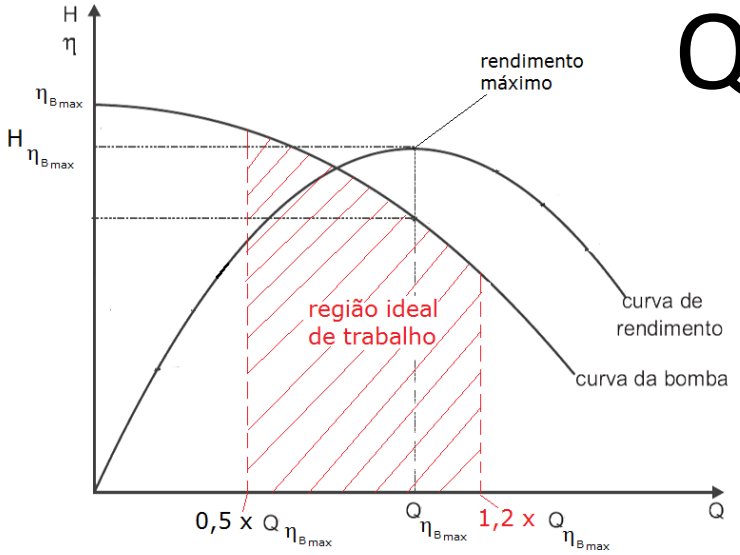
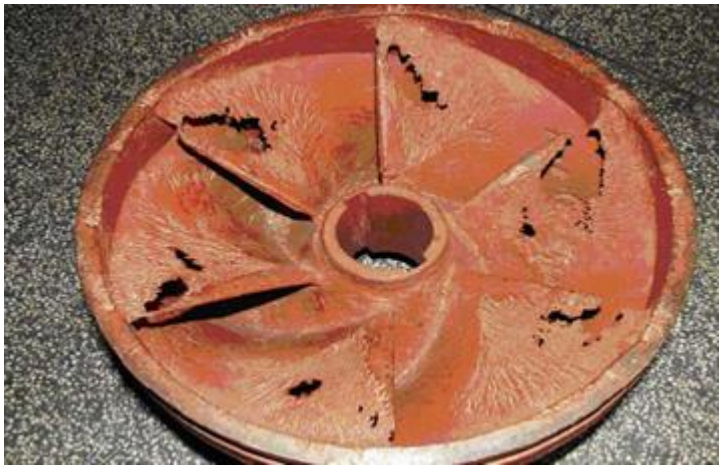
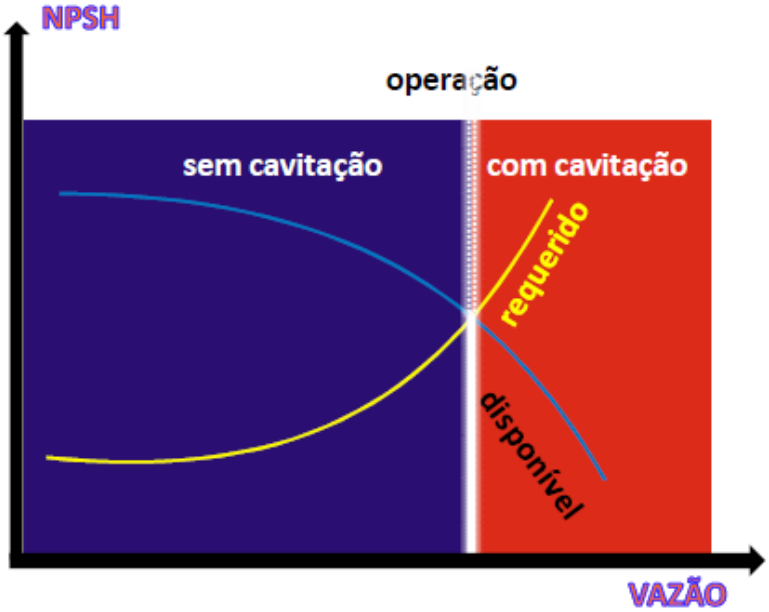


Quarta aula de teoria de ME5330

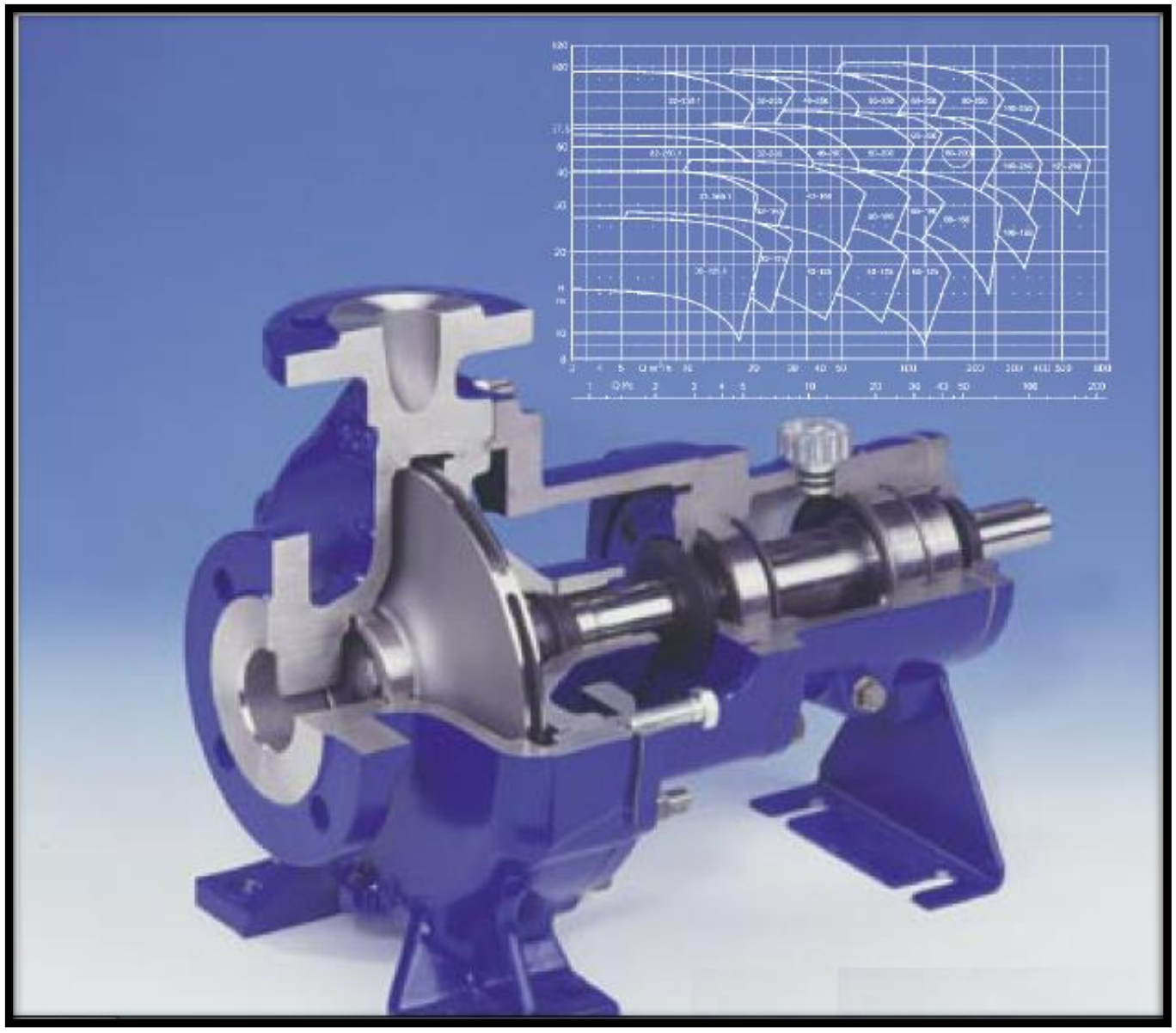
Primeiro semestre de 2015





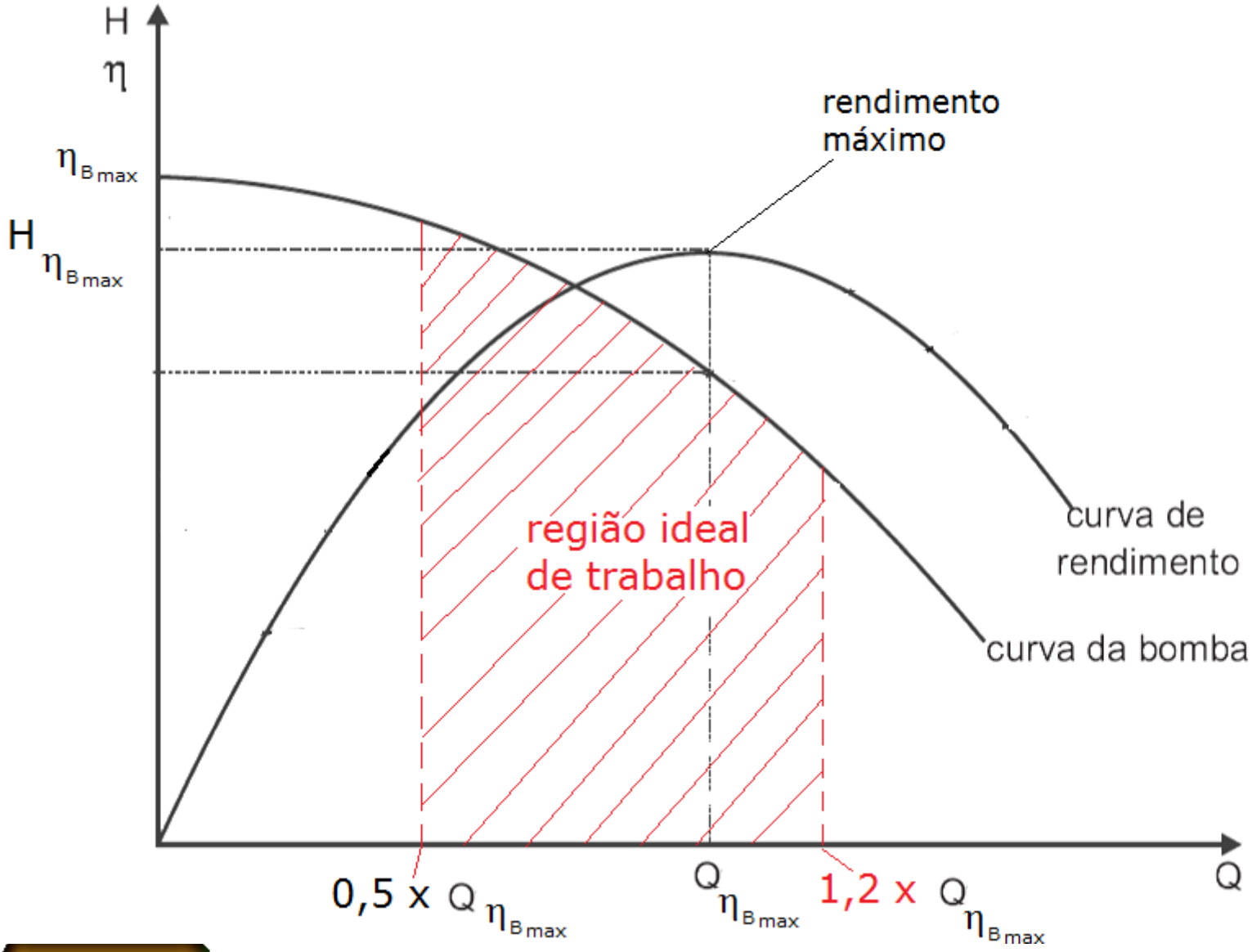
Na aula passada desenvolvemos o projeto até a obtenção do ponto de trabalho, cruzamento da CCI com a CCB.
E achamos a Q, o H_B, o η_B e N_B do ponto de trabalho. Este é o ponto de trabalho recomendado pelo fabricante?

