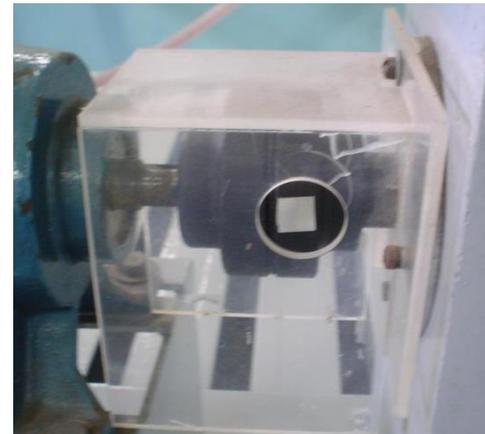
$$H_e + H_B = H_s$$

$$H_B = (z_s - z_e) + \frac{(p_s - p_e)}{\gamma} + \frac{(\alpha_s v_s^2 - \alpha_e v_e^2)}{2g}$$

$$Q = 0 \rightarrow \text{shut-off} \rightarrow v_s = v_e = 0$$

$$\therefore H_B = z_s + \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma} - z_s = \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma}$$

Não esquecer de registrar a rotação.



Após as leituras de p_{ms} ,
 p_{me} e da n para $Q=0$,
 deve-se abrir
 totalmente a válvula
 controladora da vazão
 (último ensaio) e para
 essa situação efetuar a
 leitura do Δh (mm),
 $t(s)$, p_{me} , p_{ms} e n .



A seção de entrada e a de
 saída, pertencem a tubos
 de aço 40 com diâmetros
 nominais de 1,5" e 1"
 respectivamente, portanto:

$$H_B = \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma} + \frac{(\alpha_s v_s^2 - \alpha_e v_e^2)}{2g}$$

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t}$$

$$A_{\text{tanque}} = 0,681 \text{ m}^2$$

$$(e) \rightarrow D_{\text{int}} = 40,8 \text{ mm} \Rightarrow A = 13,1 \text{ cm}^2$$

$$(s) \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6 \text{ mm} \Rightarrow A = 5,57 \text{ cm}^2$$

Portanto:

$$\alpha_s = \alpha_e = 1,0$$

$$H_B = \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma} + \frac{(v_s^2 - v_e^2)}{2g}$$

$$v_s = \frac{Q}{A_s} \rightarrow v_e = \frac{Q}{A_e}$$

Determina-se a potência e o rendimento da bomba para uma rotação n , que é lida no tacômetro a laser:

$$N_B = \text{Momento} \times \omega = F \times \text{braço} \times 2\pi \times n$$

$$[n] = \text{rps}$$

$$\text{braço} = 0,08\text{m}$$

$$\eta_B = \frac{N}{N_B} = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{F \times \text{braço} \times 2\pi \times n}$$

Fechando-se planejadamente a válvula controladora de vazão obtemos as demais leituras que originarão a tabela de dados:

Ensaio	Δh (mm)	t(s)	p_{me} (mmHg)	p_{ms} (kPa)	F (kgf)	n (rpm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Temperatura d'água:°C

Tabela de dados

Não se pode esquecer de se corrigir a vazão (Q), a carga manométrica (H_B), e o rendimento da bomba (η_B) para uma rotação estabelecida, por exemplo 3500 rpm.



Correções

$$Q_{3500} = \left(\frac{3500}{n_{\text{lida}}} \right) \times Q_{\text{experimental}}$$

$$H_{B3500} = \left(\frac{3500}{n_{\text{lida}}} \right)^2 \times H_{B_{\text{experimental}}}$$

$$\eta_{B3500} = \eta_{B_{\text{experimental}}}$$

Considerando que a rotação altera o rendimento, podemos recorrer a equação a seguir para calculá-lo:

$$\eta_{B3500} = 1 - (1 - \eta_{B_{\text{experimental}}}) \left(\frac{n_{\text{lido}}}{3500} \right)^{0,1}$$

Equação obtida no livro: Bombas e Instalações de Bombeamento - Archibald Joseph Macintyre - Livros Téc. e Cient. Editora 2008- segunda edição revisada - ISBN 978-85-216-1086-1 – página 126

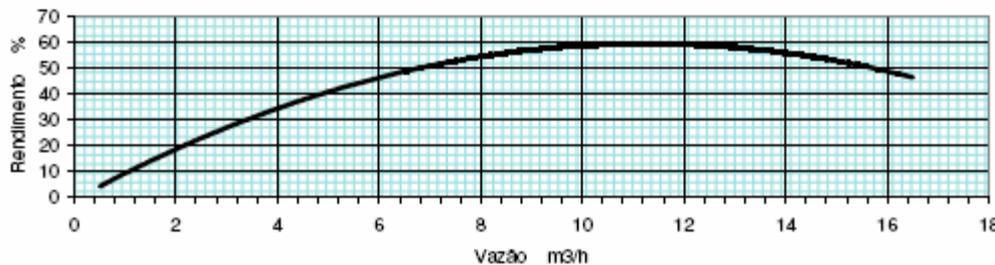
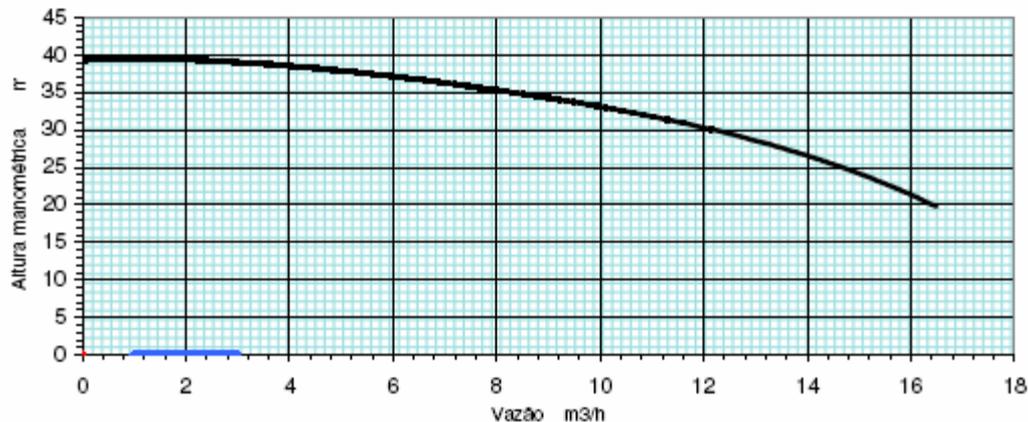
Importante observar que todos os pontos da curva de HB em função da vazão estão na mesma rotação.



Exemplo de curvas obtidas!

GRUNDFOS		MARK GRUNDFOS LTDA.					MODELO	
MARK		Bomba Centrífuga Monoestágio					DF	
Rotor	146	mm	Número de estágios	1	Sucção	Recalque	RPM	3.500
Ponto de trabalho					1.1/2"	1"	Válido para água limpa a 20 C.	
Q	Hm				Vedação	Roscas		
CV	%				Selo mecânico	BSP		

Testes e Aceltação conforme Norma ISO 9906:1999 Anexo A



Não esqueça: localize as curvas da bomba da bancada e as compare com as curvas obtidas experimentalmente.

