

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PME-3453

MÁQUINAS DE FLUXO

LABORATÓRIO

PROF. SÉRGIO R. CECCATO

1º SEMESTRE DE 2023

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

DISCIPLINA: PME-3453 – MÁQUINAS DE FLUXO - LABORATÓRIO

TURMAS: 21(A) & 22(B) – REV. - 2 – 09/04/2023

1º SEMESTRE DE 2023

PROFESSOR: SÉRGIO ROBERTO CECCATO

AULA	TURMA 21 (A) DATA	TURMA 22 (B) DATA	ASSUNTO	ATIVID.	ENTREGA DO REL. N°
1ª	20 MAR	27 MAR	•INTRODUÇÃO AO CURSO •UNIVERSO DAS MÁQUINAS DE FLUXO	T	-
2ª	10 ABRIL	17 ABRIL	•BOMBAS DINÂMICAS OU DE FLUXO •LEVANTAMENTO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL	T / L REL. - 1	-
3ª	24 ABRIL	08 MAIO	•ENTREGA DO RELATÓRIO N° 1 •BOMBA REGENERATIVA OU AUTO-ESCORVANTE •LEVANTAMENTO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMA BOMBA REGENERATIVA	T / L REL. - 2	1
4ª	15 MAIO	22 MAIO	•ENTREGA DO RELATÓRIO N° 2 •BOMBAS VOLUMÉTRICAS •BOMBA DOSADORA DE DIAFRAGMA •LEVANTAMENTO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMA BOMBA DE DIAFRAGMA	T / L REL. - 3	2
6ª	12 JUNHO	19 JUNHO	•ANÁLISE DE SEMELHANÇA EM BOMBAS CENTRÍFUGAS RADIAIS •LEVANTAMENTO DAS CURVAS DE SEMELHANÇA EM UMA BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL	T / L REL. - 4	
7ª	26 JUNHO	03 JULHO	•ENTREGA DO RELATÓRIO N° 4 •TURBINAS: PELTON, FRANCIS E HÉLICE •LEVANTAMENTO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMA TURBINA PELTON	T / L REL. - 5	4
8ª	10 JULHO		•ENTREGA DO RELATÓRIO N° 5 •ENCERRAMENTO DO CURSO	T	5

•ATIVIDADE: T = TEORIA
L = LABORATÓRIO
REL. = RELATÓRIO DA REFERIDA EXPERIÊNCIA

•LIVRO TEXTO: 1 - POWER POINT E VÍDEOS DO CURSO - PROF. SÉRGIO R. CECCATO
2 - MANUAL DE HIDRÁULICA - PROF. J. M. AZEVEDO NETTO
3 - APOSTILAS DO CURSO – PMC-3453 – PROF. DOUGLAS LAURIA

•HORÁRIO DAS AULAS: 2ª FEIRA DAS 15h00 ÀS 18h30

•HORÁRIO DE ATENDIMENTO AOS ALUNOS: 2ª FEIRA DAS 14h00 ÀS 15h00

ATENÇÃO

**NESTE LABORATÓRIO, SALVO
INDICAÇÃO CONTRÁRIA,
TODAS AS MEDIDAS DAS
PRESSÕES SERÃO FEITAS EM**

PRESSÕES

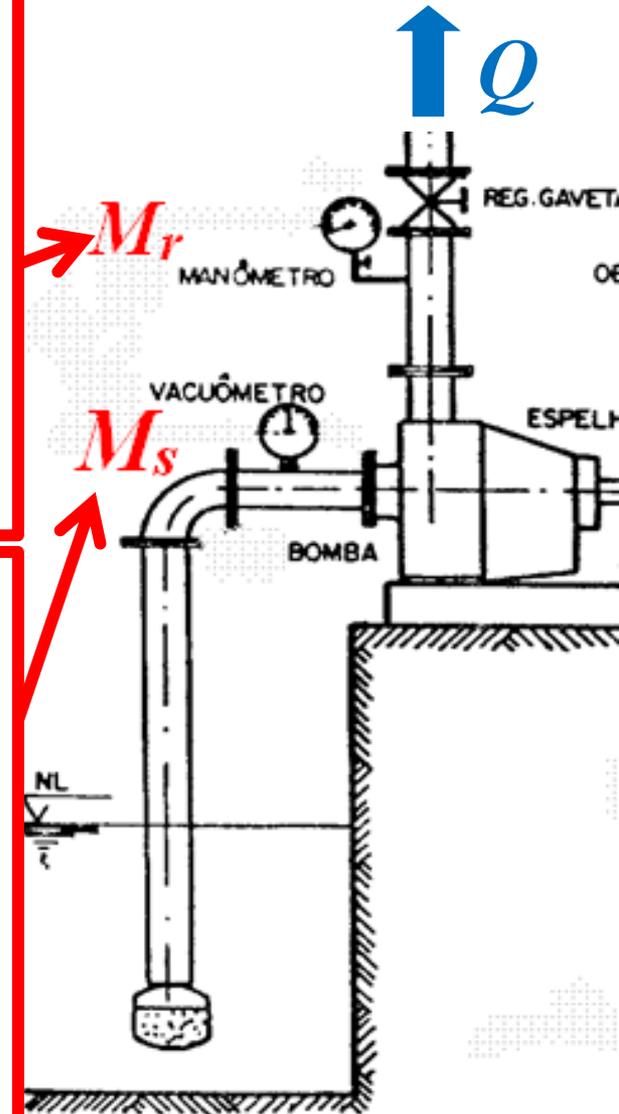
RELATIVAS

ATENÇÃO

PARA COM A **MONTAGEM** DA INSTALAÇÃO, COMO NO EXEMPLO ABAIXO :-

NESTE CASO, NO **RECALQUE**:
AS PRESSÕES ESTÃO ACIMA DA
PRESSÃO ATMOSFÉRICA LOCAL,
PORTANTO AS PRESSÕES
RELATIVAS SÃO POSITIVAS
(MANÔMETRO NO RECALQUE M_r)

NESTE CASO, NA **SUCÇÃO**:
AS PRESSÕES ESTÃO ABAIXO
DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
LOCAL, PORTANTO AS PRESSÕES
RELATIVAS SÃO NEGATIVAS
(VACUÔMETRO NA SUCÇÃO M_s)

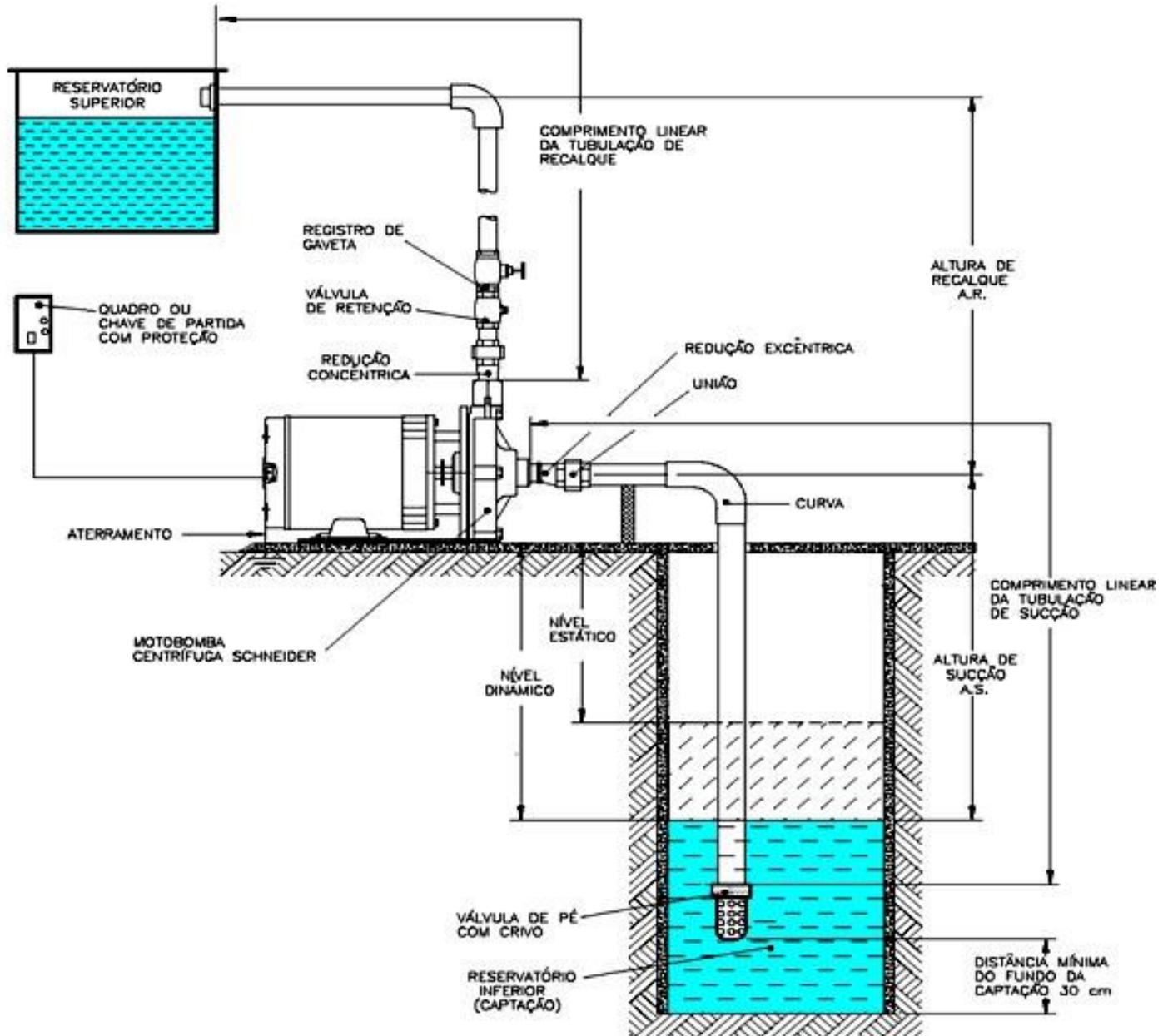


INSTALAÇÕES DE RECALQUE

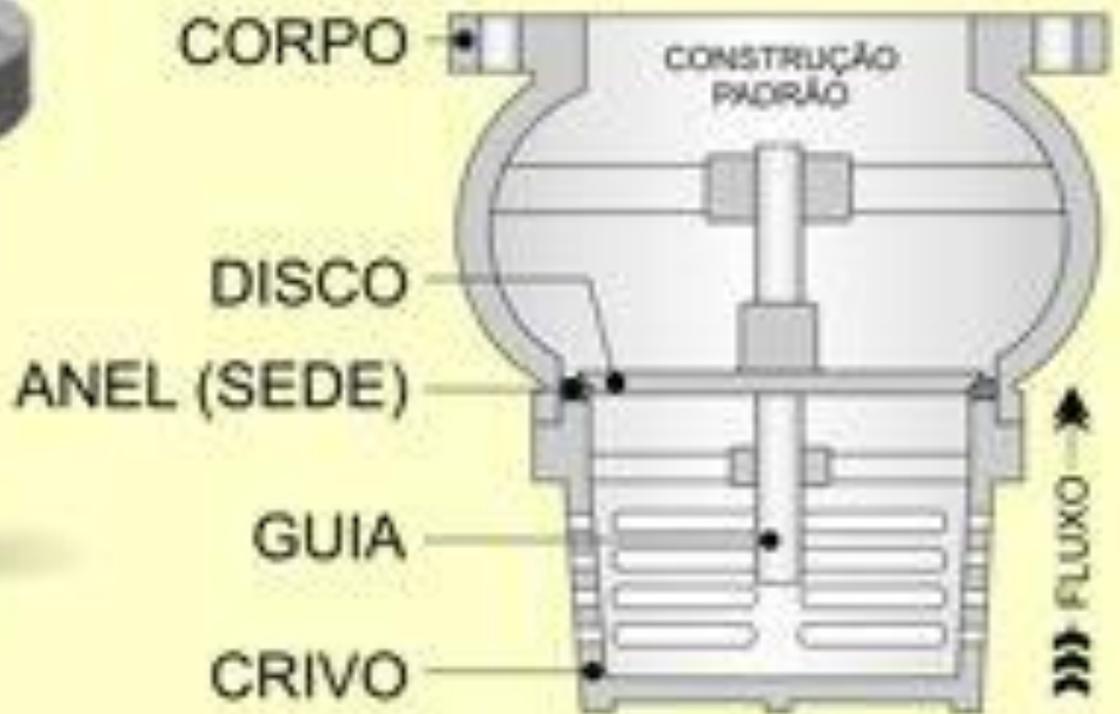
OU

INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS

INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS



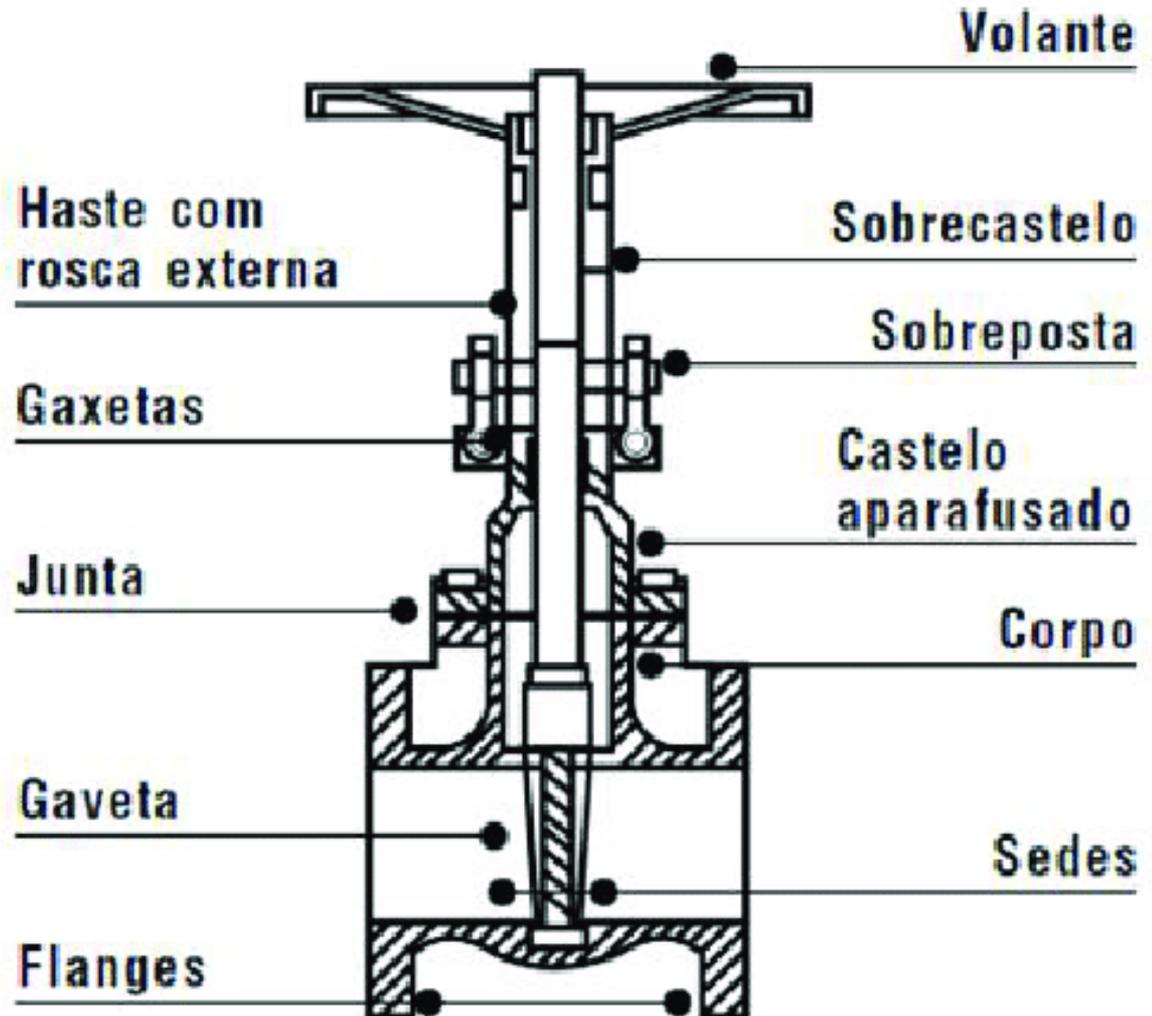
VÁLVULA DE PÉ COM CRIVO



VÁLVULA DE PÉ COM CRIVO

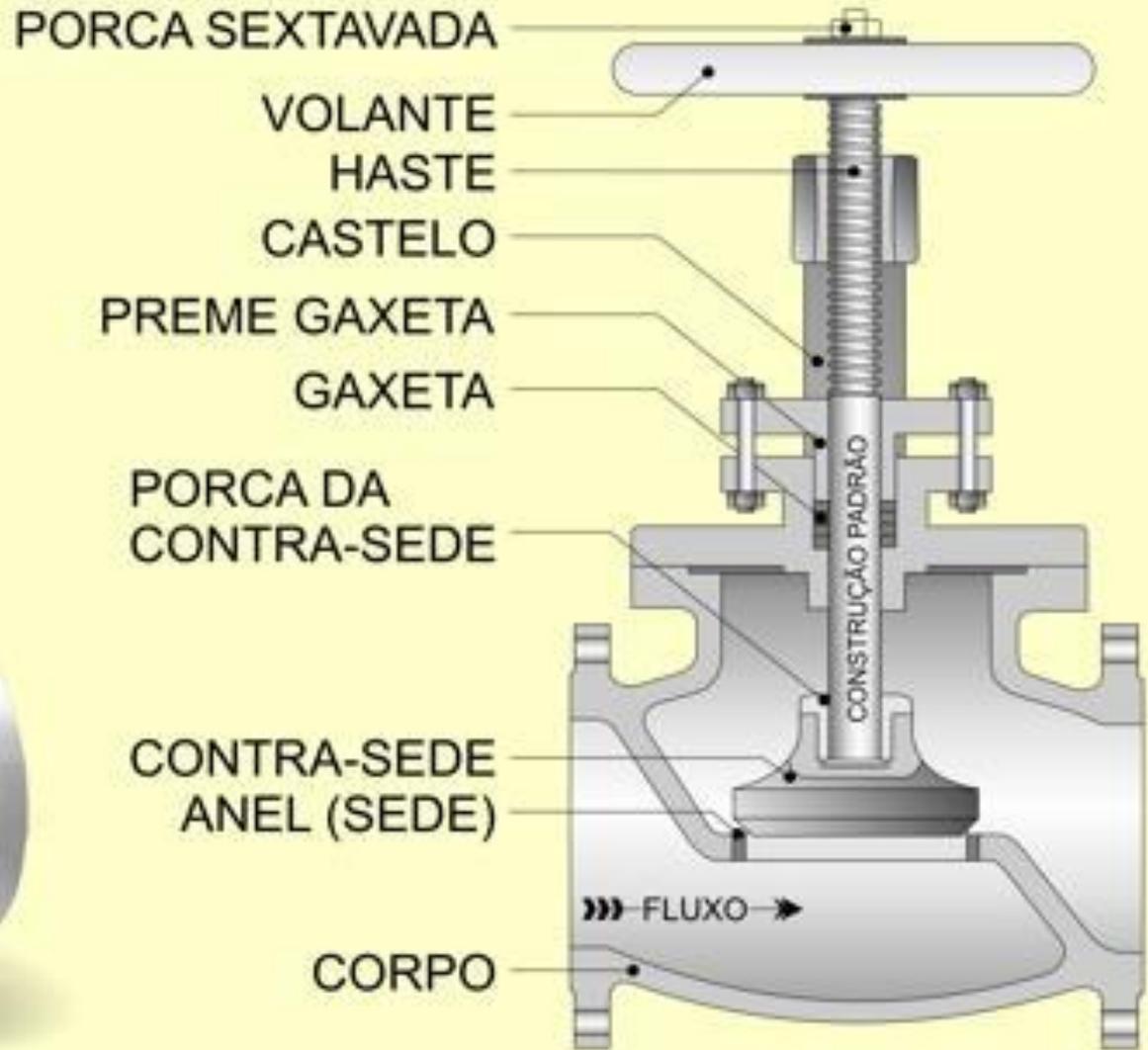


VÁLVULA GAVETA



PARA ISOLAMENTO DO FLUXO

VALVULA GLOBO



PARA REGULAGEM DO FLUXO

VÁLVULA DE RETENÇÃO VERTICAL



VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PORTINHOLA HORIZONTAL



PARAFUSO SEXTAVADO

TAMPA

JUNTA

EIXO

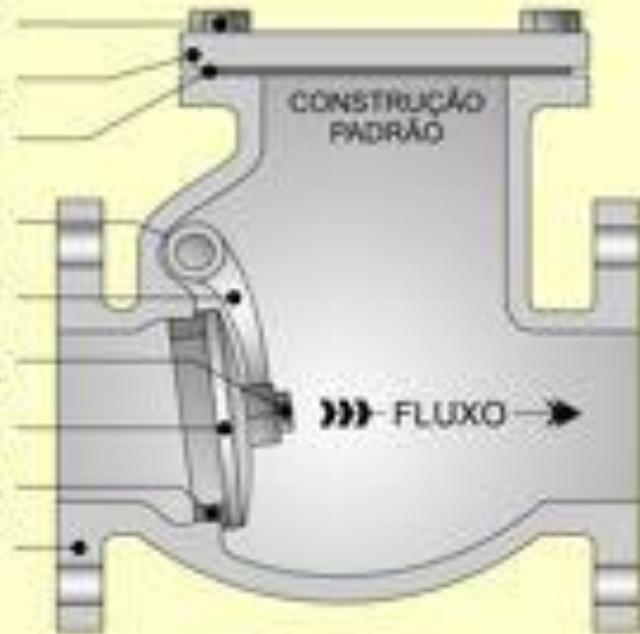
BRAÇO

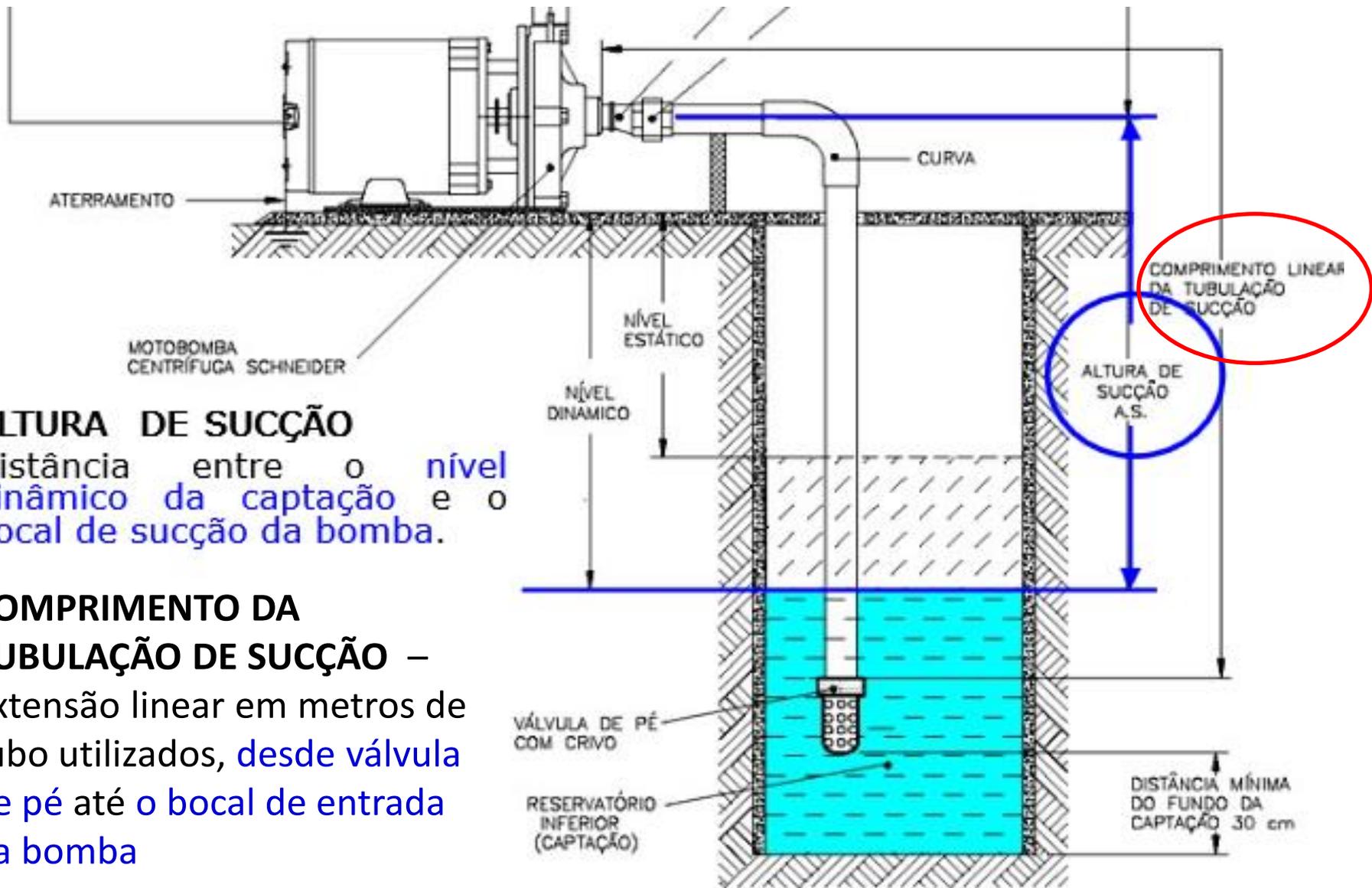
PORCA SEXTAVADA

DISCO

ANEL (SEDE)

CORPO



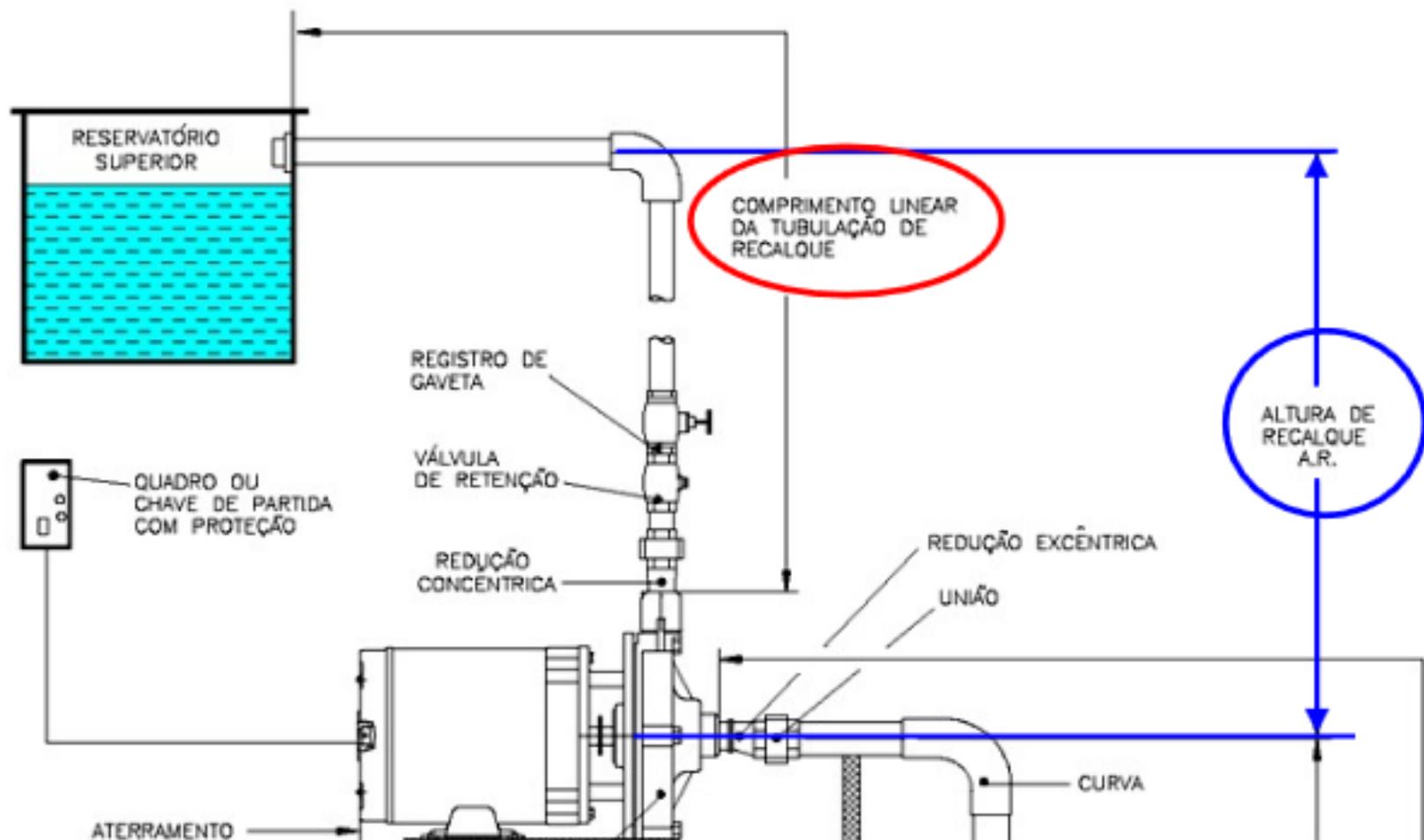


ALTURA DE SUÇÃO

Distância entre o nível dinâmico da captação e o bocal de sucção da bomba.

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DE SUÇÃO –

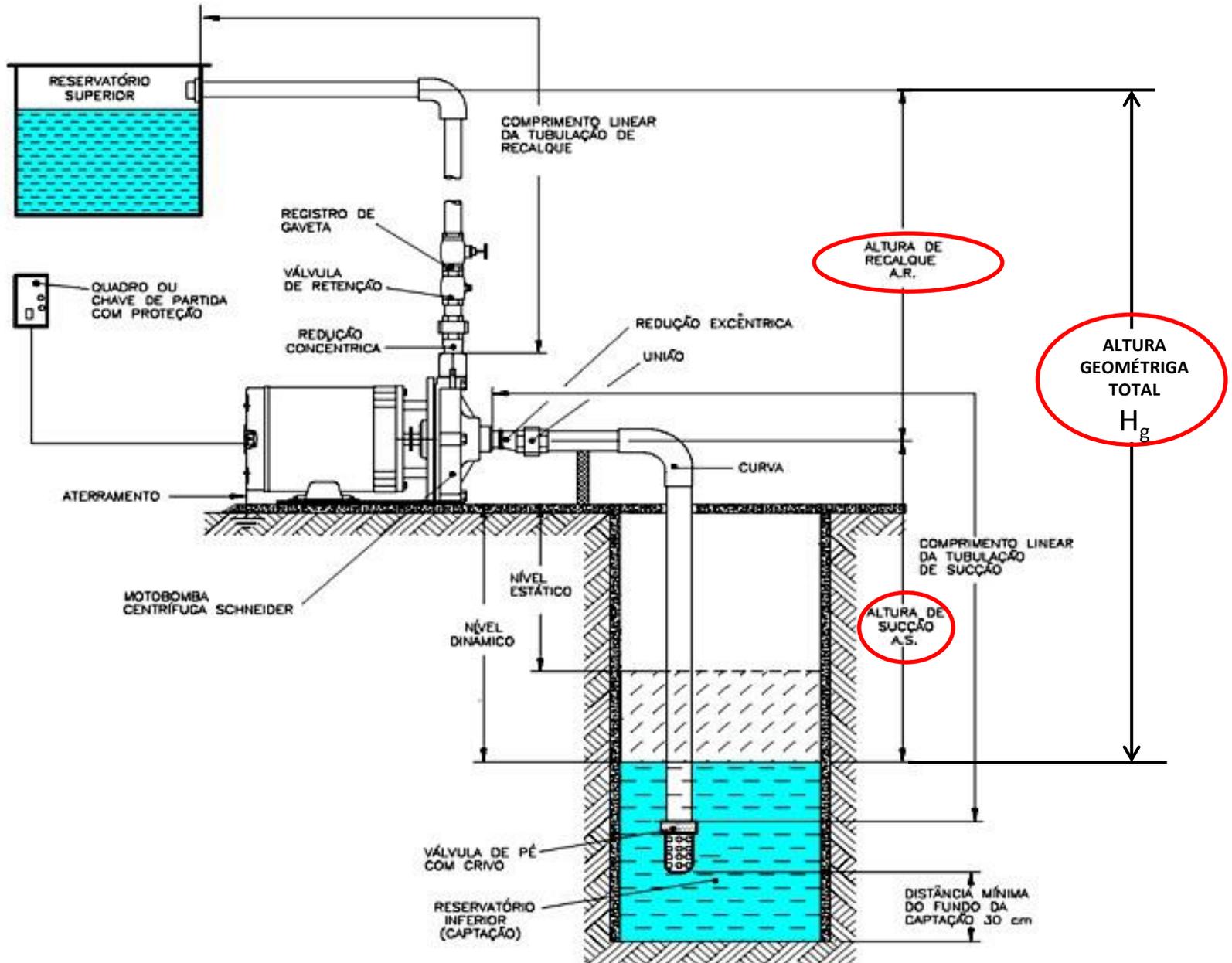
Extensão linear em metros de tubo utilizados, desde válvula de pé até o bocal de entrada da bomba



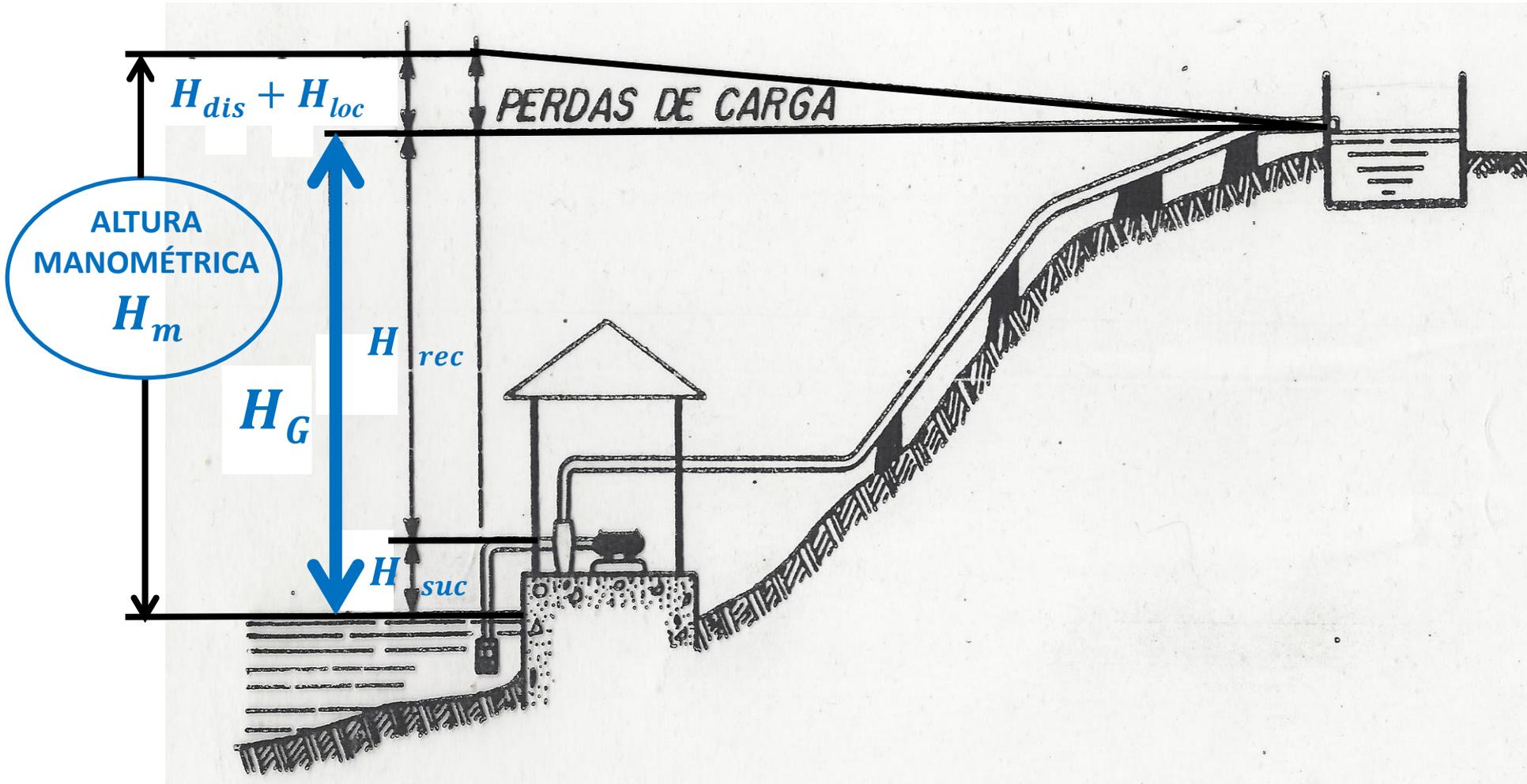
ALTURA DE RECALQUE (AR) – Desnível entre o **bocal de sucção da bomba** e o **ponto de maior elevação** do fluido até o destino final da instalação (reservatório, etc.).