E qual seria o ponto de trabalho recomendado pelo fabricante?



É o correspondente ao rendimento máximo!

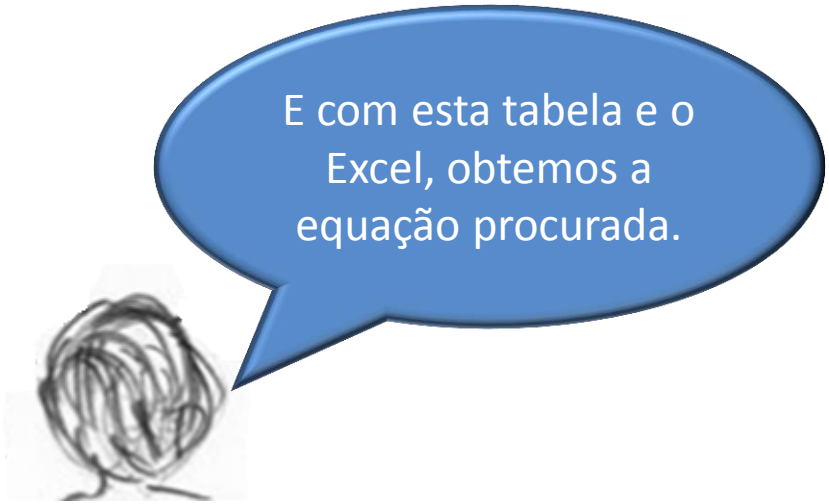
Com a vazão correspondente ao rendimento máximo da bomba, podemos visualizar a região ideal de trabalho estabelecida pelo fabricante e que está compreendida entre 50% e 120% da vazão do rendimento máximo.

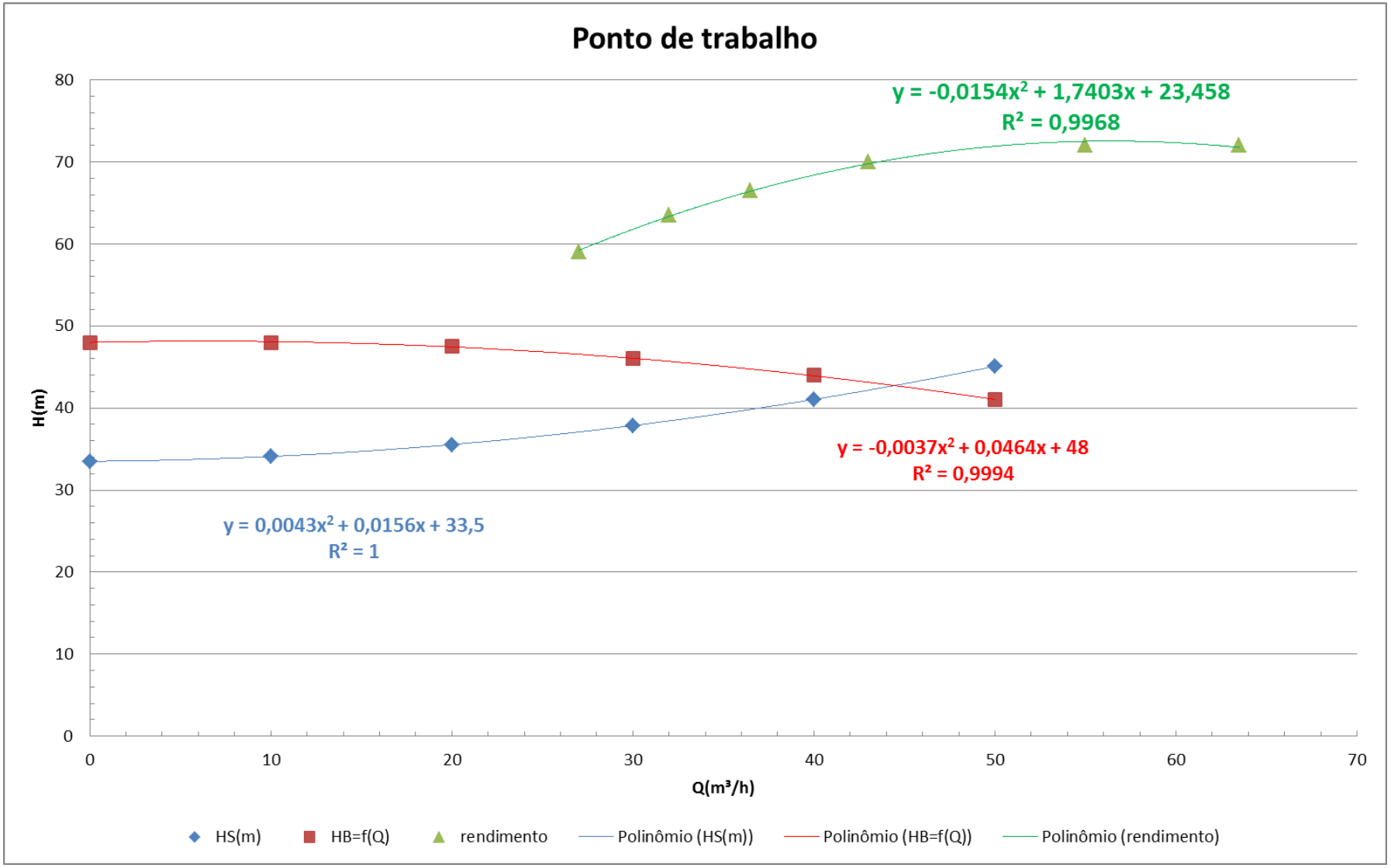

H
η
$\eta_{B\,max}$
$H_{\eta_{B\,max}}$
rendimento máximo
curva de rendimento
curva da bomba
região ideal de trabalho
0,5 x $Q_{\eta_{B\,max}}$
$Q_{\eta_{B\,max}}$
1,2 x $Q_{\eta_{B\,max}}$
Q

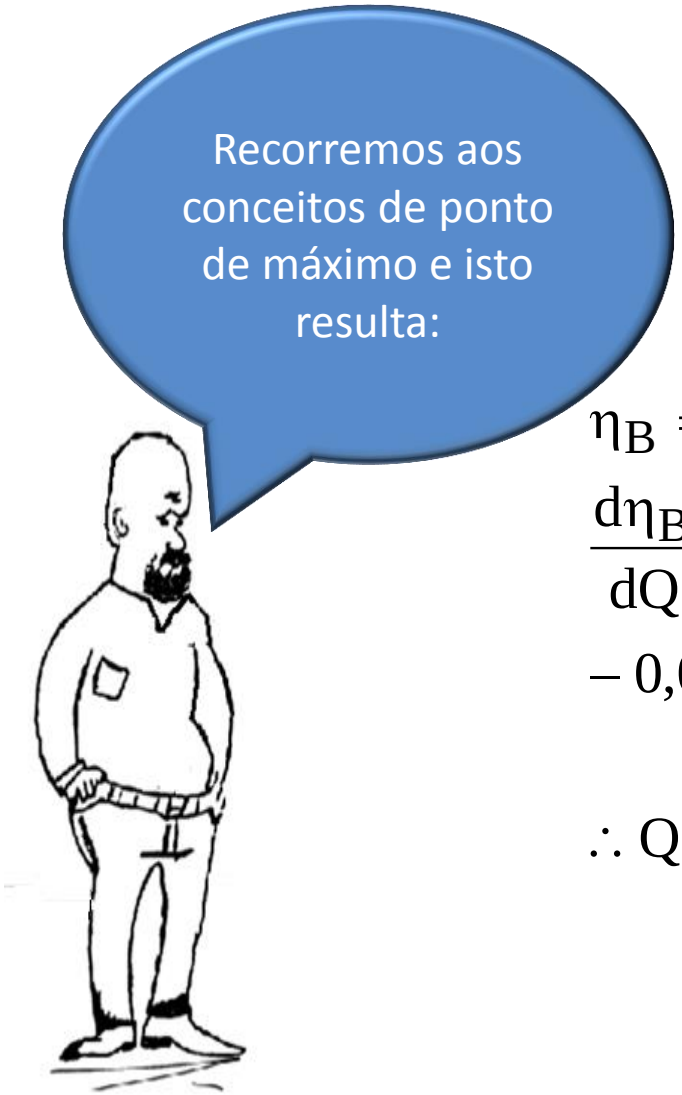
Proponho obter esta região ideal de trabalho para o nosso primeiro projeto!
Mas como achar o ponto de máximo?

Para resolvê-lo primeiro obtemos a equação que representada a curva do rendimento da bomba em função da vazão e para isto através das curvas fornecidas pelo fabricante, temos a tabela dada no próximo slide

