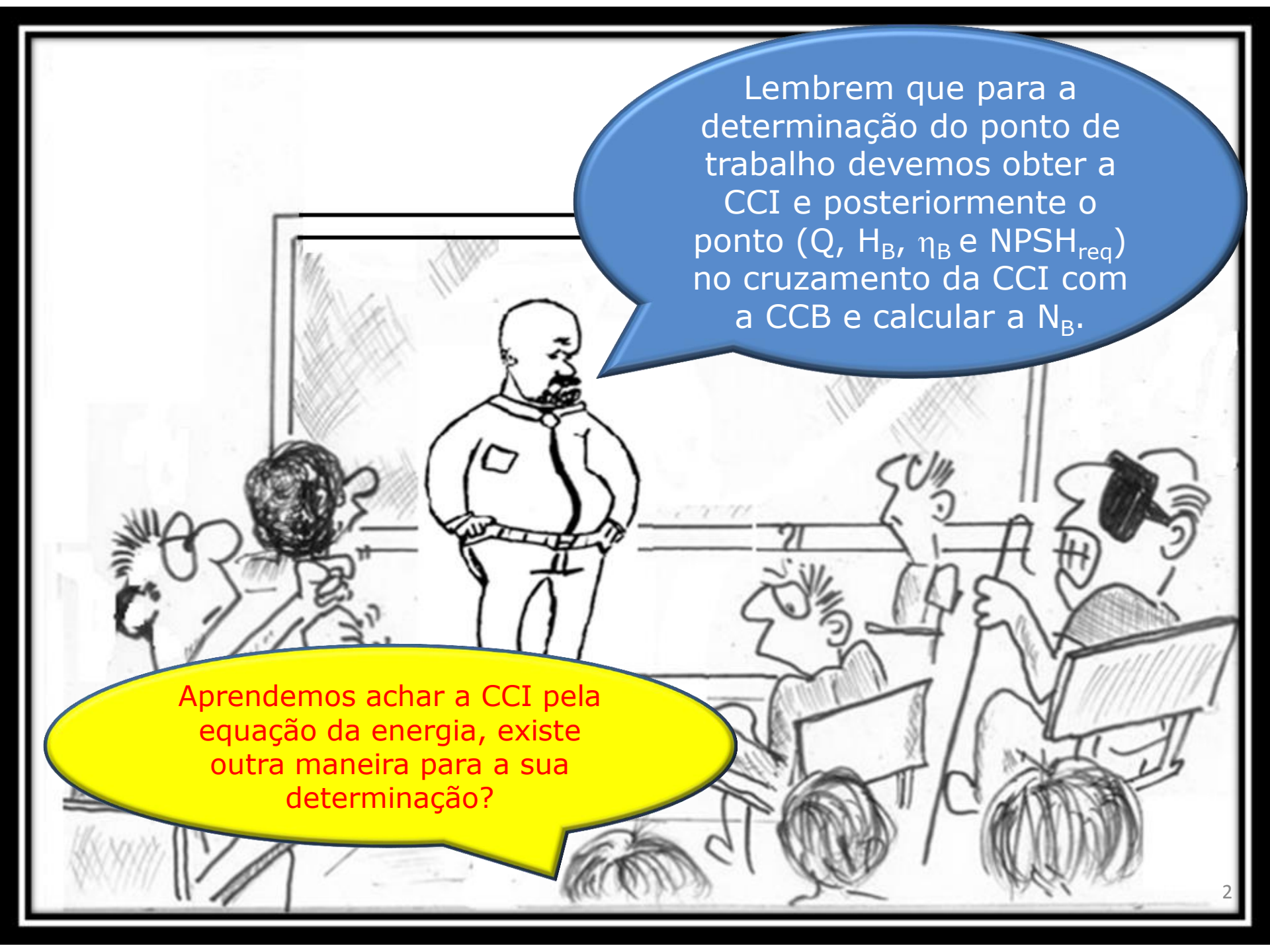





Sexta aula de laboratório de ME5330

Primeiro semestre
de 2015


A black and white cartoon illustration of a classroom. A lecturer with a beard and a white shirt stands at the front, looking towards the students. Several students are seated at desks, some holding papers or books. The scene is framed by a simple border.

Lembrem que para a determinação do ponto de trabalho devemos obter a CCI e posteriormente o ponto (Q , H_B , η_B e $NPSH_{req}$) no cruzamento da CCI com a CCB e calcular a N_B .

Aprendemos achar a CCI pela equação da energia, existe outra maneira para a sua determinação?



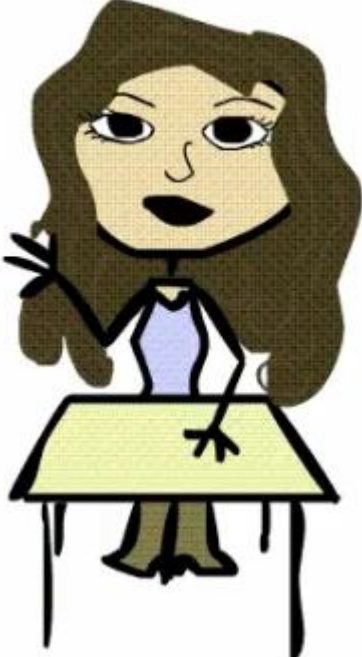
Sim, podemos obtê-la
experimentalmente
através do inversor de
frequência



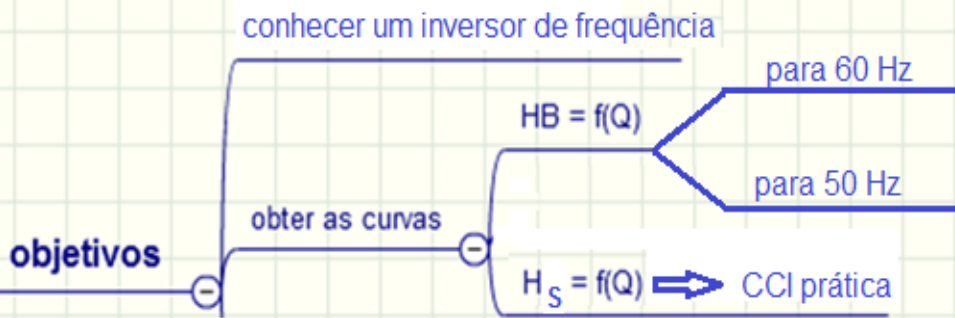
Como
vamos fazer
isso?



