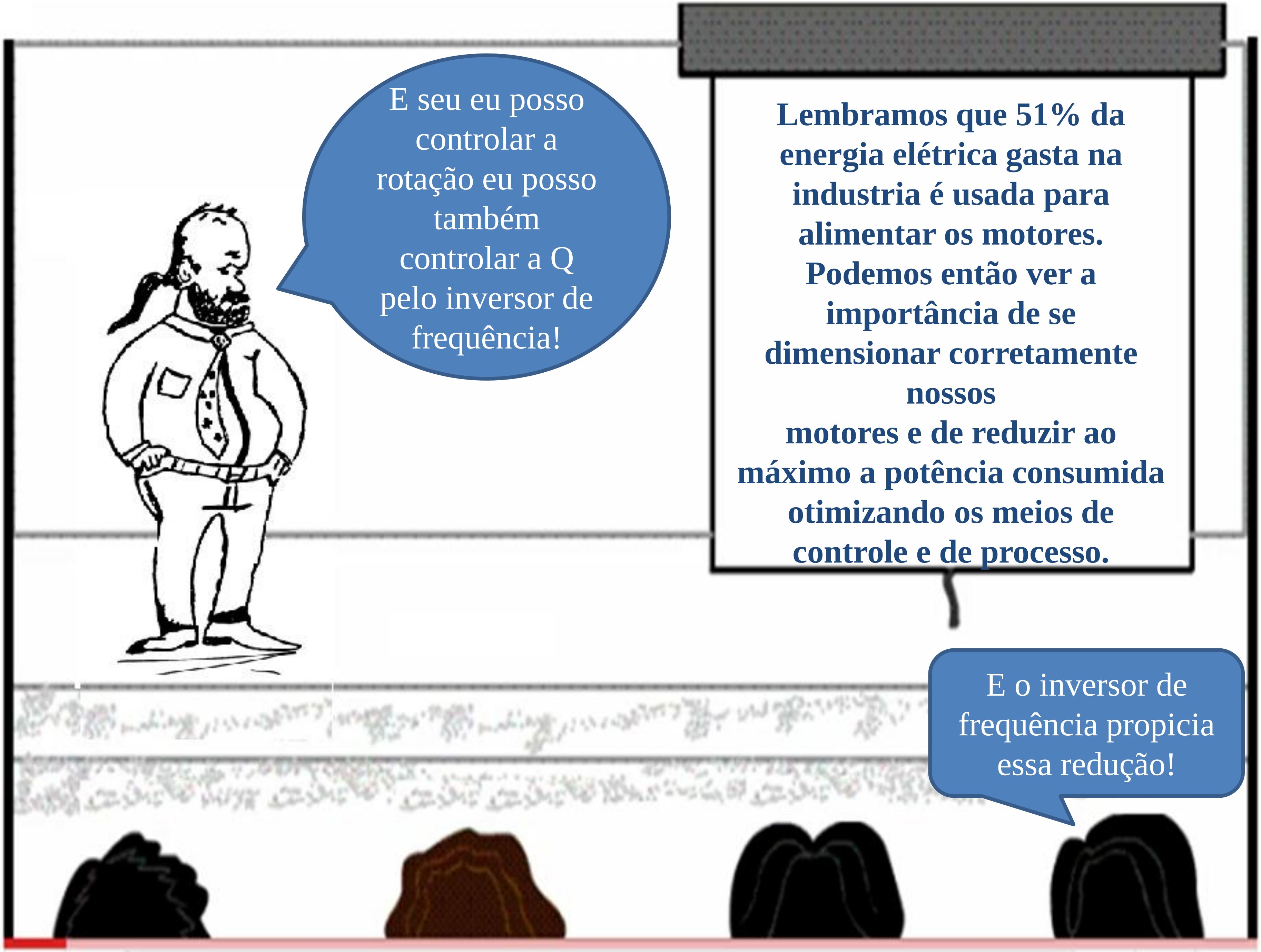
Décima segunda aula de teoria de ME5330

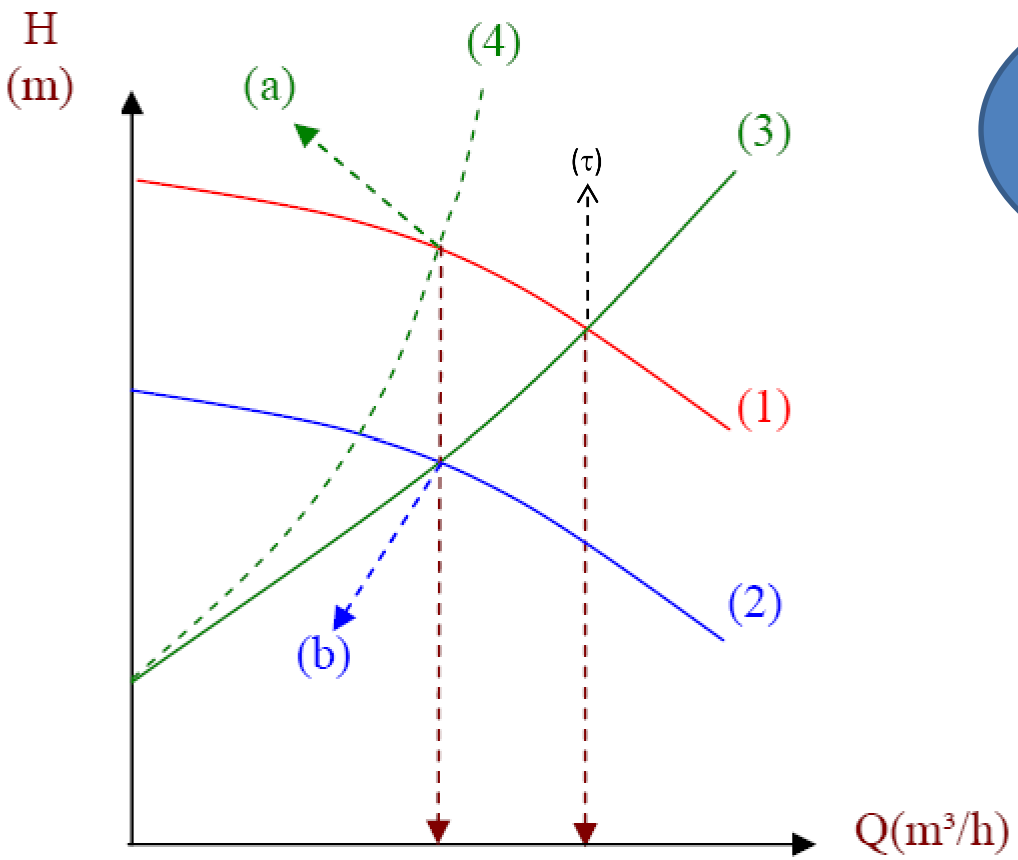
Maio de 2011


Vamos iniciar o estudo do inversor de frequência.
Conceito – dispositivo eletrônico que transforma energia elétrica CA fixa (tensão e frequência) em energia elétrica CA variável , controlando a potência consumida pela carga.
O inversor de frequência é utilizado para controlar a rotação de um motor assíncrono (de indução) .