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DE RECALQUE - Extensão linear em metros de tubo, desde a saída da bomba até o ponto final da instalação.

INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS



INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS



$$H_m = H_G + H_{dis} + H_{loc}$$
$$H_G = \underbrace{H_{suc} + H_{rec}}$$

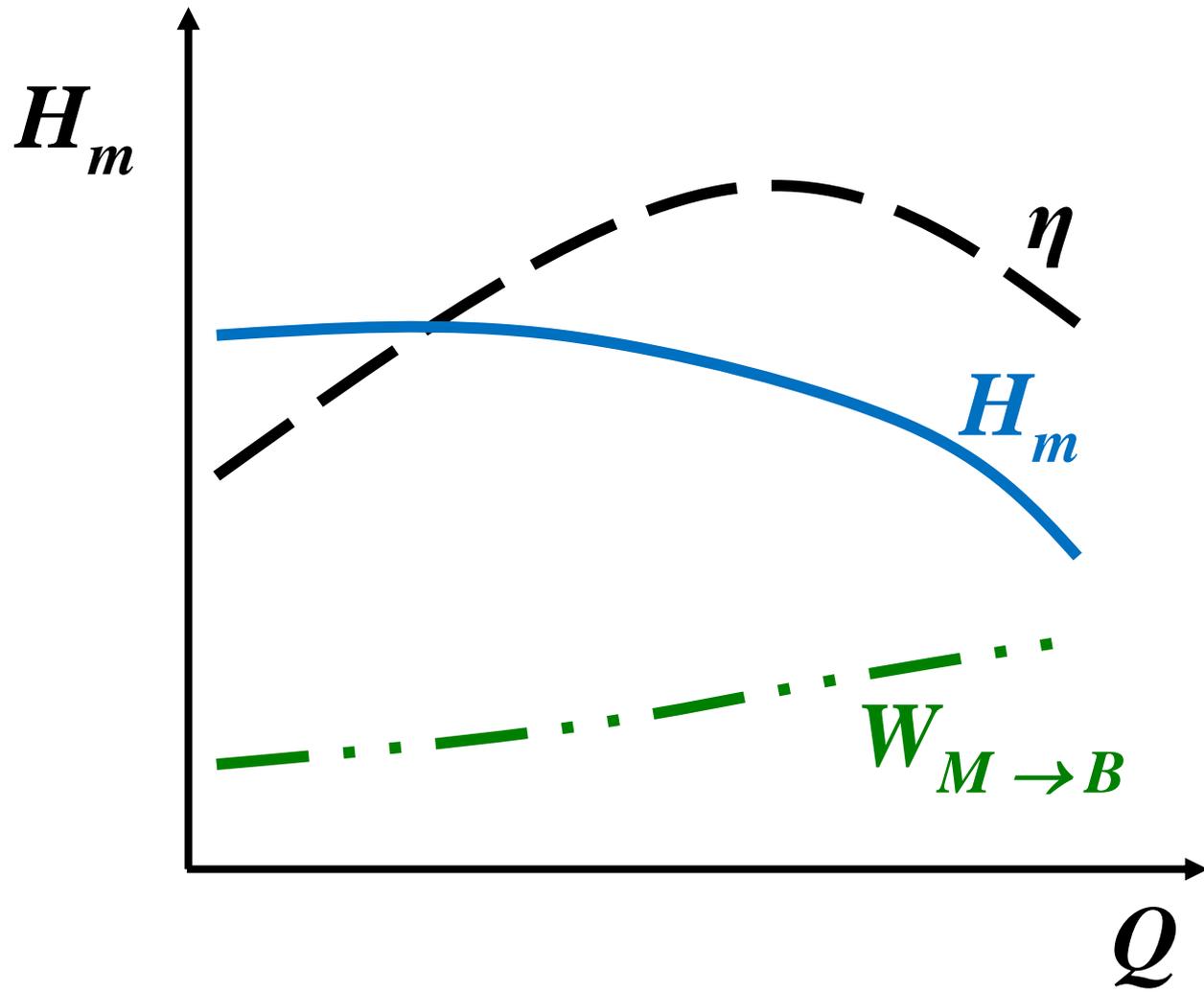


Fig. 1 – Curvas características de uma bomba centrífuga radial.

EQUAÇÃO DO SISTEMA DE TUBULAÇÃO E ACESSÓRIOS (H_{sis})

1. Fórmula de Darcy para as perdas de carga distribuídas H_{dis}

$$H_{dis} \cong f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{A^2} = k_1 Q^2$$

De uma maneira geral temos:

2. Fórmula para o cálculo das perdas de carga localizadas H_{loc}

$$H_{loc} \cong \sum K_s \frac{v^2}{2g} = \sum K_s \frac{Q^2}{A^2} = k_2 Q^2$$

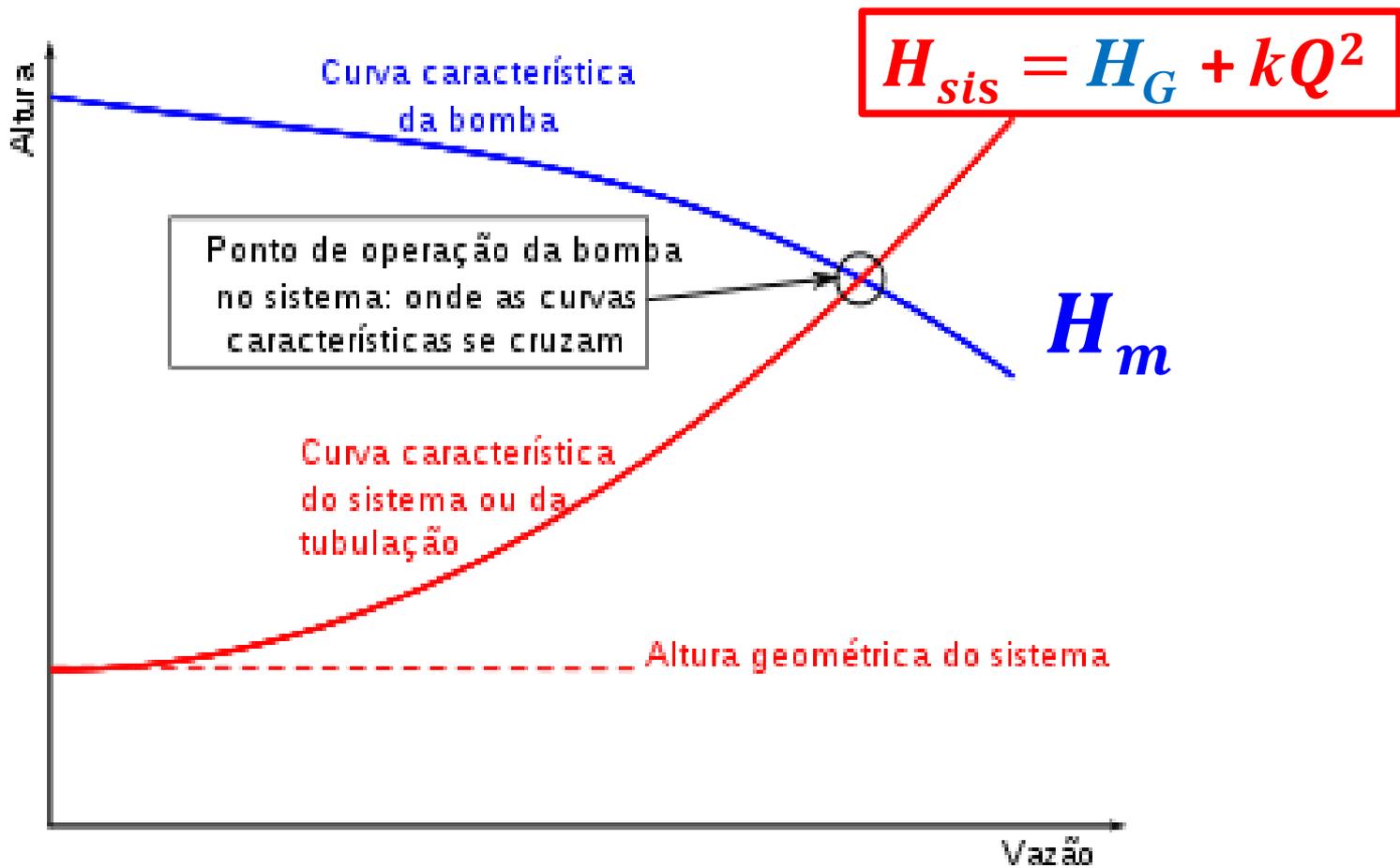
PERDAS = kQ^2

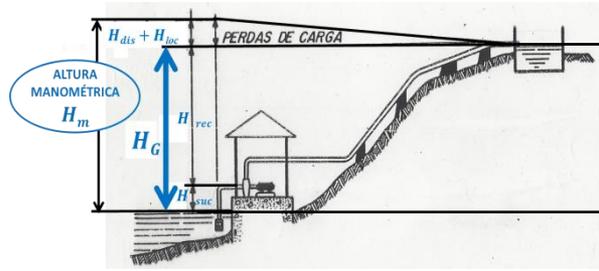
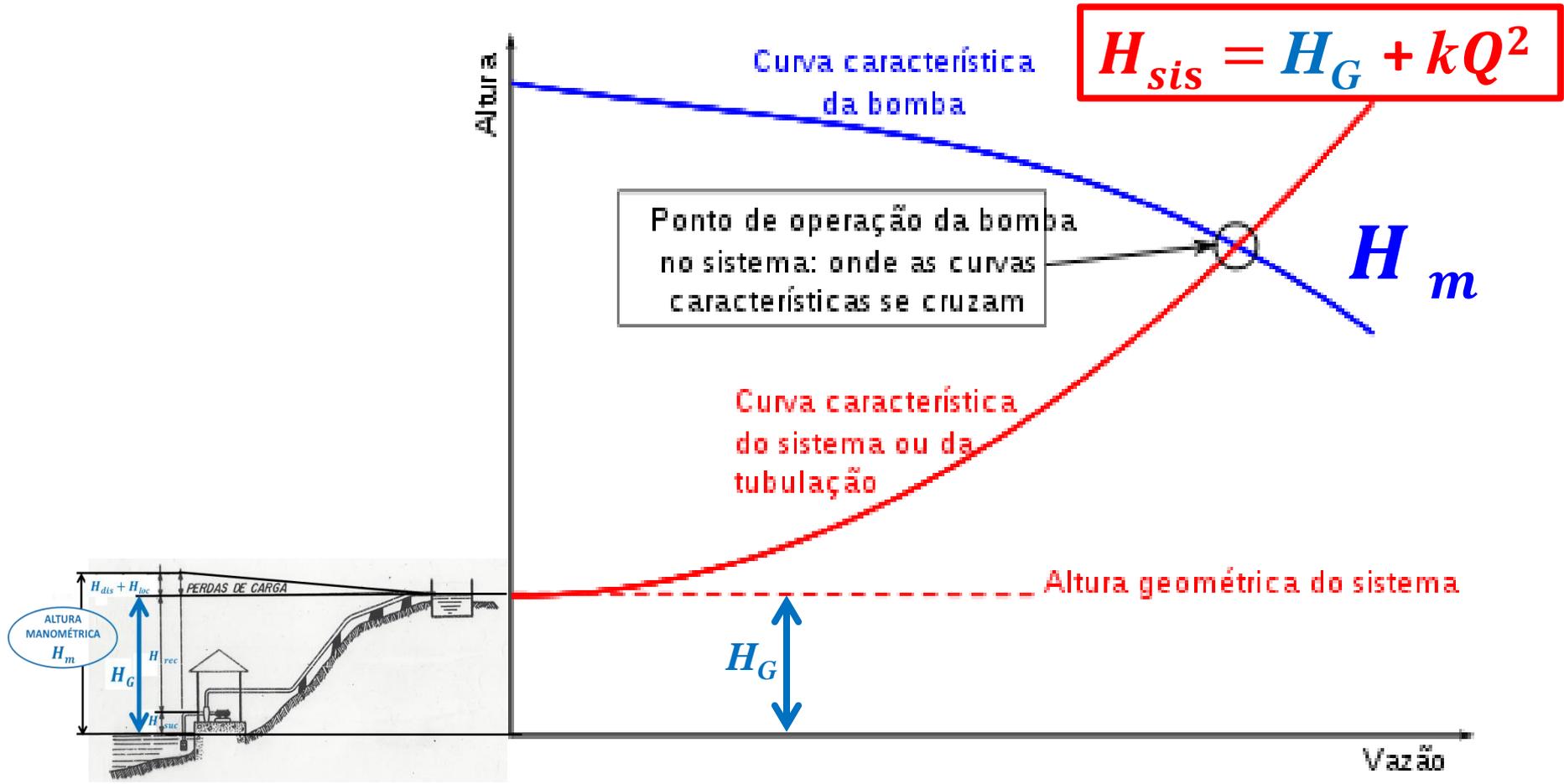
3. Equação da vazão

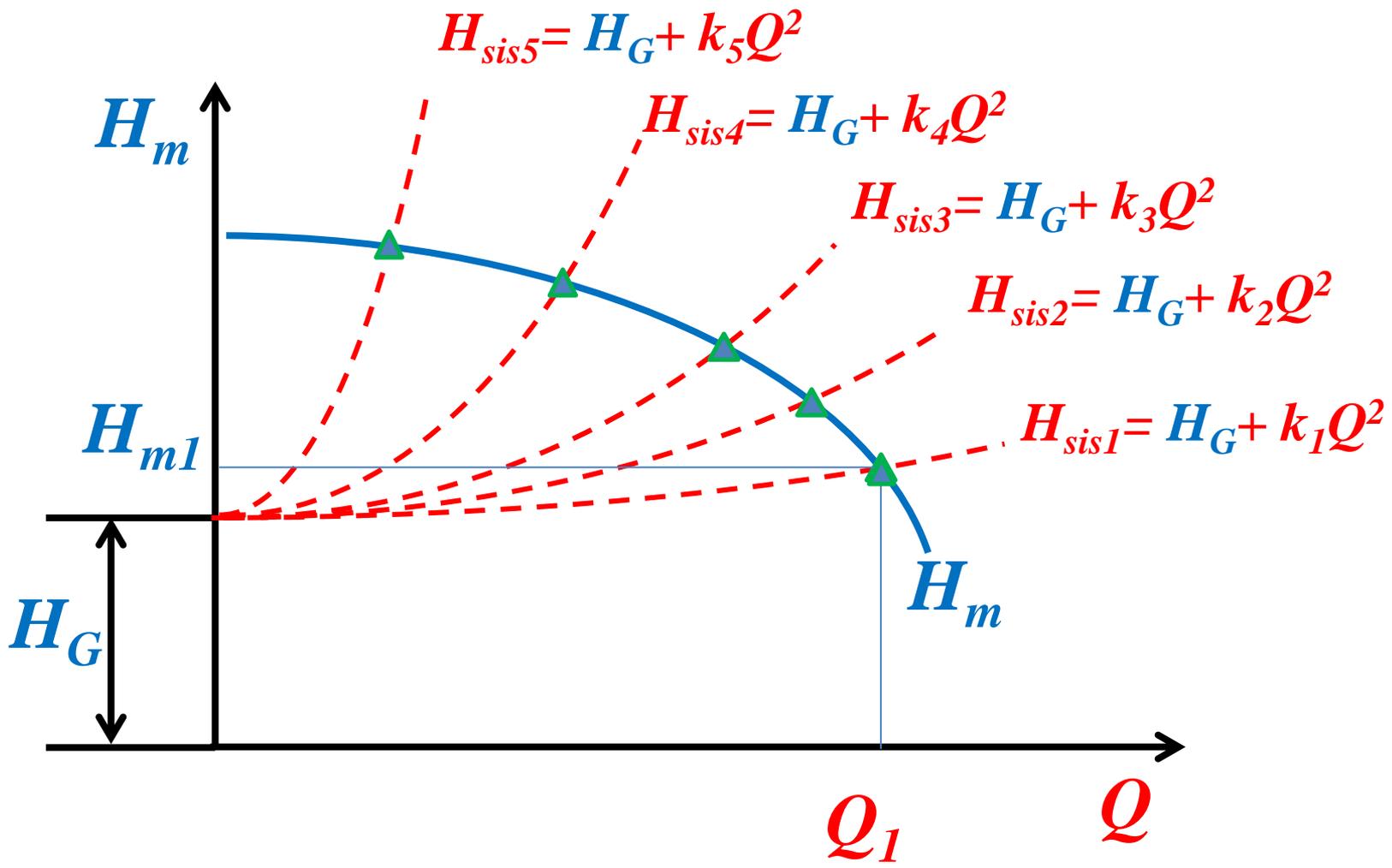
$$Q = v \cdot A \quad V = \frac{Q}{A} \quad v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

Logo:

$$H_{sis} \cong H_G + kQ^2$$







KSB MEGANORM-BLOC

BOMBA CENTRÍFUGA MONOBLOCO

Tecnologia avançada, construção robusta e simplicidade de projeto fazem da bomba KSB Meganorm-Bloc a melhor das opções em bombas monobloco para aplicações industriais, construção civil, ar condicionado, lavoura, irrigação, uso doméstico ou serviços gerais.

Além de compacta a KSB Meganorm-Bloc é ainda "back-pull-out": não há necessidade de desconectar as tubulações de sucção e recalque para executar eventuais serviços de manutenção. Suas vantagens, aliadas à qualidade ISO 9001 da KSB, são acompanhadas de motores elétricos das melhores marcas.

Enfim: uma bomba monobloco de alta confiabilidade e tecnologia incorporada.

APLICAÇÕES

Para uso geral, no bombeamento de água e de líquidos limpos ou turvos, no abastecimento de água na indústria, serviços públicos, lavouras e uso geral. Aplicações especiais sob consulta.

Recomendadas, também, nos serviços de irrigação, drenagem e combate à incêndio, circulação de água de resfriamento e de condensados, em instalações prediais e de ar condicionado.

DESCRIÇÃO GERAL

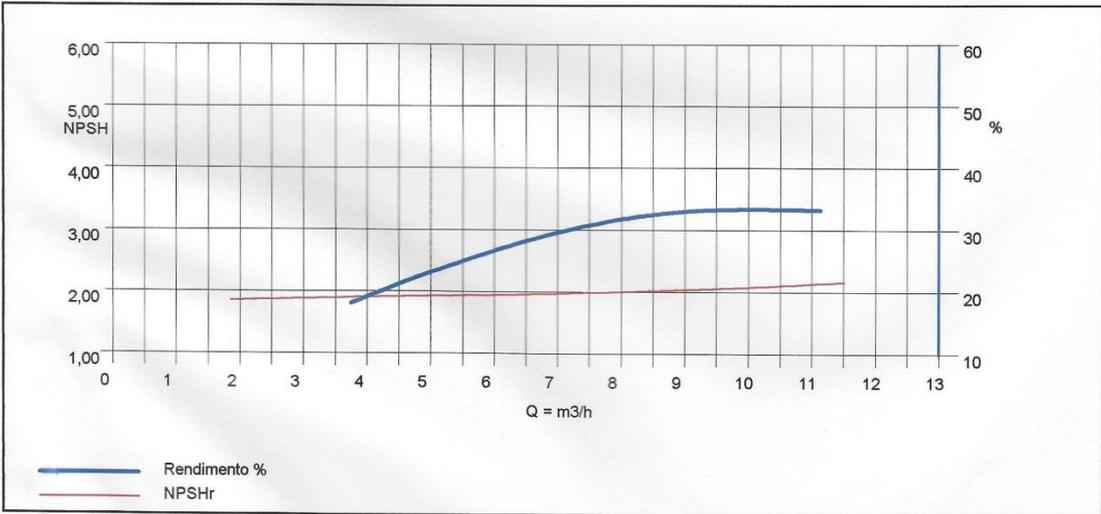
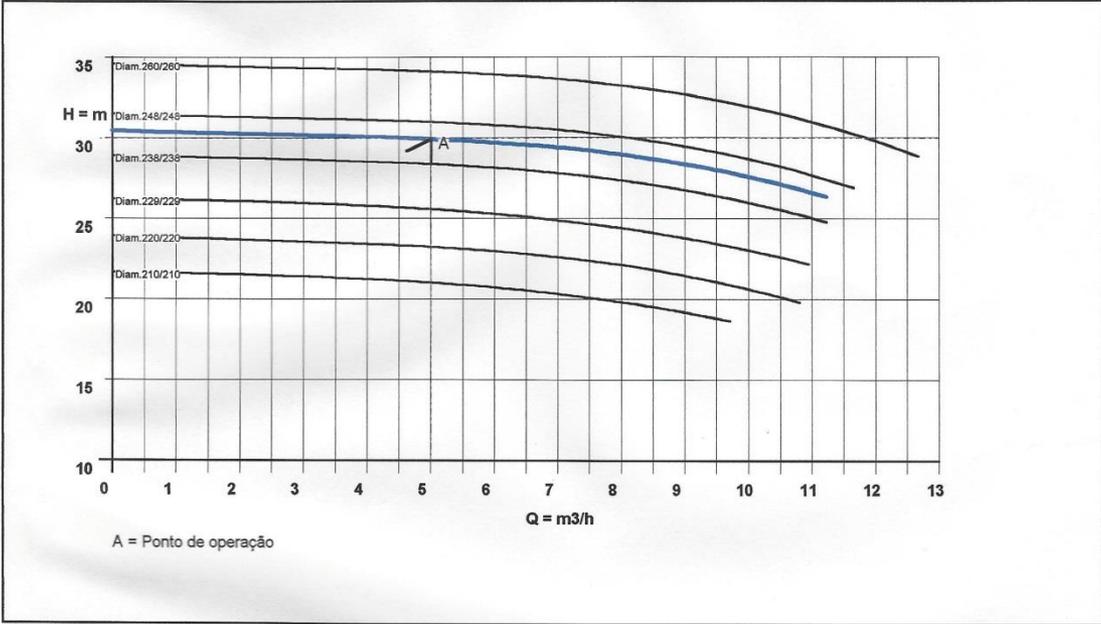
Execução horizontal, simples estágio sucção horizontal e descarga vertical, acoplada ao motor elétrico no sistema monobloco.

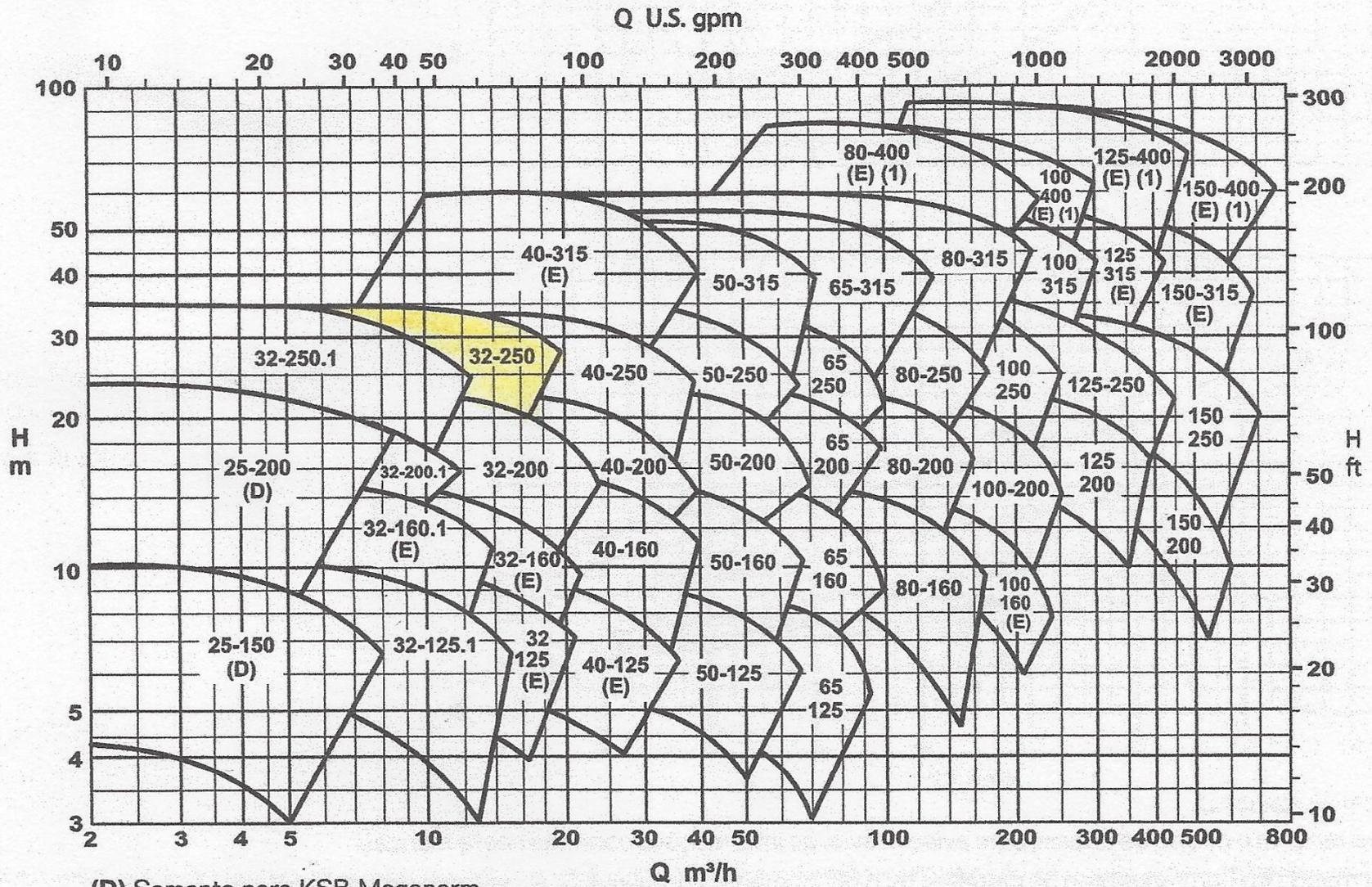
DADOS DE OPERAÇÃO

Tamanhos	: 25 até 150 DN
Vazão	: até 700 m ³ /h
Elevação	: até 130 m
Temperatura	: até 70 °C
Pressão de sucção	: até 3 bar
Rotação	: até 3.500 rpm



N/Ref.:	PROJETISTA	Revisão:	0
Item num.:	1	Tag num.:	
Bomba:	MEGABLOC 32-250.1	Projeto:	
Vazão:	5 m³/h	NPSHR:	1,93
Altura:	30,00 m	Rotação:	1750 rpm
		Diam. Rotor Projeto:	244mm
		Visc.:	1 SSU





(D) Somente para KSB Meganorm.

(E) Somente para KSB Meganorm e KSB Megachem.

(1) Sob consulta para KSB Megachem V.

1.750 rpm

BOMBAS DINÂMICAS OU DE FLUXO

EXPERIÊNCIA Nº 1

LEVANTAMENTO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL (DINAMÔMETRO DE TORÇÃO)

PROF. SÉRGIO ROBERTO CECCATO

ATENÇÃO

**NESTE LABORATÓRIO, SALVO
INDICAÇÃO CONTRÁRIA,
TODAS AS MEDIDAS DAS
PRESSÕES SERÃO FEITAS EM**

PRESSÕES

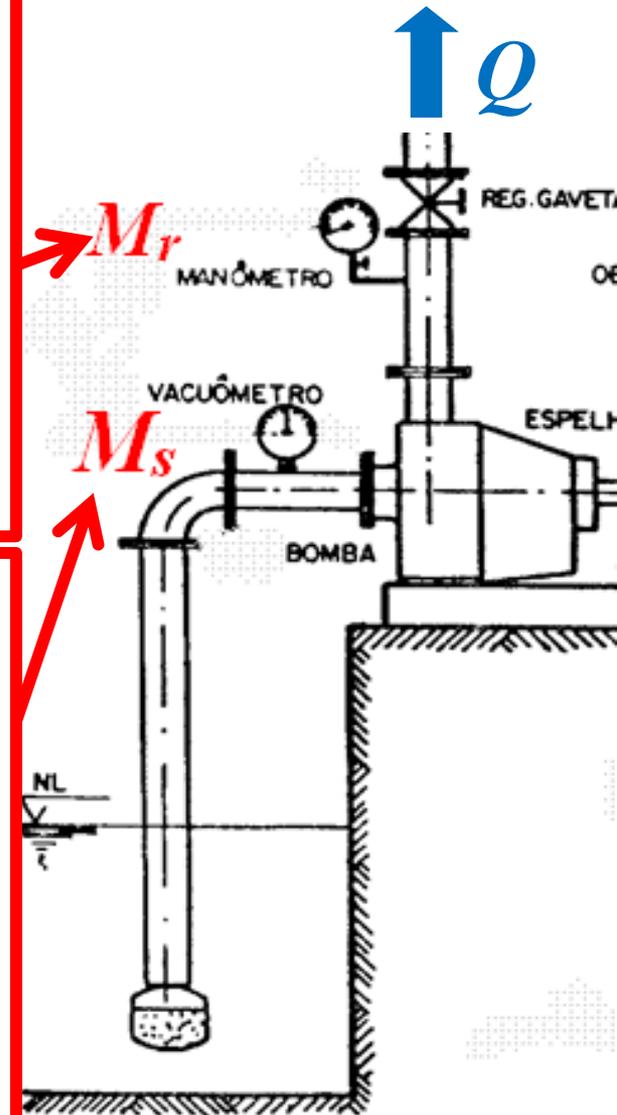
RELATIVAS

ATENÇÃO

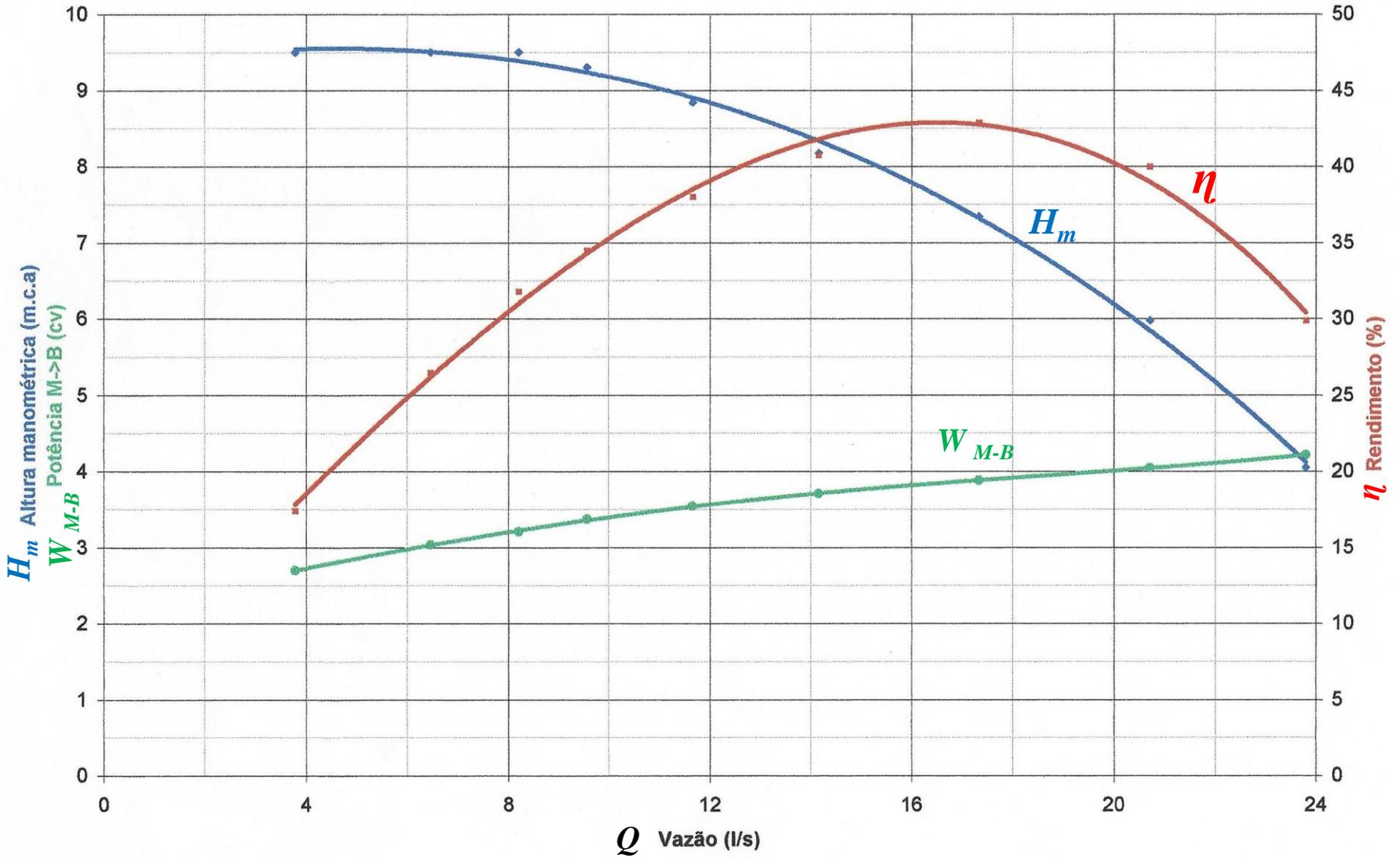
PARA COM A **MONTAGEM** DA INSTALAÇÃO, COMO NO EXEMPLO ABAIXO :-

NESTE CASO, NO **RECALQUE**:
AS PRESSÕES ESTÃO ACIMA DA
PRESSÃO ATMOSFÉRICA LOCAL,
PORTANTO AS PRESSÕES
RELATIVAS SÃO POSITIVAS
(MANÔMETRO NO RECALQUE M_r)

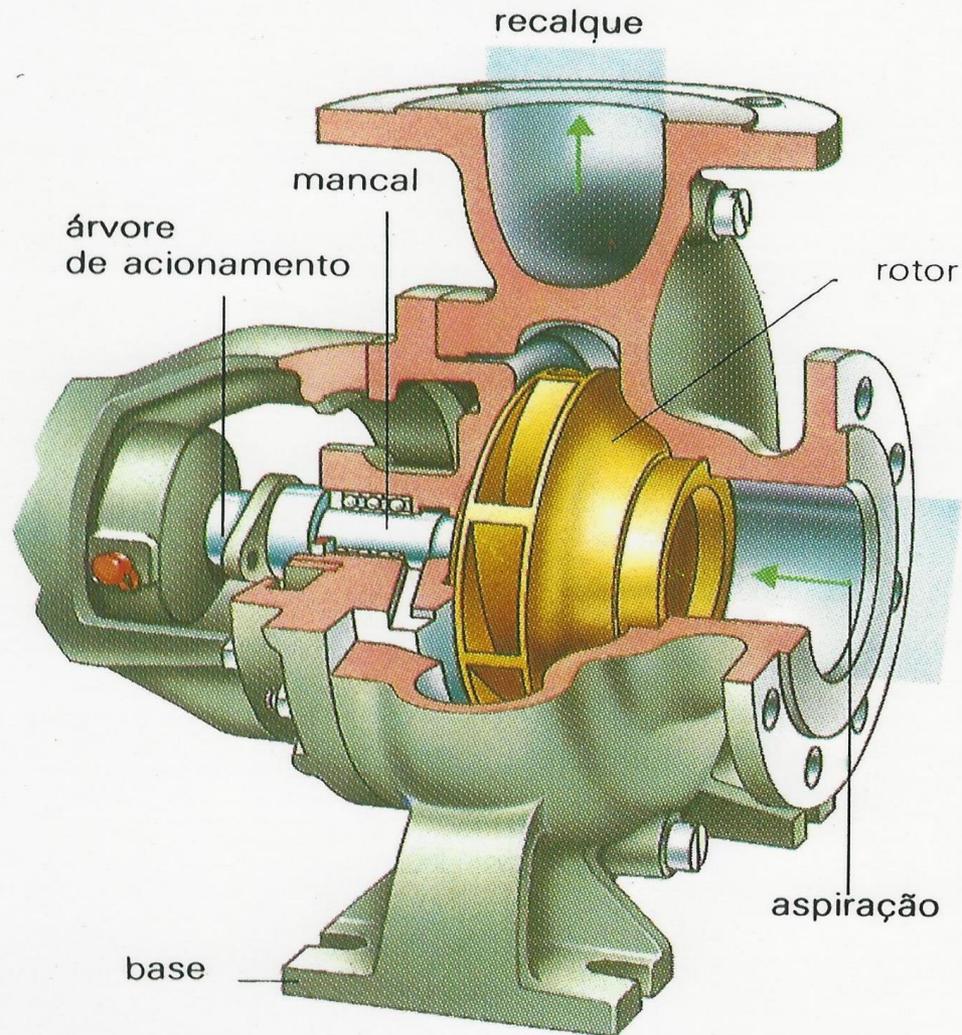
NESTE CASO, NA **SUCÇÃO**:
AS PRESSÕES ESTÃO ABAIXO
DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
LOCAL, PORTANTO AS PRESSÕES
RELATIVAS SÃO NEGATIVAS
(VACUÔMETRO NA SUCÇÃO M_s)



Curvas características da bomba



BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL



Princípio de funcionamento de uma **bomba** centrífuga.