Através da experiência do
inversor de frequência



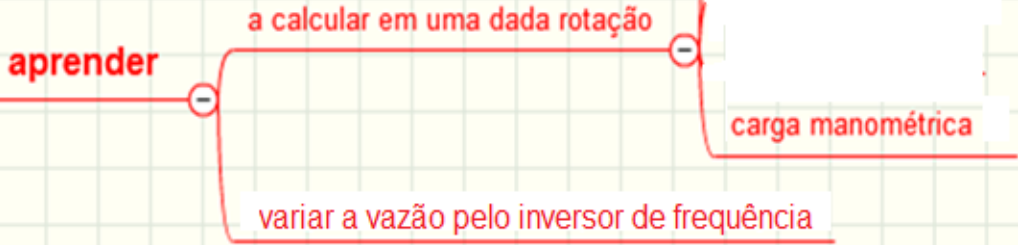
E quais seriam
os objetivos
desta
experiência?

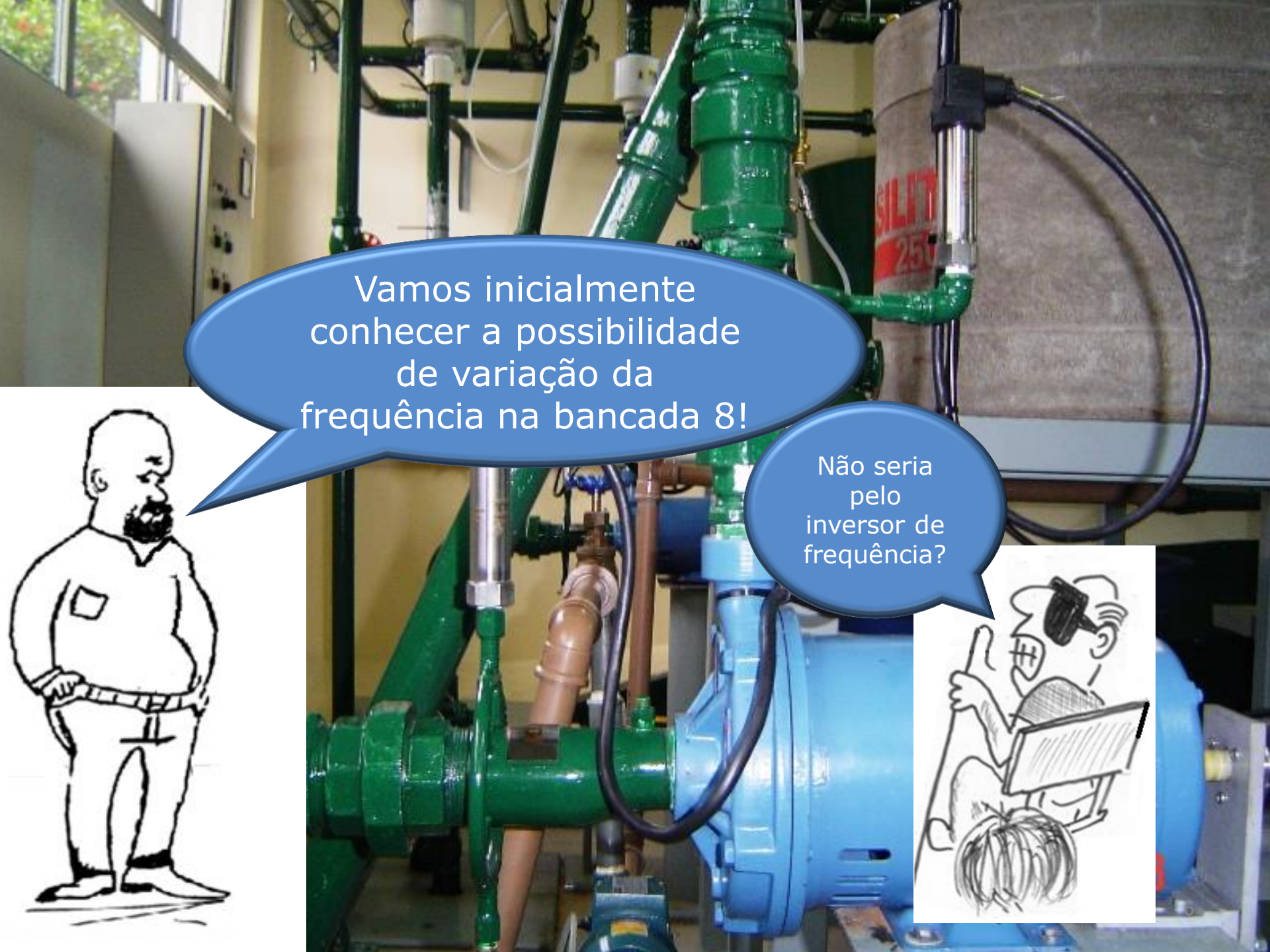


Experiência do inversor de frequência



Vamos sintetizar a vantagem de utilizar o inversor de frequência para controlar a Q.





Vamos inicialmente
conhecer a possibilidade
de variação da
frequência na bancada 8!

Não seria
pelo
inversor de
frequência?



Exatamente é pelo inversor de frequência

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$


f → frequência

p → número de pólos




Possibilidade de variação da frequência na bancada 8!