Q(m^3/h)	hB(%)
27	59
32	63,5
36,5	66,5
43	70
55	72
63,5	72




Ponto de trabalho
y = -0,0154x² + 1,7403x + 23,458
R² = 0,9968
y = -0,0037x² + 0,0464x + 48
R² = 0,9994
y = 0,0043x² + 0,0156x + 33,5
R² = 1
H(m)
Q(m³/h)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
HS(m)
HB=f(Q)
rendimento
Polinômio (HS(m))
Polinômio (HB=f(Q))
Polinômio (rendimento)



$$\eta_B = -0{,}0154 \times Q^2 + 1{,}7403 \times Q + 23{,}458$$

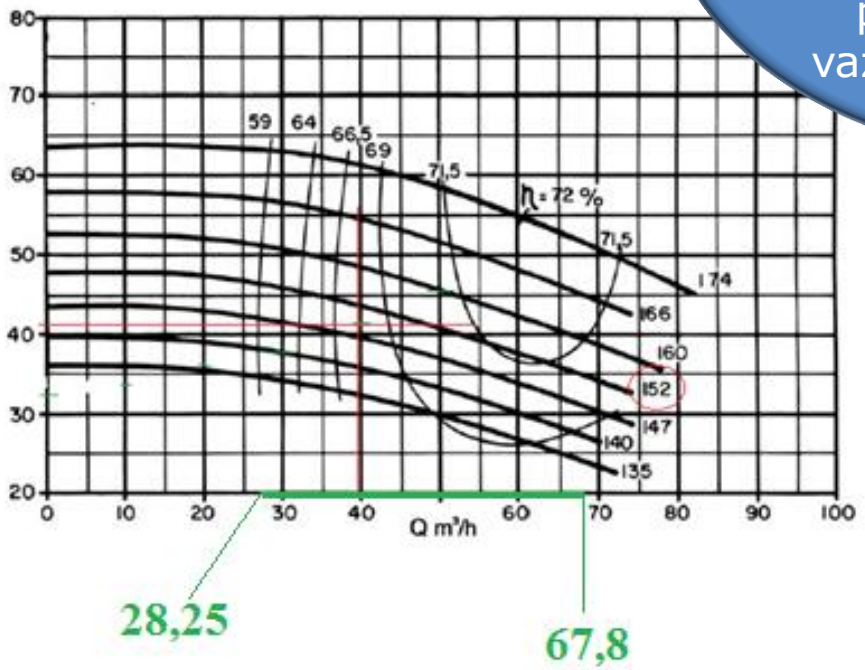
$$\frac{d\eta_B}{dQ} = 0 \Rightarrow Q_{\eta B_{max}}$$

$$-0{,}0154 \times 2 \times Q_{\eta B_{max}} + 1{,}7403 = 0$$

$$\therefore Q_{\eta B_{max}} \cong 56{,}5 \frac{m^3}{h} \Rightarrow 0{,}5 \times Q_{\eta B_{max}} \cong 28{,}25 \frac{m^3}{h}$$

$$\Rightarrow 1{,}2 \times Q_{\eta B_{max}} \cong 67{,}8 \frac{m^3}{h}$$

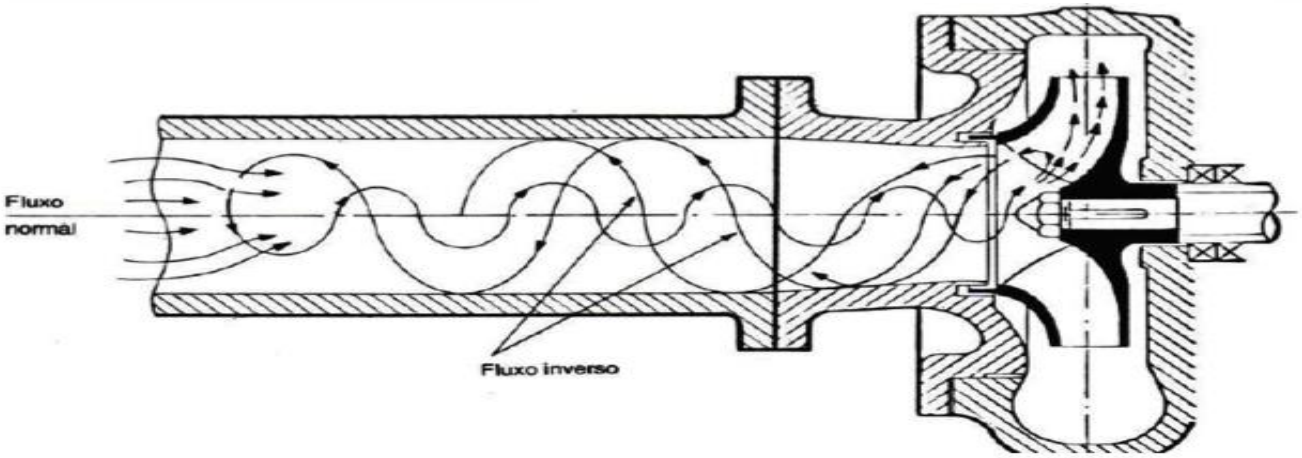
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	40-160	KSB
Oferta nº Project - No. Oferta - nº		Item nº Item - No. Pos - nº		Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal



Para o primeiro projeto temos a região ideal de trabalho representada na figura e que comprova que o ponto de trabalho obtido faz parte dela, já que a vazão foi de 44,5 m³/h.

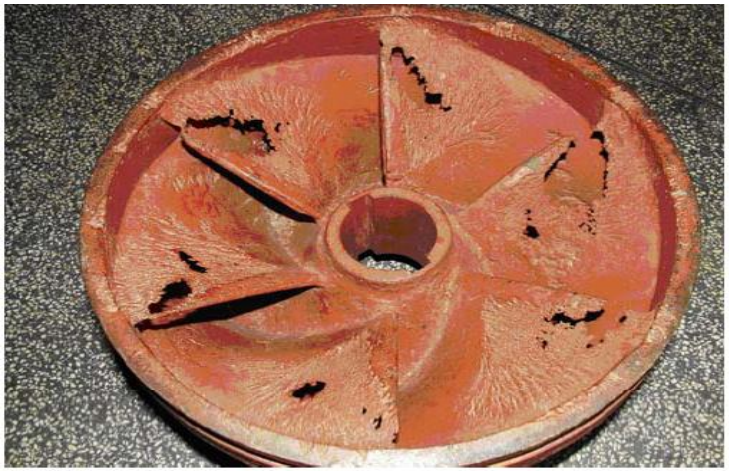
Uma nova pergunta:
por que não abaixo
de 50% da vazão do
rendimento máximo?

Na verdade, abaixo de 70% da vazão do rendimento máximo já ocorre o fenômeno de recirculação, porém é abaixo de 50% que este fenômeno passa a originar ruídos e danos significativos para a bomba.



E por que evitar vazões acima de 120% da vazão do rendimento máximo?

Com vazões acima de 120% da vazão do rendimento máximo a probabilidade de ocorrer o fenômeno de cavitação é maior!



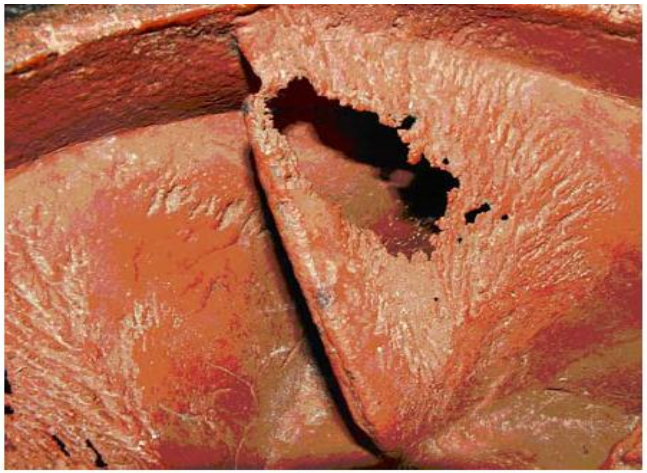


Figura 1.3 – Rotor de bomba centrífuga danificado pela cavitação.

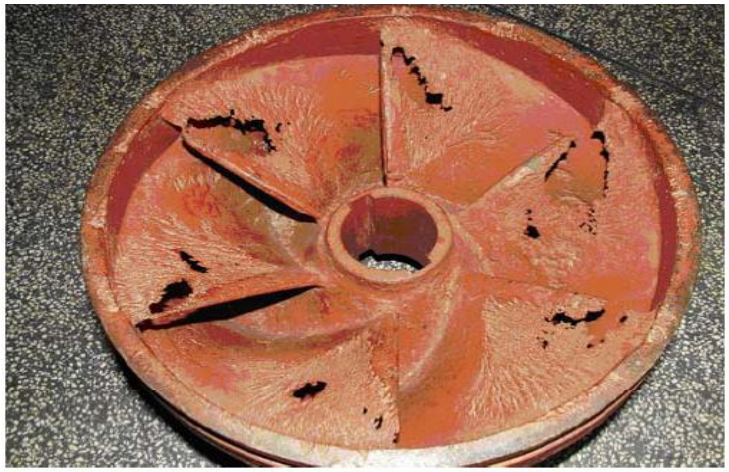


Figura 1.3 – Rotor de bomba centrífuga danificado pela cavitação.

Cavitação, que fenômeno é este?

Em instalação hidráulica cavitação é o fenômeno de vaporização total, ou parcial do fluido na própria temperatura de escoamento devido estar submetido a uma pressão muito baixa e posteriormente voltar a ser líquido com o aumento da pressão, também em um processo isotérmico.

Inicialmente se imaginou que a seção de menor pressão era a seção de entrada da bomba e aí se estudou o fenômeno de cavitação, o qual foi denominado de supercavitação e este ocorre sempre que p_{eabs} for menor ou igual a pressão de vapor.