BOMBAS DINÂMICAS OU DE FLUXO

BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL

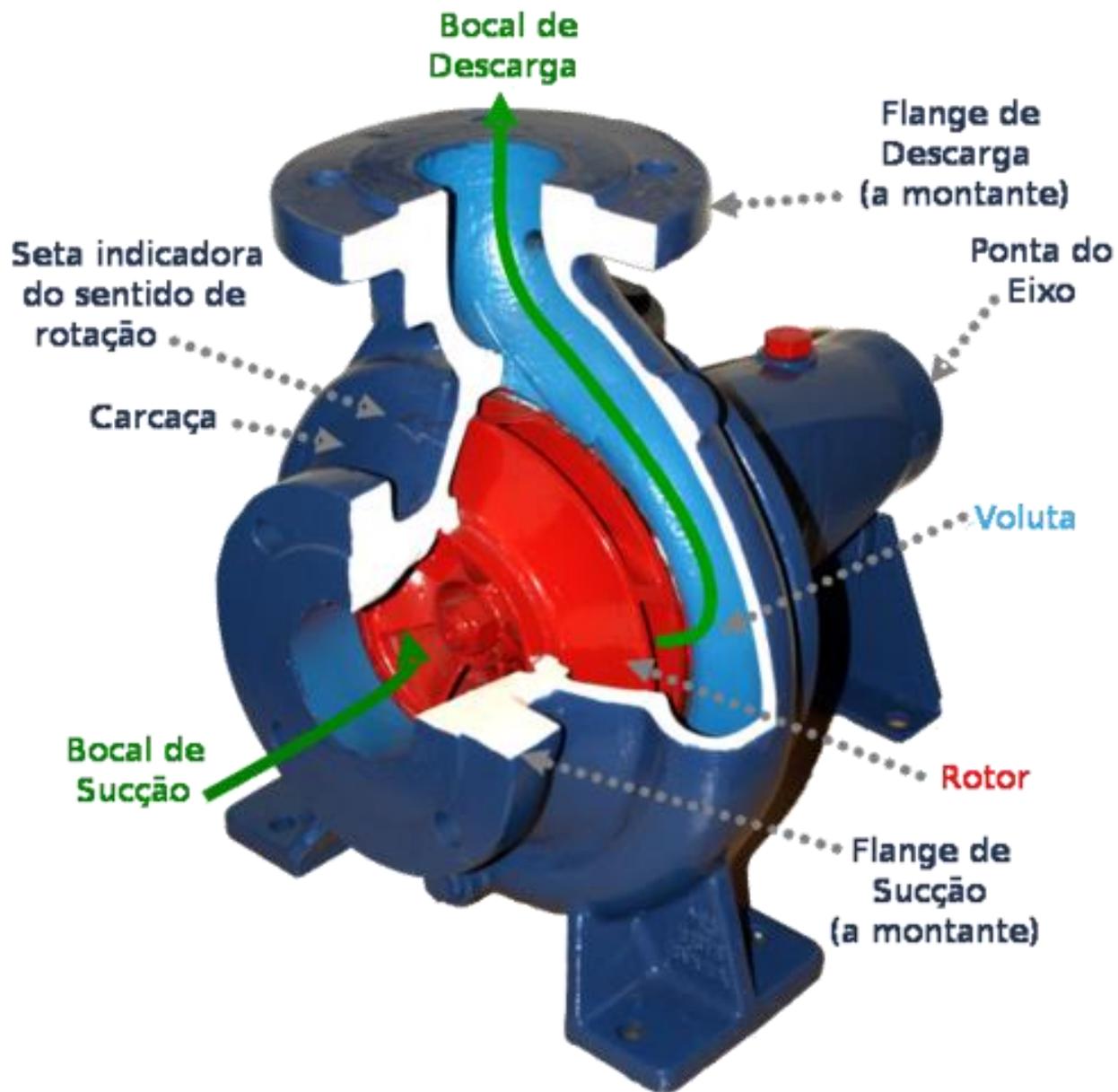


Bombas centrífugas.mp4

<https://www.youtube.com/watch?v=SpKuTfw560U>

BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL





BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL



1. Introdução

O objetivo da presente experiência é o levantamento das curvas características de uma bomba centrífuga radial (Fig. 1.1).

As curvas características de uma bomba centrífuga radial são representadas pelas seguintes grandezas, em função da vazão (Q):

$$H_m = f(Q) \text{ Altura manométrica da bomba}$$

$$W_{M \rightarrow B} = f(Q) \text{ Potência fornecida do Motor para a Bomba}$$

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

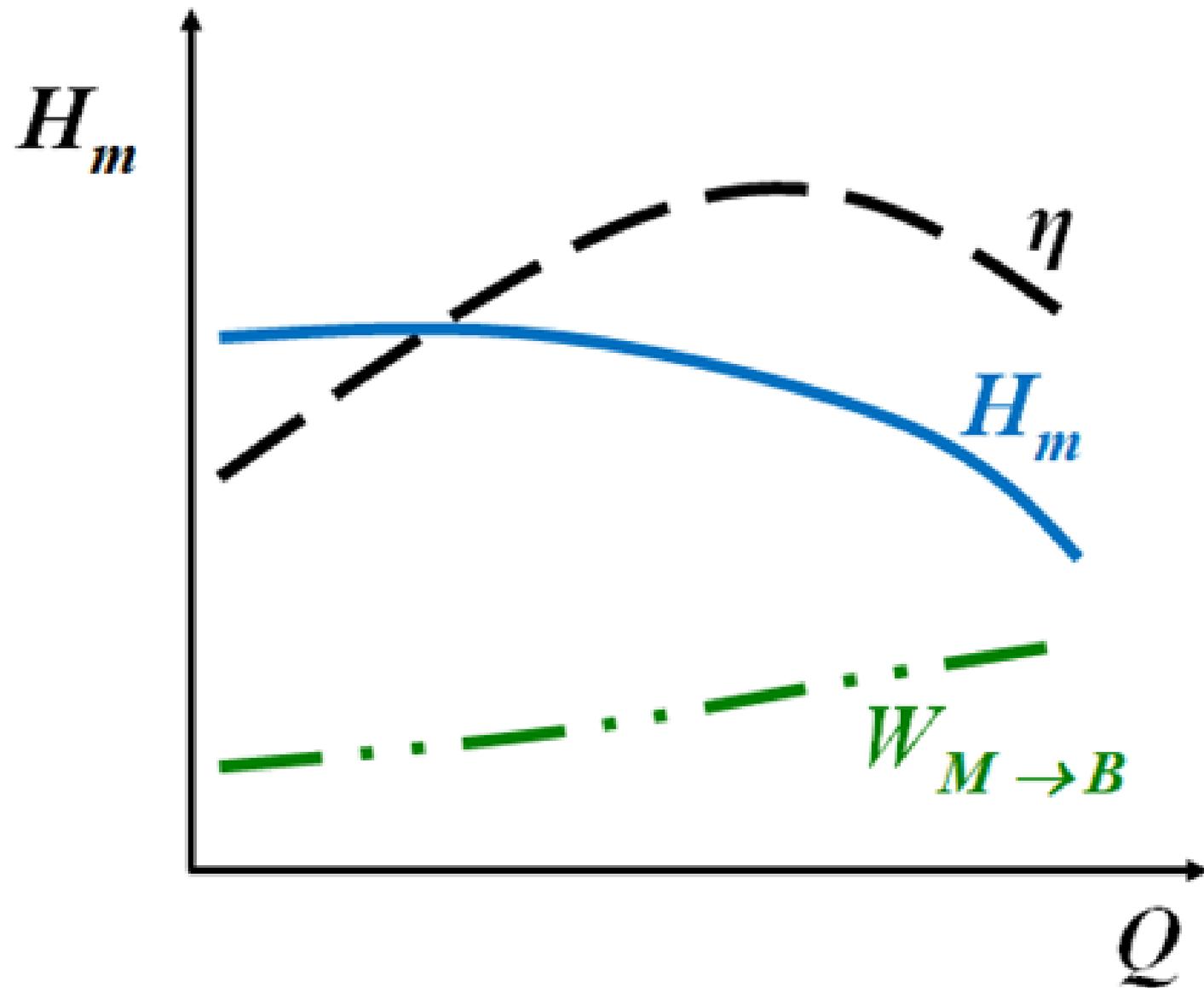
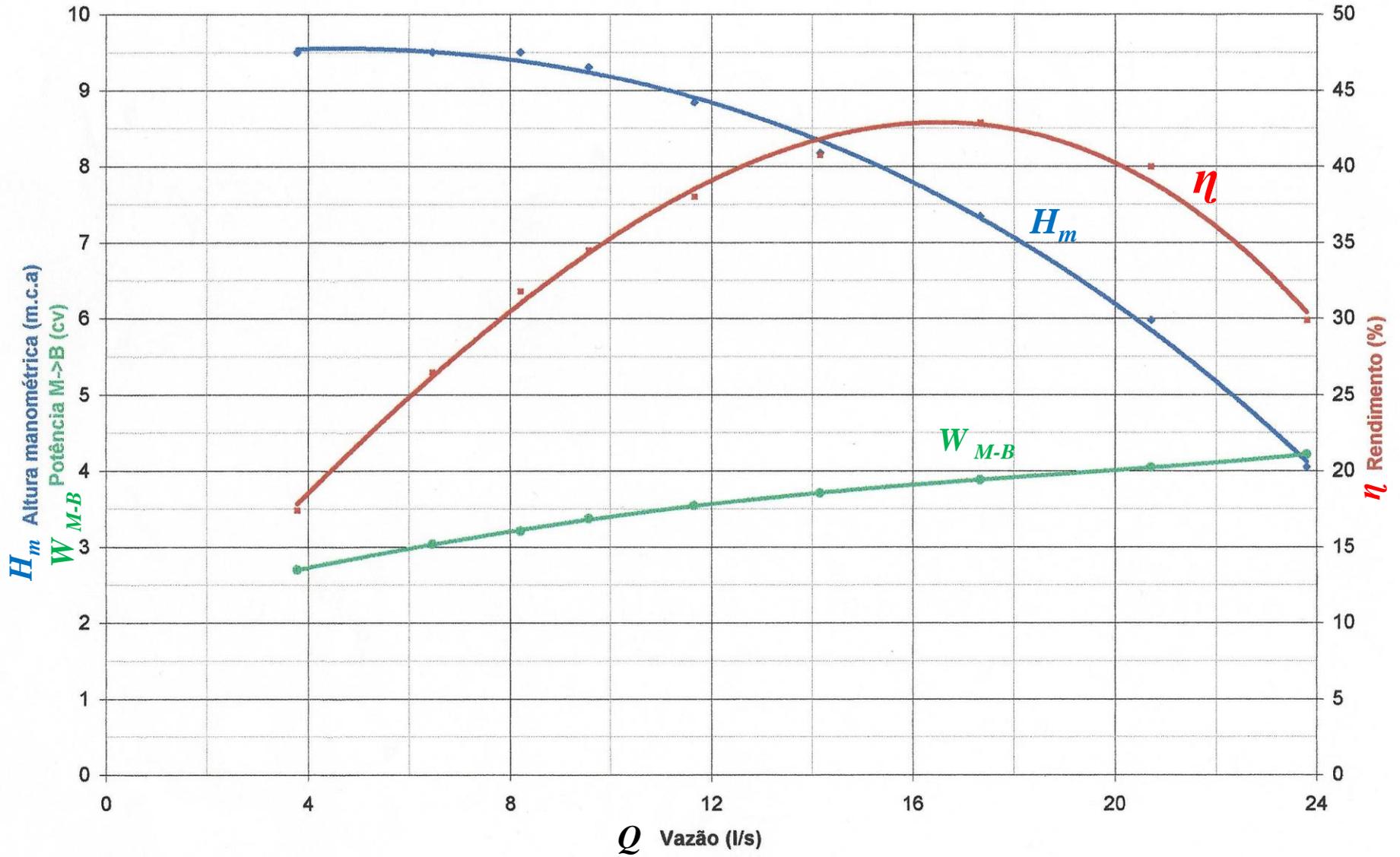
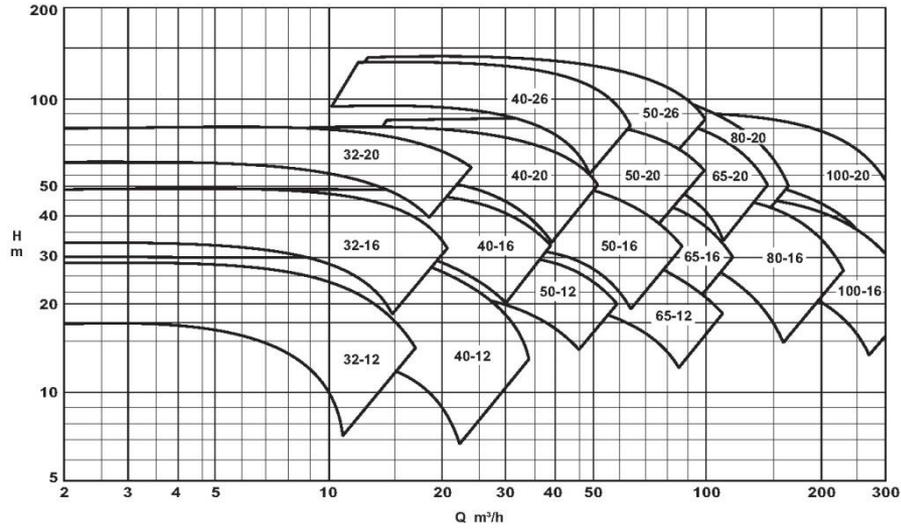


Fig. 1.1 – Curvas características de uma bomba centrífuga radial.

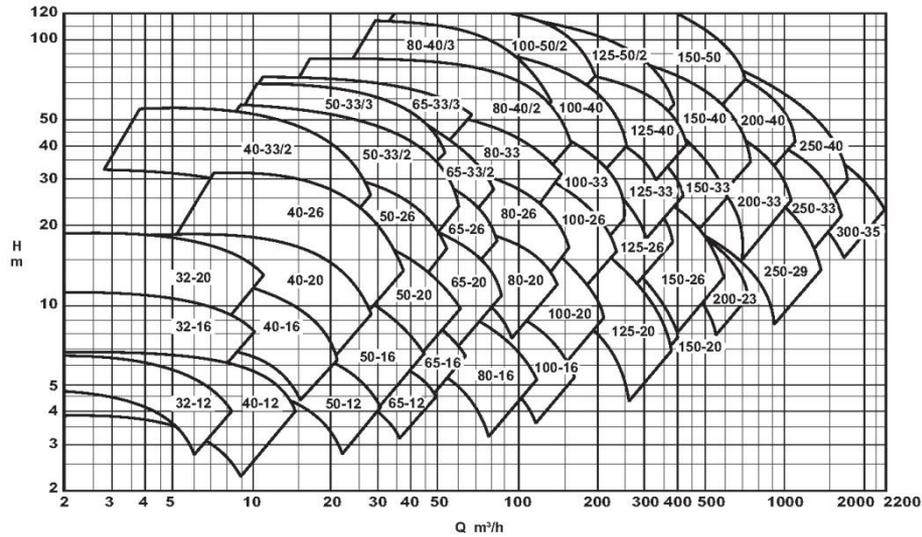
Curvas características da bomba



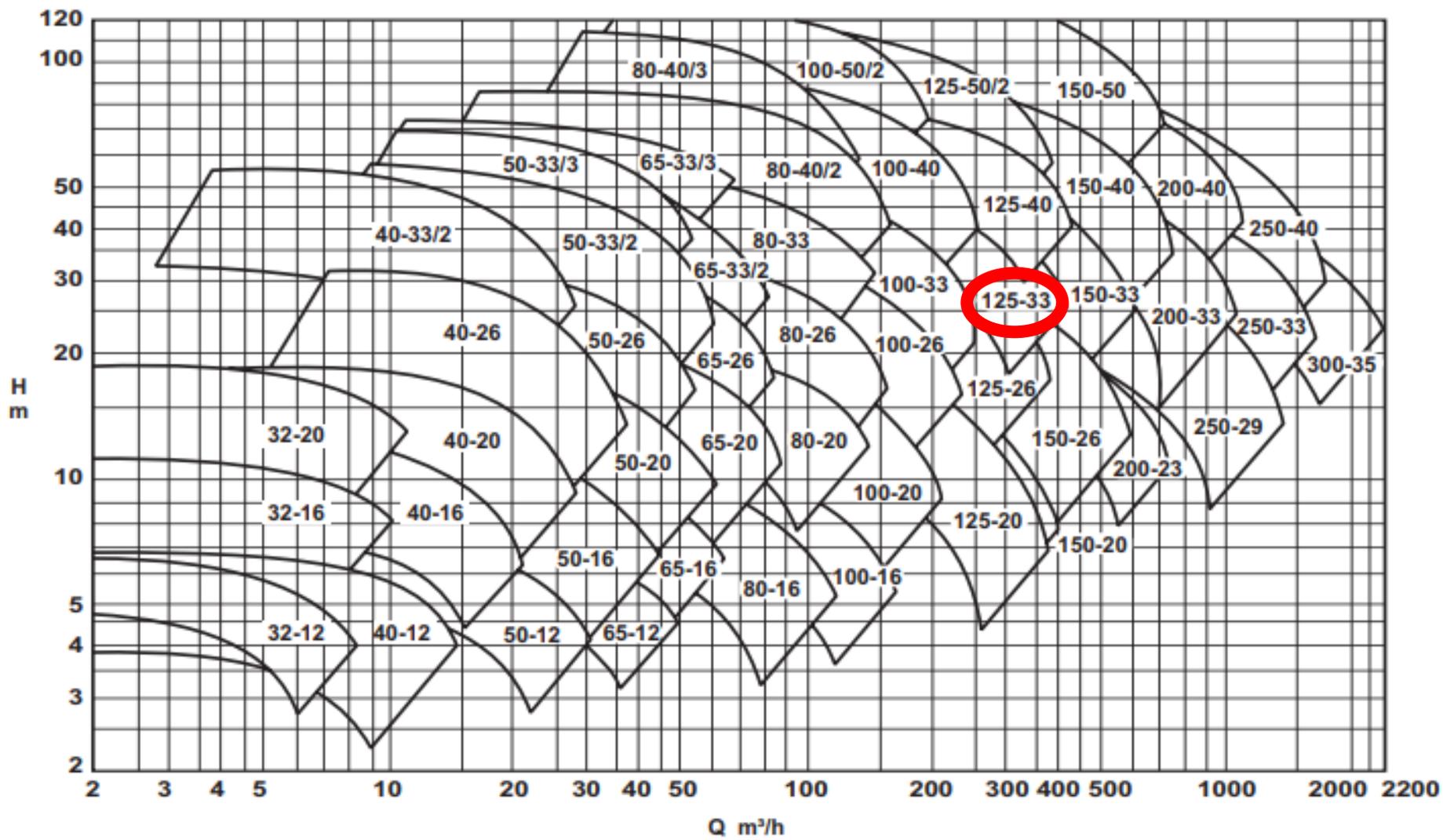
5. Campo de Aplicação - 60 Hz



3.500 rpm



1.750 rpm



1.750 rpm

Bomba Tipo
 Pump Type **KSB ETA**
 Tipo de Bomba

Tamanho
 Size **125-33**
 Tamanho



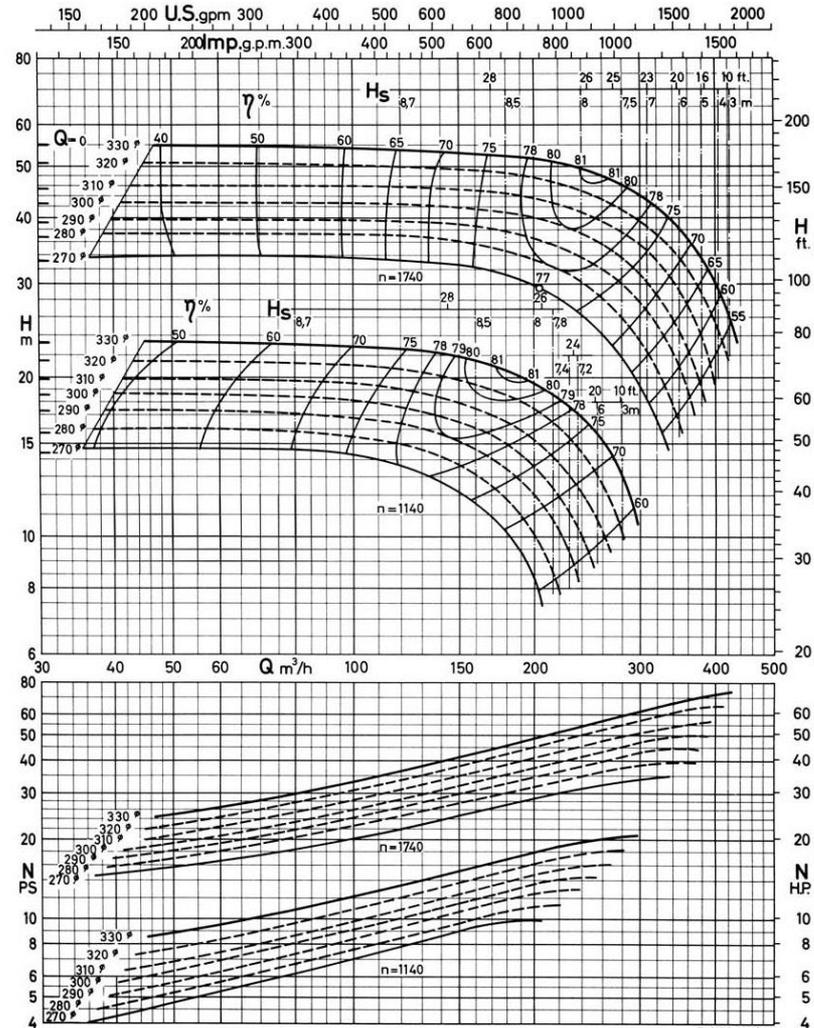
Oferta nº _____
 Project - No. _____
 Oferta - nº _____

Item nº _____
 Item - No. _____
 Pos - nº _____

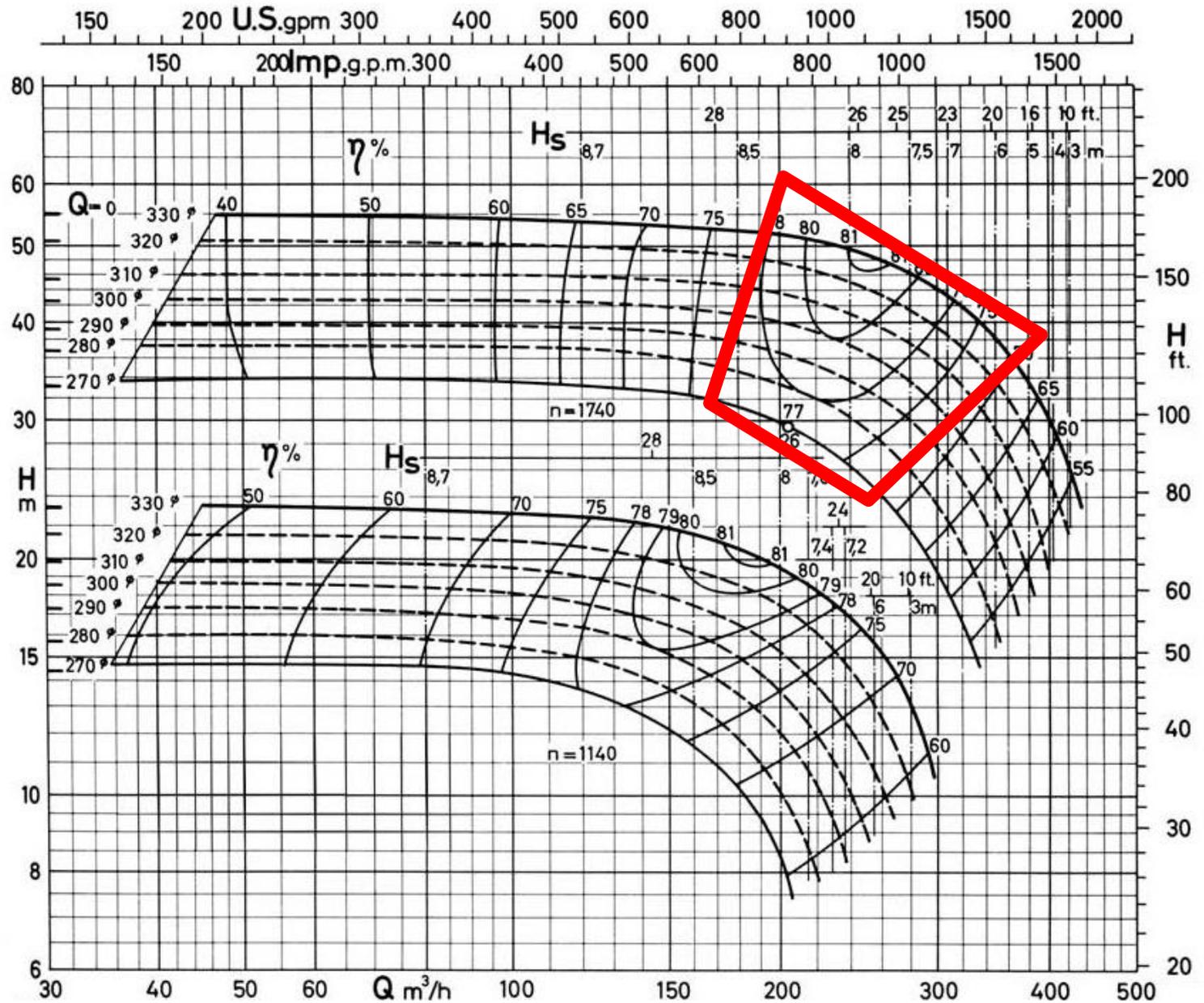
Velocidade Nominal **1740 rpm**
 Nom. Rotative Speed
 Velocidad Nominal **1140 rpm**

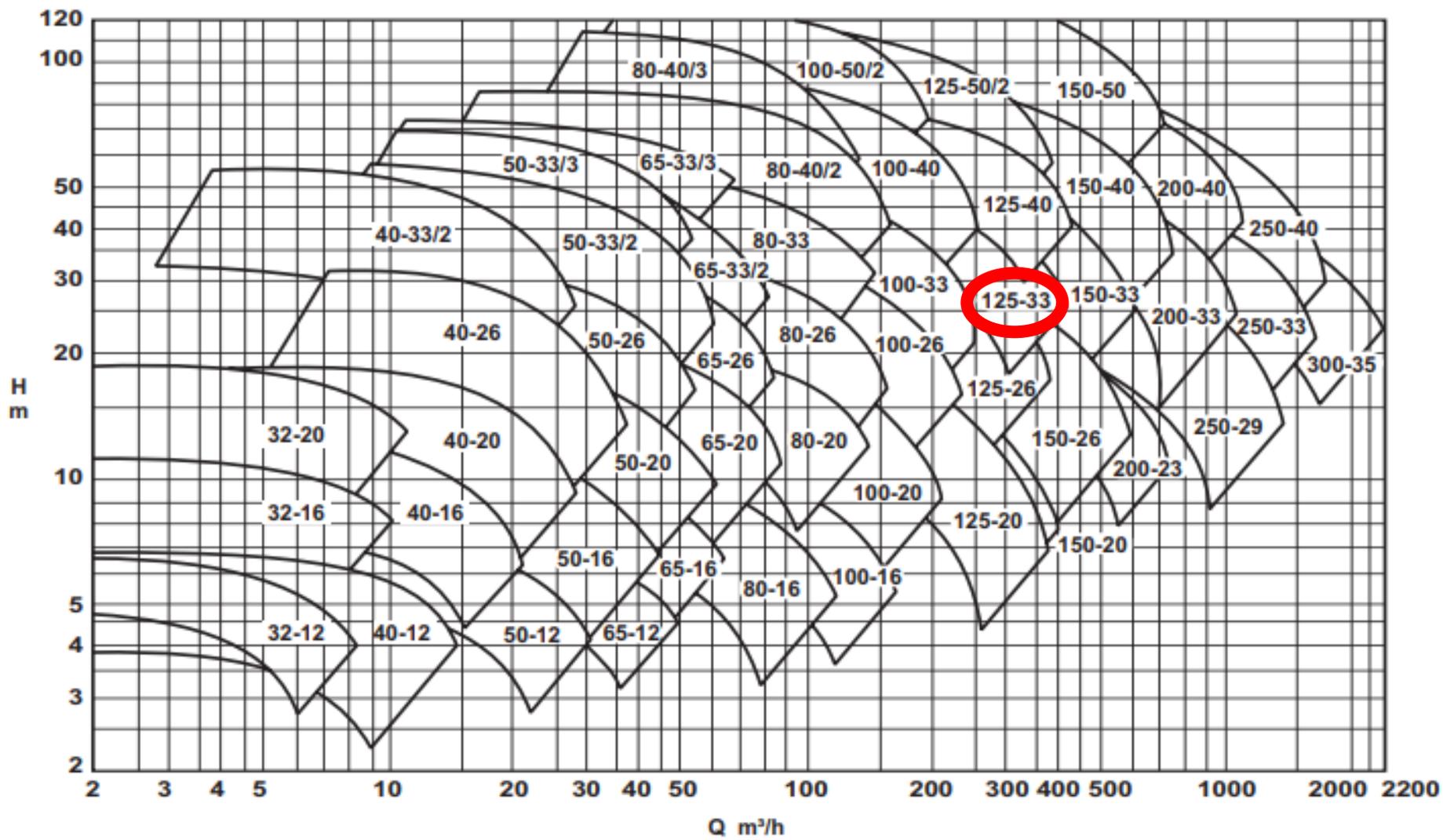
Altura Manométrica
 Head
 Altura Manométrica