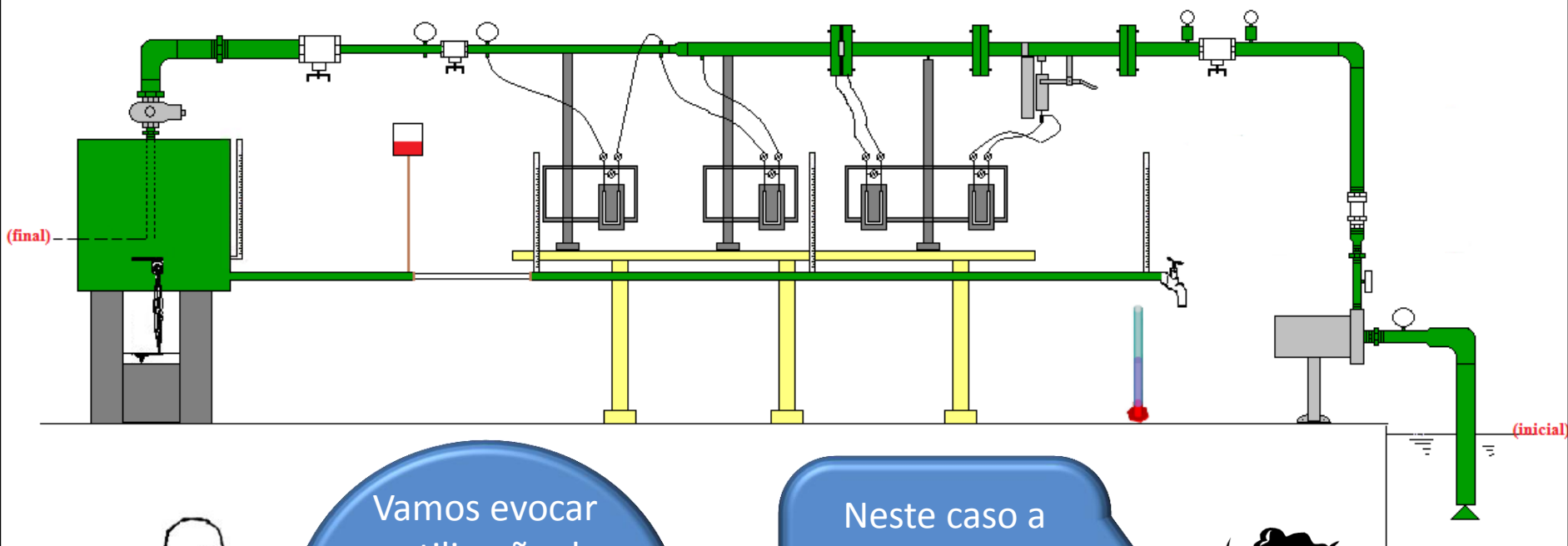


Vamos
trabalhar com
a instalação de
bombeamento
representada a
seguir.



Que também
representa uma
instalação de
recalque

Caminho tradicional da bancada 8



Vamos evocar a utilização do inversor de frequência para controlar a vazão.

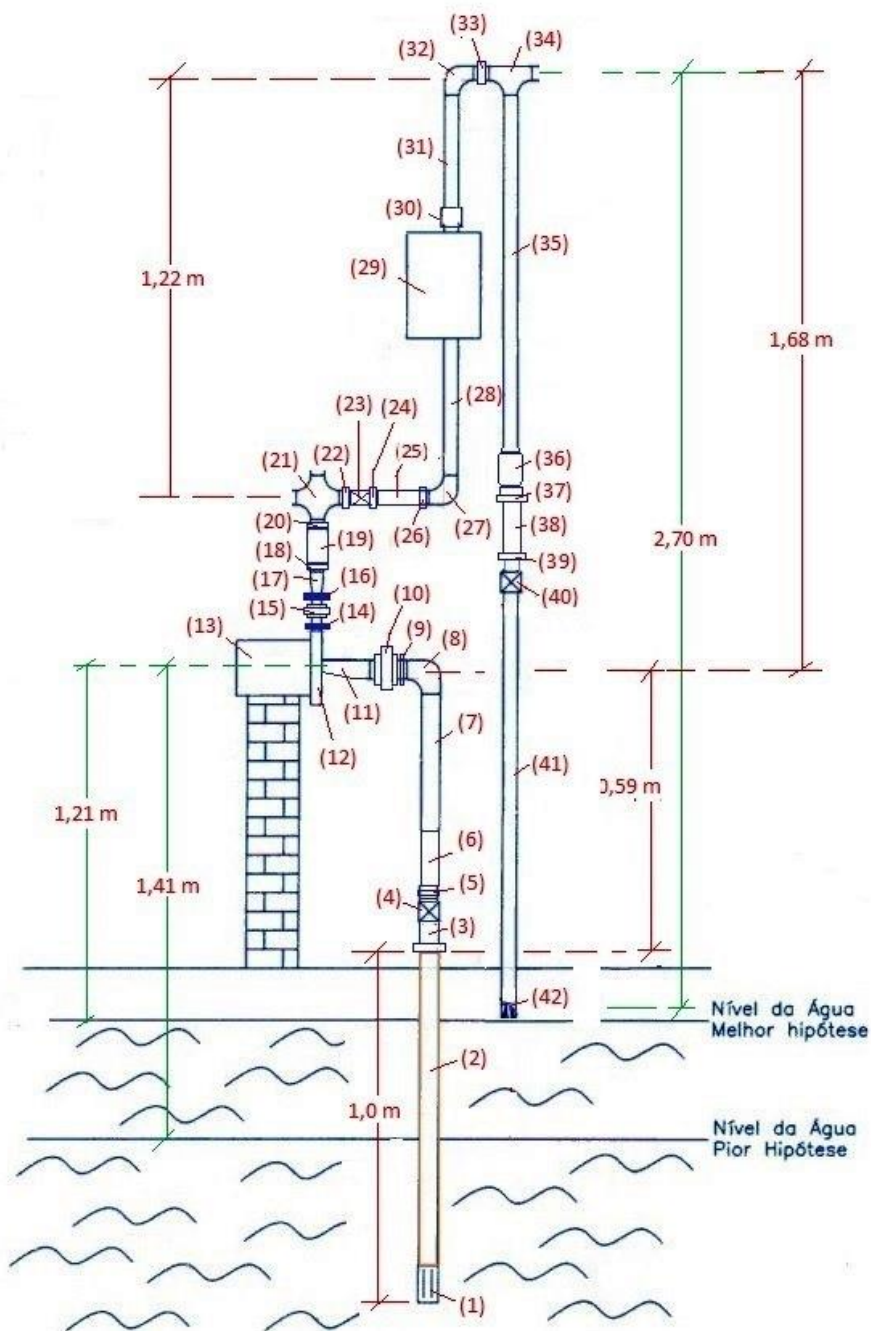
Neste caso a CCI permanece inalterada e existe o deslocamento da CCB