Visualizando a cavitação

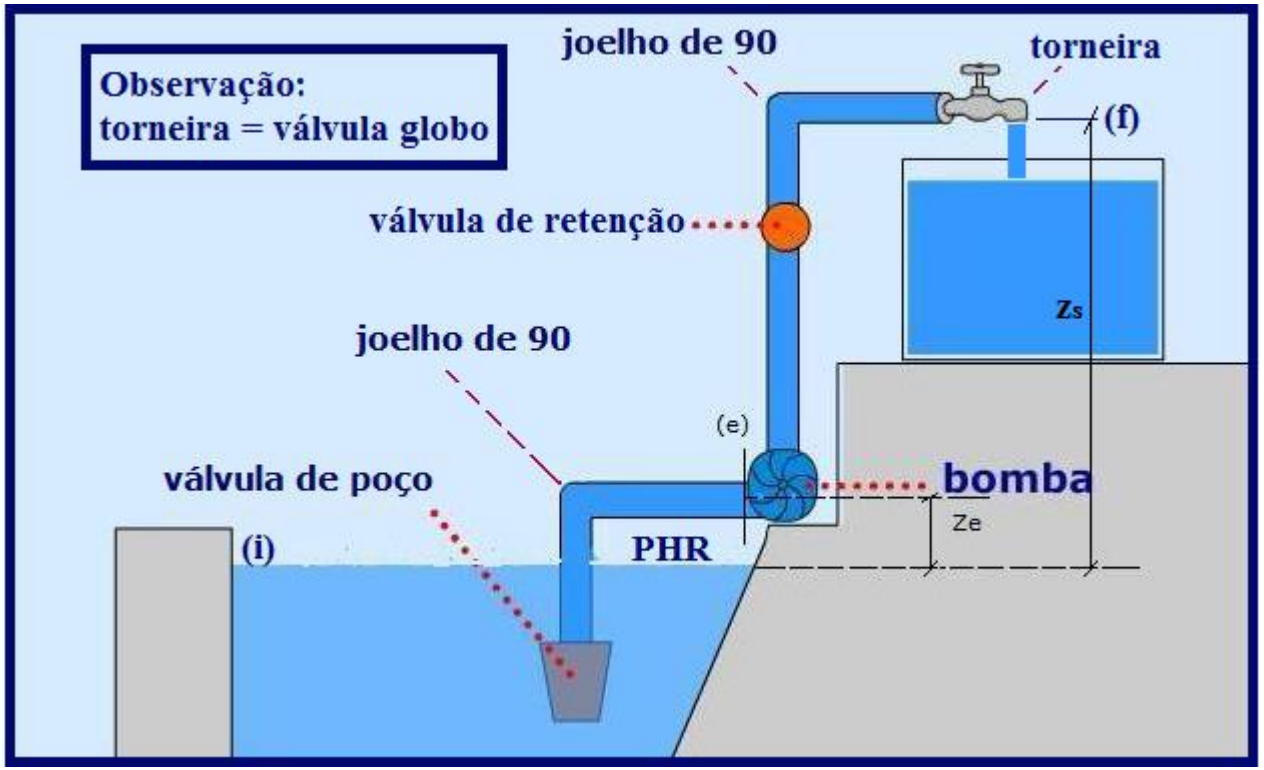
Fenômeno de vaporização

Visualizando a cavitação

Fenômeno de vaporização

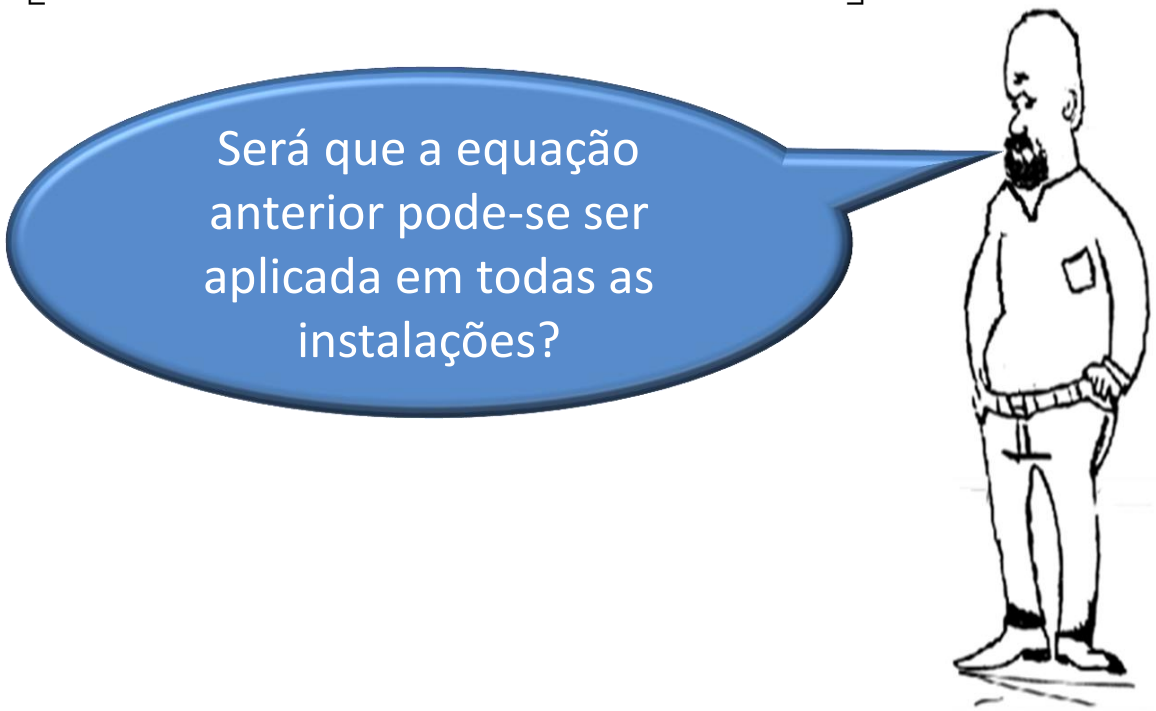
Vamos verificar o fenômeno de supercavitação.

Considerando a tubulação de sucção da instalação esquematizada abaixo, determine a pressão de entrada da bomba (p_e)?

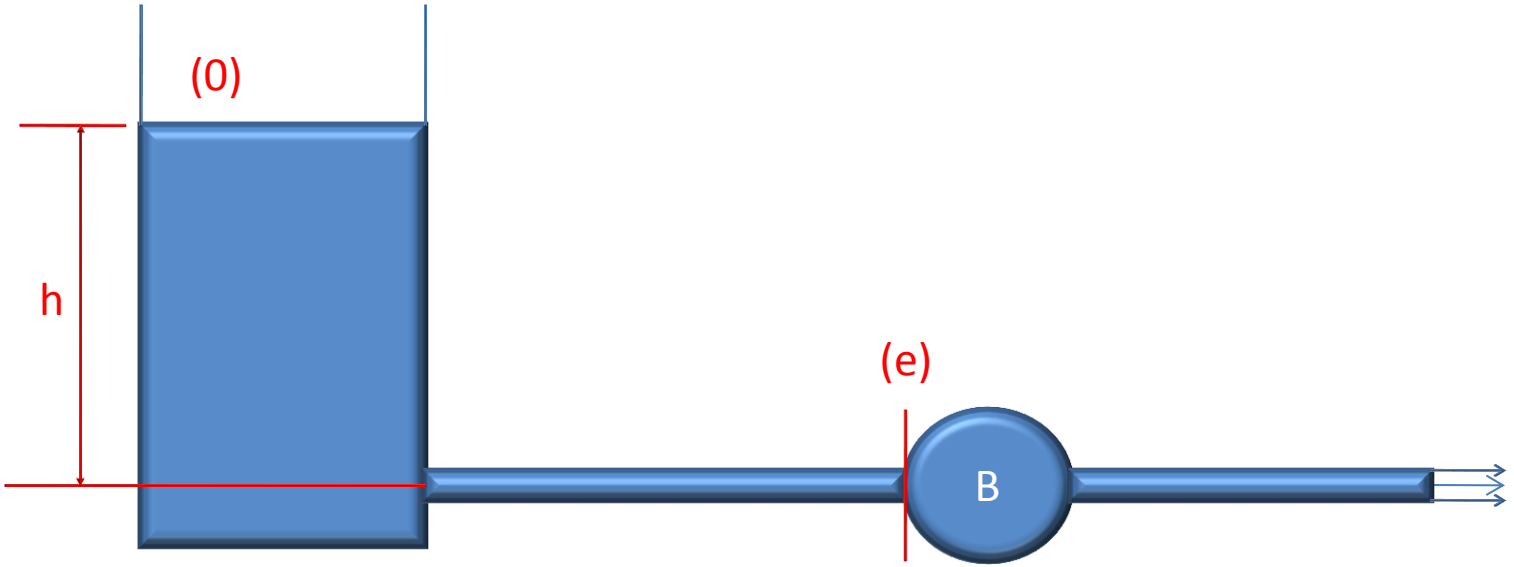


Adotando o PHR no nível de captação e trabalhando na escala efetiva, temos:

$$P_e = -\gamma \times \left[z_e + \frac{v_e^2}{2g} + f \times \frac{\left(L_{aB} + \sum Leq_{aB}\right)}{D_H} \times \frac{v_e^2}{2g} \right]$$



Para responder a pergunta anterior, calcule a pressão na entrada da bomba para o esquema a seguir:



Adotando o PHR no nível de captação e também trabalhando na escala efetiva, temos:

$$P_e = -\gamma \times \left[-h + \frac{v_e^2}{2g} + f \times \frac{\left(L_{aB} + \sum Leq_{aB}\right)}{D_H} \times \frac{v_e^2}{2g} \right]$$

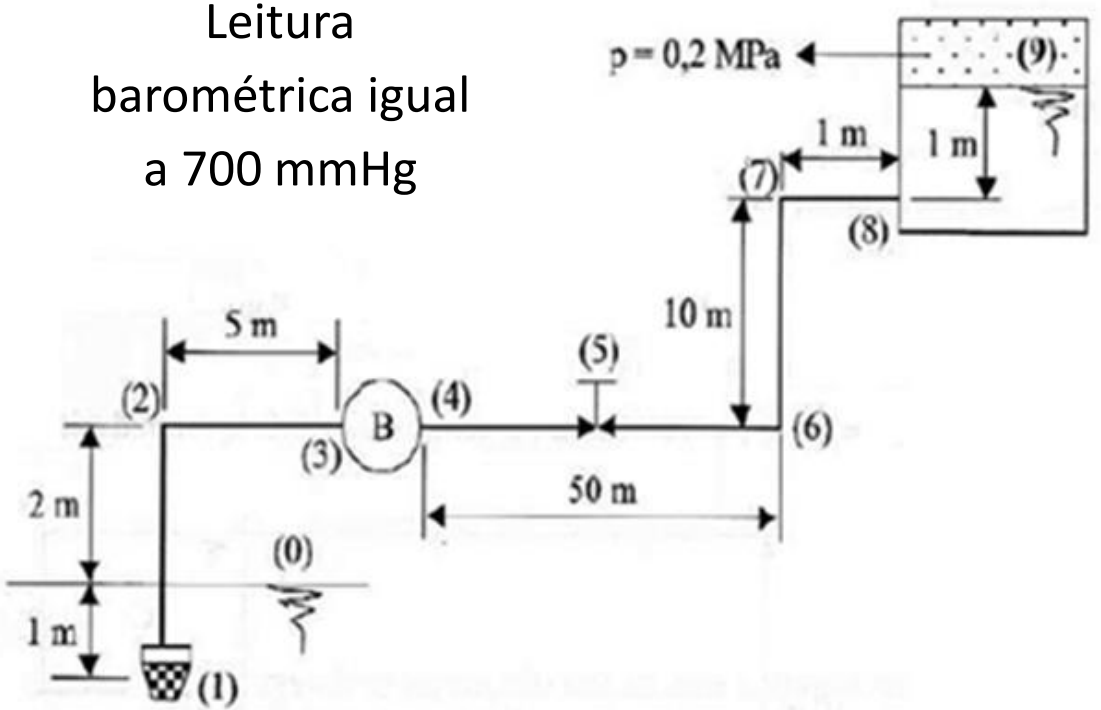
Portanto a pressão de entrada deve ser determinada aplicando-se a equação da energia.

Vamos verificar o fenômeno de supercavitação para o primeiro projeto desenvolvido.

a. Fluido: água a 20^0C, portanto:

$$\rho_{\text{água}} = 998{,}2\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3};\ \nu_{\text{água}} = 1{,}004\times10^{-6}\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}};\ \mu_{\text{água}} = 10^{-3}\,\frac{\text{N}\times\text{s}}{\text{m}^2}$$

Leitura barométrica igual a 700 mmHg



Para a tubulação antes da bomba

$$D_N = 4'' \Rightarrow D_{int} = 102{,}3mm \rightarrow A = 82{,}1cm^2$$

(1) Válvula de poço ou válvula de pé com crivo da Mipel - $Leq_1 = 42{,}65m$

(2) Joelho fêmea de 90^0 da Tupy - $Leq_2 = 3{,}76m$

$$H_{p4''} = f_{4''} \times 402587{,}9 \times Q^2$$

Com a vazão de trabalho (44,5 m³/h), obtemos o coeficiente de perda de carga distribuída e a perda de carga antes da bomba $(H_{p4''})$.

propriedades do fluido transportado					
temp (ºC)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m³)	p_v (Pa) (abs)	ν (m²/s)
20		1,00E-03	998,2	2337	1,004E-06

mat. tubo aço			
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
		102,3	82,1
	K(m)	DH/k	
	4,60E-05	2224	

Q	Q(m³/s)	Q(L/s)	Q(L/min)
m³/h	deve transformar para m³/h		
44,5			

Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee\ e\ Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
44,5	1,51	153411	0,0188	0,0192	0,0192	0,0191

Portanto: $H_{p4''} = 0{,}0192 \times 402587{,}9 \times \left(\frac{44{,}5}{3600}\right)^2 \cong 1{,}18\text{m}$

Através da equação da energia de (0) a (3) com o PHR em (0), temos:

$$0 = 2 + \frac{p_3}{998{,}2 \times 9{,}8} + \frac{1 \times 1{,}51^2}{19{,}6} + 1{,}18$$

$$p_e = p_3 \cong -32236{,}3\text{Pa}$$

$$p_{e_{abs}} = -32236{,}3 + 0{,}7 \times 13546 \times 9{,}8 \cong 60689{,}3\text{Pa}$$

Como a $p_{e_{abs}} = 60689{,}3\text{Pa}$ é maior que a $p_{vapor_abs} = 2337\text{Pa}$, podemos afirmar que não ocorre a supercavitação (cavitação na seção de entrada da bomba).