Potência Necessária
 Shaft Power
 Potencia Necesaria



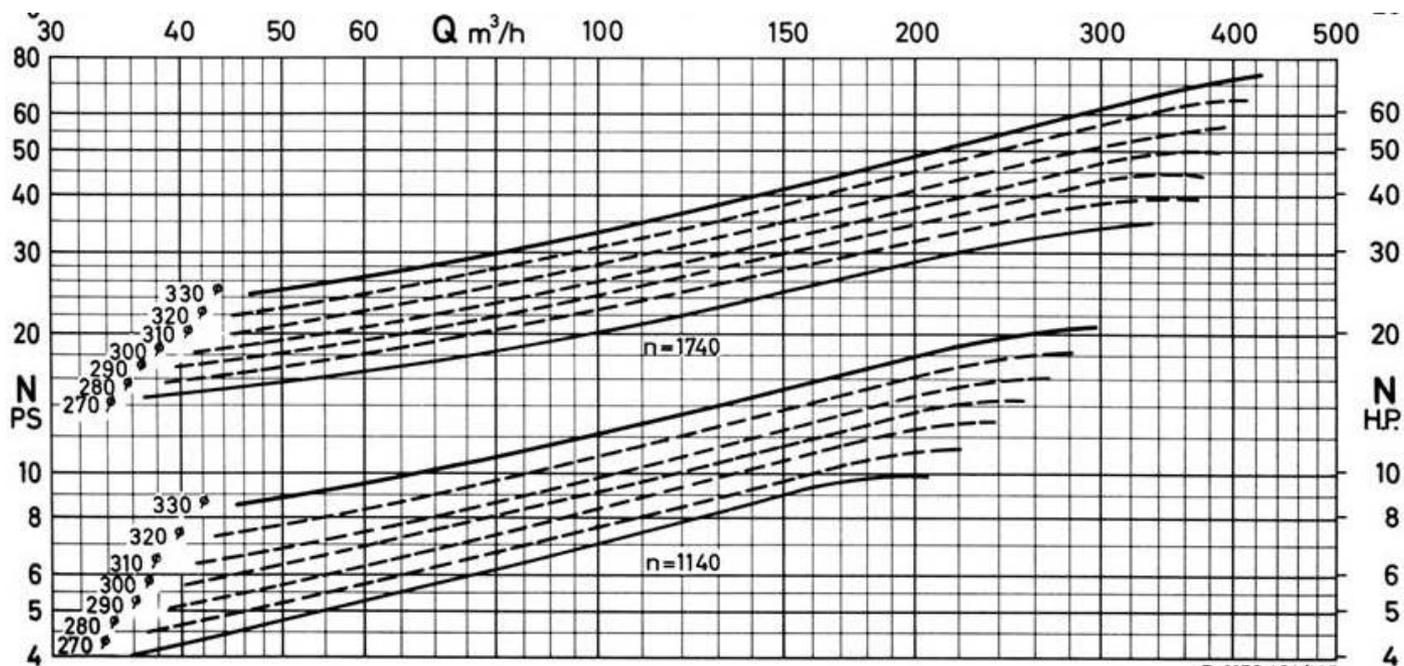
Altura Manométrica
Head
Altura Manométrica





1.750 rpm

Potência Necessária
Shaft Power
Potencia Necesaria



R1150.464/425



N/Ref.: PROJETA

Revisão: 0

Item num.: 1

Tag num.:

Bomba: ETA 125-33

Projeto:

Vazão: 250 m³/h

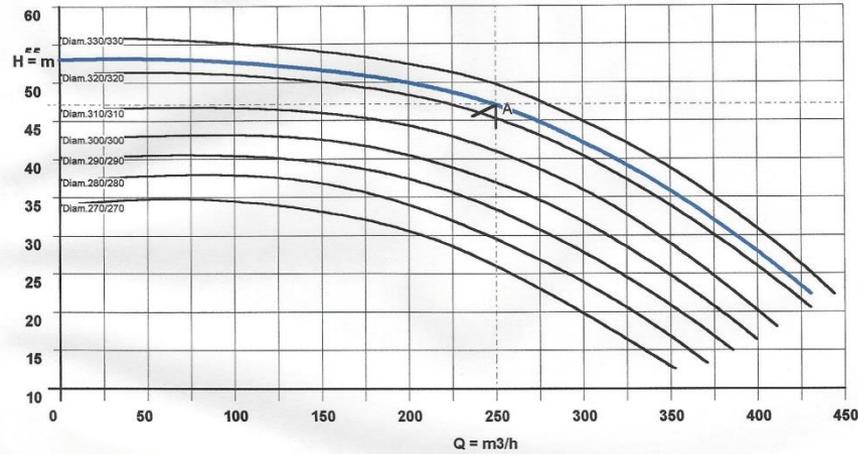
NPSHR: 3,41

Diam.Rotor Projeto: 324mm

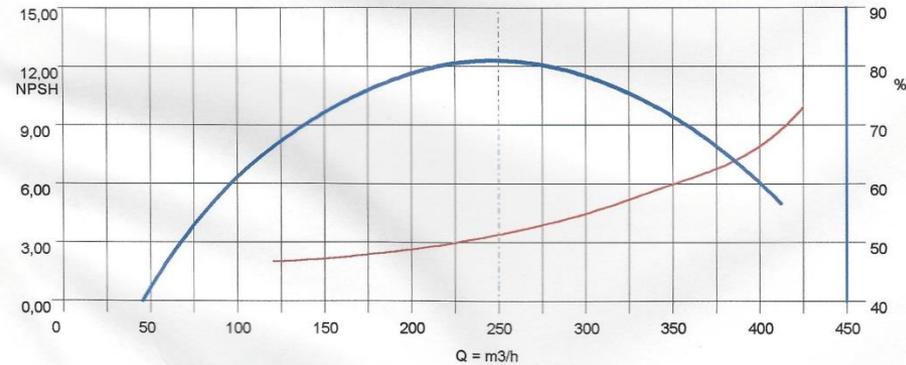
Altura: 47,00 m

Rotação: 1750 rpm

Visc.: 1 SSU

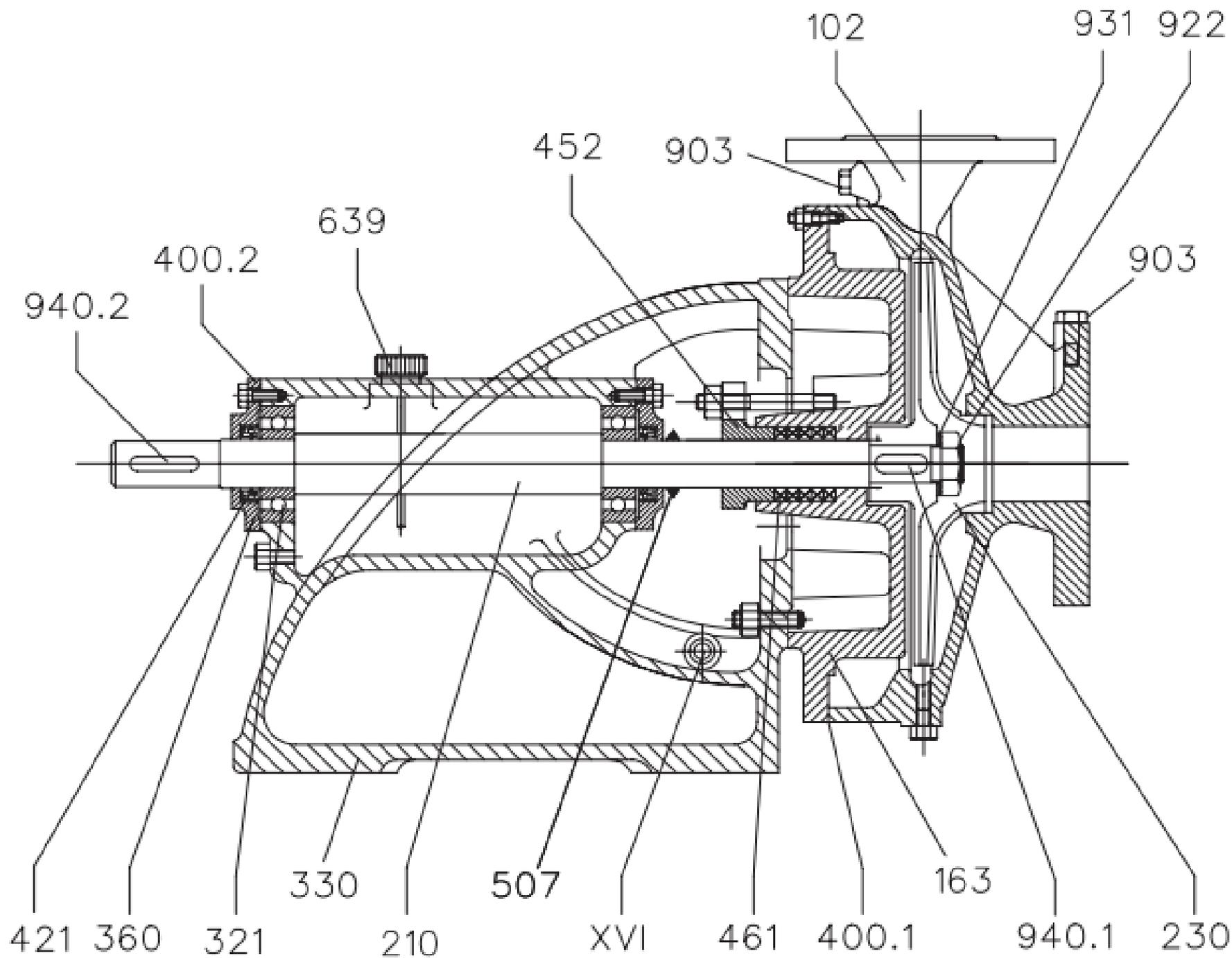


A = Ponto de operação



Rendimento %

NPSHr





2. Resumo teórico

$W_{B \rightarrow F}$ Potência fornecida da **B**omba para o **F**luido

$$\left(\frac{\text{kg}_f}{\text{m}^3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{m} \right) W_{B \rightarrow F} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75} \quad (\text{CV})$$

$W_{M \rightarrow B}$ Potência fornecida do **M**otor para a **B**omba

$$\left(\text{kg}_f \cdot \text{m} \frac{1}{\text{s}} \right) W_{M \rightarrow B} = \frac{M_t \cdot \omega}{75} \quad (\text{CV})$$

Q

Vazão fornecida pela bomba

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{l/s})$$

η Rendimento da bomba

$$\eta = \frac{W_{B \rightarrow F}}{W_{M \rightarrow B}} \quad (\%)$$

H_m Altura manométrica fornecida pela bomba

$$H_m = M_r + M_s + \Delta h \quad (\text{m})$$

NOTA : Ver mais adiante, no item “8. Apêndice”, a obtenção da equação acima com a aplicação da Equação da Energia, com o volume de controle desde imediatamente à entrada (Sucção) da bomba até imediatamente à saída (Recalque) da bomba, aonde se obtém, para a geometria da instalação do laboratório, os valores de H_m , ponto a ponto, através da soma, em valores absolutos, das grandezas $M_r + M_s + \Delta h$.

n Rotação do motor em rpm (rpm)

ω Rotação do motor em rd/s

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (\text{rad/s})$$

Por definição:

$$1 \text{ cv} = 75 \text{ kgf} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ PS (Pferdestärke)}$$

$$1 \text{ kgf} = 9,806 \text{ N}$$

$$1 \text{ cv} = 75 \cdot 9,806 \text{ N} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ cv} = 736 \text{ W}$$

$$(1 \text{ HP} = 746 \text{ W})$$

Onde:

γ = Peso específico da água; (kgf/m³)

V = Volume preenchido do reservatório; (m³)

t = Tempo de enchimento do reservatório; (s)

M_s = Leitura do manômetro da sucção; (m)

M_r = Leitura do manômetro de recalque; (m)

Δh = Diferença de cota entre os manômetros; (m)

n = Rotação do motor em rpm; (rpm)

ω = Rotação do motor rd/s; (rd/s)

M_t = Momento de torção entre motor e bomba. (kgf·m)

M_t = Momento de torção entre motor e bomba. (kgf·m)

O momento de torção aplicado à bomba, (M_t), é determinado usando-se um dinamômetro de torção, do tipo com barra de seção transversal circular.

Da resistência dos materiais sabemos que o momento de torção é proporcional e linear com o ângulo de torção (ver Anexo 6.3) pela seguinte relação:

$$M_t = G \cdot \varphi \cdot I_P \quad (\text{kgf}\cdot\text{m})$$

$$M_t = G \cdot \varphi \cdot I_P \quad (\text{kgf}\cdot\text{m})$$

Sendo:

G = módulo de elasticidade transversal (característica do material da barra);

φ = ângulo de torção por unidade de comprimento (característica da deformação angular da barra, por unidade de comprimento da barra);

I_P = momento polar de inércia (característica da seção transversal da barra).

Em cada extremidade do dinamômetro estão fixados discos graduados, pelos quais podemos ler, no espelho instalado, um ângulo de torção ($\Delta\theta$) da barra. Sabendo as características da mesma podemos calcular o valor de (M_t), ou simplesmente obter este valor do gráfico do Anexo 6.3.

Usaremos, nesta experiência, o gráfico de calibração, fornecido no Anexo 6.3, para a barra usada. No presente caso a barra que será usada tem como limite máximo o valor de 5 kgf.m de torção no regime elástico.

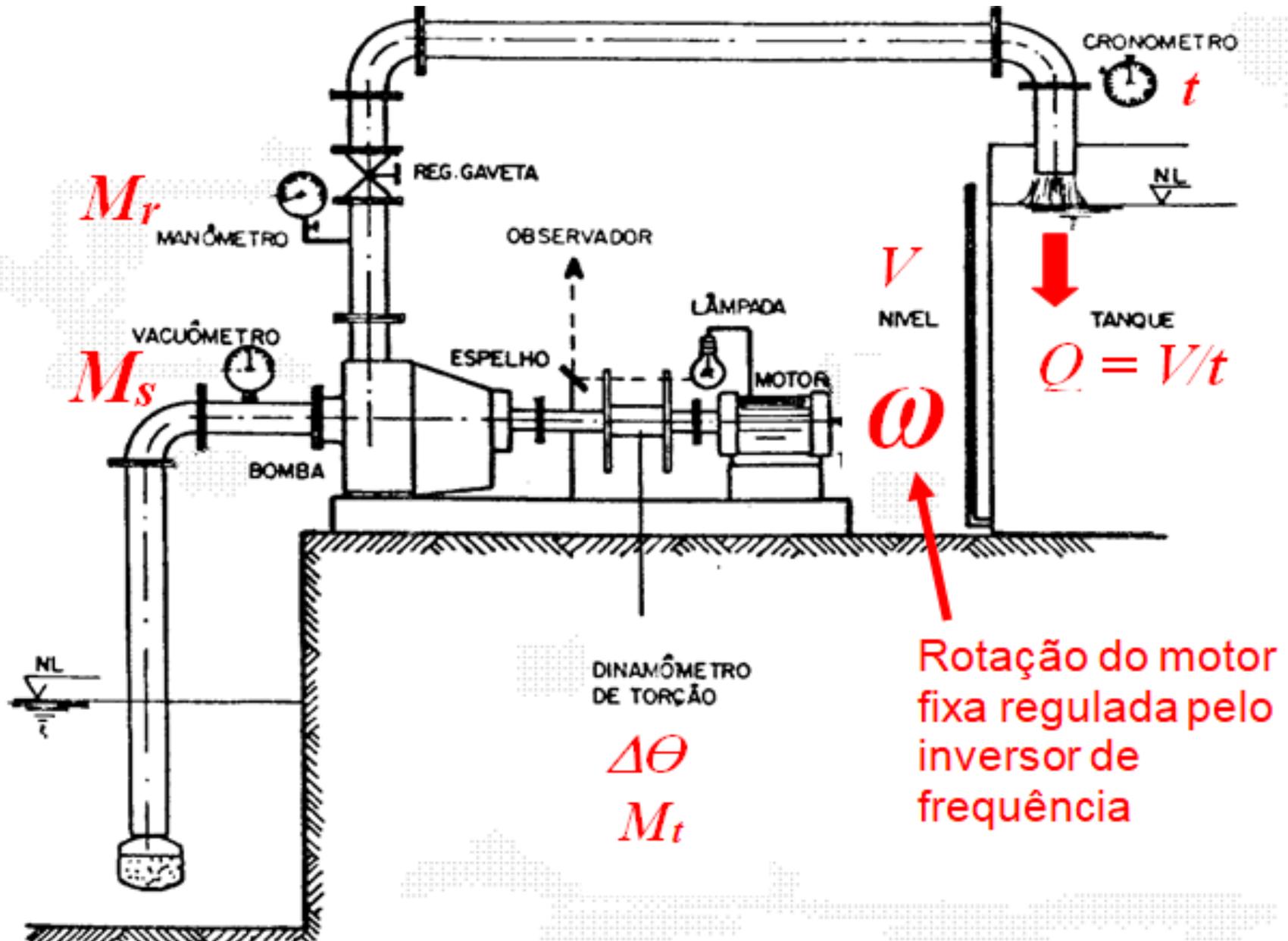
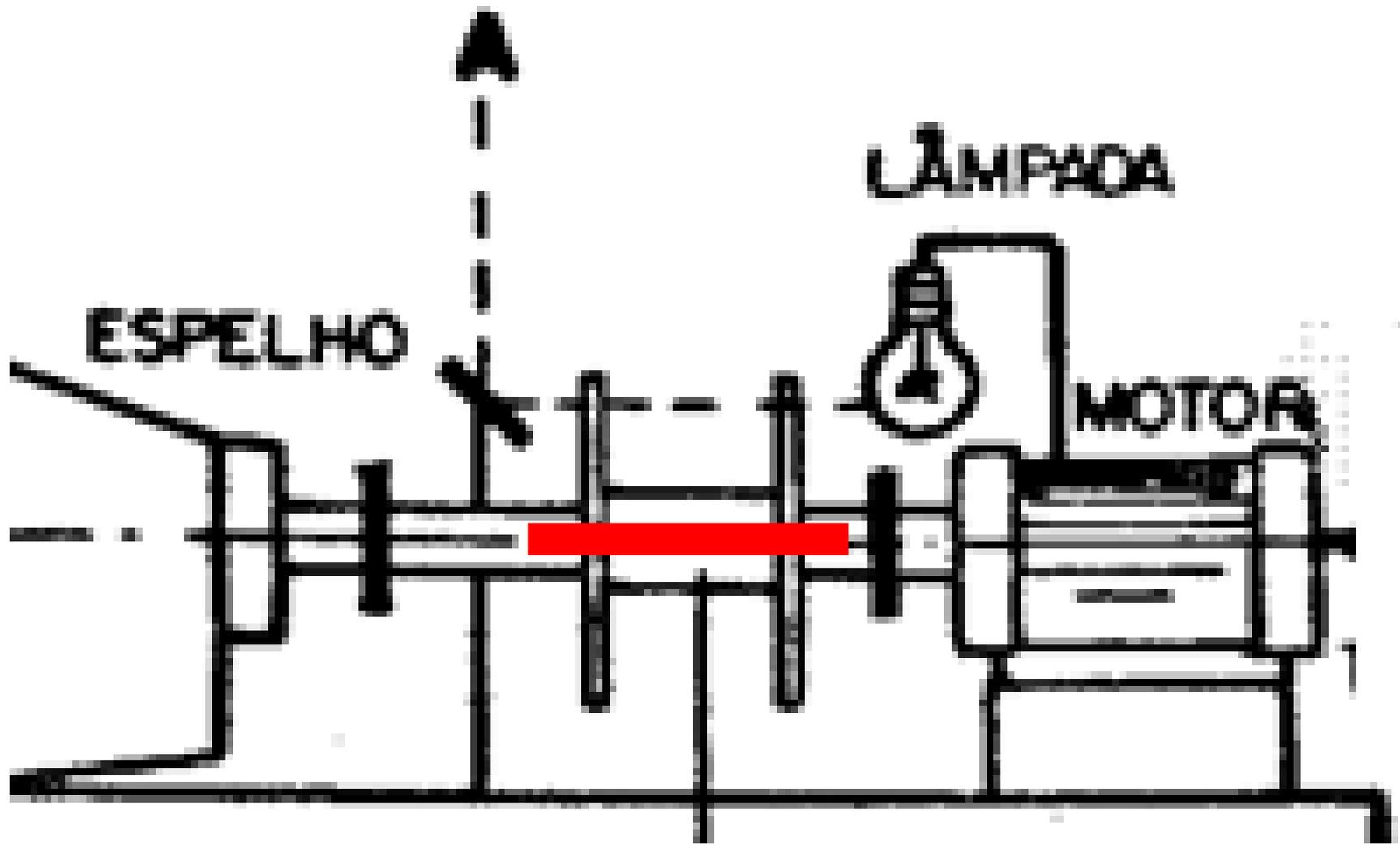
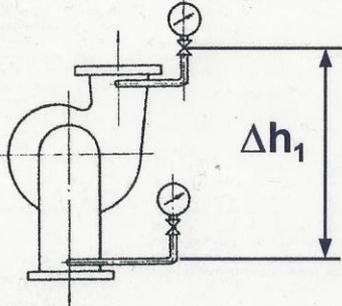
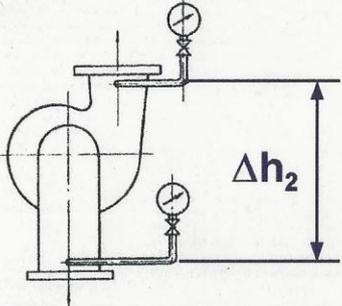
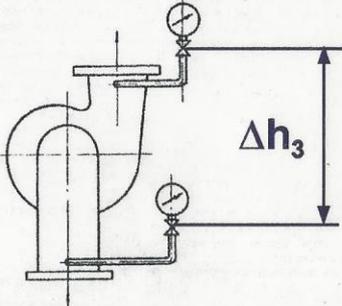
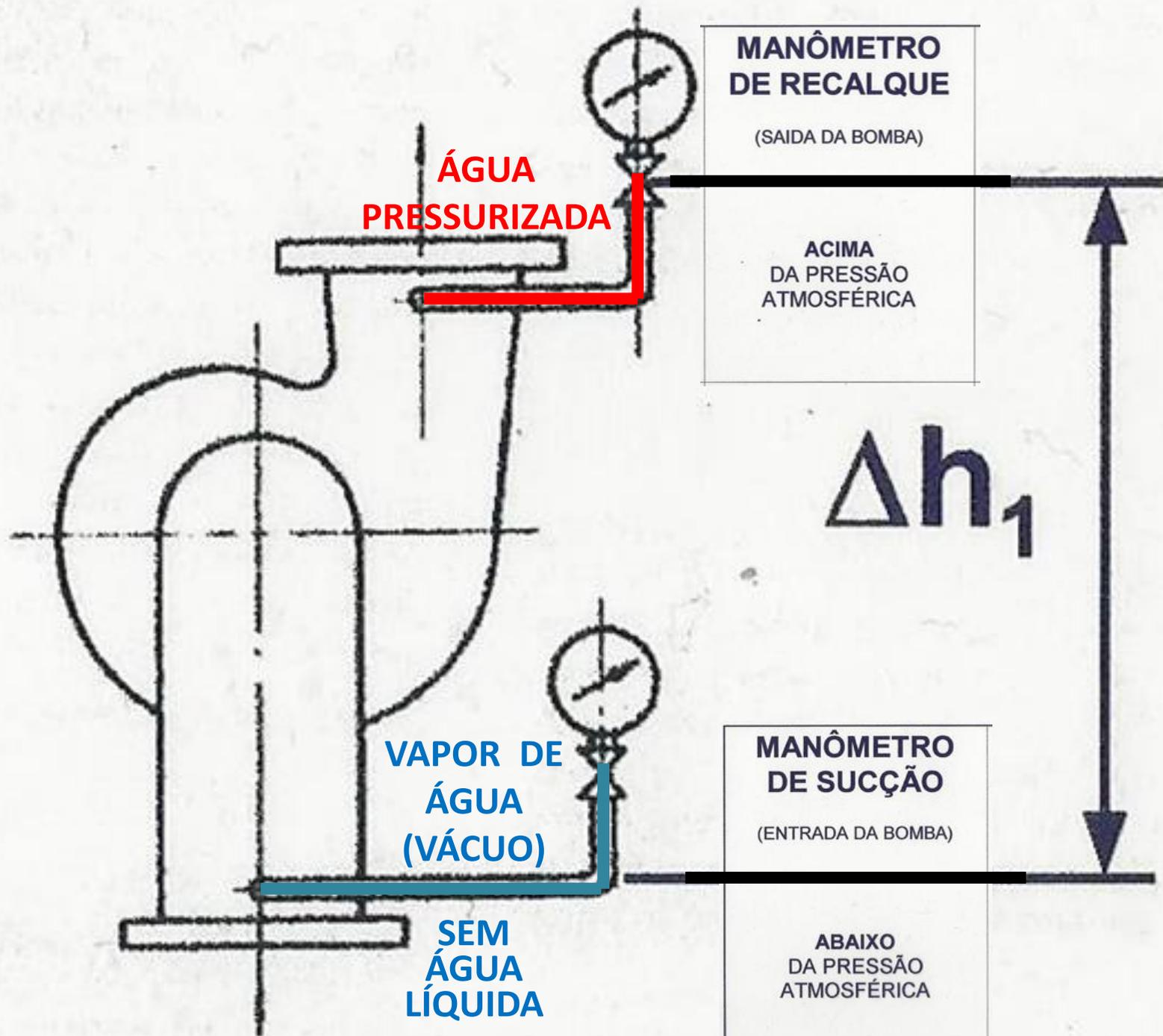


Fig. 3.1 – Esquema da instalação.

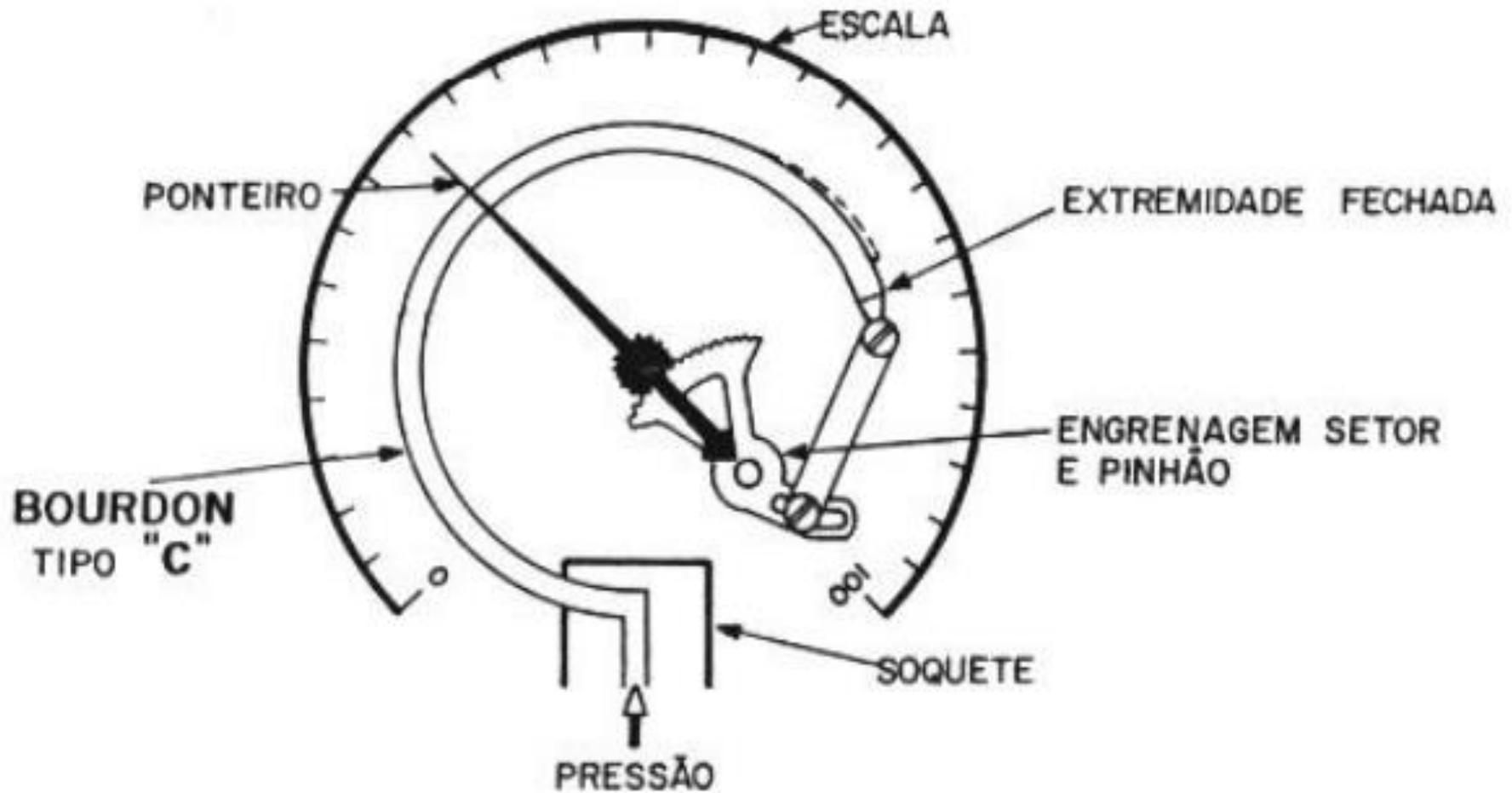
OBSEVADOR



MANÔMETRO DE SUCÇÃO (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	



Medição da pressão



(a)



(b)

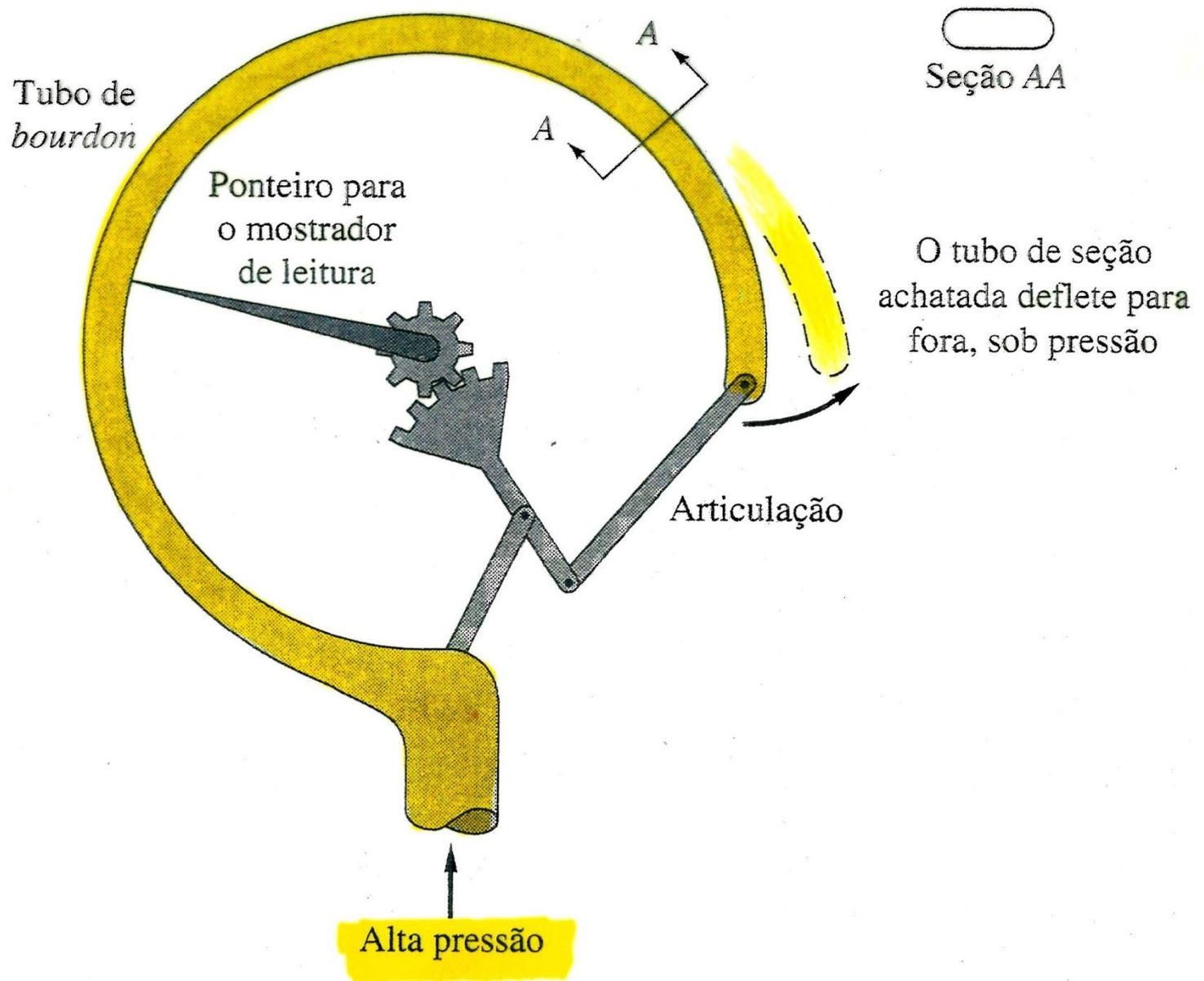
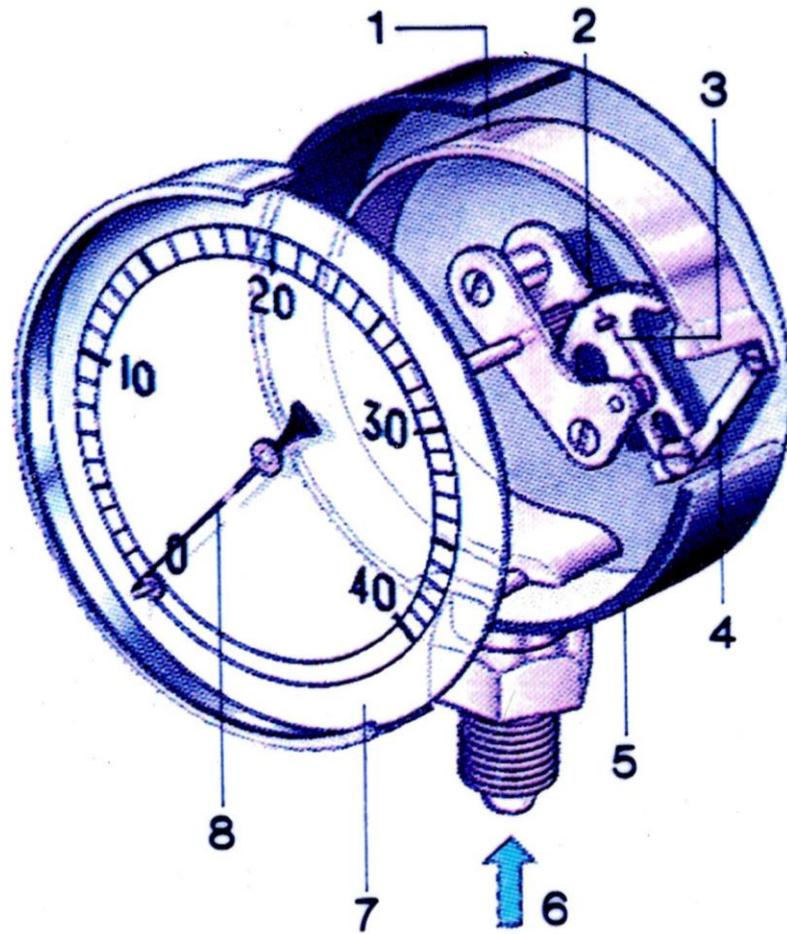
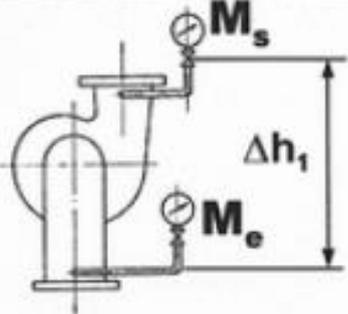
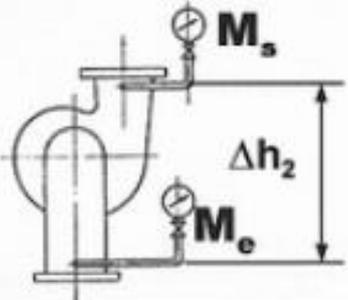
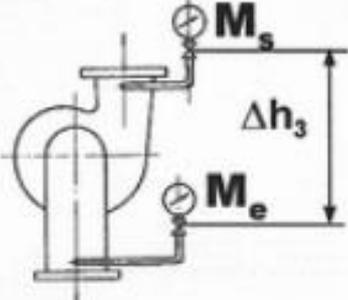


Fig. 2.26 Esquema de um dispositivo com tubo de *bourdon* para medições de altas pressões.



manômetro metálico:

1. Tubo metálico chato de forma circular;
2. Setor dentado;
3. Mola;
4. Alavanca regulável;
5. Caixa;
6. Fluido sob pressão;
7. Mostrador;
8. Ponteiro.