Caminho escolhido na bancada 8

A vazão será determinada pelo medidor eletromagnético





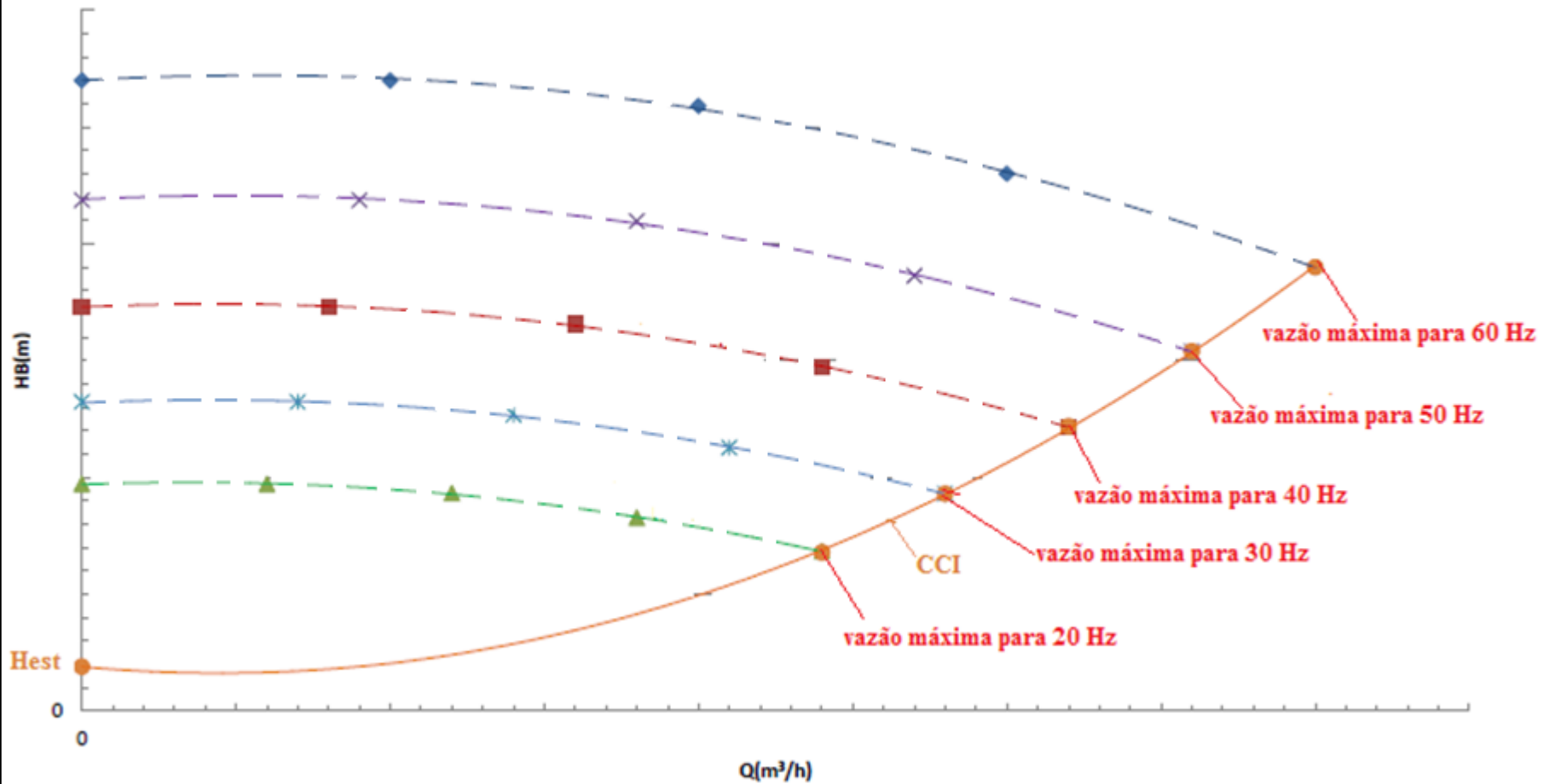
Próximo slide detalha o componente especificado na legenda adotada



Legenda	Singularidade
1	Válvula de poço
2	Tubulação PVC
3	Adaptador PVC - Aço
4	Válvula esfera
5	Nipple
6	T de passagem direta
7	Tubulação de aço 2
8	Curva fêmea
9	Nipple
10	União
11	Redução excêntrica 2" x 1 1/2"
12	Bomba
13	Motor elétrico
14	Nipple
15	união
16	Nipple
17	Ampliação 1" x 1 1/2"
18	Nipple
19	Válvula de retenção vertical
20	Nipple
21	Cruzeta

Legenda	Singularidade
22	Nipple duplo
23	Válvula esfera
24	Nipple duplo
25	T de passagem direta
26	Nipple
27	Curva fêmea
28	Tubulação de aço
29	Medidor de vazão
30	Luva
31	Tubulação de aço
32	Curva fêmea
33	Nipple
34	T de passagem lateral
35	Tubulação de aço
36	Válvula globo
37	Nipple duplo
38	T de passagem direta
39	Nipple duplo
40	Válvula esfera
41	Tubulação de aço
42	Saída de tubulação

O gráfico abaixo mostra o deslocamento da CCB em função da rotação.



Dados a serem coletados:



BANCADA 8						
Ensaio	f (Hz)	Q (m ³ /h)	P _{barométrica} (mmHg)	Nm (kW)	Pme (.....)	Pms (.....)
1	-					
2	25					
3	30					
4	40					
5	45					
6	50					
7	55					
8	60					

DADOS GERAIS			
			γ (N/m ³)
H _{estática} (m)	1,15		T (°F)
A _{tanque} (m ²)			he _g (m)
De (mm)			hs _g (m)
Ds(mm)			Δz -s (m)
Ae (cm ²)			
As (cm ²)			

Podemos recorrer
também a bancada
da sala E039 do
Centro
Universitário da
FEI



Esta experiência será feita numa bancada que ficou pronta em Julho de 1999 e foi projetada e montada por um grupo de alunos que cursou a disciplina no primeiro semestre de 1998. Agradecemos aos ex-alunos: **Alexandre Martins Sousa** (*Mecânica – Automobilística*), **Fernando Augusto Callado** (*Mecânica – Produção*) e **Marcelo Dietrich Martini** (*Mecânica - Produção*), formados em Julho/2000, que deixaram esta contribuição para o curso, de grande valor didático. Agradecemos também a **Newtropic** que doou o variador de frequência e a **Mark** que fez a doação da bomba utilizada. A fábrica da **Mark** foi adquirida pela **Grundfos**, atual **Grundfos-Mark**.