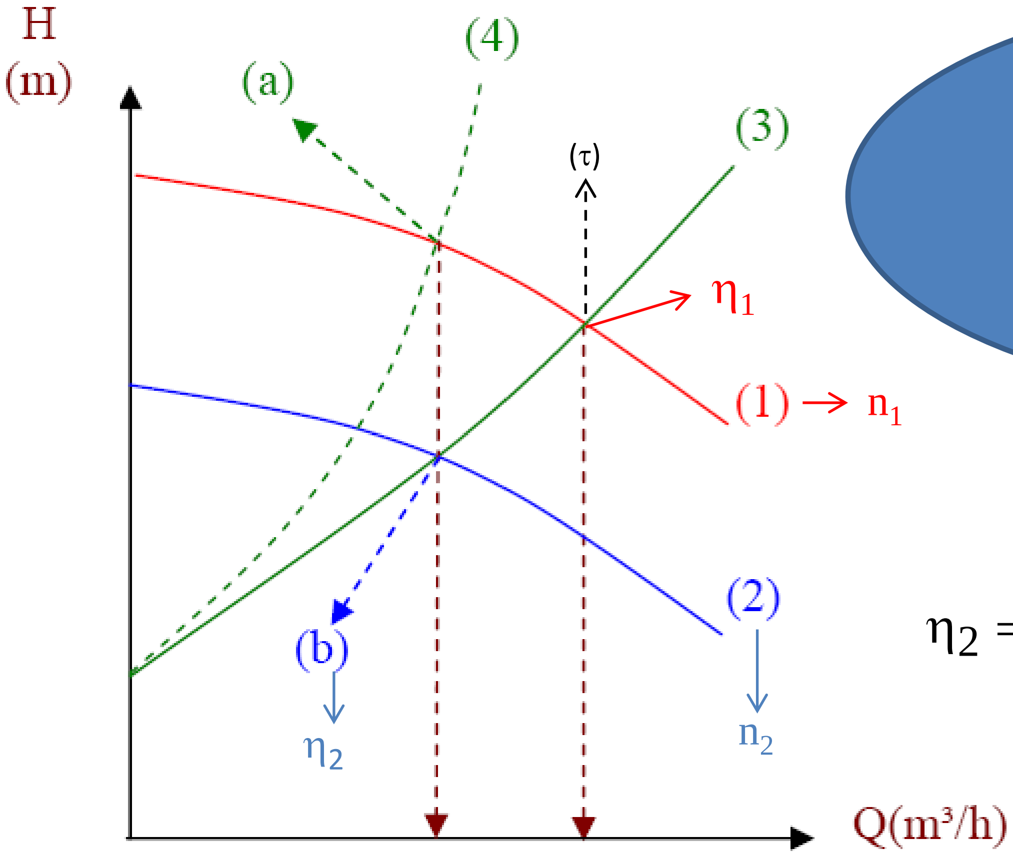

E seu eu posso controlar a rotação eu posso também controlar a Q pelo inversor de frequência!
Lembramos que 51% da energia elétrica gasta na industria é usada para alimentar os motores. Podemos então ver a importância de se dimensionar corretamente nossos motores e de reduzir ao máximo a potência consumida otimizando os meios de controle e de processo.
E o inversor de frequência propicia essa redução!

É uma das formas de se manejar adequadamente um sistema de bombeamento visando reduzir vazão, é alterar a rotação da bomba até a obtenção da vazão necessária, de acordo com as leis de Rateaux; isto não implica em introdução de perda de carga e o tempo de funcionamento não é alterado. Um equipamento capaz de produzir este efeito com rapidez e eficiência é o inversor de frequência, que trabalha alterando a frequência da tensão aplicada ao motor, possibilitando controlar a sua rotação; o uso do inversor de frequência na indústria em sistemas de bombeamento com este objetivo é uma prática bastante comum, pois sua aplicabilidade econômica é justificável pela redução do consumo energético, em comparação com outros procedimentos, especialmente de fechamento de válvula.

Normalmente, maneja-se o volume de água necessário de duas formas. Azevedo Netto & Alvarez (1991) citam o controle de vazão através do fechamento de registro na saída das motobombas, como sendo uma das práticas mais comuns; neste caso, há introdução de perda de carga acidental na curva do sistema, proporcionando desperdício de energia.