MANÔMETRO DE ENTRADA (ASPIRAÇÃO) M_e	MANÔMETRO DE SAÍDA (RECALQUE) M_s	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	

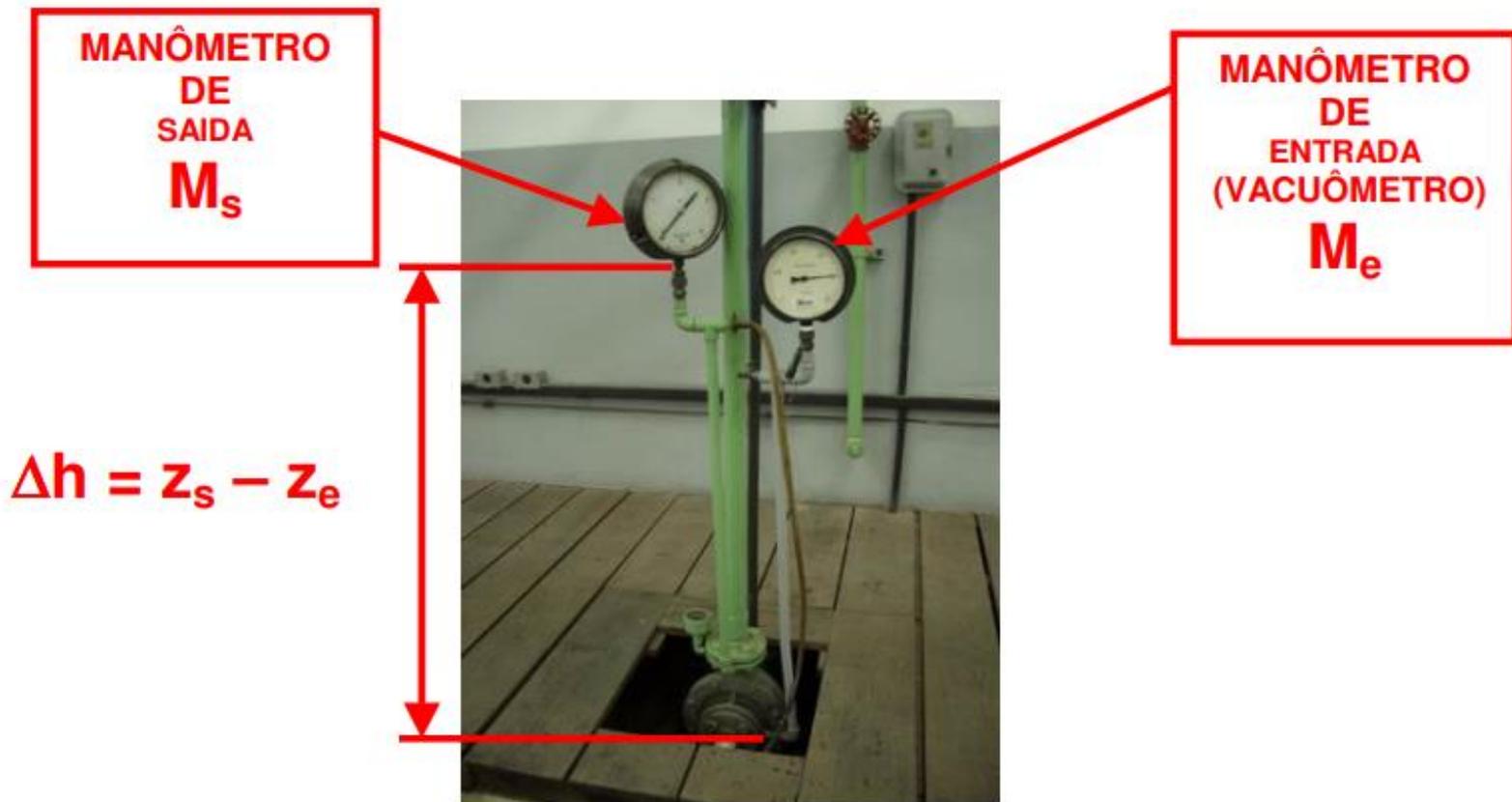


FIGURA 9 – Método de medição da diferença de cotas entre os medidores de pressão em função do posicionamento e das respectivas indicações em manômetros metálicos.

Nota: o tubo que liga o manômetro ao sistema, tem água, enquanto que o tubo que liga o vacuômetro ao sistema não tem água.

VACUÔMETRO Instalado somente na **SUCÇÃO**

Leitura do
VACUÔMETRO

(M_s)

na

SUCÇÃO

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

Para a presente

instalação

Os valores são

NEGATIVOS

com relação à

pressão

atmosférica

local



MANÔMETRO Instalado somente no **RECALQUE**

Leitura do
MANÔMETRO

(M_r)

de

RECALQUE

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

Para a presente
instalação, os
valores são
POSITIVOS com
relação à
pressão
atmosférica
local

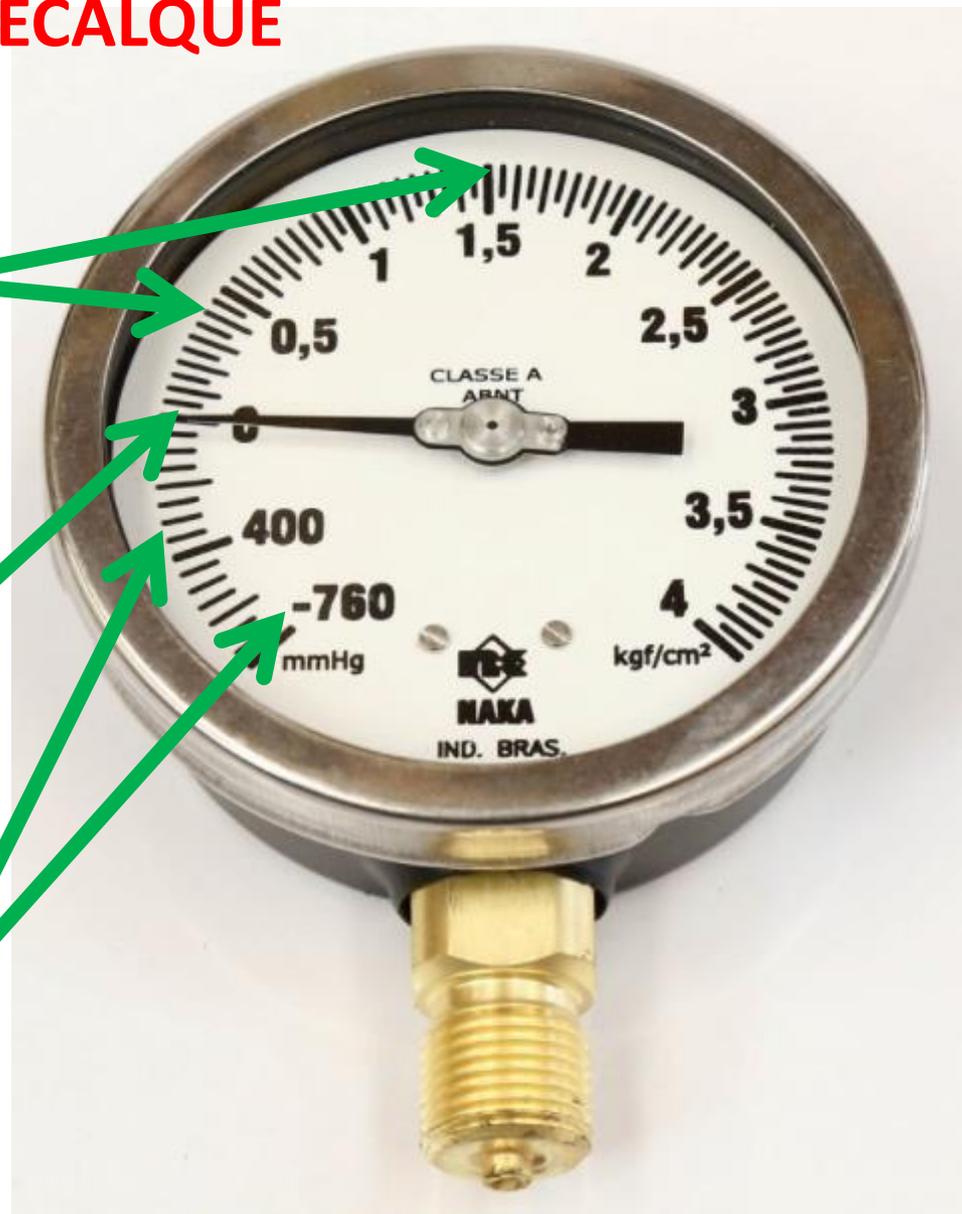


MANOVACUÔMETRO Instalado tanto na **SUCÇÃO** como no **RECALQUE**

Nesta faixa superior,
a Leitura do
MANOVACUÔMETRO
é ACIMA da pressão
atmosférica local

Pressão "0" relativa à
pressão atmosférica local

Nesta faixa inferior,
a Leitura do
MANOVACUÔMETRO
é ABAIXO da pressão
atmosférica local



Medida correta do Δz

2 - MANÔMETRO

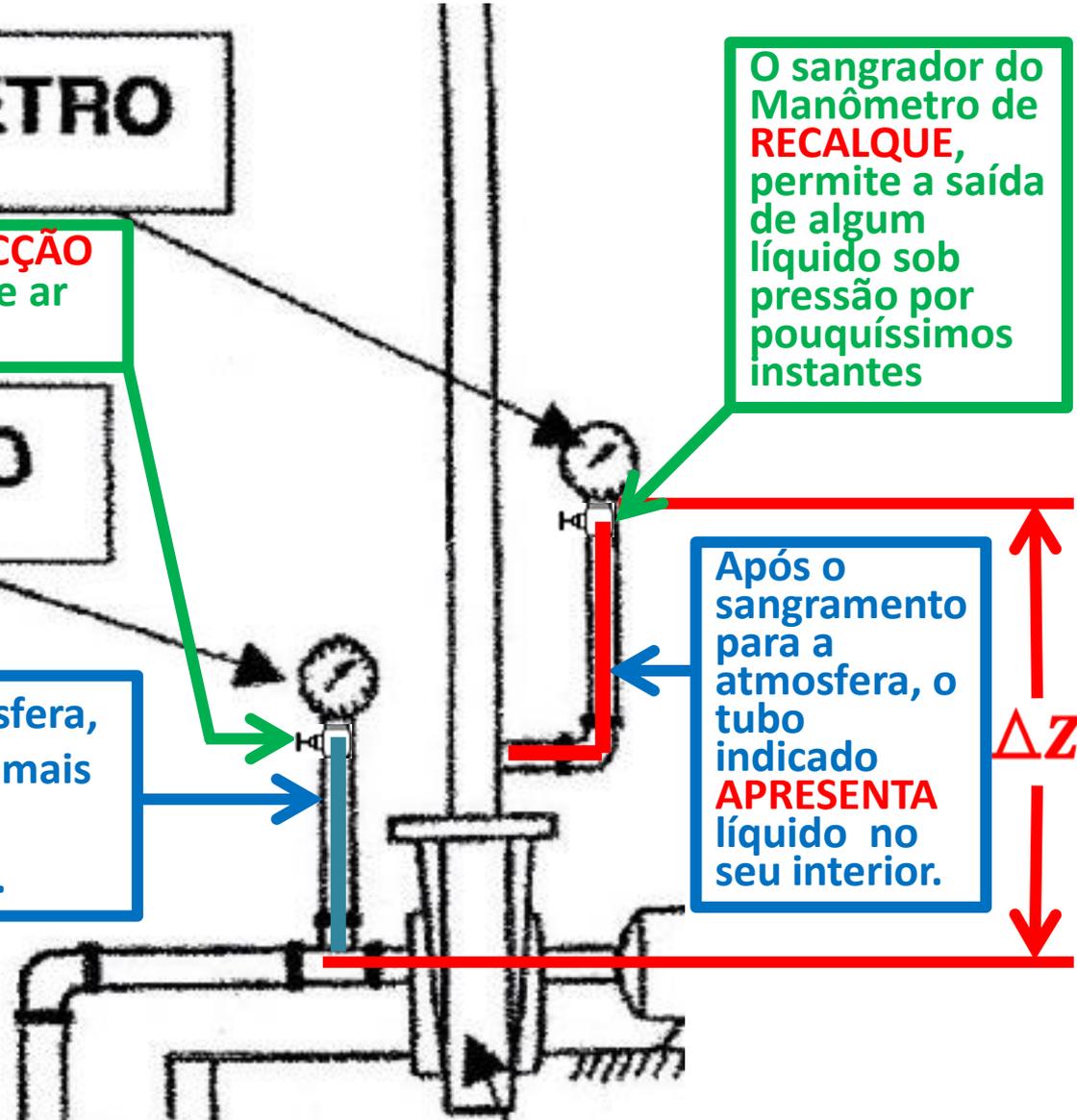
O sangrador do Manômetro de **SUCÇÃO** (Vacuômetro), permite a entrada de ar por pouquíssimos instantes

O sangrador do Manômetro de **RECALQUE**, permite a saída de algum líquido sob pressão por pouquíssimos instantes

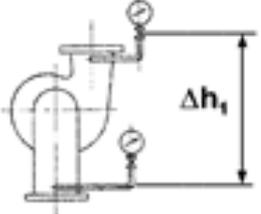
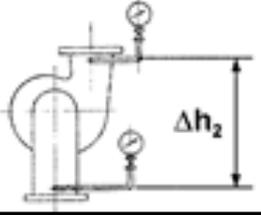
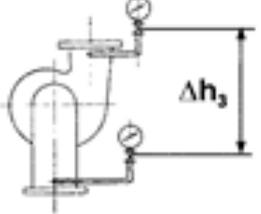
3 - VACUÔMETRO

Após o sangramento para a atmosfera, o tubo indicado **NÃO APRESENTA** mais líquido no seu interior. Apresenta apenas vapor de água.

Após o sangramento para a atmosfera, o tubo indicado **APRESENTA** líquido no seu interior.



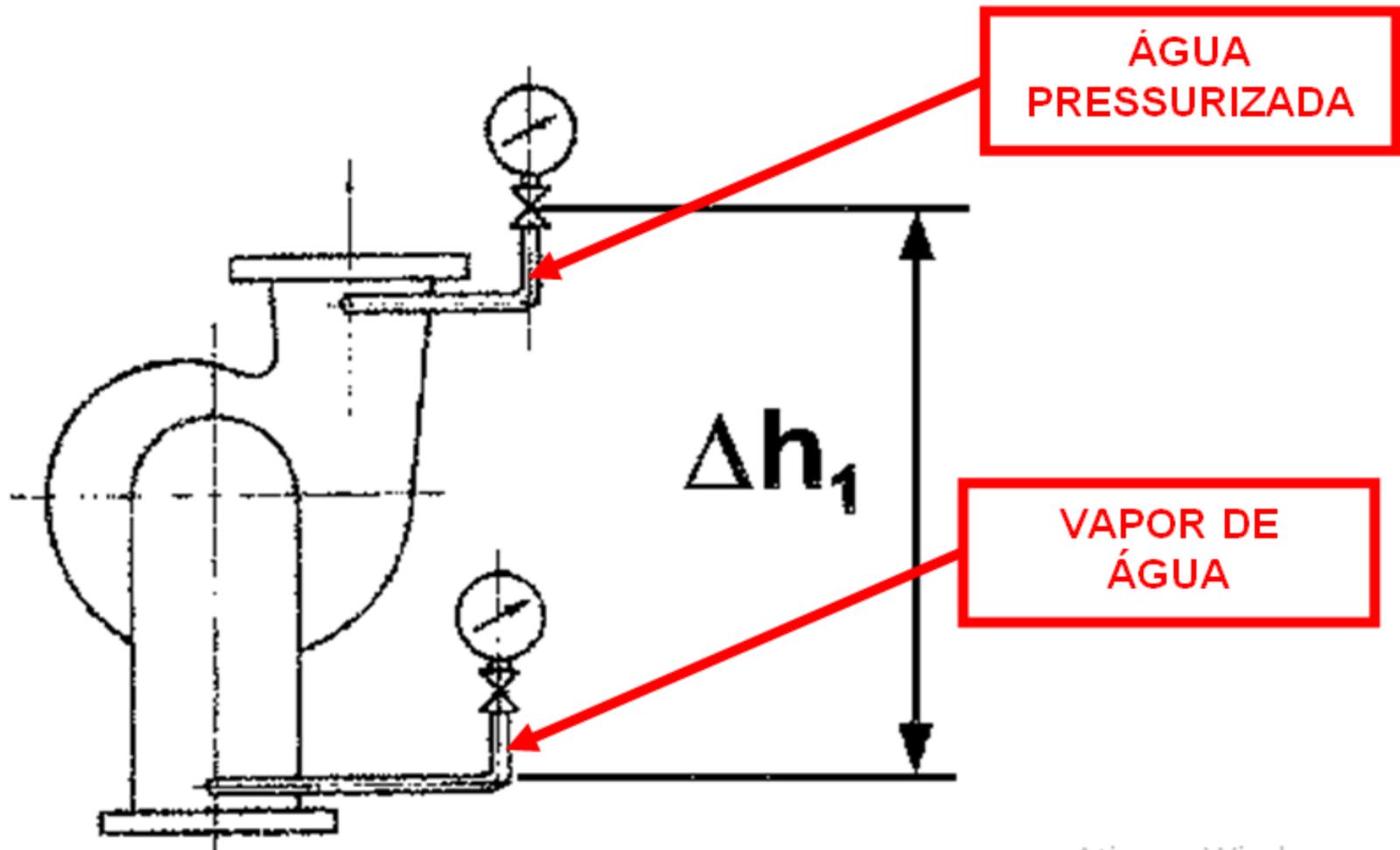
Medida correta do Δh

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	

Posicionamento do Manômetro e Vacuômetro Na instalação do nosso Laboratório na Experiência-1

Situação das pressões na sucção e no recalque da bomba

As três possibilidades para a determinação do Δh



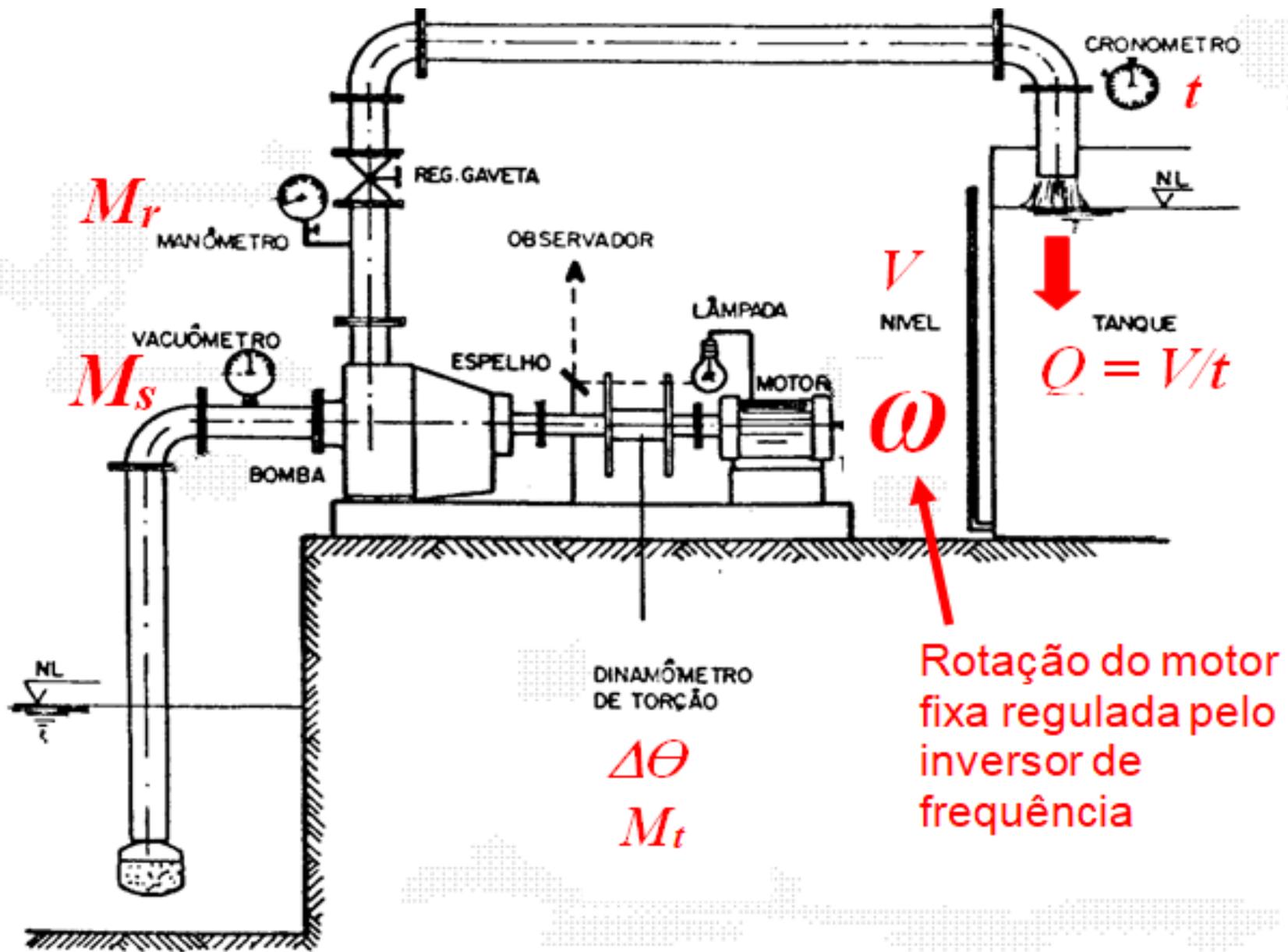


Fig. 3.1 – Esquema da instalação.

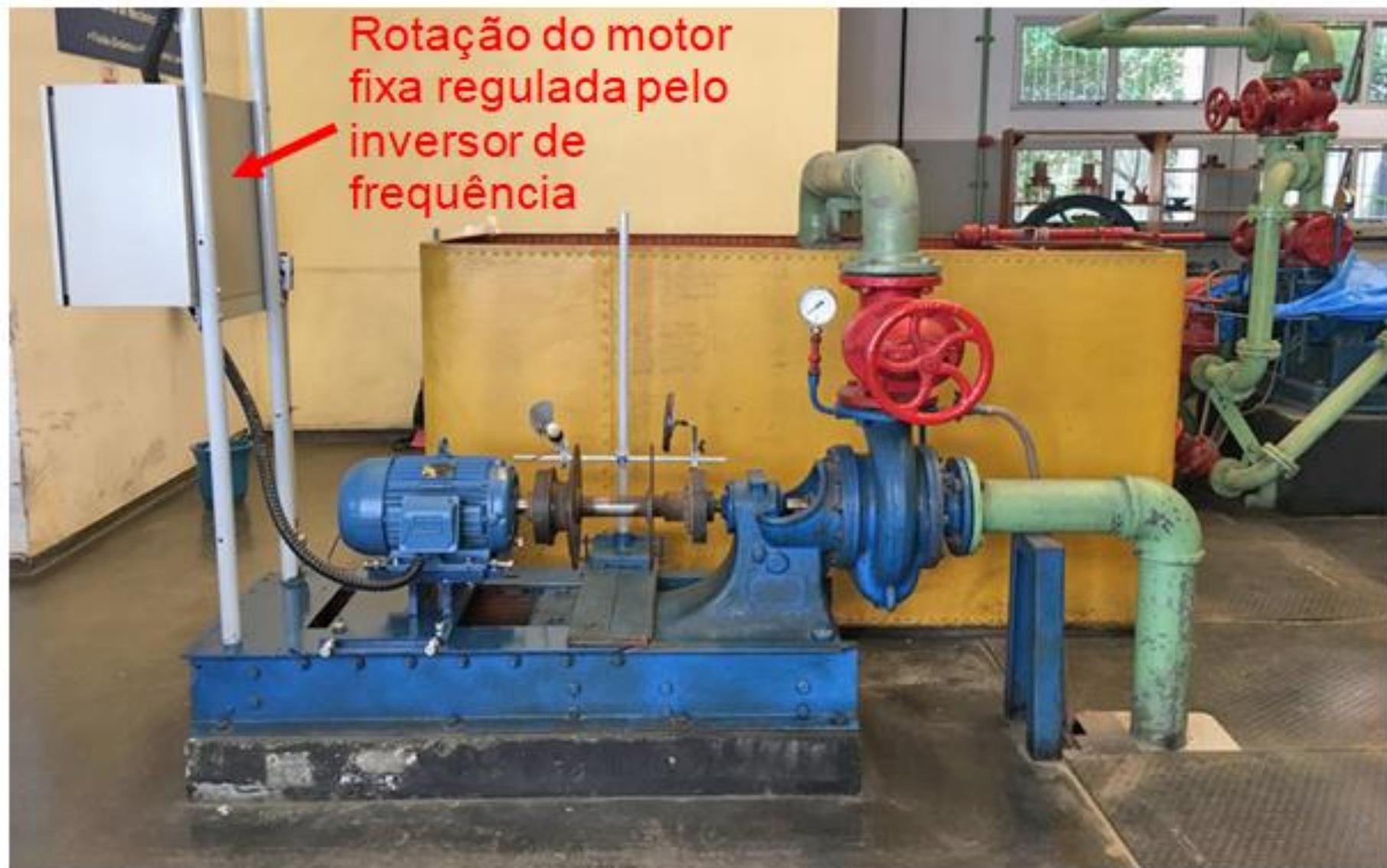


Fig. 3.2 – Componentes da instalação.

NDF

Laboratório de Mecânica dos Fluidos

• Fluido-Dinâmica • Velocimetria Laser

INSTALAÇÃO



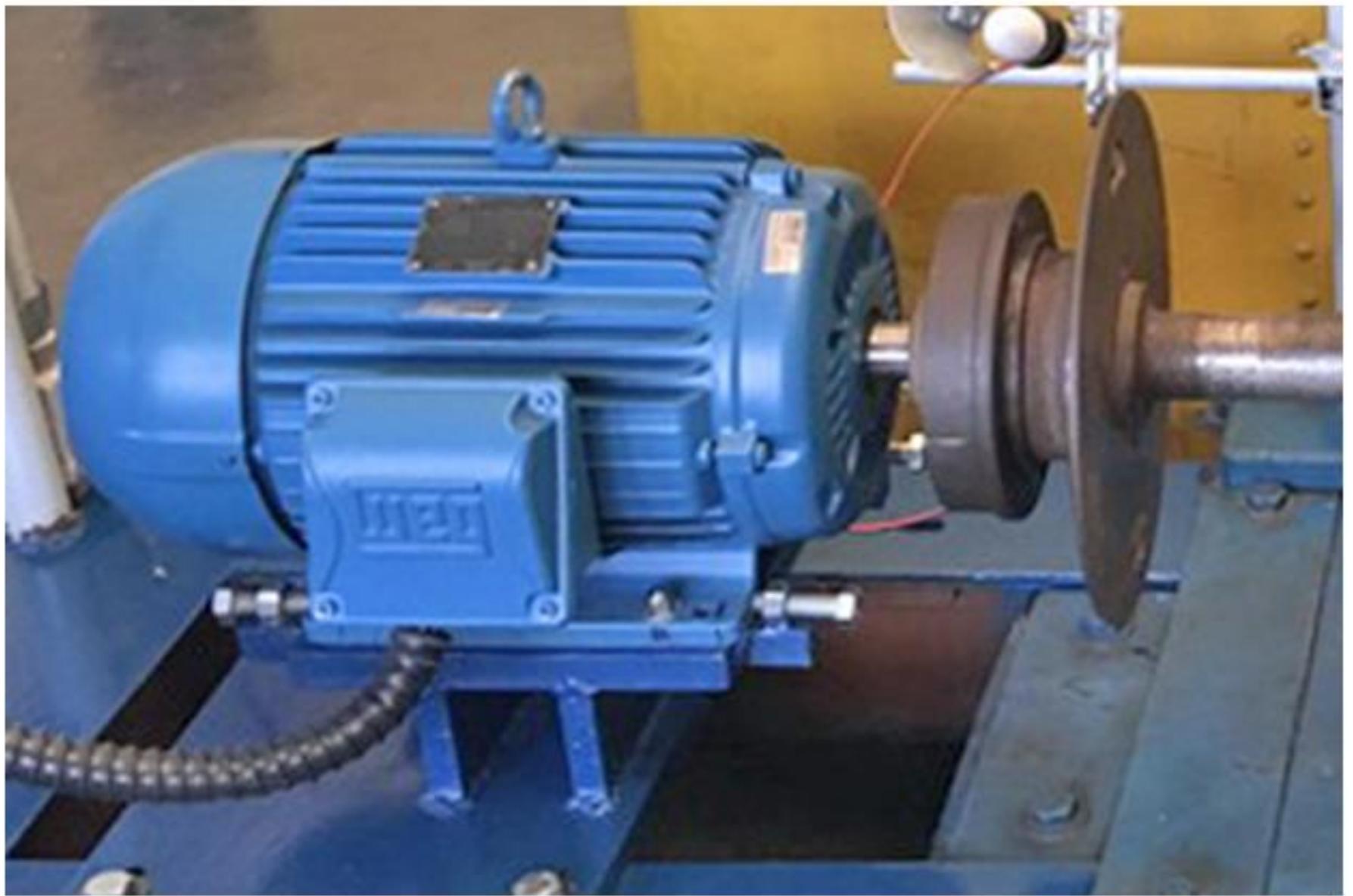


Fig. 3.3 - Motor WEG, 10 cv, de velocidade variável, por inversor de frequência.



Fig. 3.4 - Bomba "Gasmotorenfabrik Deutz", centrífuga radial.



BOMBA DEUTZ CENTRÍFUGA RADIAL

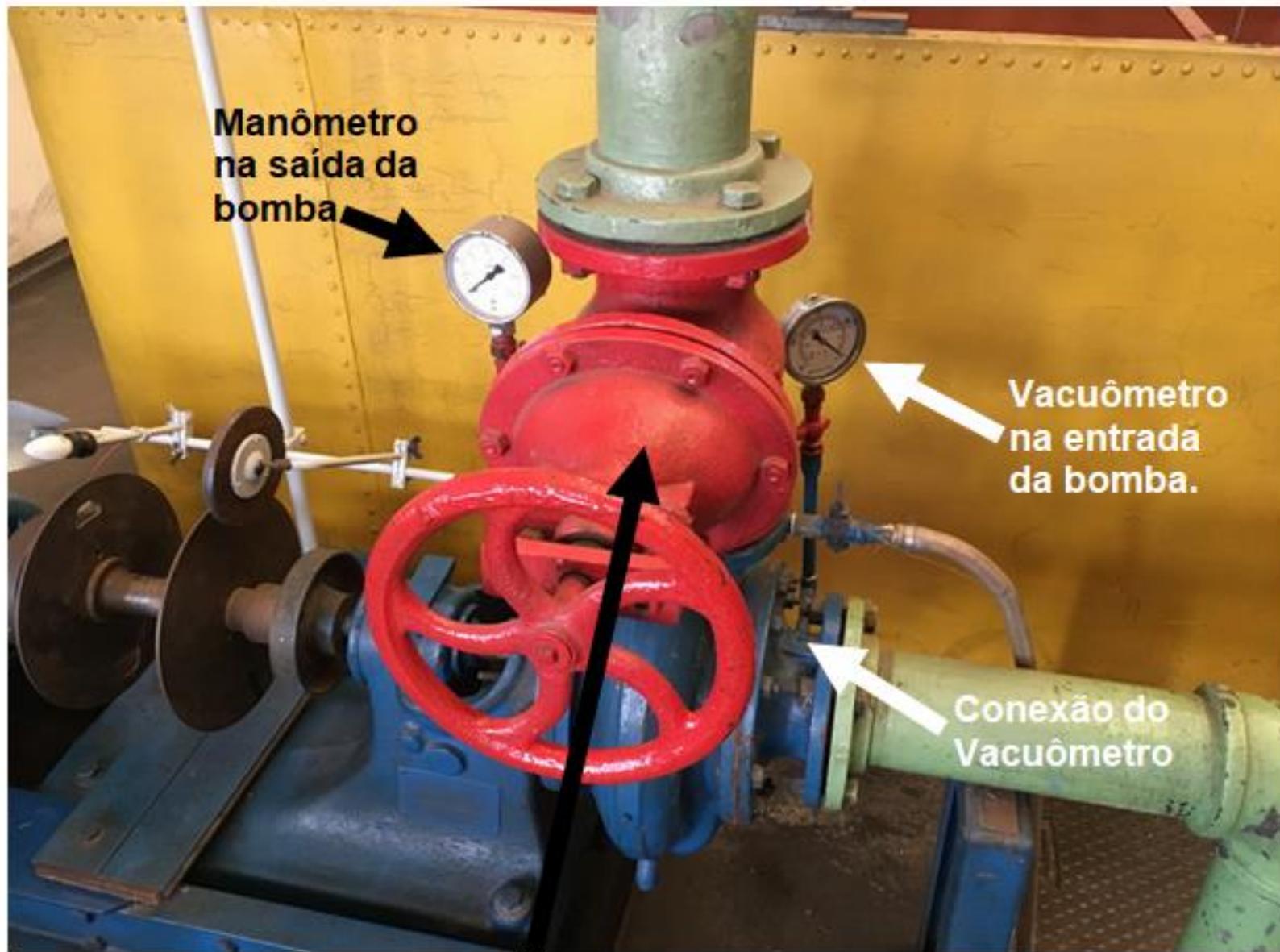


Fig. 3.5 - Registro do tipo GAVETA.