O histórico deste projeto pode ser visto no site da disciplina, no endereço:

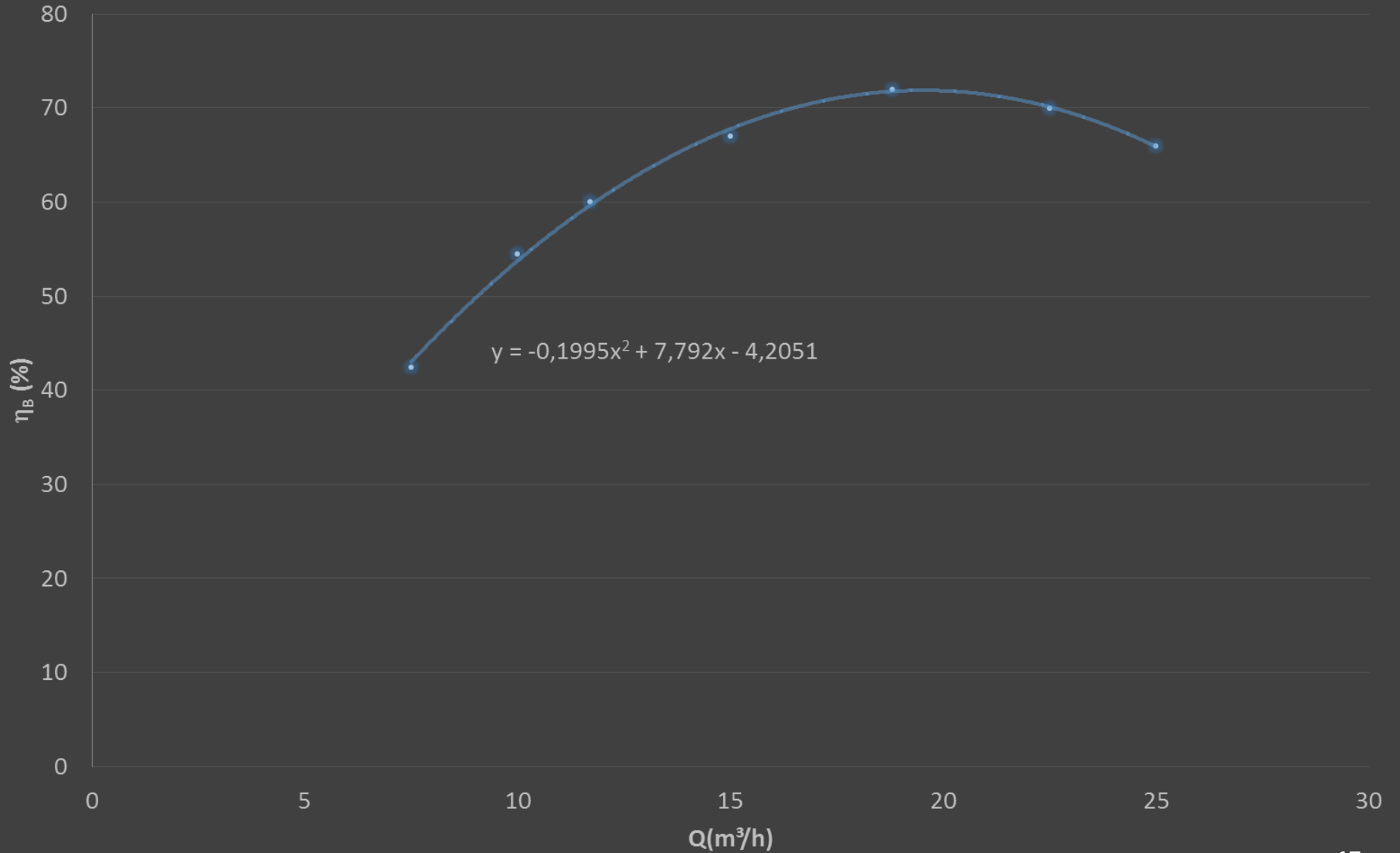
<http://www.fei.edu.br/mecanica/SisFlu/projetoalunos.htm>



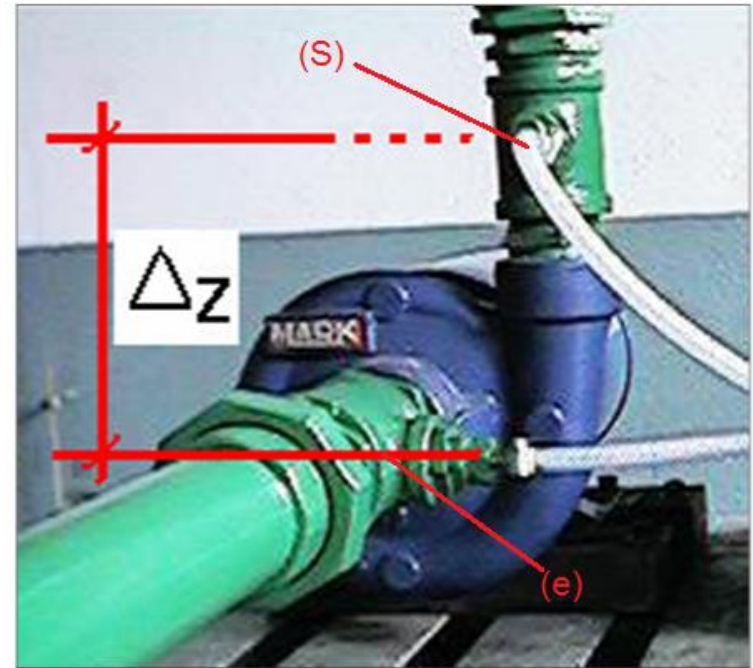
Ao construir as curvas $H_B = f(Q)$ para 60 Hz e 50 Hz, vamos procurar comprovar que a utilização do inversor trará uma redução na potência consumida e para viabilizar isto no próximo slide é dada a curva do rendimento da bomba em função da vazão.

Curva de Rendimento - DBC/MARK

3500rpm da MARK - $\phi 105\text{mm}$



Obtenção da carga manométrica



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

Manômetros alinhados, portanto:

$$p_{m_e} = p_e \rightarrow p_{m_s} = p_s$$



Calculando a H_B

$$H_B = (z_s - z_e) + \frac{p_{m_s} - p_{m_e}}{\gamma} + \frac{\alpha_s v_s^2 - \alpha_e v_e^2}{2g} \rightarrow v = \frac{Q}{A}$$

(e) \rightarrow sucção \rightarrow 2" aço 40 $\rightarrow D_{int} = 52,5\text{mm} \rightarrow A = 21,7\text{cm}^2$