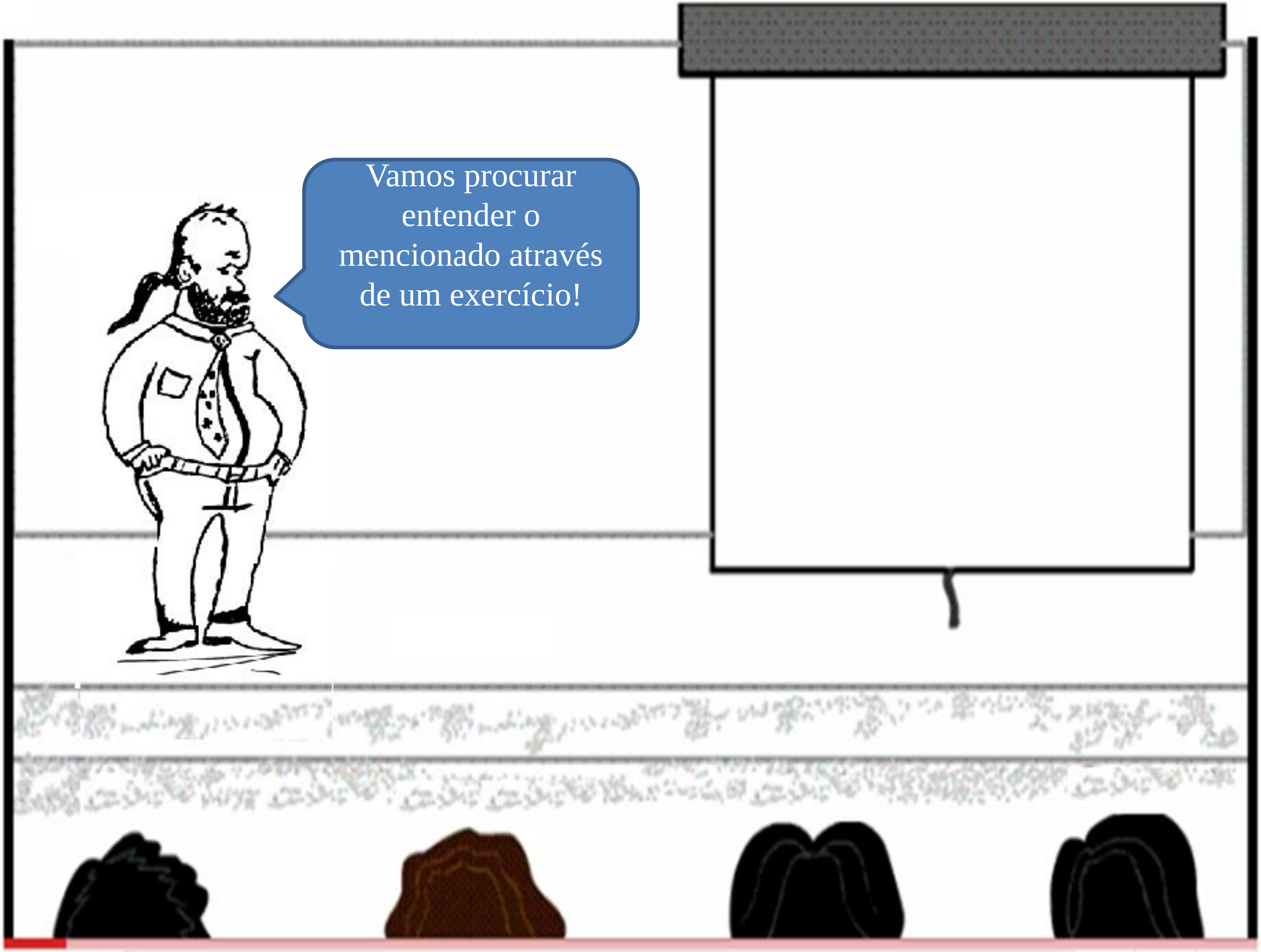


Supondo que o ponto de trabalho inicial (τ) corresponde ao ponto de projeto do fabricante da bomba, ao fechar a válvula chega-se a $Q_{reduzida}$, onde além de ter sido criada a perda, trabalha-se com rendimento menor, outro ponto importante a ser observado é que geralmente o H_B aumenta mais do que a vazão é reduzida, portanto irá ocorrer um aumento da potência consumida para a rotação n.