VACUÔMETRO na entrada da bomba e **MANÔMETRO** na saída da bomba.



Fig. 3.7 - Tanque de Descarga com indicação de nível tipo mangueira.



TANQUE DE MEDIÇÃO DE VAZÃO



CONJUNTO DO EQUIPAMENTO EXPERIMENTAL



MOTOR WEG, 10 CV, RPM VARIÁVEL

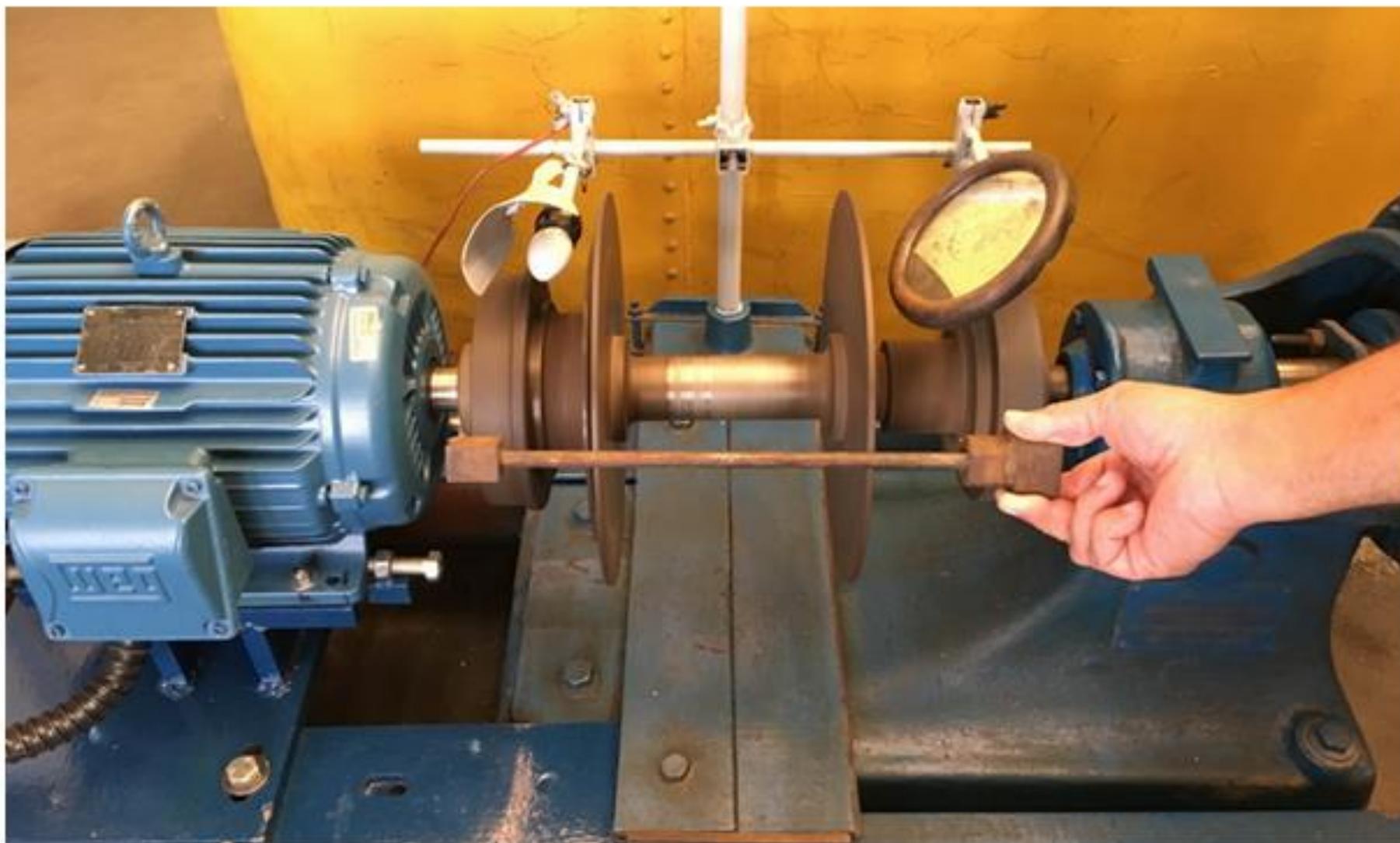


Fig. 3.6 - Dinamômetro de Torção "Amsler", montado com a barra de torção de $5 \text{ kgf}\cdot\text{m}$.

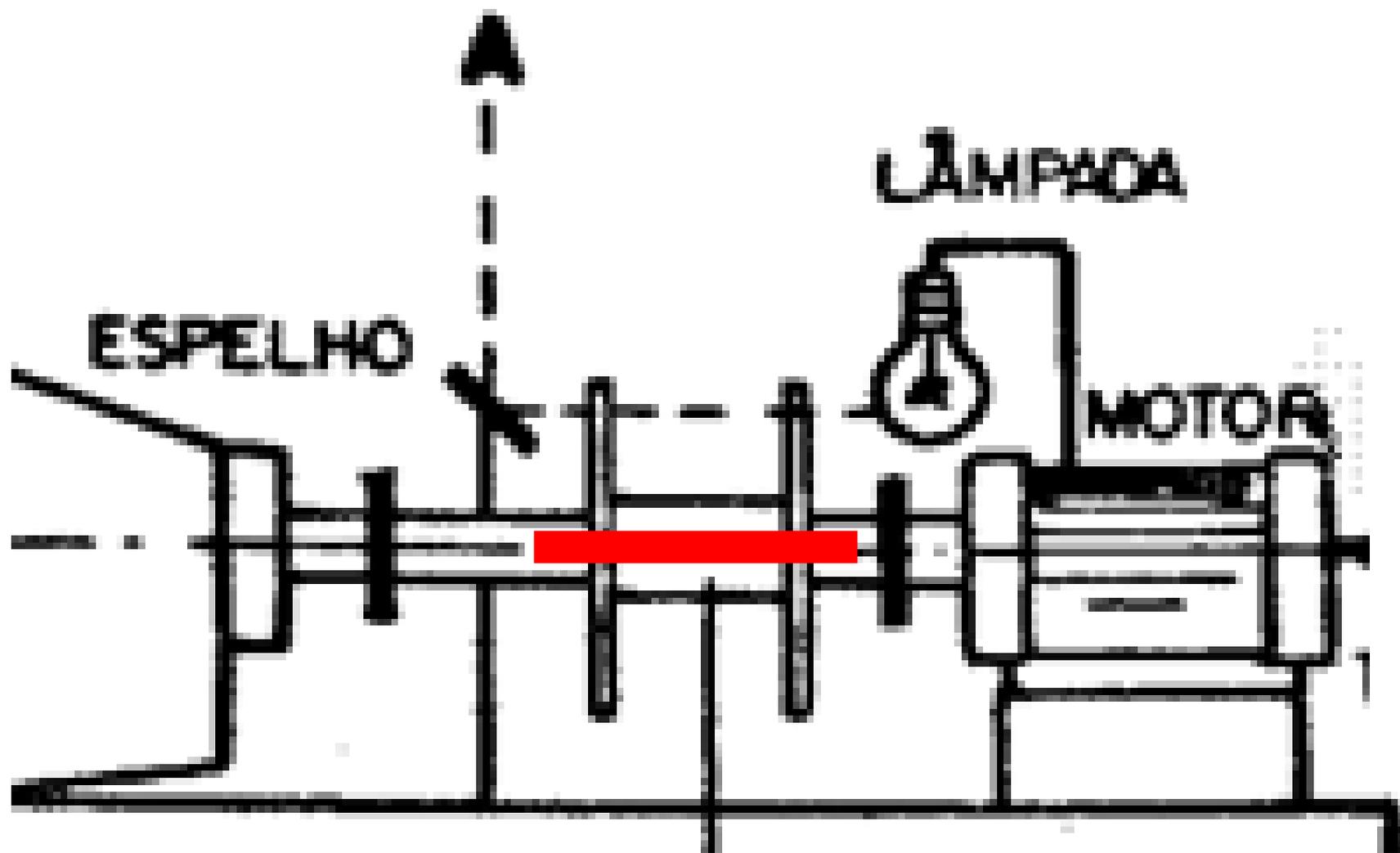
BARRAS DE TORÇÃO





**DINAMÔMETRO DE TORÇÃO AMSLER MONTADO
COM BARRA DE TORÇÃO DE 5 Kgf·m**

OBSEVADOR



3. Esquema da instalação

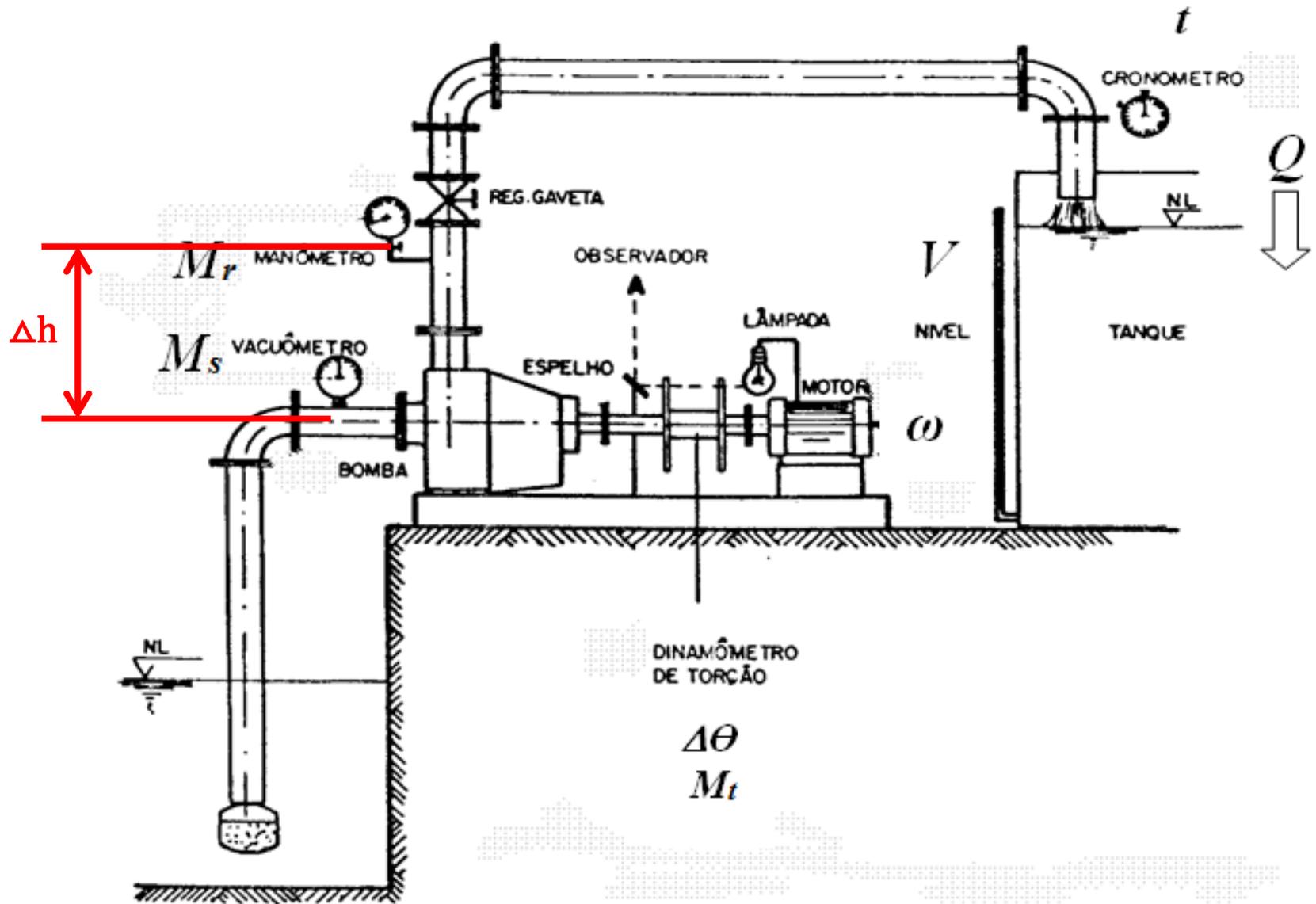


Fig. 2 – Esquema da instalação.

3. Esquema da instalação

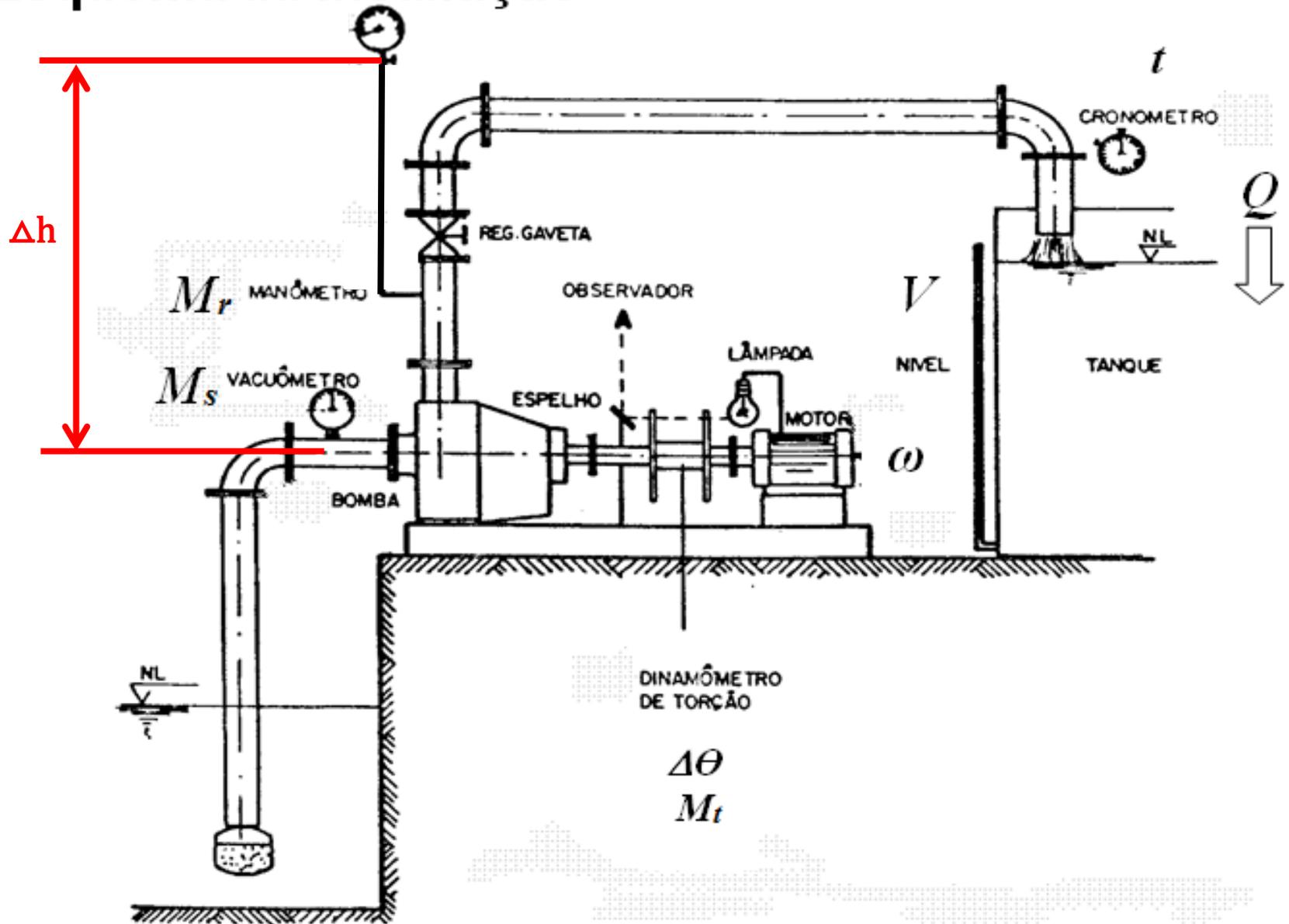
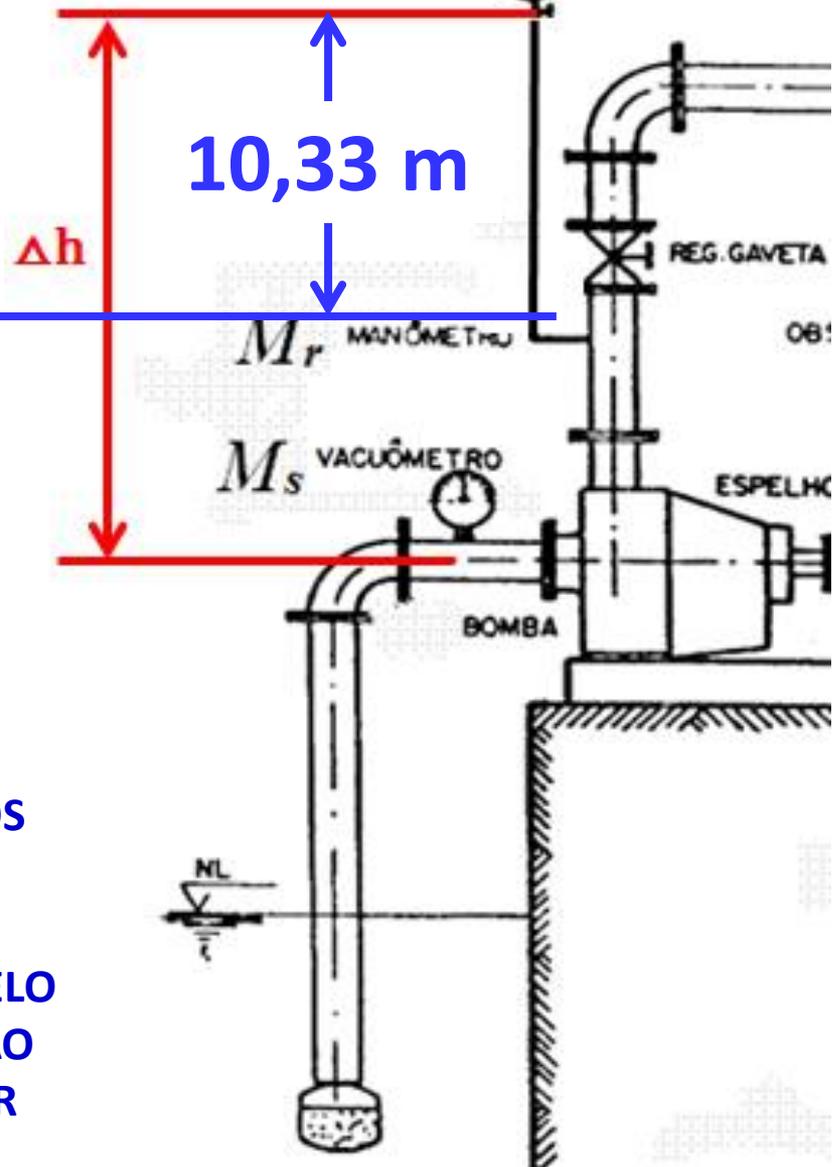
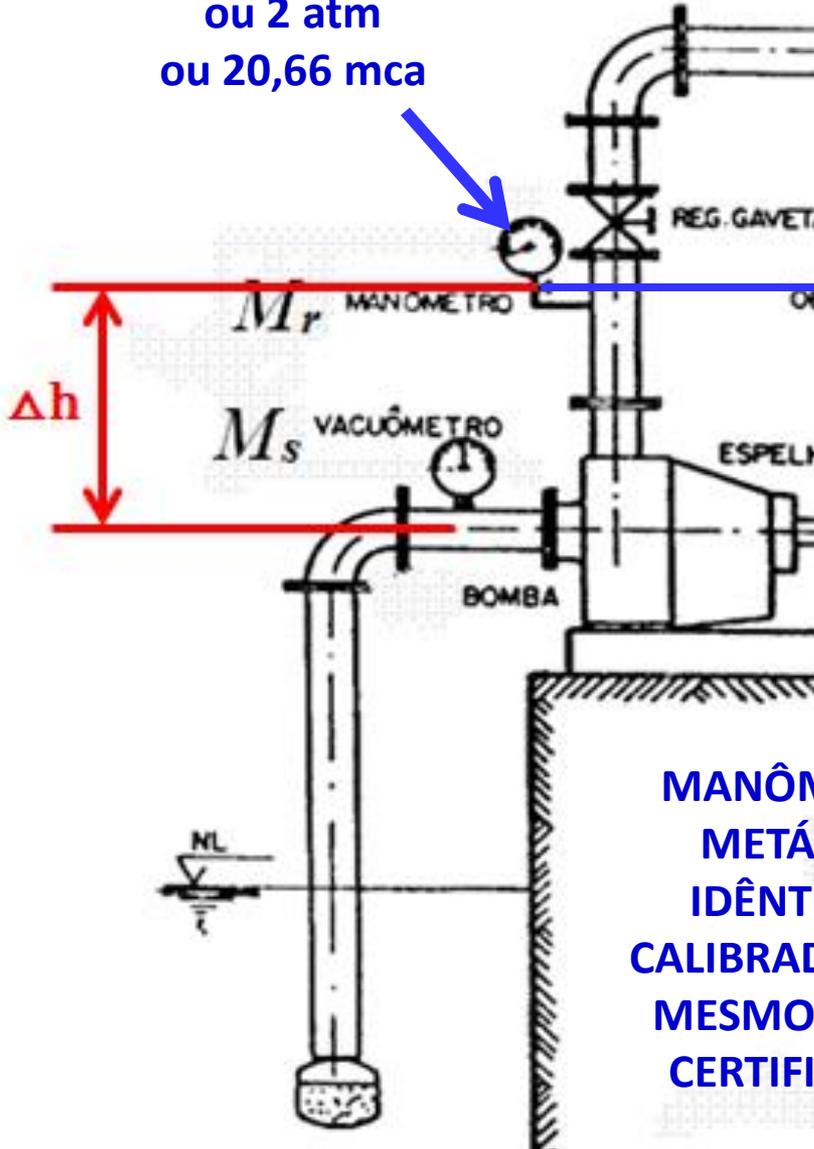


Fig. 2 – Esquema da instalação.

QUANTO MARCA ESTE
MANÔMETRO
METÁLICO ?

MANÔMETRO
METÁLICO
MARCANDO 2 kg/cm²
ou 2 atm
ou 20,66 mca

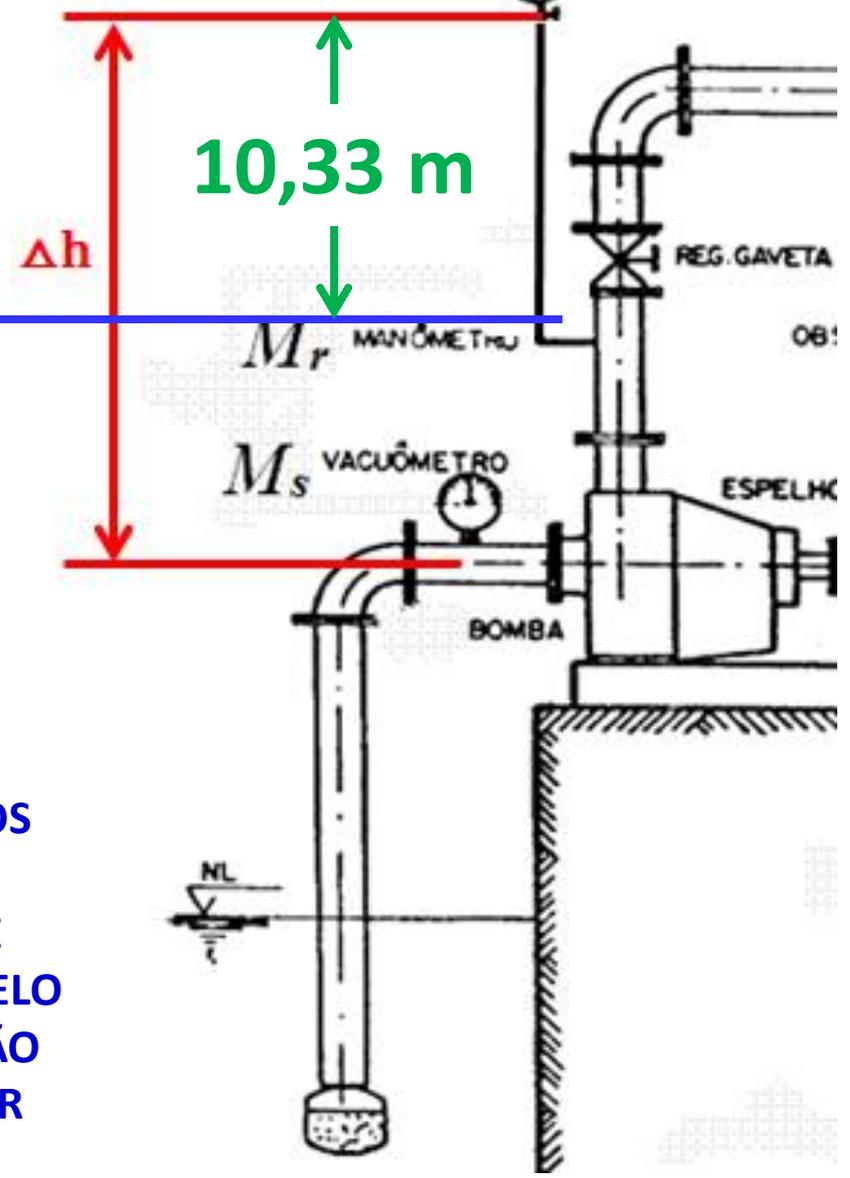
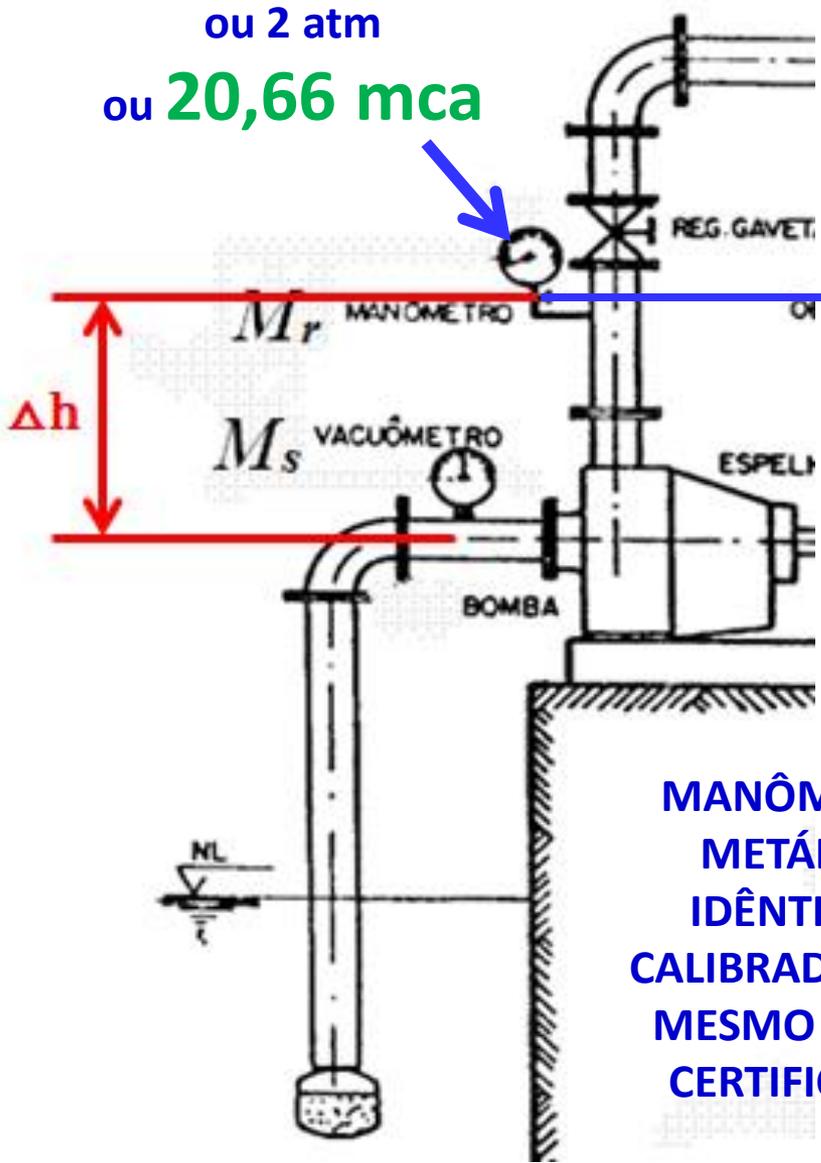


10,33 m

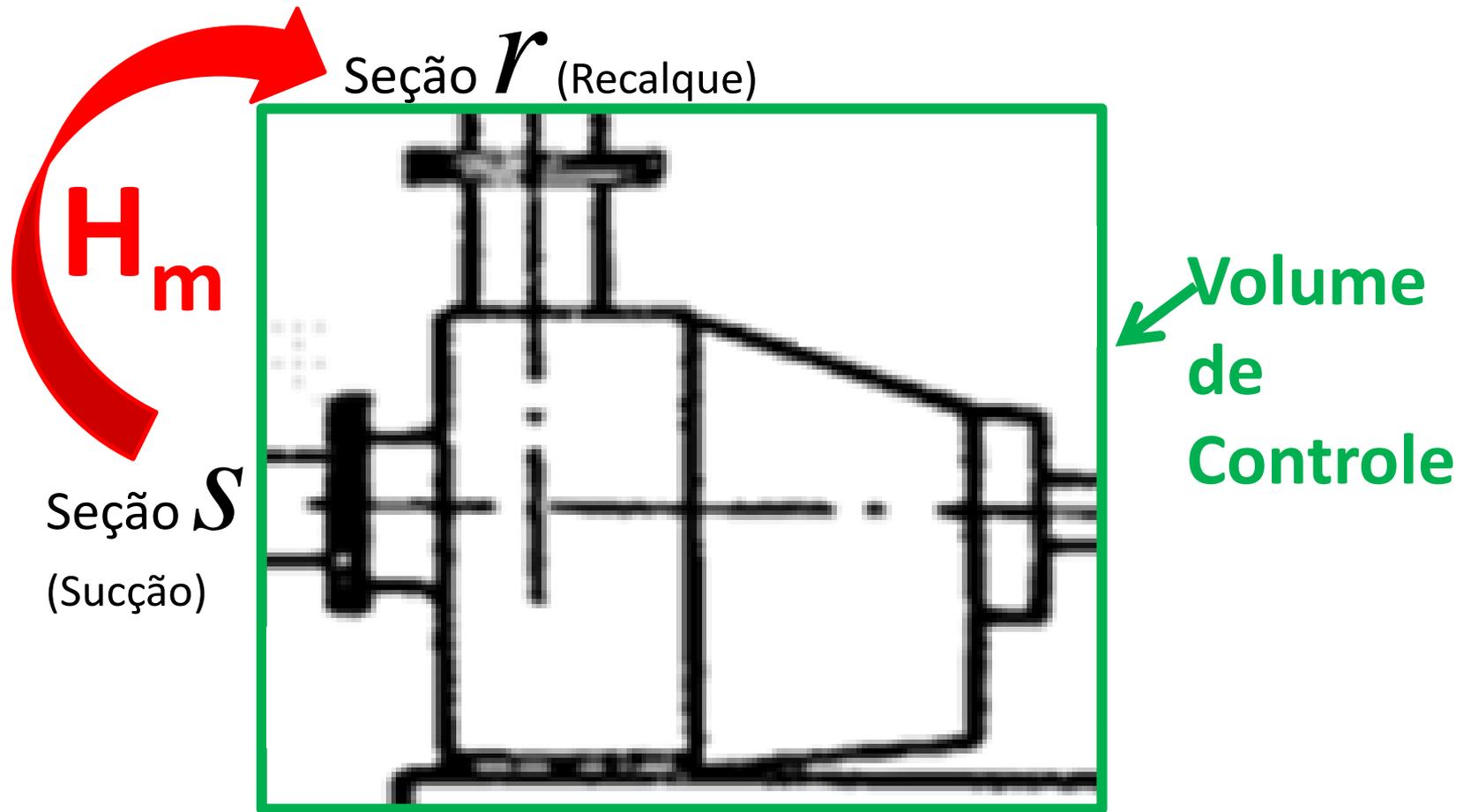
MANÔMETROS
METÁLICOS
IDÊNTICOS E
CALIBRADOS PELO
MESMO ORGÃO
CERTIFICADOR

MARCARÁ 1 kg/cm²
ou 1 atm
ou 10,33 mca

MANÔMETRO
METÁLICO
MARCANDO 2 kg/cm²
ou 2 atm
ou 20,66 mca



MANÔMETROS
METÁLICOS
IDÊNTICOS E
CALIBRADOS PELO
MESMO ORGÃO
CERTIFICADOR



A Bomba fornece a Energia, ou Carga H_m , para o fluido, da Seção S para a seção r

Determinação da Carga Manométrica

ou da **Altura Manométrica** h_m da Bomba:

Sendo $h = \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{v^2}{2g} + z$ a **Carga na Seção**, temos:

$$H_m = h_r \text{ (recalque da bomba)} - h_s \text{ (sucção da bomba)}$$

$$H_m = \left(\underbrace{\frac{p_r}{\gamma}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Piezométrica} \\ \text{recalque}}} + \underbrace{\alpha_r \frac{v_r^2}{2g}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Cinética} \\ \text{recalque}}} + \underbrace{z_r}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Potencial} \\ \text{recalque}}} \right) - \left(\underbrace{\frac{p_s}{\gamma}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Piezométrica} \\ \text{sucção}}} + \underbrace{\alpha_s \frac{v_s^2}{2g}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Cinética} \\ \text{sucção}}} + \underbrace{z_s}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Potencial} \\ \text{sucção}}} \right)$$

Como o regime é turbulento, logo temos: $\alpha_s = \alpha_r = 1$

Reagrupando os parâmetros, temos para o balanço energético:

$$H_m = \left(\underbrace{\frac{p_r}{\gamma}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Piezométrica} \\ \text{no} \\ \text{recalque}}} - \underbrace{\frac{p_s}{\gamma}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Piezométrica} \\ \text{na} \\ \text{sucção}}} + \underbrace{\frac{v_r^2}{2g}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Cinética} \\ \text{no} \\ \text{recalque}}} - \underbrace{\frac{v_s^2}{2g}}_{\substack{\text{Energia} \\ \text{Cinética} \\ \text{na} \\ \text{sucção}}} + \underbrace{z_r - z_s}_{\substack{\text{Variação} \\ \text{da} \\ \text{Energia} \\ \text{Potencial}}} \right)$$

$$H_m = \left(\underbrace{\frac{p_r}{\gamma}}_{\substack{\text{Leitura no} \\ \text{Manômetro} \\ \text{de recalque}}} - \underbrace{\frac{p_s}{\gamma}}_{\substack{\text{Leitura no} \\ \text{Vacuômetro} \\ \text{de sucção}}} + \underbrace{\frac{v_r^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g}}_{\substack{\text{Variação da Energia} \\ \text{Cinética}}} + \underbrace{\Delta z}_{\substack{\text{Variação} \\ \text{da} \\ \text{Energia} \\ \text{Potencial}}} \right)$$

M_r
 M_s

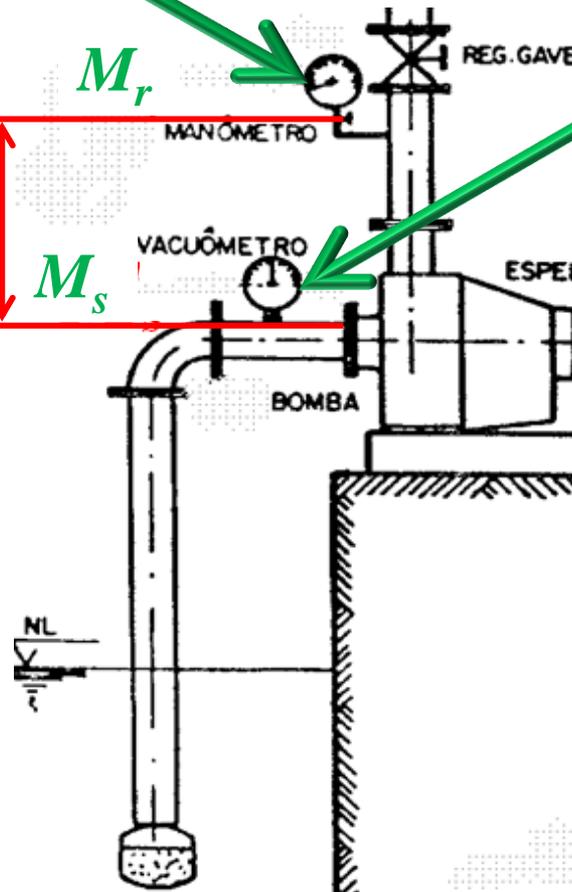
$$H_m = \left(\frac{p_r}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} + \underbrace{\frac{v_r^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g}}_{\text{Variação da Energia Cinética. Velocidades calculadas com a vazão e os diâmetros dos tubos}} + \Delta h \right)$$

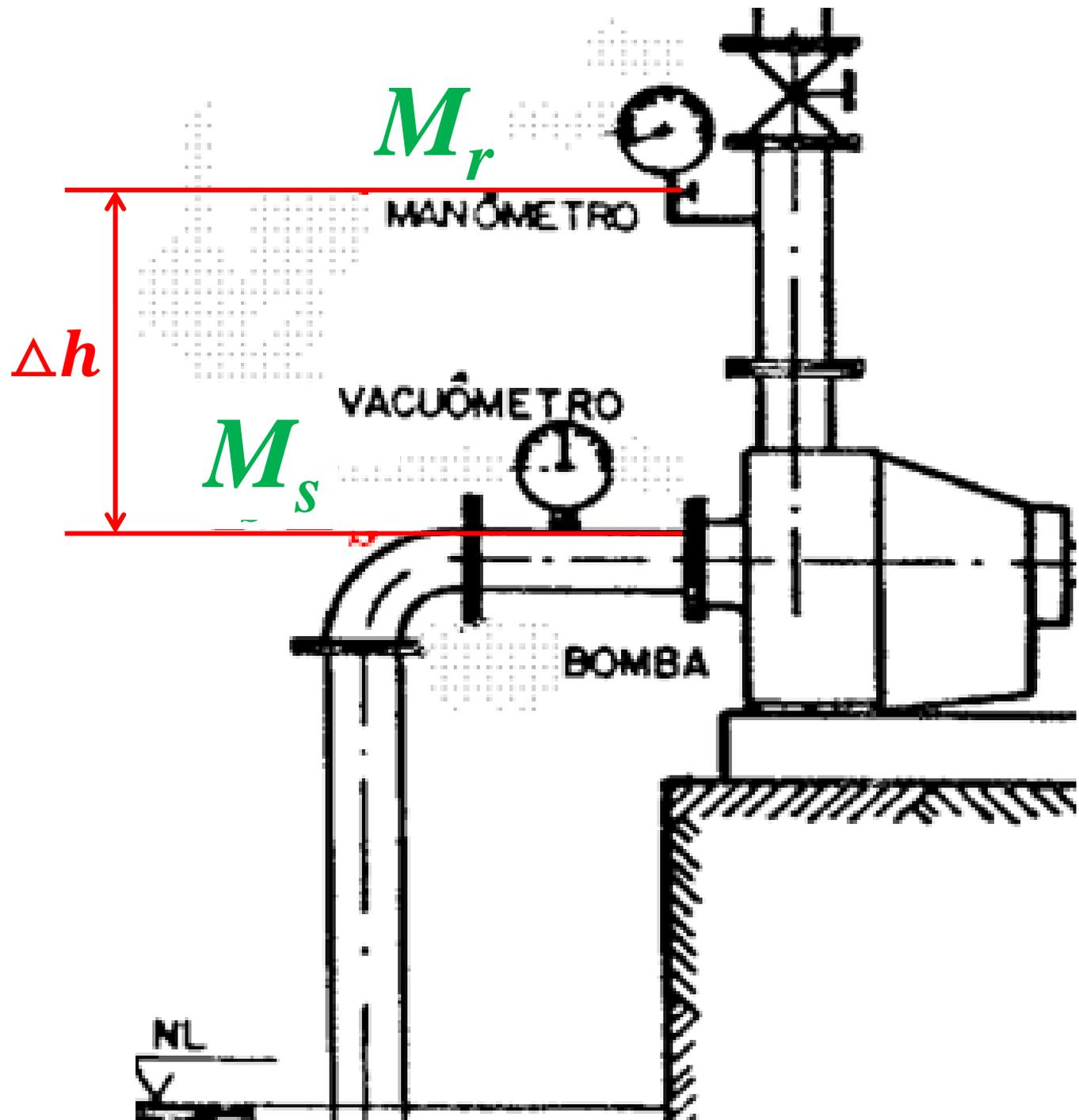
Leitura no
Manômetro (M_r)
de recalque
 $M_r = \frac{p_r}{\gamma}$

Leitura no
Vacuômetro ($V_s = M_s$)
de sucção
 $V_s = M_s = \frac{p_s}{\gamma}$

$$\Delta Z = Z_r - Z_s = \Delta h$$

VARIAÇÃO DA
ENERGIA POTENCIAL
SUCÇÃO/RECALQUE





Para a determinação da altura manométrica (H_m) da bomba, temos:

$$H_m = \underbrace{M_r}_{\text{Leitura no manômetro } (M_r) \text{ de recalque relativa à atmosfera local, portanto um VALOR POSITIVO}} - \underbrace{M_s}_{\text{Leitura no manômetro } (M_s) \text{ de sucção relativa à atmosfera local, portanto um VALOR NEGATIVO}} + \underbrace{\frac{v_r^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g}}_{\text{Variação da Energia Cinética}} + \underbrace{\Delta h}_{\text{Variação da Energia Potencial (Medição com trena no laboratório)}}$$

No caso desta experiência, os tubos são de igual diâmetro, não havendo variação da Energia Cinética

Com os valores levantados experimentalmente podemos calcular, ponto a ponto:

$$H_m = f(Q) \quad (m)$$

e traçarmos a curva experimental requerida.

Portanto temos:

$$H_m = M_r - \underbrace{M_s}_{\text{valor negativo}} + \Delta h$$

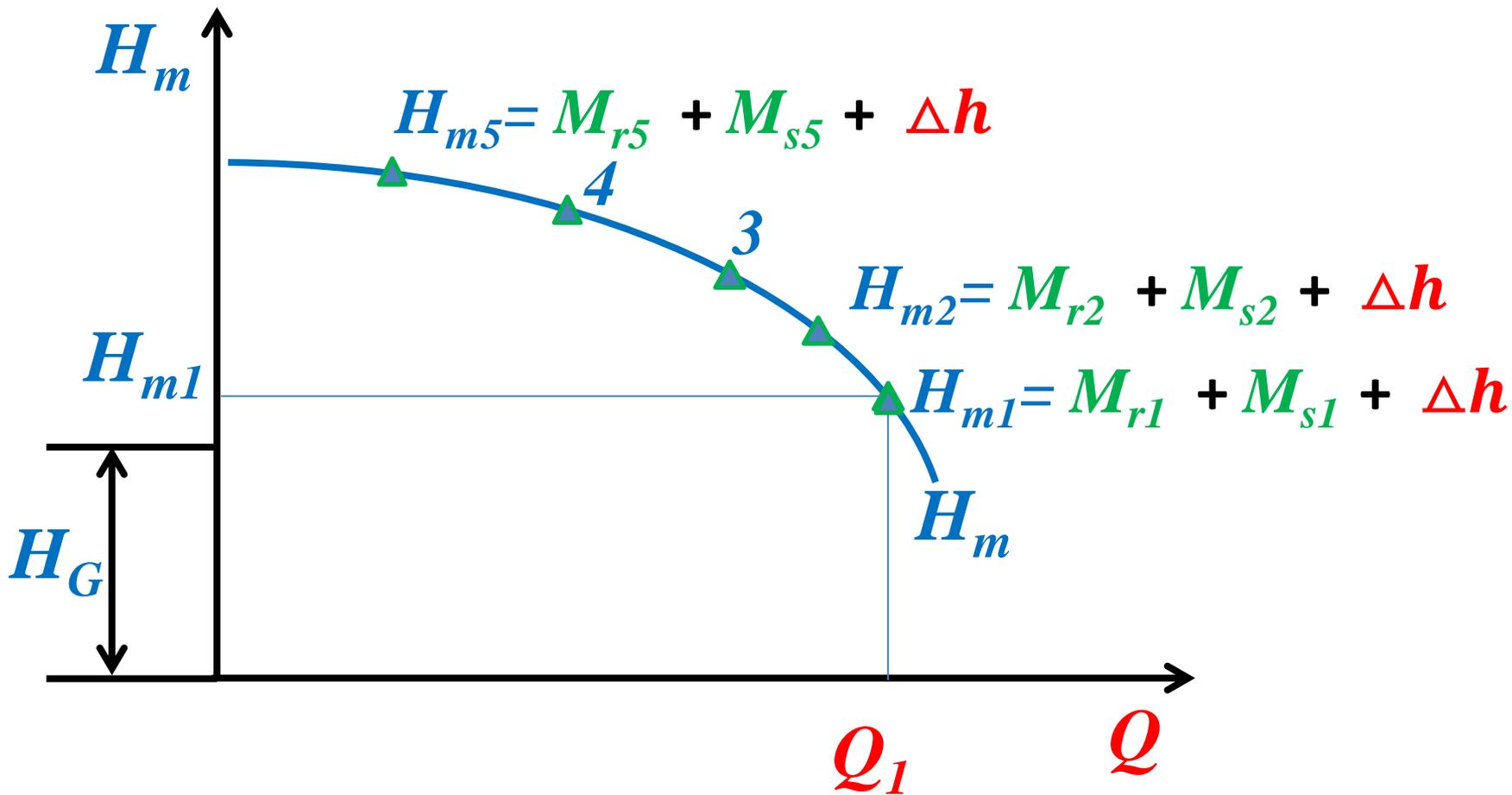
Logo, em **MÓDULO**, para esta geometria da instalação do Laboratório temos:

$$H_m = \underbrace{M_r}_{\substack{\text{Leitura em valor} \\ \text{ABSOLUTO no} \\ \text{manômetro } (M_r) \\ \text{de RECALQUE}}} + \underbrace{M_s}_{\substack{\text{Leitura em valor} \\ \text{ABSOLUTO no} \\ \text{manômetro } (M_s) \\ \text{de SUCÇÃO}}} + \underbrace{\Delta h}_{\substack{\text{Valor FIXO} \\ \text{Medição} \\ \text{com trena}}}$$

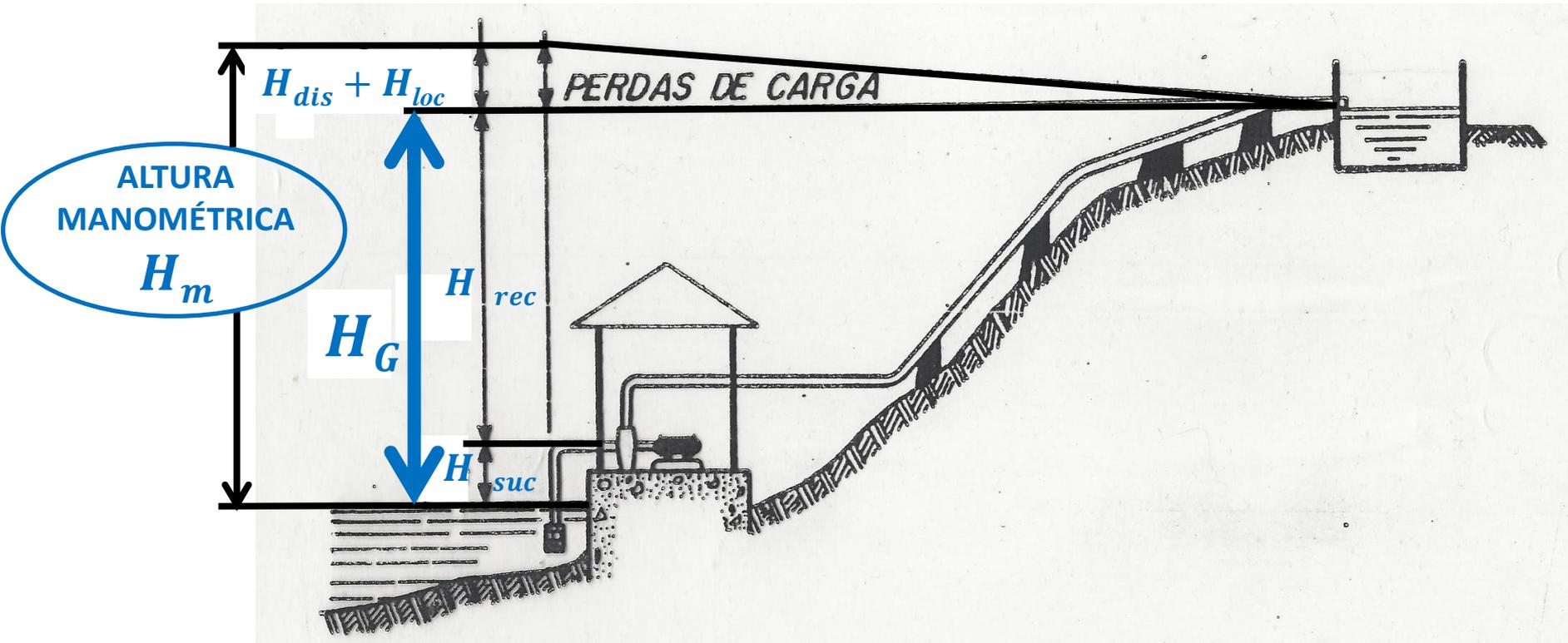
Com os valores levantados experimentalmente podemos calcular, ponto a ponto:

$$H_m = f(Q) \quad (m)$$

e traçarmos a curva experimental requerida.



INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS



$$H_m = H_G + H_{dis} + H_{loc}$$

$$H_G = H_{suc} + H_{rec}$$

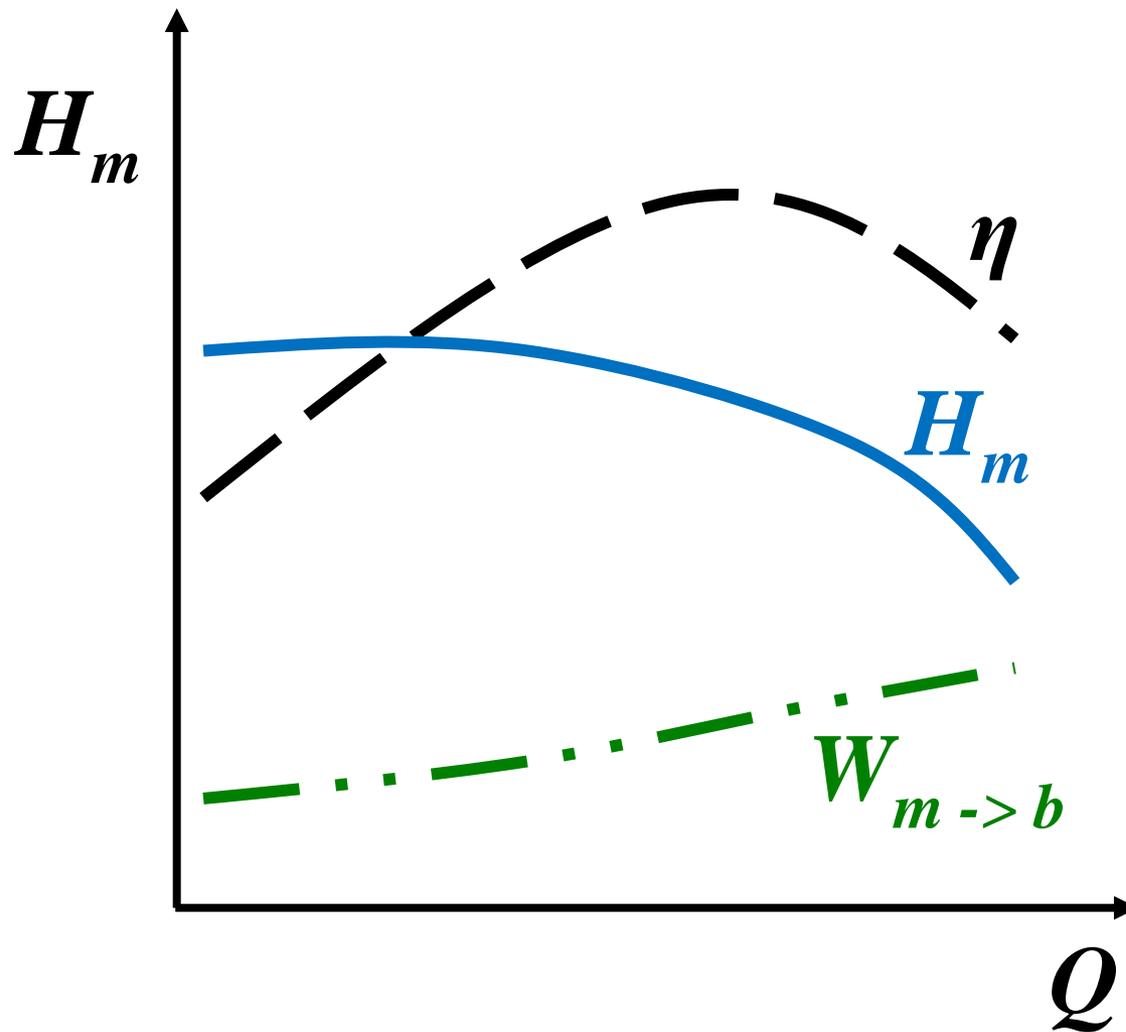


Fig. 1 – Curvas características de uma bomba centrífuga radial.

EQUAÇÃO DO SISTEMA DE TUBULAÇÃO E ACESSÓRIOS (H_{sis})

1. Fórmula de Darcy para as perdas de carga distribuídas H_{dis}

$$H_{dis} \cong f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{A^2} = k_1 Q^2$$

De uma maneira geral temos:

2. Fórmula para o cálculo das perdas de carga localizadas H_{loc}

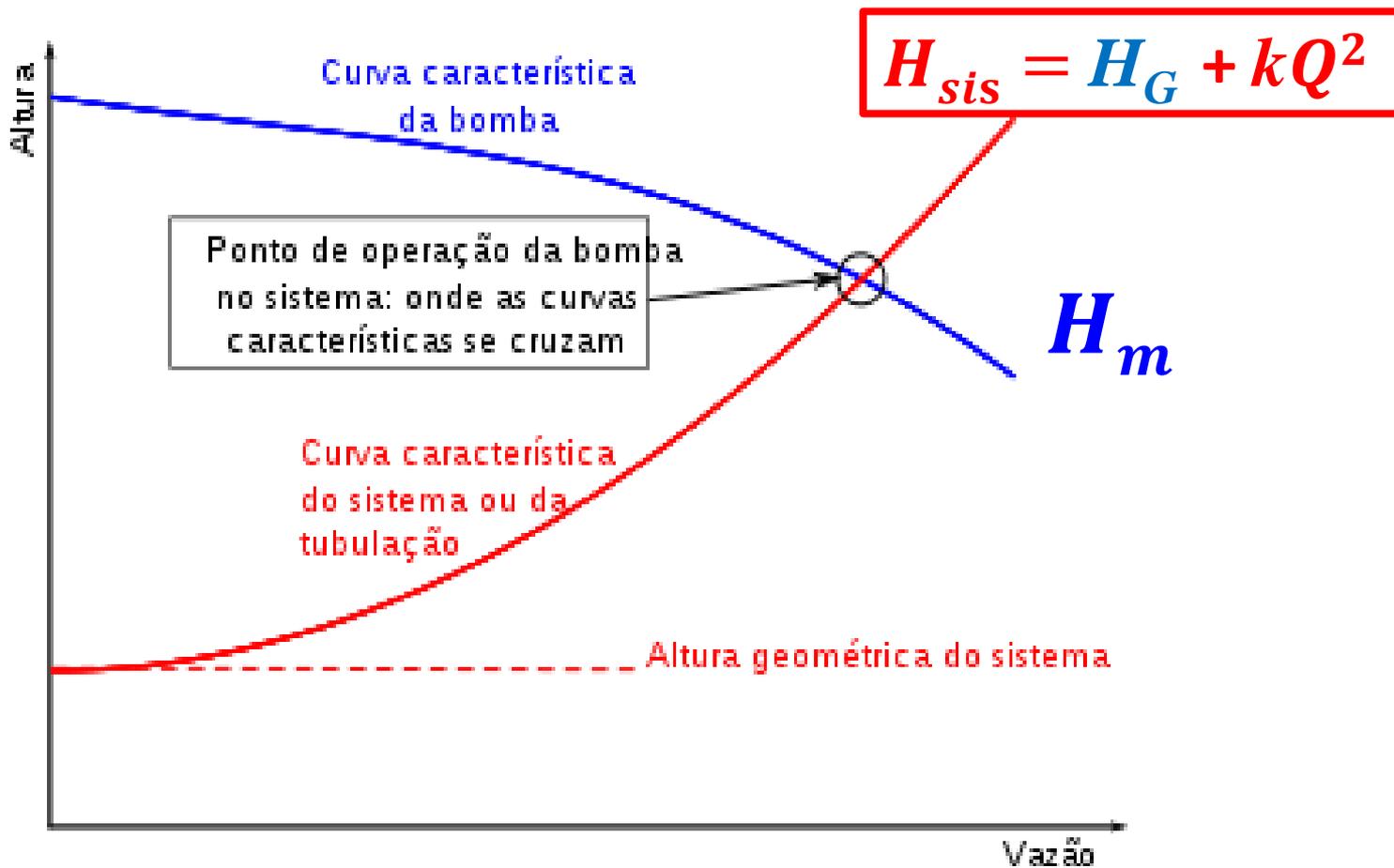
$$H_{loc} \cong \sum K_s \frac{v^2}{2g} = \sum K_s \frac{Q^2}{A^2} = k_2 Q^2$$

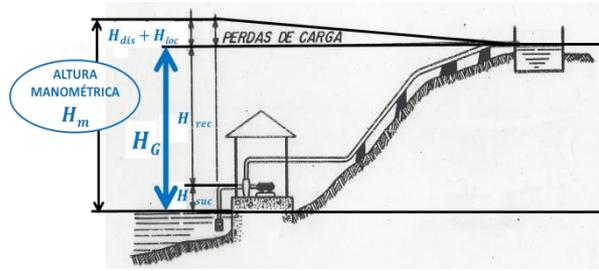
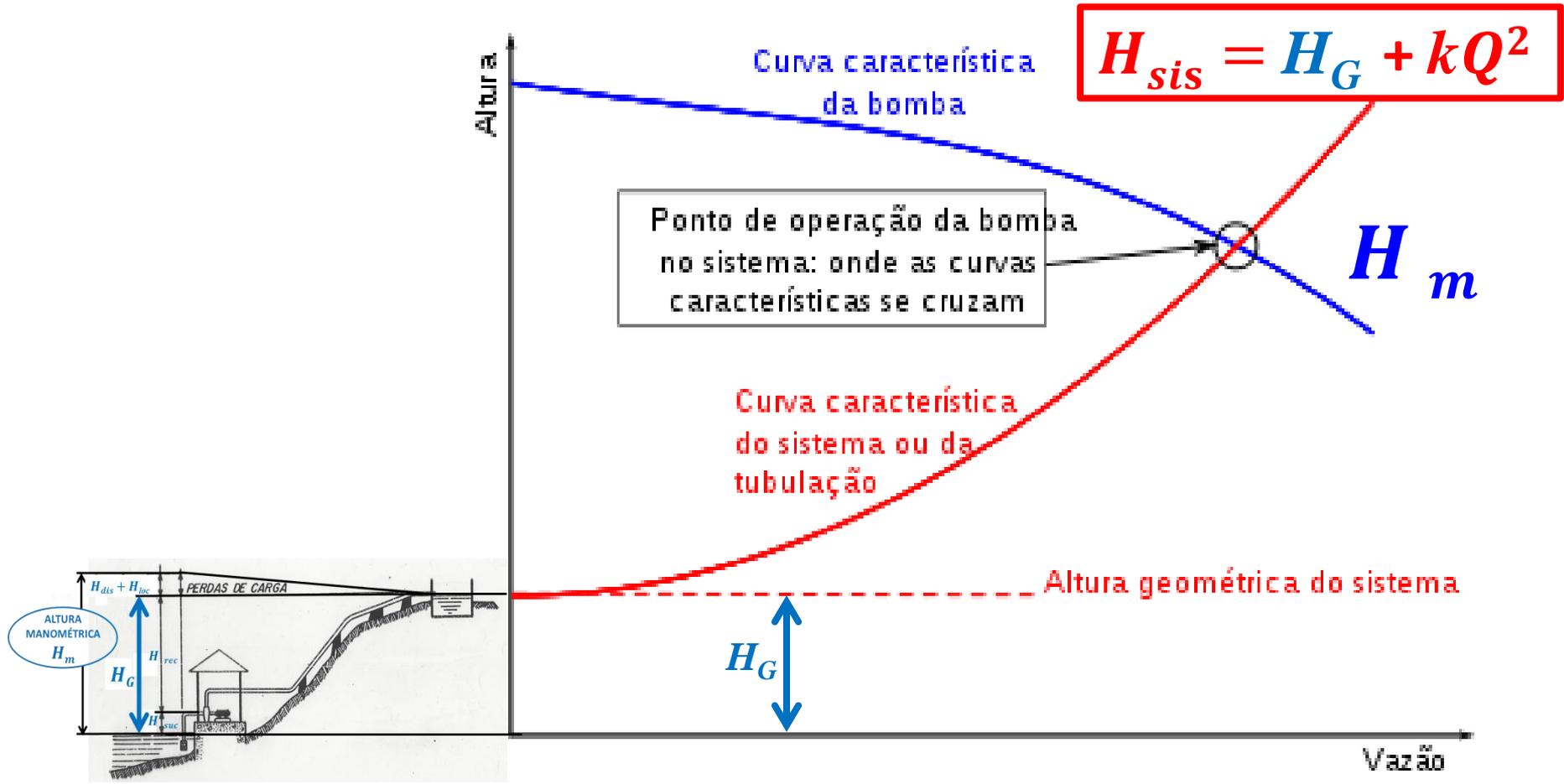
PERDAS = kQ^2

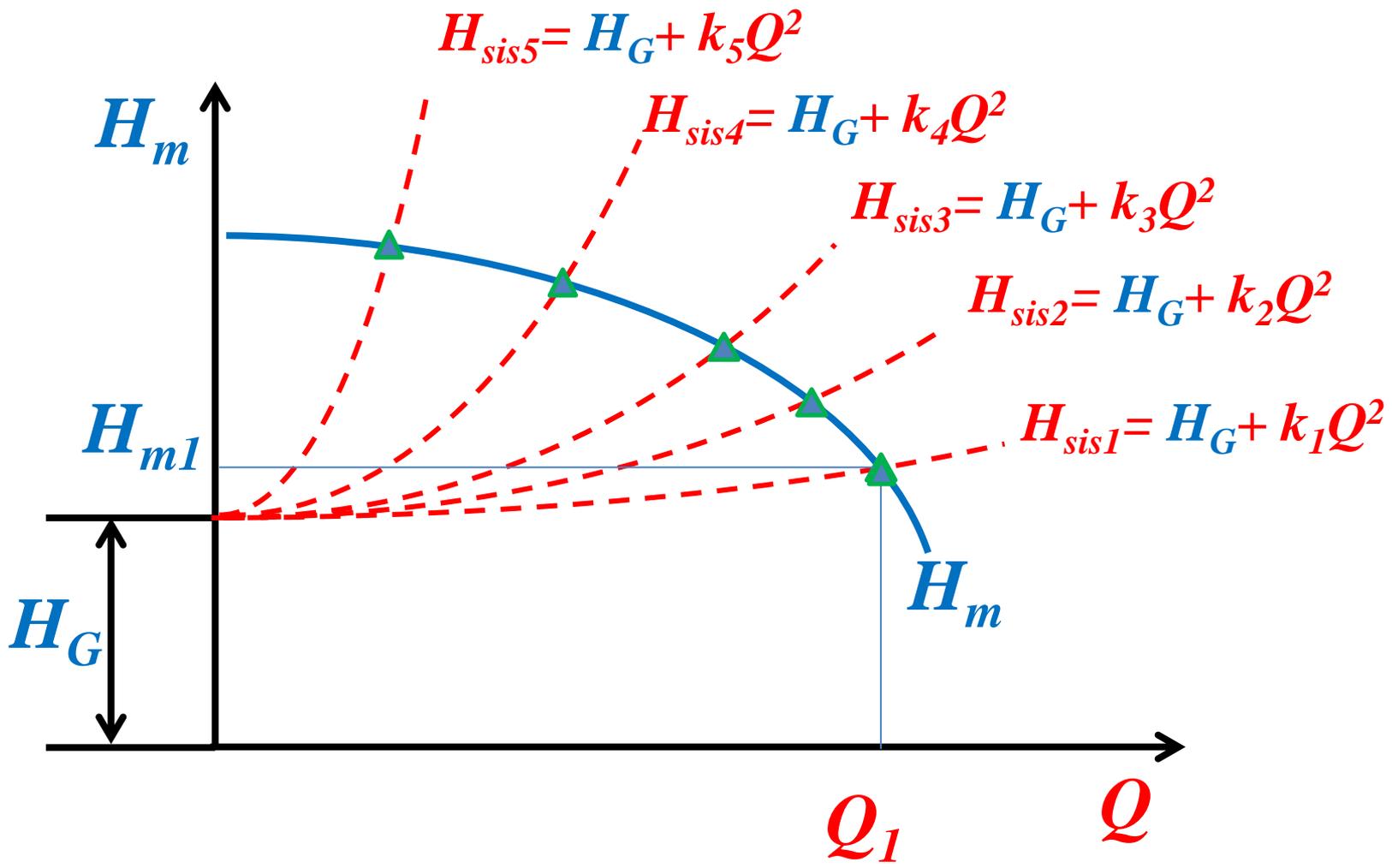
3. Equação da vazão

$$Q = v \cdot A \quad V = \frac{Q}{A} \quad v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

Logo: $H_{sis} \cong H_G + kQ^2$







DINAMÔMETRO DE TORÇÃO

O momento de torção aplicado à bomba, (M_t), é determinado usando-se um dinamômetro de torção, do tipo com barra de seção transversal circular.

Da resistência dos materiais sabemos que o momento de torção é proporcional ao ângulo de torção pela seguinte relação:

$$M_t = G \cdot \varphi \cdot I_P \quad (\text{kgf}\cdot\text{m})$$

Sendo:

G = módulo de elasticidade transversal;

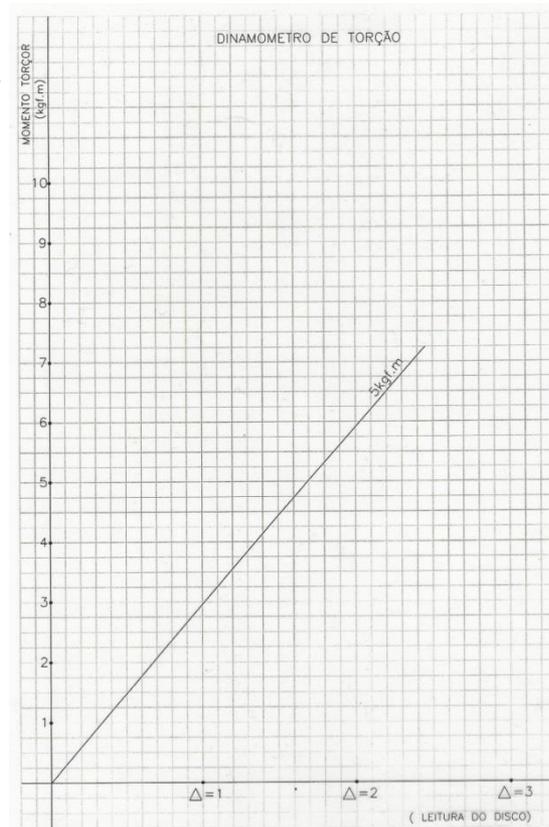
φ = ângulo de torção por unidade de comprimento;

I_P = momento polar de inércia da seção.