Pelo fato do fenômeno de cavitação poder comprometer todo o projeto de uma instalação de bombeamento alguns cuidados preliminares devem ser tomados para evitá-lo, cuidados estes onde objetivamos trazer a p_e o mais perto possível da p_{atm}, ou até mesmo superior a ela.

Considerando a equação abaixo, quais seriam os cuidados que deveriam ser adotados?

$$P_e = -\gamma \times \left[z_e + \frac{v_e^2}{2g} + f \times \frac{\left(L_{aB} + \sum Leq_{aB} \right)}{D_H} \times \frac{v_e^2}{2g} \right]$$

Os cuidados adotados na tentativa de evitar o fenômeno de cavitação seriam:

1º → a bomba deve ser instalada o mais perto possível do nível de captação com a finalidade de diminuir Z_e, ou, se possível, a bomba deve ser instalada abaixo do nível de captação (bomba "afogada") com isto $Z_e < 0$.

2º → a tubulação antes da bomba deve ser a menor possível com a finalidade de diminuir a H_{paB}.

3º → na tubulação antes da bomba devem ser usados os acessórios estritamente necessários com a finalidade de diminuir a H_{paB}.

4º → o diâmetro da tubulação antes da bomba deve ser um diâmetro imediatamente superior ao diâmetro de recalque com a finalidade, tanto de diminuir a carga cinética de entrada da bomba, quanto diminuir H_{paB}.

5º → o ponto de trabalho da bomba deve estar o mais próximo do ponto de rendimento máximo.

Nota: Por questão de economia, sempre que possível, não se considera o cuidado 4º mencionado acima, já que quanto maior o diâmetro maior o custo da tubulação e a decisão de não considerá-lo será tomada no final do projeto.

A condição para não existir a supercavitação é:
$p_{eabs} > p_{vapor}$
Isto já é a condição necessária para não existir a cavitação?

Não, isto só garante que não ocorre a cavitação na entrada da bomba, ela pode estar ocorrendo no interior da bomba na região de seu rotor e aí teremos que recorrer ao NPSH.
NPSH, o que vem a ser isto?

N → NET

P → POSITIVE

S → SUCTION

H → HEAD

IMPORTÂNCIA ?

calculado pelo projetista

DISPONÍVEL

≥

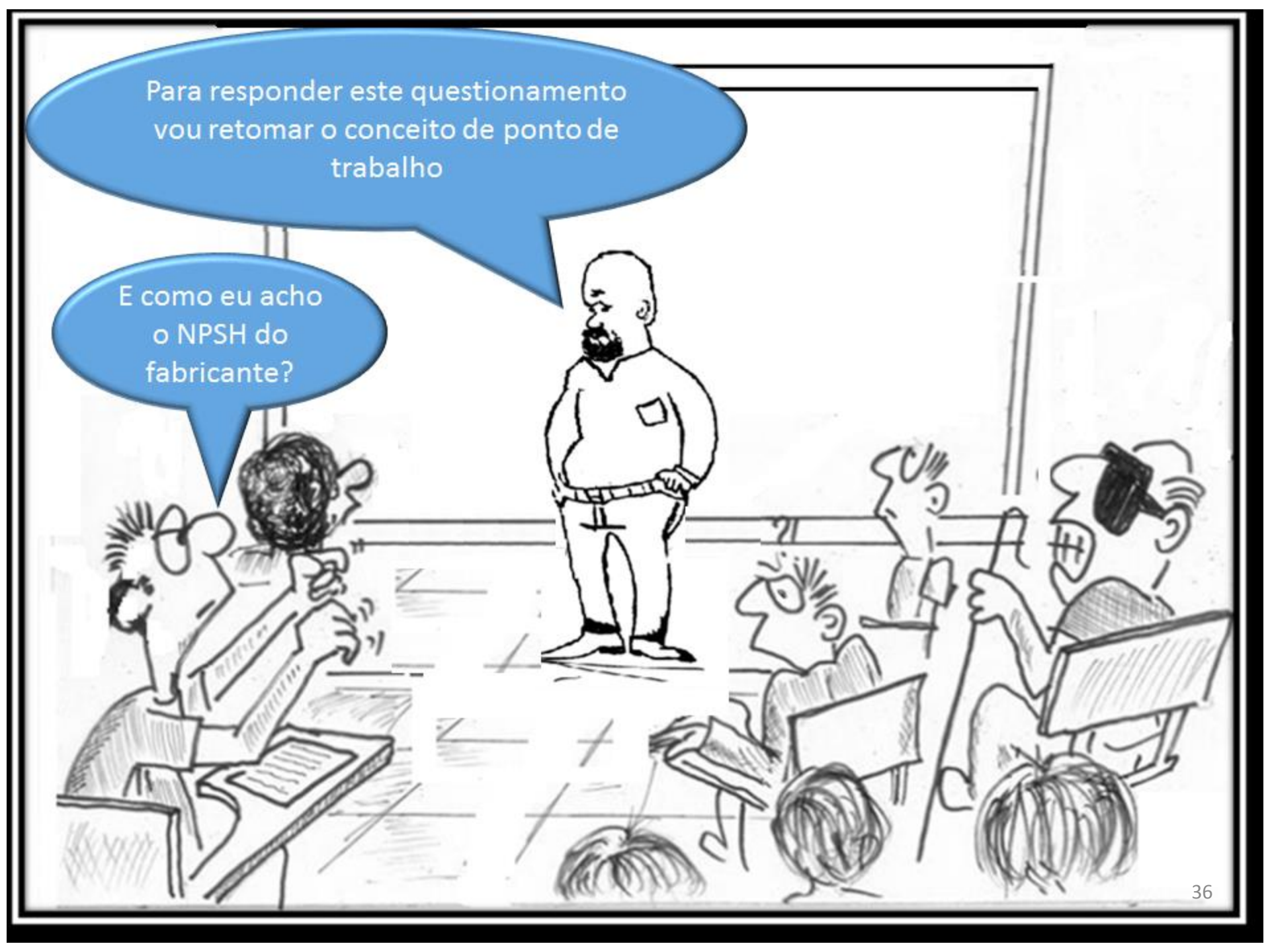
REQUERIDO

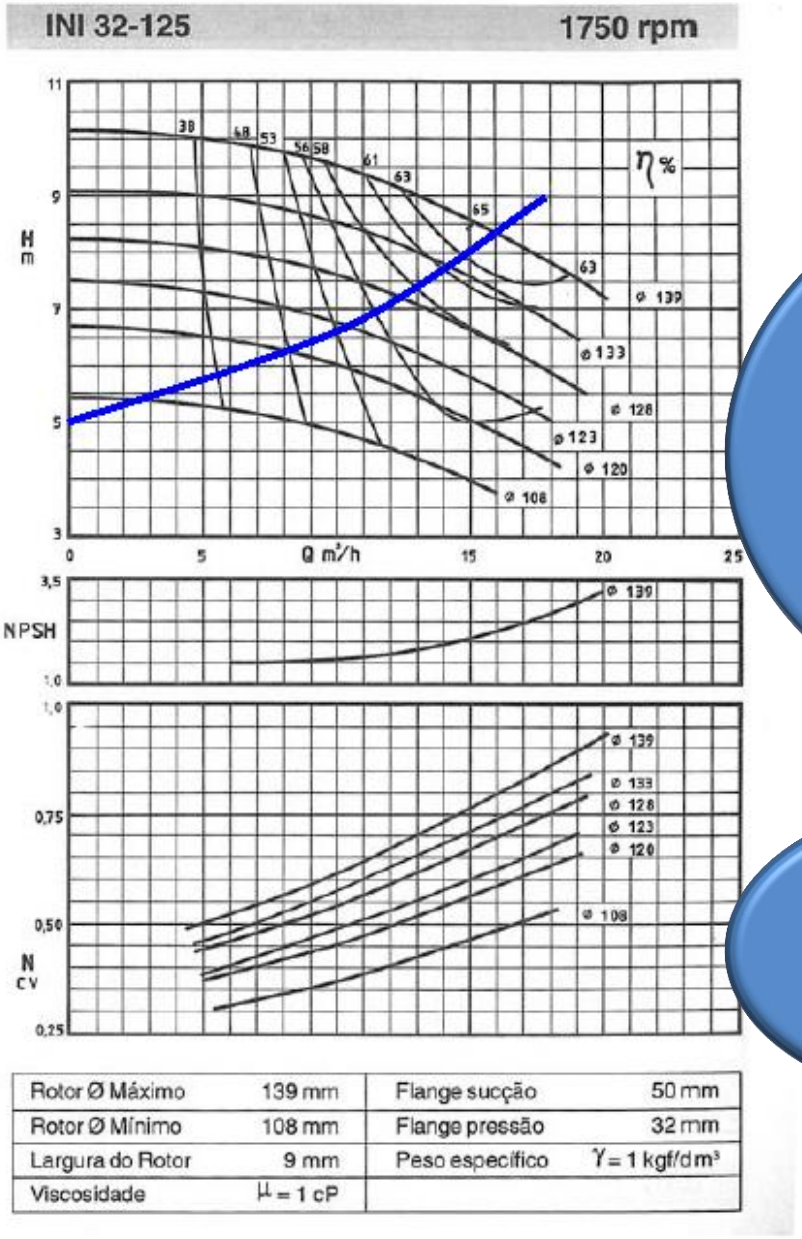
fornecido pelo fabricante

Tanto o NPSH do fabricante como o do projetista são calculados com o PHR no eixo da bomba e com a vazão de trabalho!