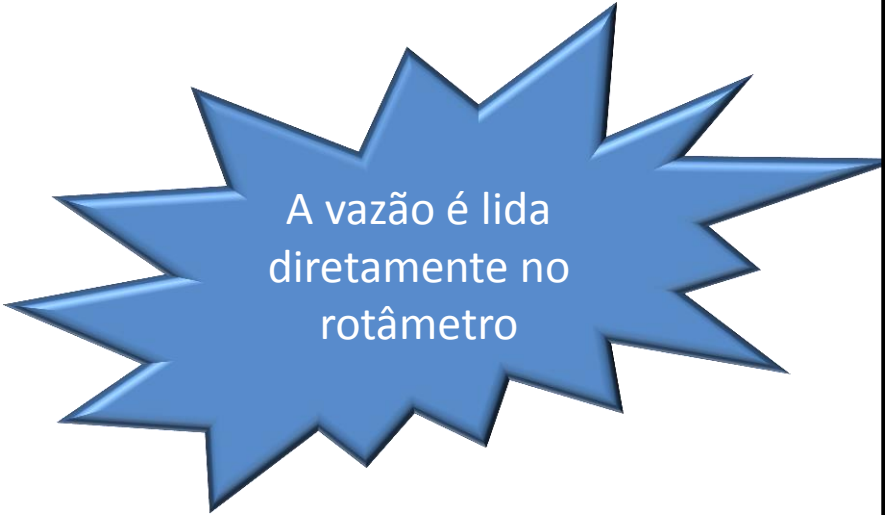
(s) \rightarrow recalque \rightarrow 1,5" aço 40 $\rightarrow D_{int} = 40,8\text{mm} \rightarrow A = 13,1\text{cm}^2$

$$z_s - z_e = 15,5\text{cm}$$

$$1\text{mmHg} = 1 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 13600\text{Pa}$$

$$1\text{mmHg} = 133,28\text{Pa}$$

$$1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 9,8 \times 10^4 \text{Pa}$$



A vazão é lida diretamente no rotâmetro

Calculando a H_B

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

$$H_B = 0,155 + \frac{p_{m_s} \times 98000 - p_{m_e} \times 133,28}{998,2 \times 9,8} + \frac{1 \times v_s^2 - 1 \times v_e^2}{19,6}$$

temperatura dos fluidos 20 ⁰ C				$\rho_{\text{água}}$	ρ_{Hg}	g	$V_{\text{água}}$
				(kg/m ³)	(kg/m ³)	(m/s ²)	(m ² /s)
				998,2	13546	9,8	1,00E-06
dados da tubulações				Entrada		Saída	
				D_{int} (mm)	A (cm ²)	D_{int} (mm)	A (cm ²)
				52,5	21,7	40,8	13,1

Exemplo de tabela de dados

Experiência do inversor de frequência – primeira parte

Frequência de 60 Hz					Frequência de 50 Hz			
	Q	p_{me}	p_{ms}	n	Q	p_{me}	p_{ms}	n
Ensaio	(m ³ /h)	(mmHg)	(kgf/cm ²)	(rpm)	(m ³ /h)	(mmHg)	(kgf/cm ²)	(rpm)
1	0	-30	2,5	3550	0	-30	1,7	2967
2	5	-90	2,5	3519	4,25	-80	1,66	2946
3	6,5	-100	2,45	3514	5	-90	1,65	2944
4	8	-120	2,4	3509	6,5	-110	1,6	2941
5	10	-150	2,35	3504	8	-120	1,6	2937
6	12,5	-190	2,2	3493	10	-150	1,5	2931
7	15,5	-250	2	3485	12,5	-200	1,35	2925
8	17,5	-300	1,8	3477	14,5	-250	1,2	2921
Frequência de 60 Hz					Frequência de 50 Hz			