Em cada extremidade do dinamômetro estão fixados discos graduados, pelos quais podemos ler, no espelho instalado, um ângulo de torção ($\Delta\theta$) da barra. Sabendo as características da mesma podemos achar o valor de (M_t .)

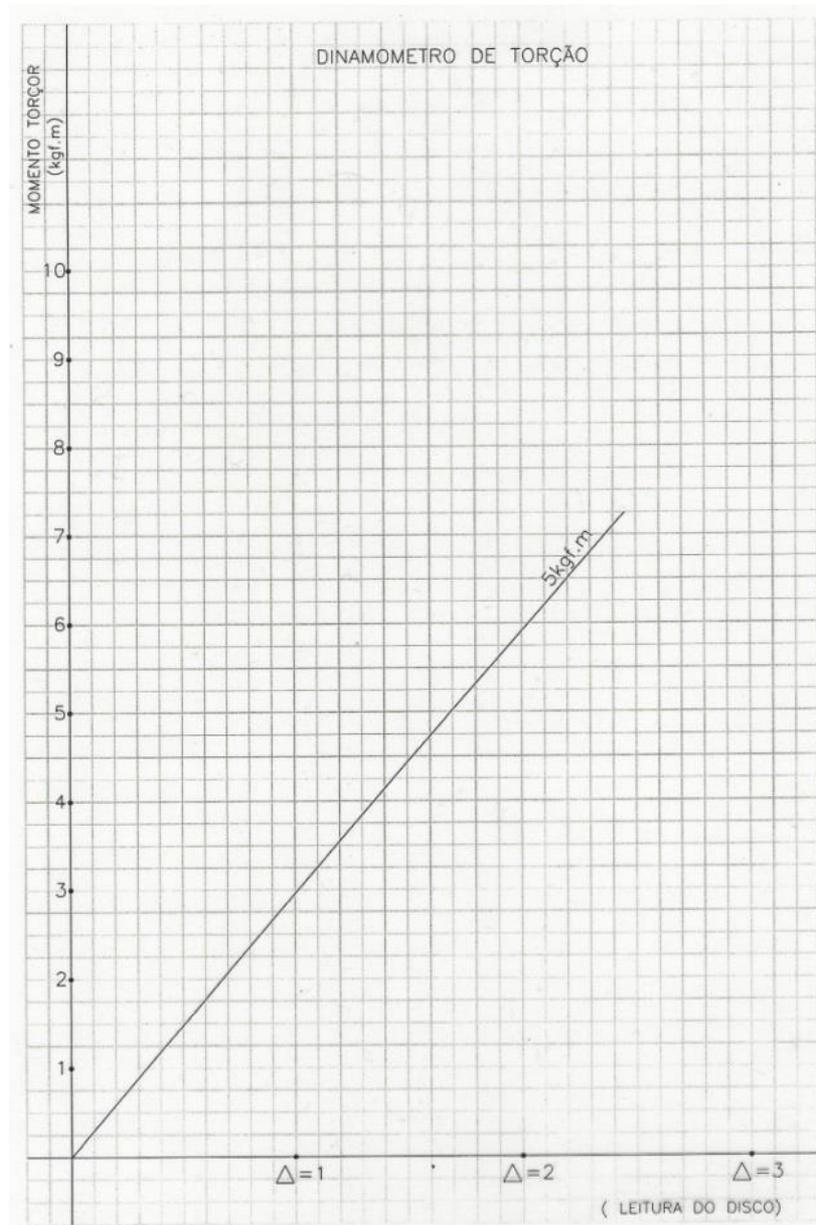
Usaremos, nesta experiência, os gráficos de calibração, fornecidos em classe, para a barra usada. No presente caso a barra que será usada tem como limite máximo 5 kgf.m de limite máximo de torção no regime elástico.

M_t



$\Delta\theta$

M_t



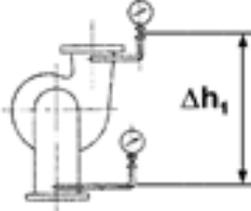
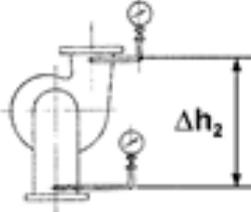
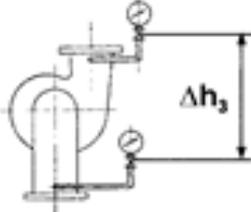
$\Delta\theta$

4. Procedimento experimental

- Com a bomba “escorvada” (rotor totalmente envolvido com fluido) e com o registro totalmente fechado, liga-se o motor. A vazão neste momento será zero.
- Conseqüentemente neste ponto será solicitada a mínima potência do motor pela bomba (“característica básica das bombas dinâmicas ou de fluxo”). Neste ponto, portanto, o momento (Mt) aplicado na barra de torção do dinamômetro será o mínimo ($\Delta\theta$ mínimo)
- Para medição do “Primeiro Ponto” abre-se o registro de recalque até a vazão máxima .
Conseqüentemente neste ponto será solicitada a máxima potência do motor pela bomba (“característica básica das bombas dinâmicas ou de fluxo”). Neste ponto o momento aplicado na barra de torção do dinamômetro será o máximo ($\Delta\theta$ máximo)
Anotam-se as indicações dos dois manômetros e do dinamômetro ($\Delta\theta$) e o valor do (Δh) (diferença de cotas entre manômetros; valor fixo para toda a experiência).

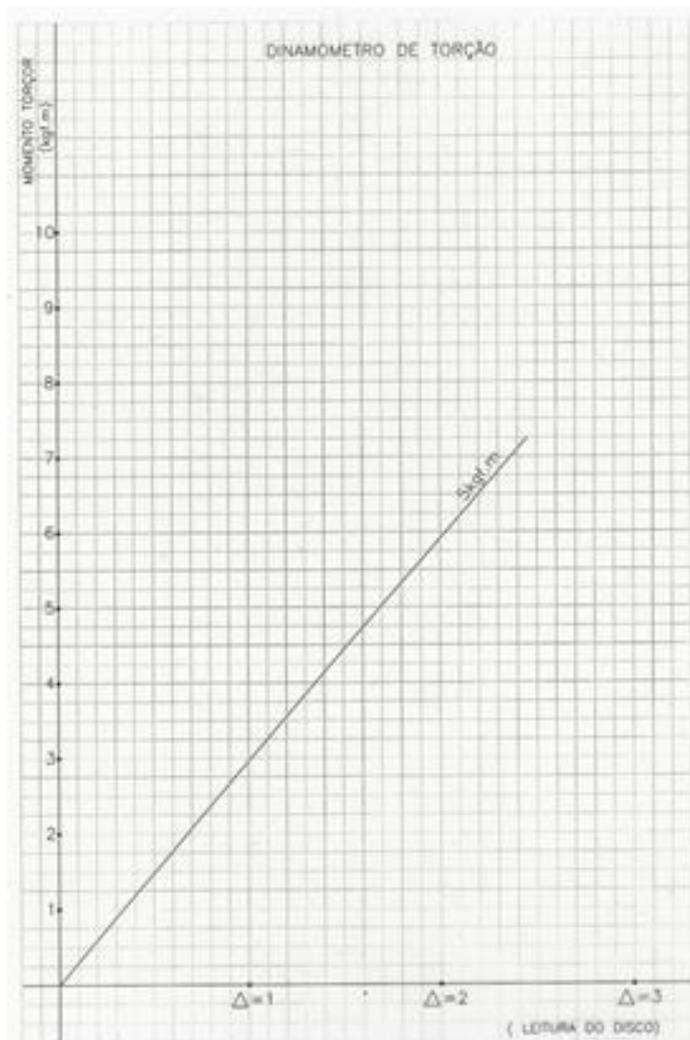
- Ao completar um determinado volume do tanque, suficiente para estimar a vazão corretamente, anotamos esse valor simultaneamente à marcação do cronômetro.
- Para os próximos pontos (para um total de 8 a 10 pontos de medição) a sugestão é a de regularmos ponto a ponto valores cada vez menores para o ($\Delta\theta$), por intermédio do fechamento do registro de gaveta, diminuindo discretamente a vazão da máxima para a mínima até o “**Último Ponto**” ($Q=zero$).
- Repetimos as medições para todos os pontos conforme procedimento acima.

6. Anexos

MANÔMETRO DE SUCÇÃO (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 –1: Determinação do (Δh) (diferença de cotas entre manômetros)

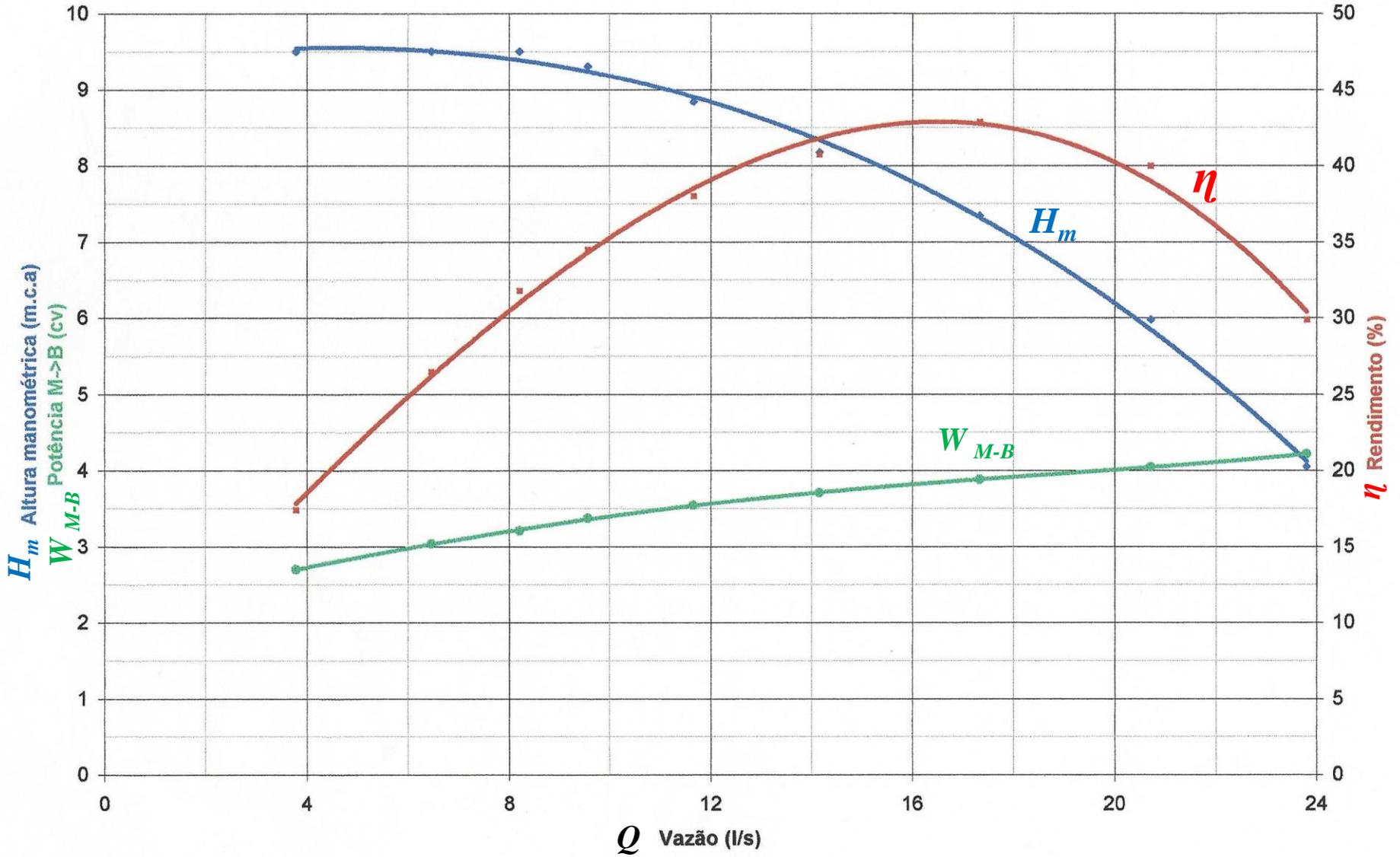
Mt

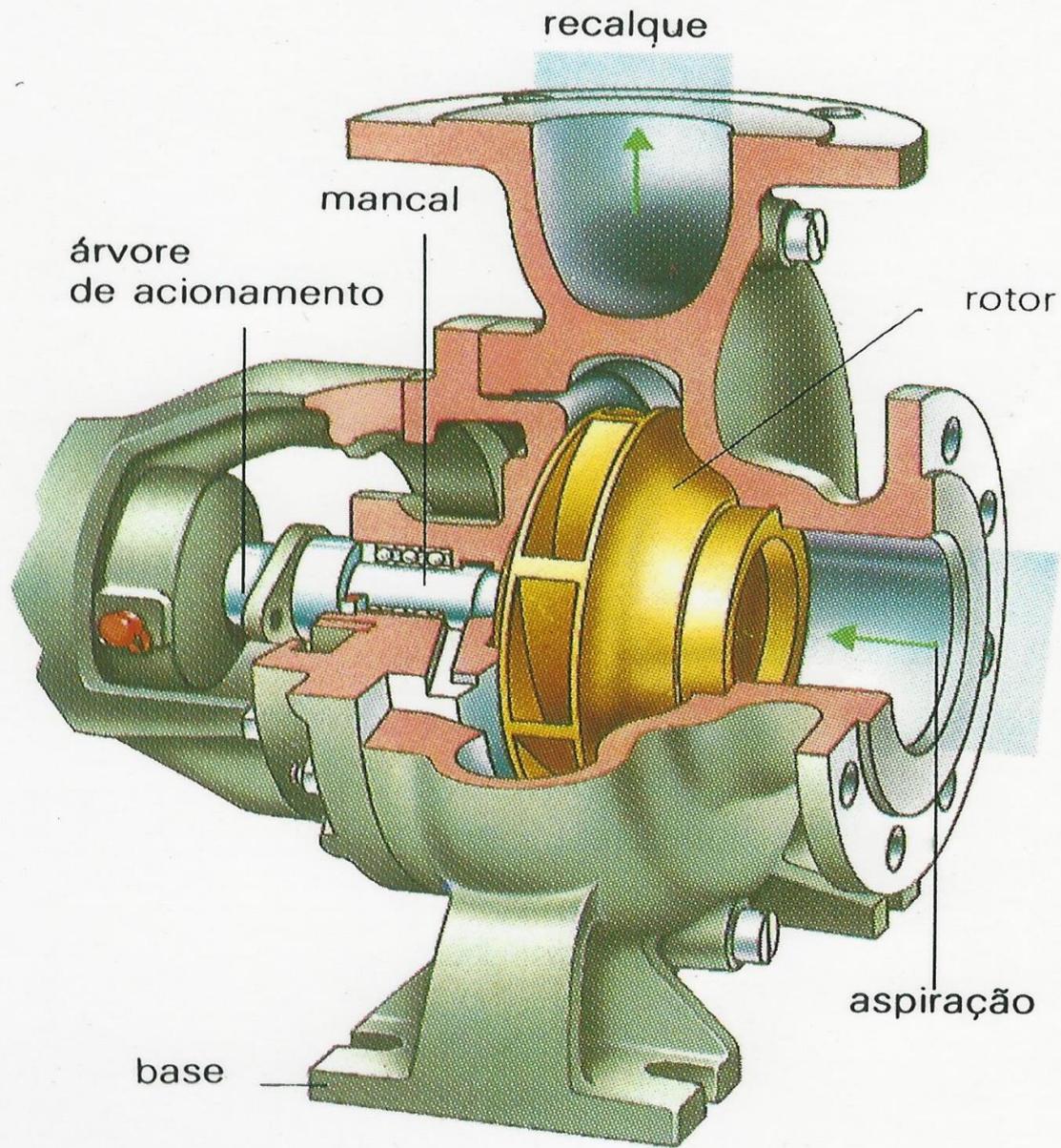


$\Delta\theta$

Anexo -2: Gráfico para a determinação do (Mt) em função do ($\Delta\theta$). (Usar o gráfico distribuído em classe)

Curvas características da bomba





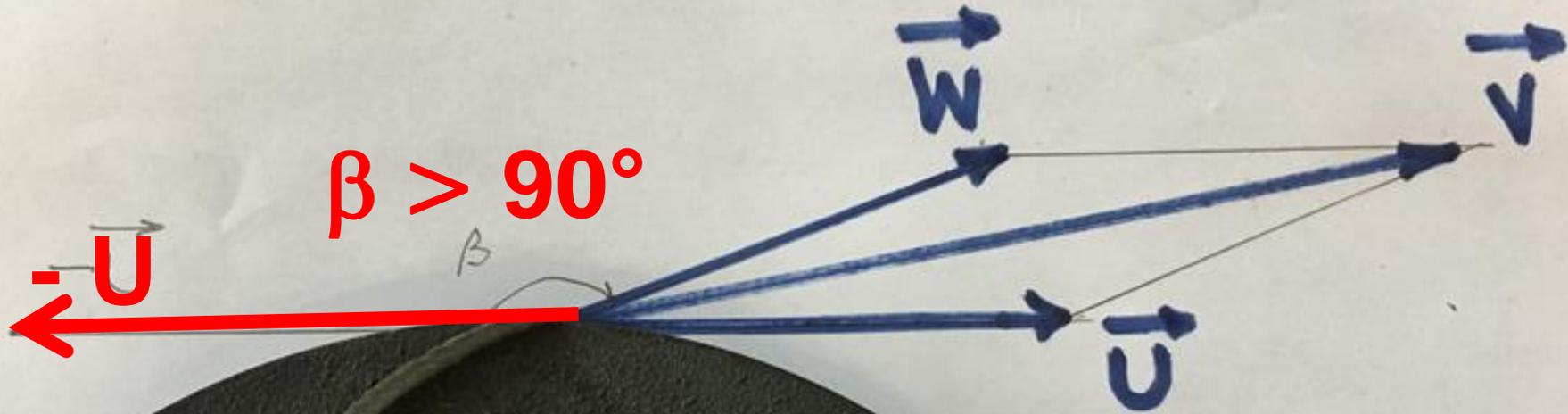
Princípio de funcionamento de uma **bomba** centrífuga.



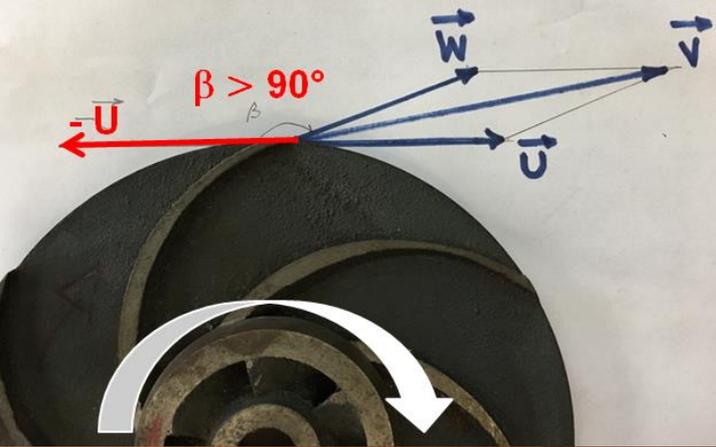




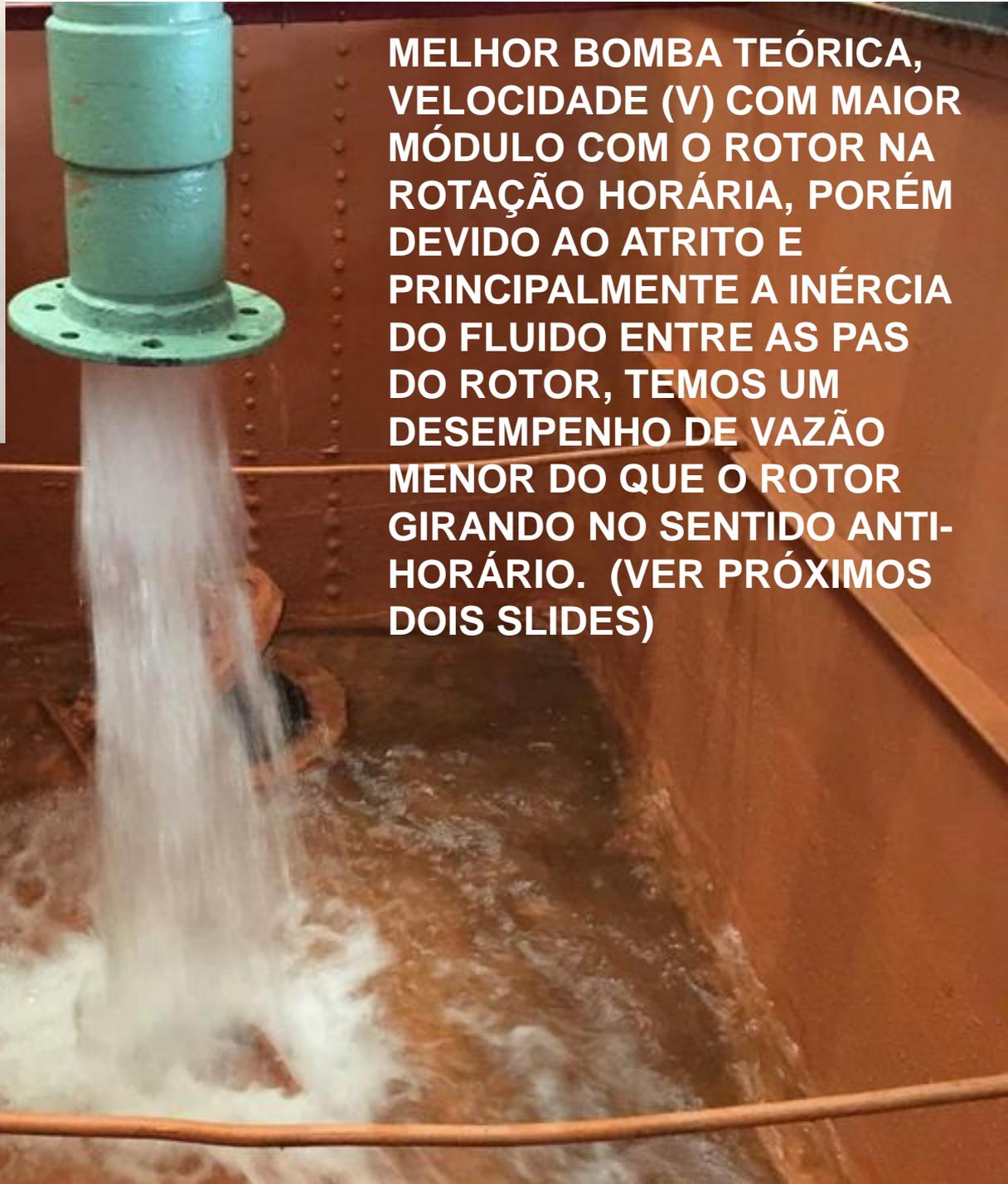
ROTAÇÃO HORÁRIA



ROTAÇÃO HORÁRIA



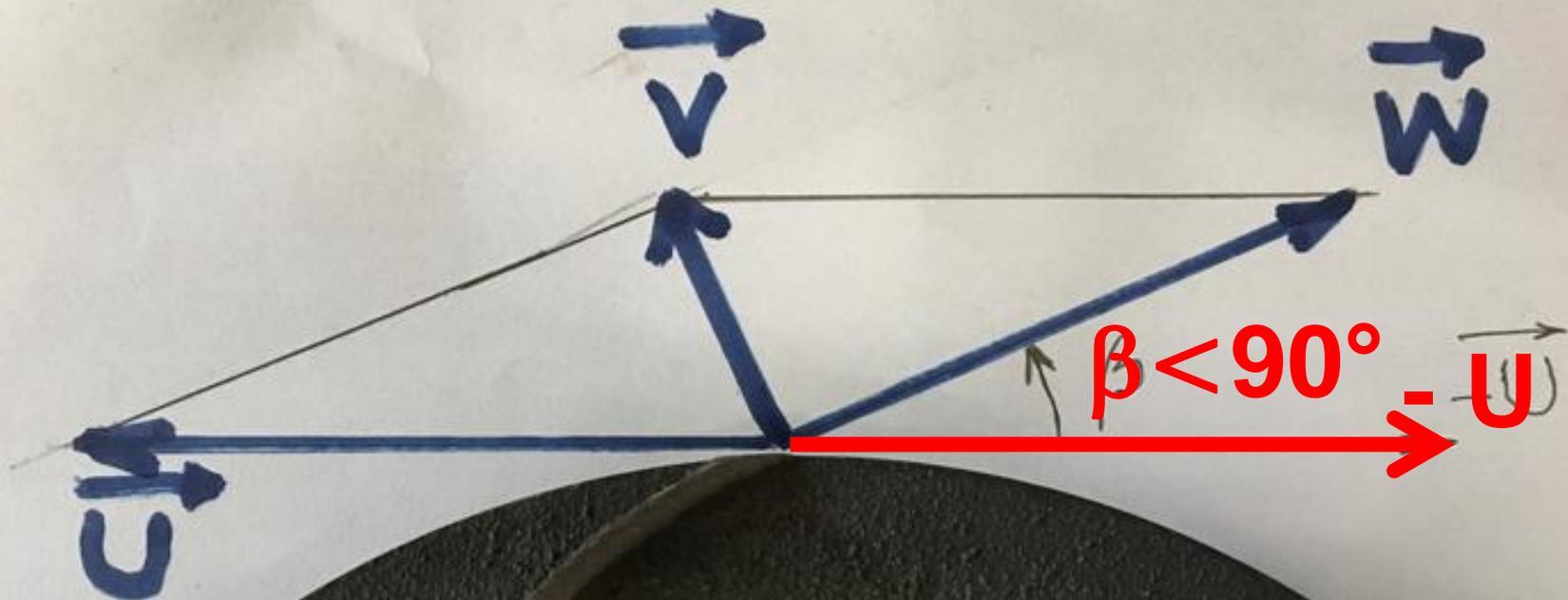
MELHOR BOMBA TEÓRICA, VELOCIDADE (V) COM MAIOR MÓDULO COM O ROTOR NA ROTAÇÃO HORÁRIA, PORÉM DEVIDO AO ATRITO E PRINCIPALMENTE A INÉRCIA DO FLUIDO ENTRE AS PAS DO ROTOR, TEMOS UM DESEMPENHO DE VAZÃO MENOR DO QUE O ROTOR GIRANDO NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO. (VER PRÓXIMOS DOIS SLIDES)



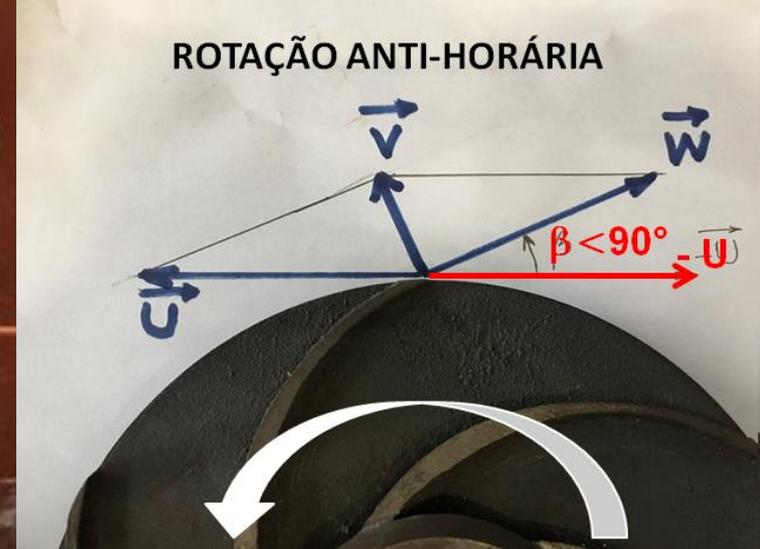


IMG_4041.MOV

ROTAÇÃO ANTI-HORÁRIA



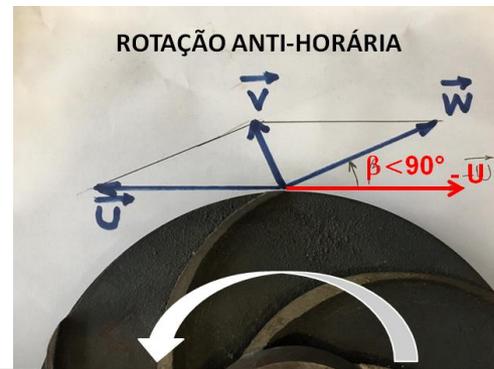
PIOR BOMBA TEÓRICA,
VELOCIDADE (V) COM
MENOR MÓDULO DO QUE O
ROTOR NA ROTAÇÃO
HORÁRIA, PORÉM DEVIDO
AO ATRITO E
PRINCIPALMENTE A INÉRCIA
E COM A FACILIDADE DE
SAIDA DO FLUIDO ENTRE AS
PAS DO ROTOR, TEMOS UM
DESEMPENHO DE VAZÃO
MAIOR DO QUE O ROTOR
GIRANDO NO SENTIDO
HORÁRIO.





IMG_4045.MOV

$$\beta > 90^\circ$$



$$\beta < 90^\circ$$



Dados Históricos

$\Delta h = 48 \text{ cm}$
 $n = 1200 \text{ rpm}$ } fixos

$W_{M \rightarrow B}$ $W_{B \rightarrow F}$

	M_s (mmHg)	M_R (kgf/cm ²)	H (m)	Vol (l)	t (s)	Q (l/s)	$\Delta = 9,8 - x$	M_t (kgf·m) GRÁFICO	$P_{M \rightarrow B}$ (CV)	$P_{B \rightarrow F}$ (CV)	η (%)
1	220	0,05		2000 300	70 35	28,5 8,6	$9,80 - 8,20 = 1,60$				
2	195	0,35		2000	82		$9,80 - 8,25 = 1,55$				
3	180	0,40		1500	66		$9,80 - 8,30 = 1,50$				
4	175	0,50		1200	58		$9,80 - 8,35 = 1,45$				
5	160	0,55		1000	53		$9,80 - 8,40 = 1,40$				
6	150	0,60		800	45		$9,80 - 8,45 = 1,35$				
7	140	0,65		500	31		$9,80 - 8,50 = 1,30$				
8	140	0,70		300	22		$9,80 - 8,60 = 1,20$				
9	130	0,75		200	19		$9,80 - 8,70 = 1,10$				
10	120	0,75		100	13		$9,80 - 8,80 = 1,00$				

$\Delta = 9,8 - x$

M_t

$P_{M \rightarrow B}$ $P_{B \rightarrow F}$ η

$\Delta z = 48 \text{ cm}$
 $n = 1200 \text{ rpm}$

ZERO DO DINAM. = "9,8"

$H_m = M_t + M_s + \Delta z$

$N_{M \rightarrow B} = \frac{M_t \cdot w}{75}$

1- INTRODUÇÃO OU OBJETIVO
 2- TEORIA
 3- ESQ. DA INST.
 4- TABELA
 5- GRÁFICOS
 6- CONCLUSÕES

$V=0$ $M_R=0,10$ $M_S=200$

$\Delta = 9,8 - x$

Tirar o valor do M_t do gráfico em anexo

O Dinamômetro de Torção tem uma folga de 0,2 da unidade. Portanto o "ZERO" do aparelho é "9,8". Onde "x" é a torção instantânea para cada ponto de vazão.

Unidades alternativas aceitas no SI

Tais como:

- **cv**
- **Etc.**

Consultar a norma ABNT

Unidades usuais de vazão aceitas no SI

m^3/s

m^3/min

m^3/h

L/s

L/min

L/h

Algumas unidades que não pertencem ao SI são, por razões culturais e uso arraigado, frequentemente usados como mostrados na tabela 6

Tabela 6 – Algumas unidades não-SI

Grandeza	Unidade	Símbolo	Relação com o SI
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 3600 s
	dia	d	1 d = 86400 s
volume	litro	L ou l	1 L = 1 dm ³
massa	tonelada	t	1 t = 1000 kg
energia	elétronvolt	eV	1 eV \approx 1,602 x 10 ⁻¹⁹ J
pressão	bar	bar	1 bar = 100 kPa
	milímetro de mercúrio	mmHg	1 mmHg \approx 133,3 Pa
comprimento	angstrom ²	Å	1 Å = 10 ⁻¹⁰ m
	milha náutica	M	1 M = 1852 m
força	dina	dyn	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
energia	erg	erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PME-3453 MÁQUINAS DE FLUXO – LABORATÓRIO

ALUNO : _____ TURMA : _____

Nº USP : _____

EXPERIÊNCIA Nº1

BOMBAS DINÂMICAS OU DE FLUXO

LEVANTAMENTO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL

(DINAMÔMETRO DE TORÇÃO)

PROF. SÉRGIO ROBERTO CÉCCATO

FA – FOLHA DE ANOTAÇÕES

DATA : _____

VISTO : _____

DADOS EXPERIMENTAIS:

P O N T O S	M_s ()	M_r ()	Volume (ℓ)	t (s)	X Leitura no dinamômetro	Δ *(9,8-X)	Δh (mca)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

DADOS COMPLEMENTARES:

OBS.: *(9,8-X) ONDE 9,8 É A REFERÊNCIA DO FUNDO DE ESCALA ("ZERO") DO DINAMÔMETRO QUE QUANDO NOVO VALIA 10 (0,2 DE FOLGA DE USO)

Relatório Individual:

- **Introdução / objetivos(0,1 pontos);**
- **Teoria aplicada ao assunto estudado(0,9 pontos);**
- **Esquema da instalação.**
Não vale o “copy & paste” da apresentação.
Esquema a mão livre, autocad, etc.....(2,0 pontos);
- **Planilha inteligente com os dados levantados
experimentalmente e dados calculados(1,0 ponto);**
- **Curvas Características da bomba em questão(2,0 pontos);**
- **Conclusões e comentários finais(2,0 pontos);**
- **Entrevista individual.....(2,0 pontos).**

Norma para emissão de relatórios segundo a ABNT

www.abntex.net.br