$$NPSH_{requerido} = H_{e_{abs}} - \frac{p_{vapor}}{\gamma}$$

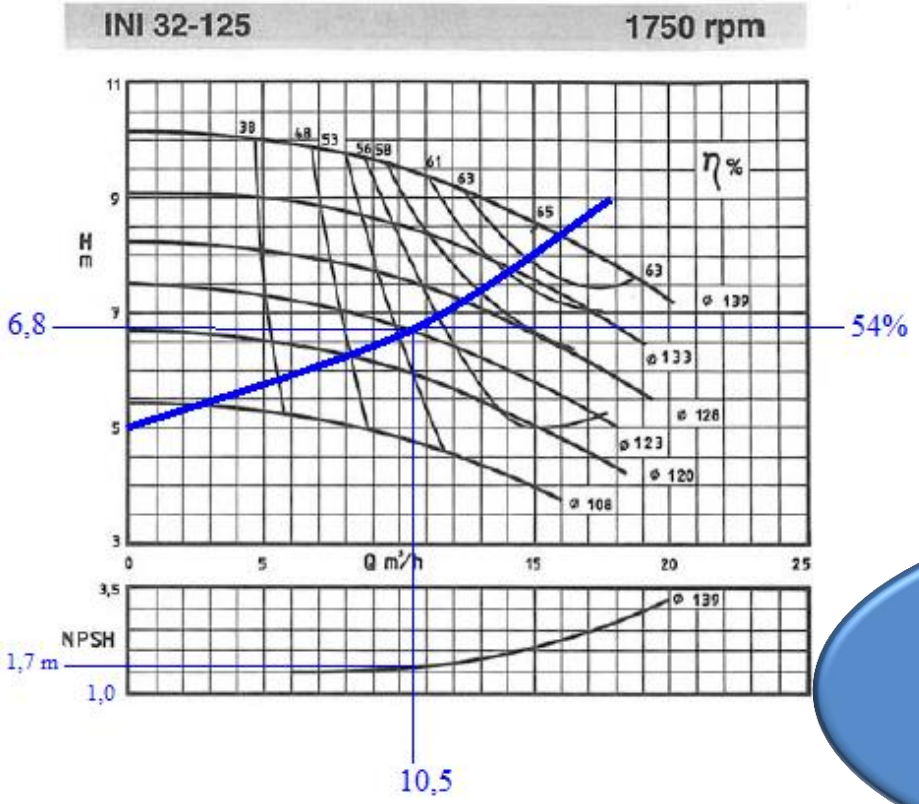
$$NPSH_{disponível} = H_{0_{abs}} - H_{p_{aB}} - \frac{p_{vapor}}{\gamma}$$


Para responder este questionamento vou retomar o conceito de ponto de trabalho
E como eu acho o NPSH do fabricante?

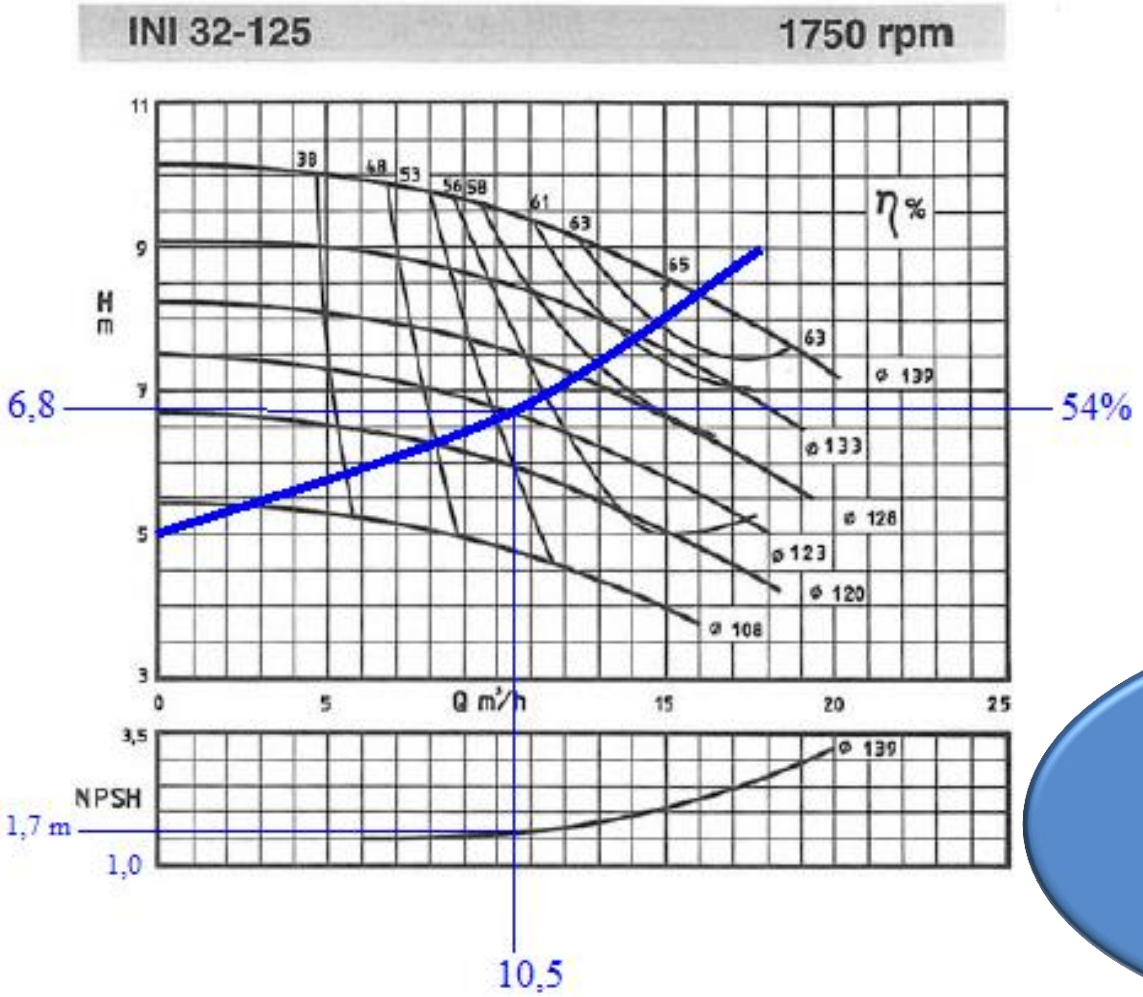


Considerando que a bomba escolhida foi a de diâmetro do rotor igual a 123 mm e lembrando que o ponto de trabalho é obtido no cruzamento das curvas de $H_B = f(Q)$ e $H_S = f(Q)$.

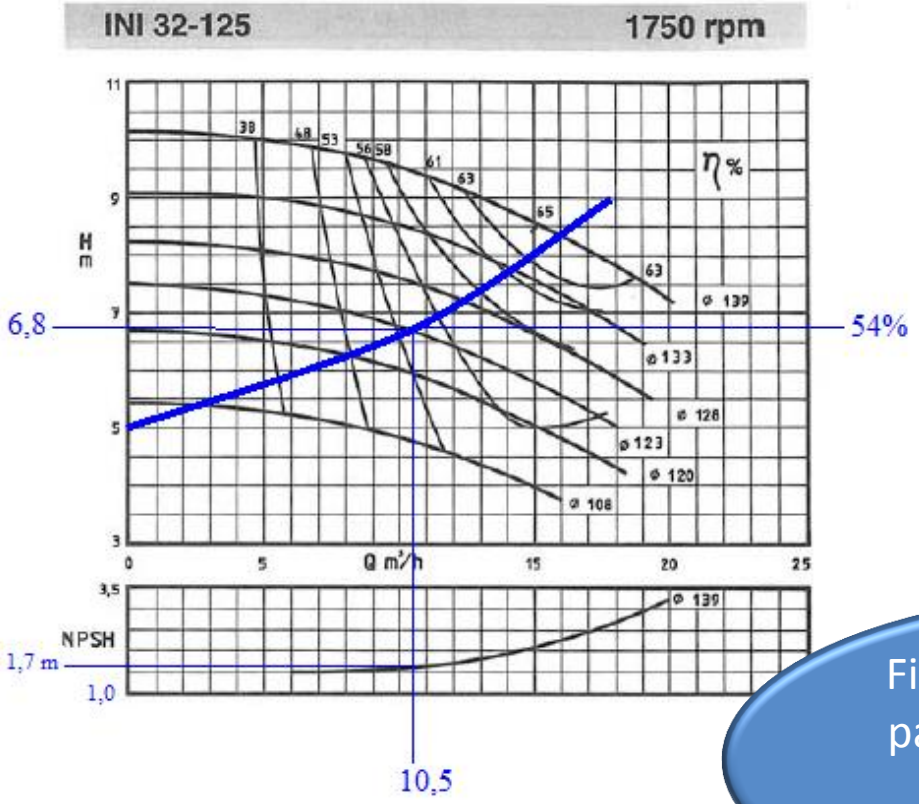
E o que definimos nele mesmo?



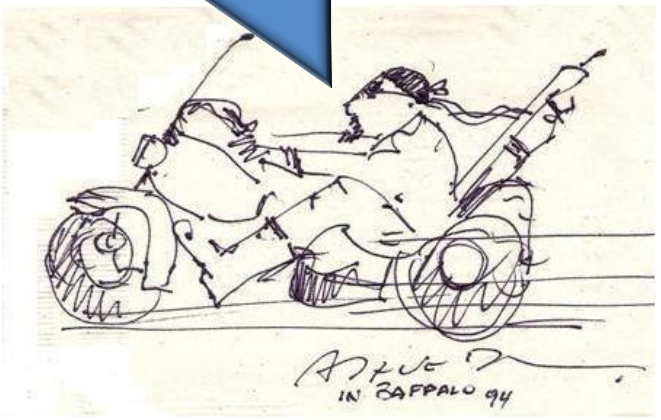
Definimos a Q (10,5 m³/h), o H_B (6,8 m), o η_B (54%), calculamos o N_B e definimos o NPSHreq (1,7 m).

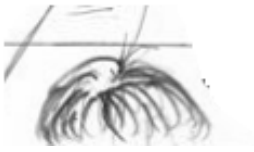


Mas no NPSH da curva representada é para o diâmetro do rotor de 139 mm, por que você pegou como sendo do diâmetro do rotor de 123 mm?



Fiz esta mesma pergunta para o fabricante, vamos ver o que ele me respondeu!