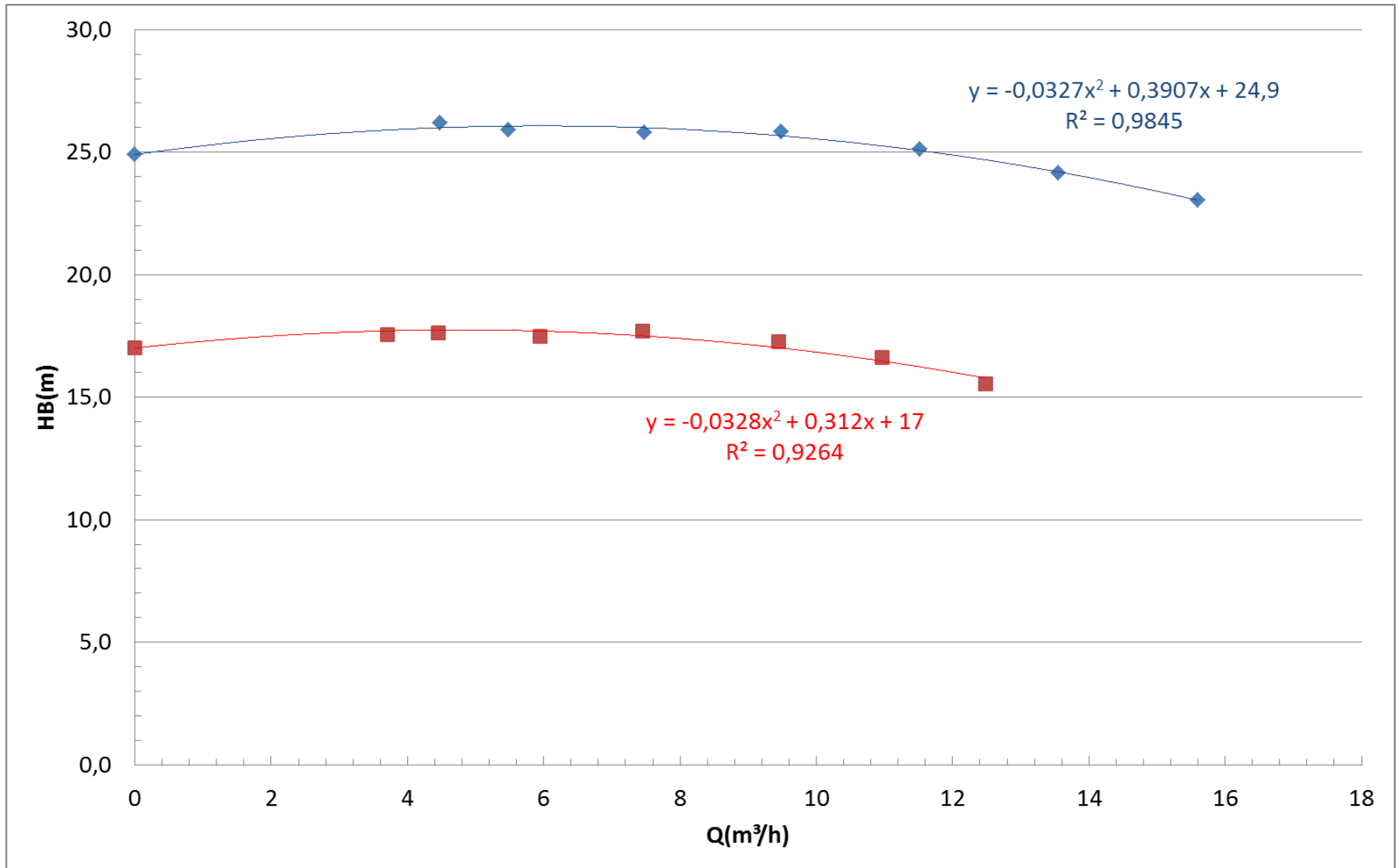
Pelo Excel

Ensaio	Frequência de 60 Hz				Frequência de 50 Hz			
	Q _{exp} (m ³ /h)	v _e (m/s)	v _s (m/s)	Re _e	Q _{exp} (m ³ /h)	v _e (m/s)	v _s (m/s)	Re _e
1	0	0	0		0	0	0	
2	5	0,640	1,060	33468,3	4,25	0,544	0,901	28448,0
3	6,5	0,832	1,4	43508,8	5	0,640	1,060	33468,3
4	8	1,024	1,7	53549,2	6,5	0,832	1,4	43508,8
5	10	1,3	2,1	66936,6	8	1,024	1,7	53549,2
6	12,5	1,6	2,7	83670,7	10	1,3	2,1	66936,6
7	15,5	2,0	3,3	103751,7	12,5	1,6	2,7	83670,7
8	17,5	2,2	3,7	117139,0	14,5	1,9	3,1	97058,0

Pelo Excel

Ensaio	Frequência de 60 Hz				Frequência de 50 Hz			
	Q _{exp} (m ³ /h)	H _{Bexp} (m)	Q ₃₅₀₀ (m ³ /h)	H _{B3500} (m)	Q _{exp} (m ³ /h)	H _{Bexp} (m)	Q ₂₉₁₆ (m ³ /h)	H _{B2916} (m)
1	0	25,6	0	24,9	0	17,6	0	17,0
2	4,5	26,5	4,5	26,2	3,75	17,9	3,7	17,5
3	5,5	26,1	5,5	25,9	4,5	18,0	4,5	17,6
4	7,5	25,9	7,5	25,8	6	17,8	5,9	17,5
5	9,5	25,9	9,5	25,8	7,5	18,0	7,4	17,7
6	11,5	25,0	11,5	25,1	9,5	17,5	9,5	17,3
7	13,5	23,9	13,6	24,2	11	16,7	11,0	16,6
8	15,5	22,7	15,6	23,0	12,5	15,6	12,5	15,5

Curvas obtidas através da experiência

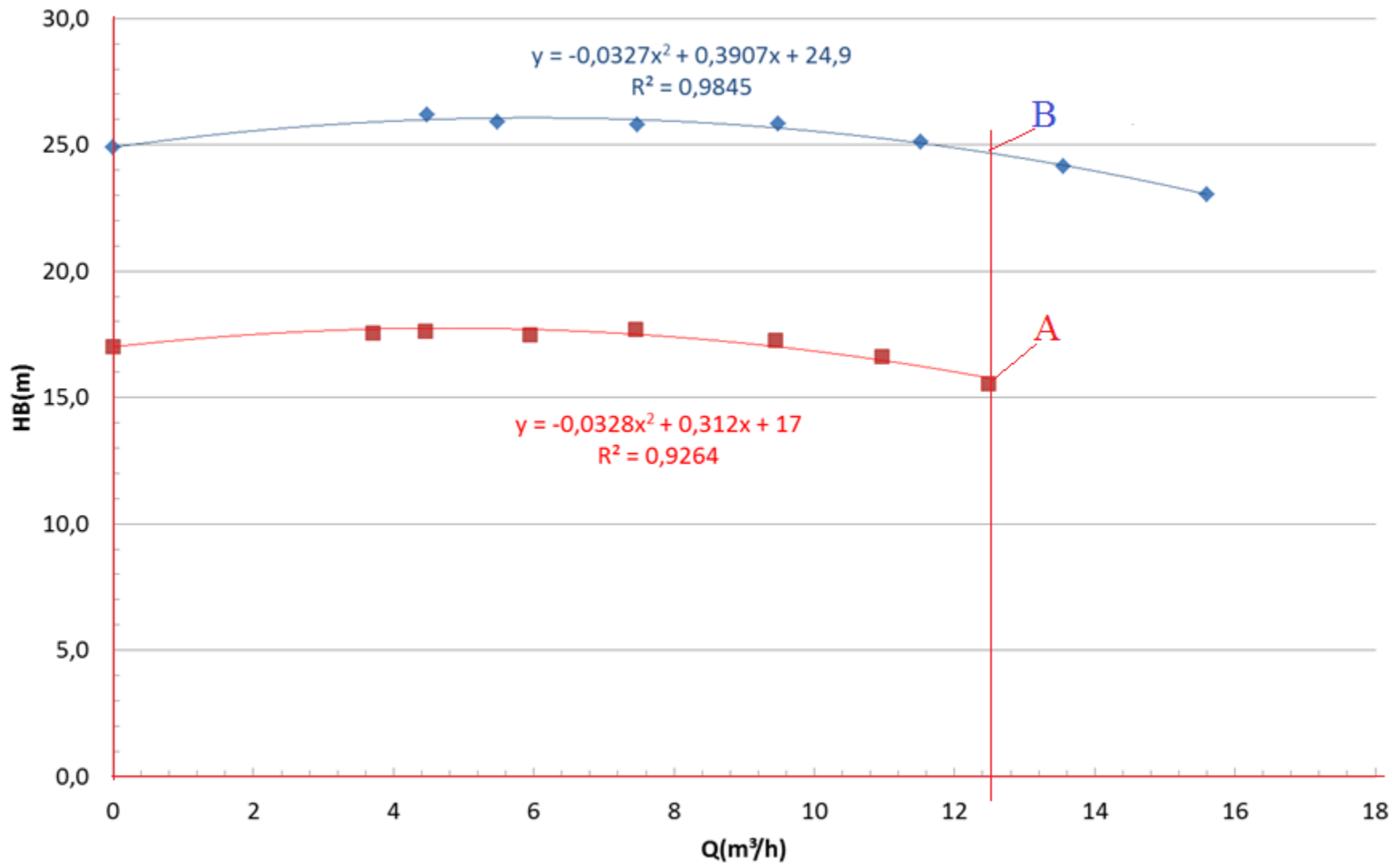




Neste ponto,
calculamos a potência
nominal da bomba
tanto para 60 Hz
(3500 rpm) como para
50 Hz (2916 rpm), isto
para a vazão máxima
obtida em 50 Hz

Seriam os pontos A e
B representados a
seguir.