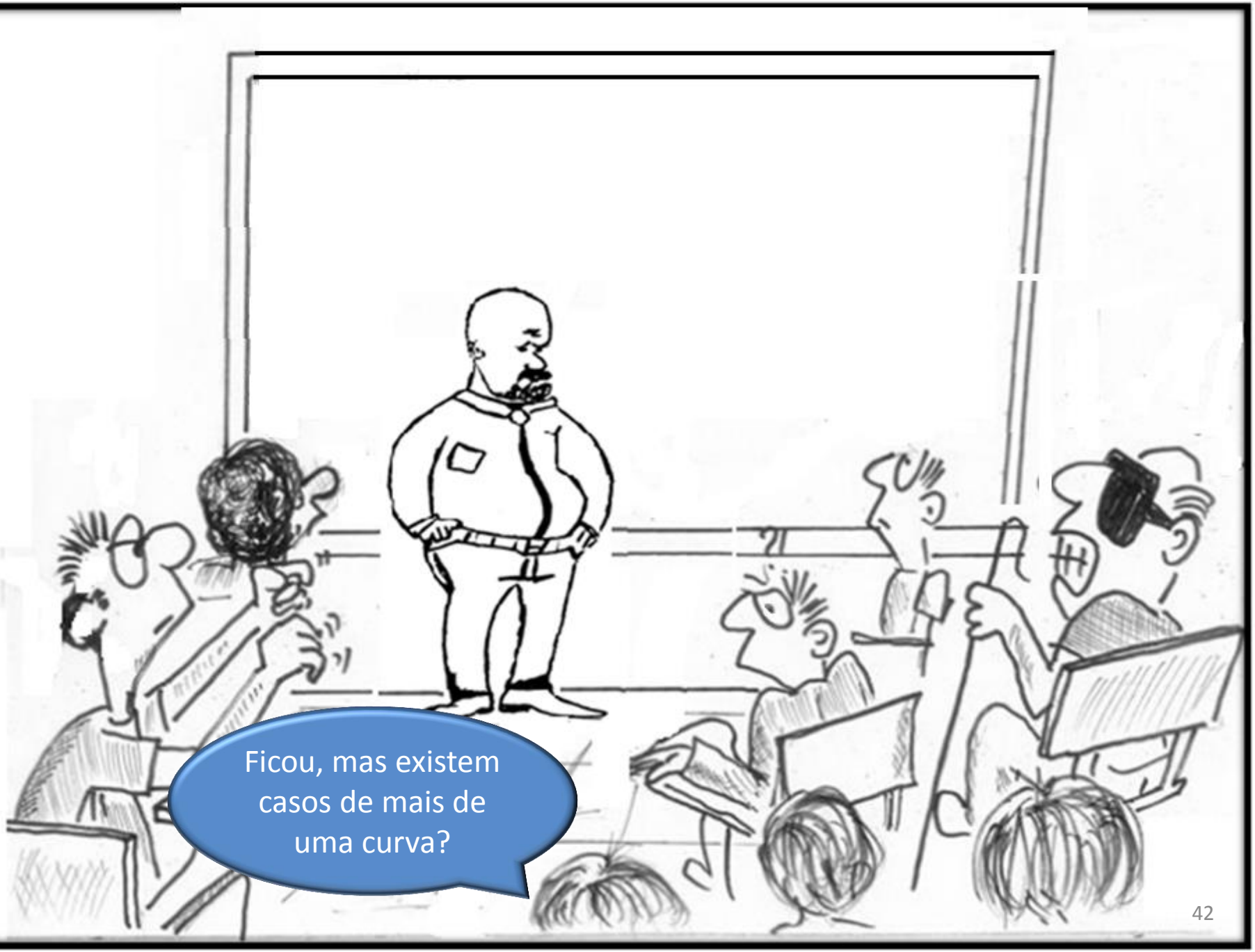


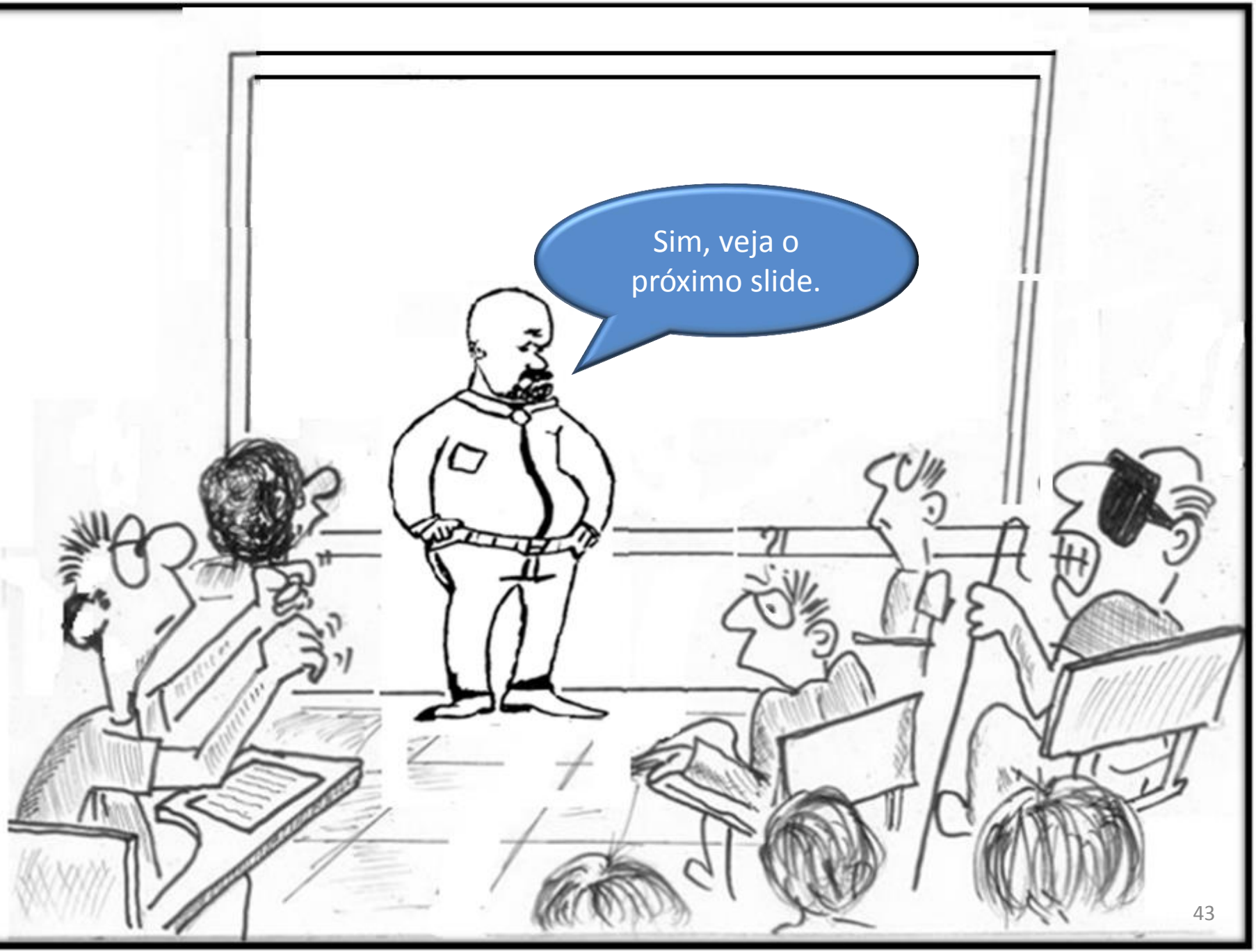
Entrando em contado com a KSB, fabricante de bombas hidráulicas, para esclarecimento do porque em muitas CCB só existir a curva do $NPSH_{req}$ para um único diâmetro, recebi a resposta abaixo:

Prezado Raimundo, a diferença entre os valores de NHSH para os diâmetros mínimos e máximo dos rotores é muito pequena, motivo pelo qual é apresentada apenas a curva com os valores maiores.

Atenciosamente,

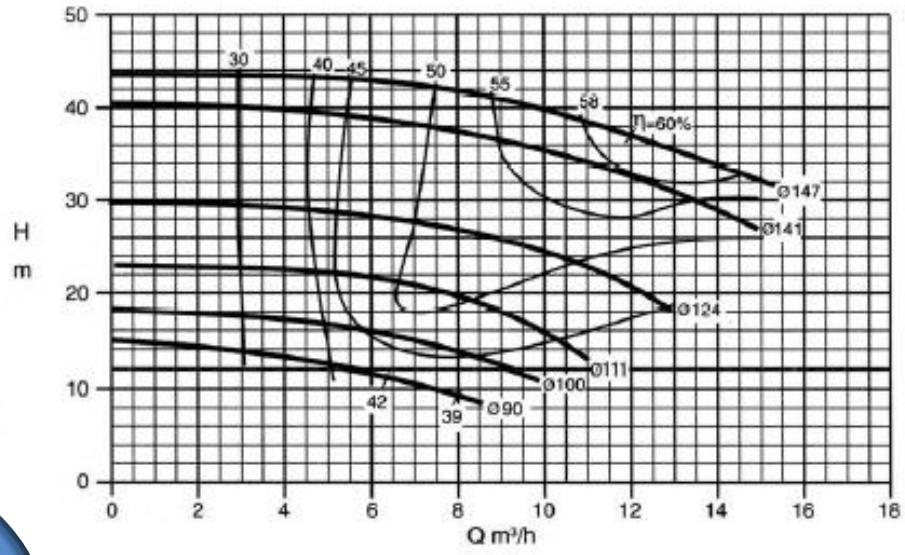
Paulo Sérgio F. de Vilhena
Gerente Setorial de Vendas
Distribuição -Building Service – Irrigação
KSB Bombas Hidráulicas S.A.
Fone: (11) 4596-8735
pvilhena@ksb.com.br


Ficou, mas existem casos de mais de uma curva?

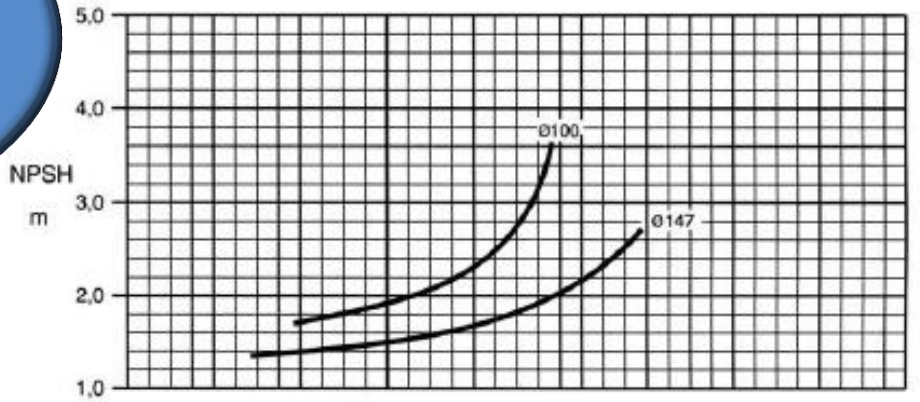

Sim, veja o
próximo slide.

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	**KSB MEGANORM** **KSB MEGABLOC**	Tamanho Size Tamaño	**25-150**	KSB
Oferta nº Project - No. Oferta - nº		Item nº Item - No. Pos - nº		Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal **3500 rpm**

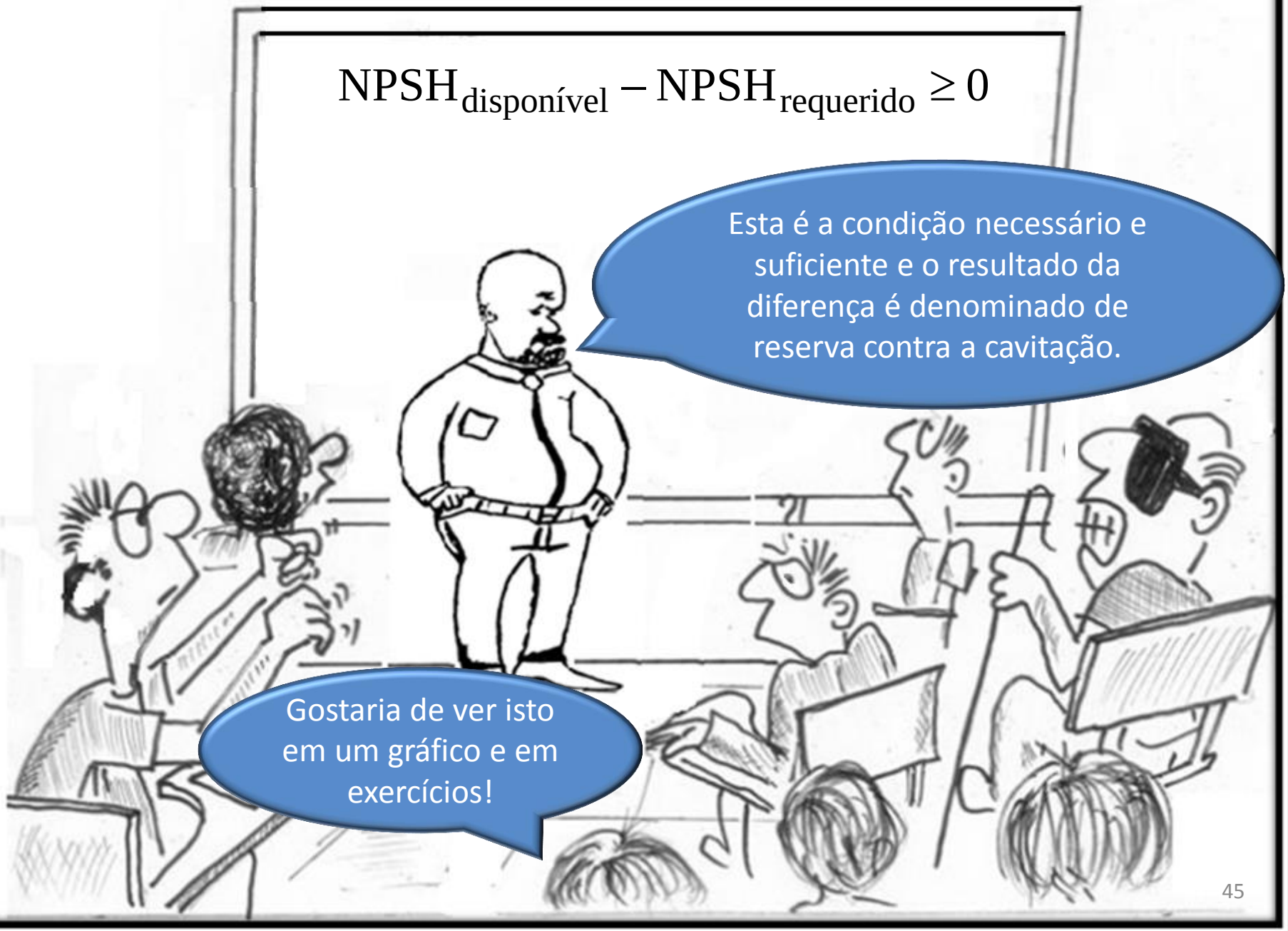
Aí está mais um exemplo da curva do $NPSH_{req} = f(Q)$



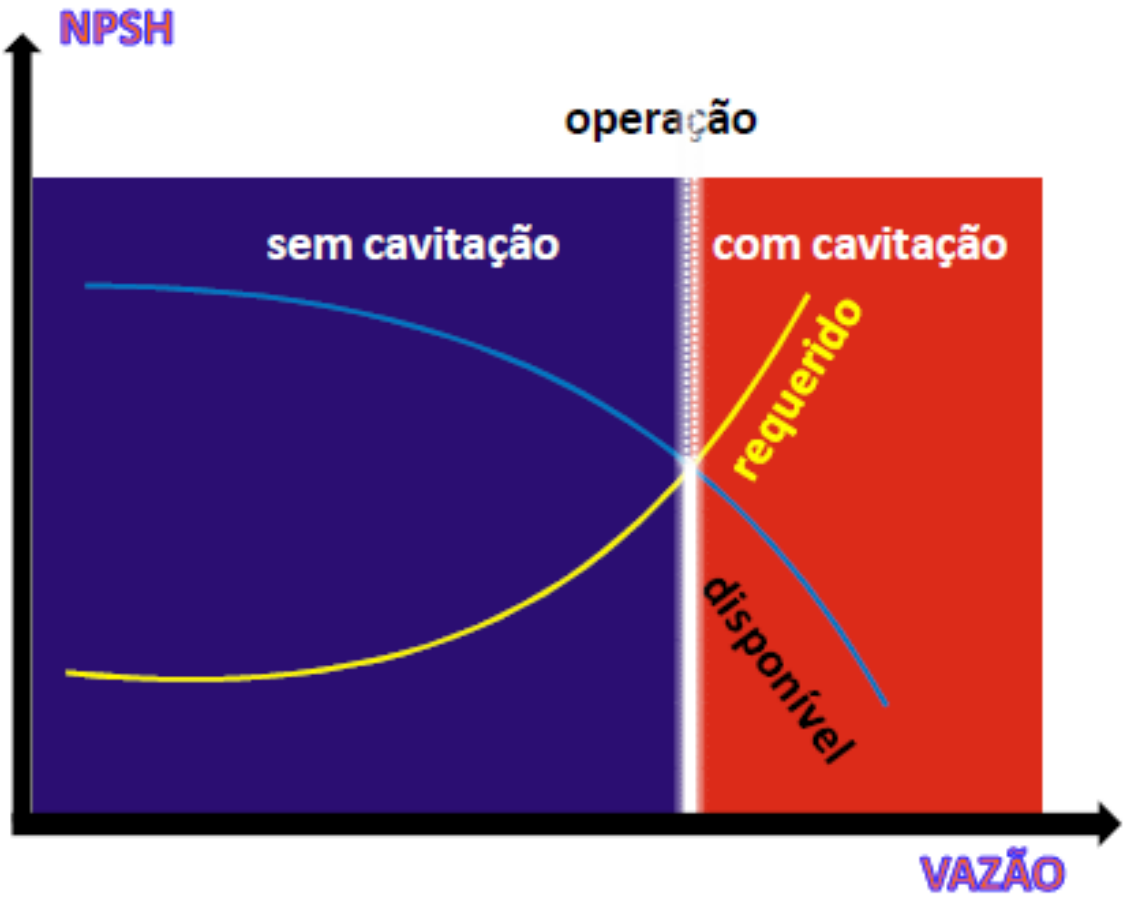
$NPSH_{requerido}$ menor que o $NPSH_{disponível}$ garante a não existência da cavitação?



$$NPSH_{disponível} - NPSH_{requerido} \geq 0$$



Graficamente, temos:


NPSH
operação
sem cavitação
com cavitação
requerido
disponível
VAZÃO

36⁰

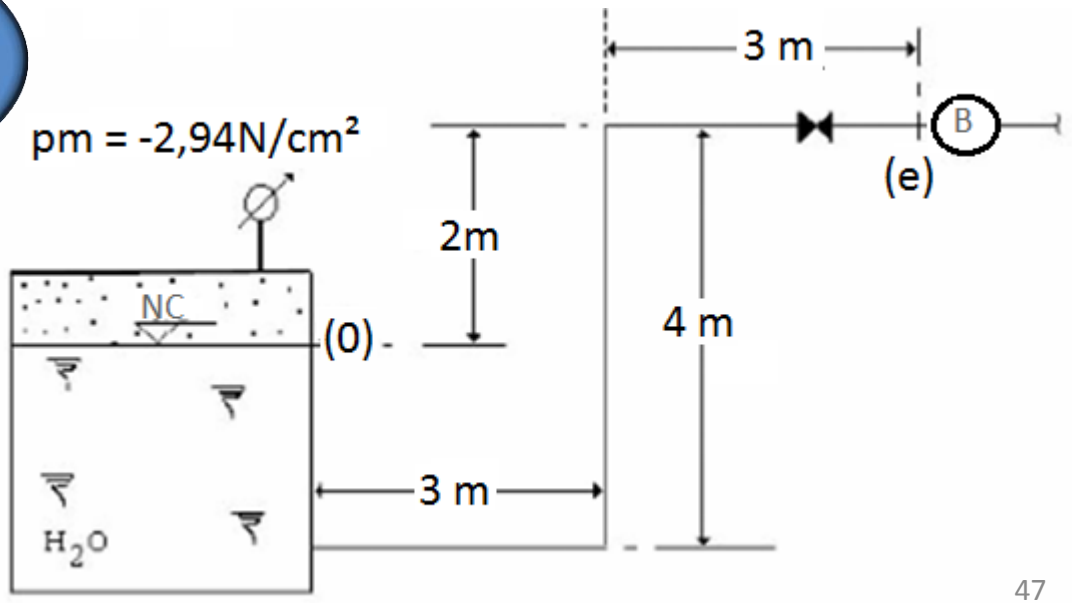
(7.12.45) A bomba hidráulica utilizada na instalação de recalque, cuja tubulação de sucção é esquematizada abaixo, tem o NPSHr = 2,0 m. Verifique o fenômeno de cavitação.

Dados:

$$f = 0{,}02;\ p_{atm} = 700\text{mmHg};\ \gamma_{H_2O} = 9800\,\frac{N}{m^3};\ Q = 4\text{L/s};$$

$$D_N = 2'' \rightarrow \text{esp.40};\ p_{vapor} = 0{,}1778\text{mca};\ \sum Le_{aB} = 44{,}6\text{m}$$

Este é um exercício para constatar a existência ou não da cavitação.



$$NPSH_d = Z_0 + \frac{p_{0_{abs}} - p_{vapor}}{\gamma} + \frac{y_i \times Q^2}{2g \times A_0^2} - f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \Sigma L_{eq_{aB}})}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2}$$

$$y_i = 0$$

$$Z_0 = -2m$$

$$p_{0_{abs}} = -0{,}3 \times 10^4 + 0{,}7 * 13600 = 6520 \frac{kgf}{m^2}$$

$$p_{vapor} = 0{,}1778 \times 1000 = 177{,}8 \frac{kgf}{m^2}$$

$$\therefore NPSH_d = -2 + \frac{6520 - 177{,}8}{1000} + 0 - 0{,}02 \times \frac{(10 + 44{,}6)}{0{,}0525} \times \frac{\left(4/1000\right)^2}{2 \times 10 \times \left(21{,}7 \times 10^{-4}\right)^2}$$

$$NPSH_d = 0{,}81m$$

Como:

$$NPSH_{disponível} - NPSH_{requerido} = 0{,}81 - 2 = -1.19m$$

Além dos exercícios anteriores, proponho a segunda lista de exercícios que é constituída dos exercícios:

Número do exercício	Página na proposta do mangá
22	119
23	128
24	138
25	194
27	216
28	224
29	240
30	247
31	258
32	292
33	388
34	400
35	429
39	456
40	459
41	462
42	468 (aula monitoria)
43	470 (aula monitoria)
44	471 (aula monitoria)
45	473 (aula monitoria)