Pontos para os cálculos das potências nominais da bomba a 60 e 50 Hz



O ponto B é obtido com a válvula controladora fechada parcialmente, já o ponto A é obtido com a válvula totalmente aberta!



$$Q_A = Q_B = 12,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_A} = 15,6\text{m}$$

$$H_{B_B} = -0,0327 \times 12,5^2 + 0,3907 \times 12,5 + 24,9 \cong 24,7\text{m}$$

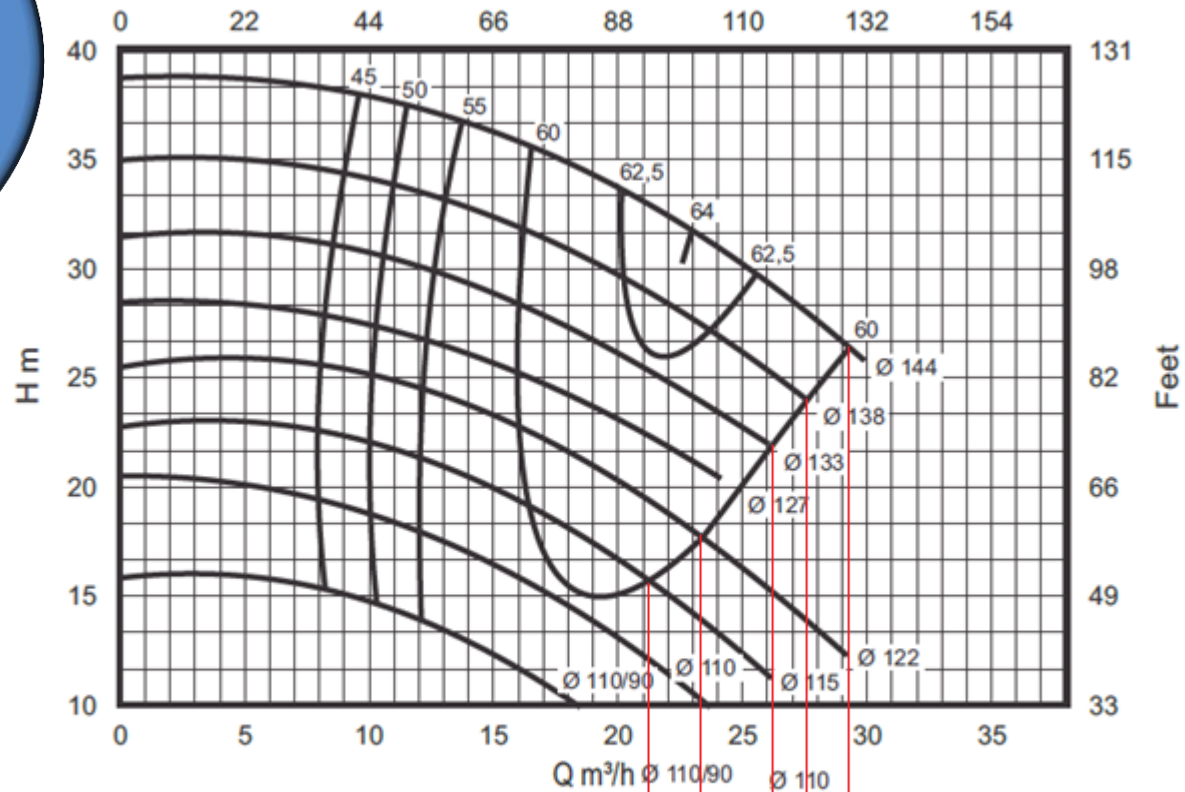
$$\eta_{B_B} = -0,1995 \times 12,5^2 + 7,792 \times 12,5 - 4,2051 \cong 62\%$$

$$N_{B_B} = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left(\frac{12,5}{3600} \right) \times 24,7}{0,62} \cong 1353,2\text{W}$$

O rendimento do ponto B deve ser determinado com auxílio da análise dimensional



O gráfico ao lado
fornecido pelo
fabricante justifica o
porque devemos
recorrer a análise
dimensional.



**vazões diferentes para o mesmo
rendimento**

$$\frac{Q_{B60Hz}}{3500 \times D_R^3} = \frac{Q_{B50Hz}}{2916 \times D_R^3}$$

$$Q_{B60Hz} = 12,5 \times \frac{3500}{2916} \cong 15,04 \frac{m^3}{h}$$

Recorremos ao
coeficiente de
vazão.

$$\eta_{BB} = -0,1995 \times 15,04^2 + 7,792 \times 15,04 - 4,2051 \cong 67,8\%$$

$$\eta_{BB} = \eta_{BA}$$

$$N_{BA} = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left(\frac{12,5}{3600} \right) \times 15,5}{0,678} \cong 776,6W$$



Portanto
ocorreu uma
redução de
cerca de 56,4%
na potência
nominal da
bomba



A partir deste ponto deveríamos fazer uma análise financeira e ambiental, pois verificaríamos o tempo de amortização do investimento inicial na compra e instalação do inversor de frequência com a redução do custo da energia e aí entra também a parte ambiental



Principalmente porque a geração de energia no Brasil em grande parte está alicerçada em hidroelétricas!



Podemos também através desta bancada obter a CCI prática e no próximo slide apresento um exemplo de tabela de dados obtida com esta finalidade.



Dados coletados para a CCI prática:



Inversor de frequência – segunda parte

	Frequência	Q	P _{me}	P _{ms}
Ensaio	(Hz)	(m ³ /h)	(mmHg)	(kgf/cm ²)
1	25	4,75	-100	0,2
2	30	6,5	-110	0,3
3	40	10,5	-170	0,8
4	45	12	-200	1
5	50	14	-240	1,25
6	55	15,5	-270	1,5
7	60	17,5	-290	1,8

Determinação da carga estática feito pelo Mauricio e pelo Valdir



$$Z_{\text{inicial}} = 17\text{cm}$$

PHR
adotado no
chão



$$Z_{\text{final}} = 64\text{cm}$$



Exercício extra!

Considerando os slides 11 e 12 obtenha a equação da CCI para o mesmo intervalo de vazão da experiência e a compare com a CCI prática.