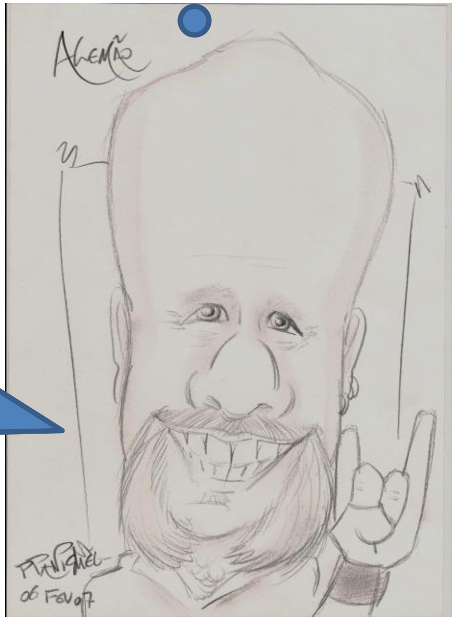
Já com o inversor ocorre tanto a redução da vazão como a da carga manométrica, isto em um rendimento praticamente constante, ou com a variação que pode ser calculada pela expressão obtida no livro do Macintyre a seguir:

$$\eta_2 = 1 - \left[(1 - \eta_1) \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^{0,1} \right]$$

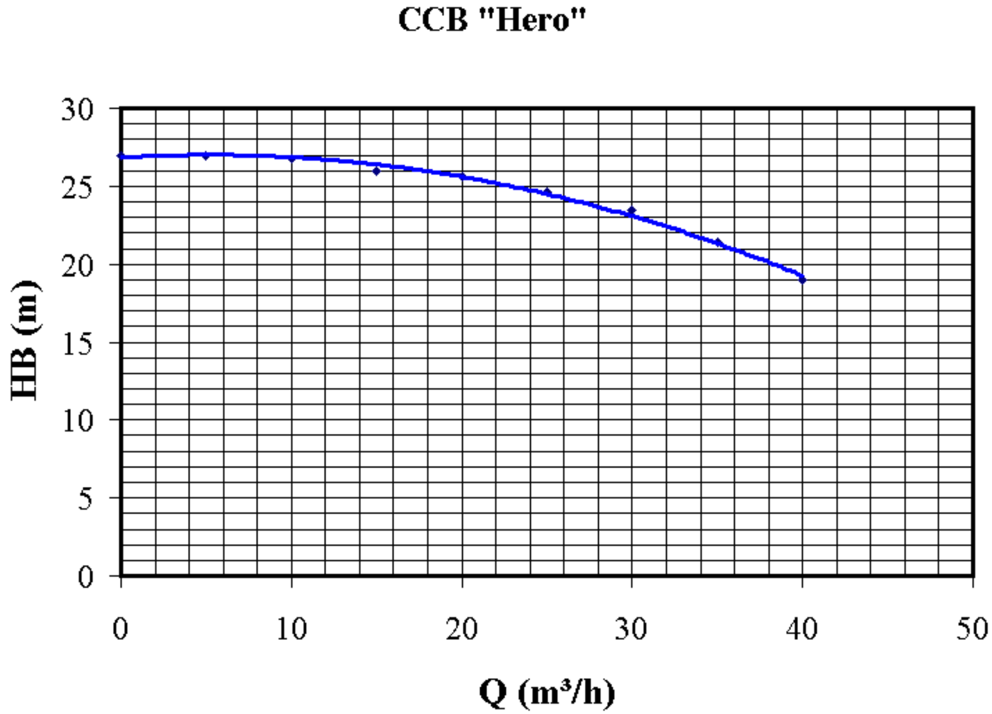

Vamos procurar entender o mencionado através de um exercício!

Objetivo verificar a influência da rotação (n) nas curvas características da bomba, iniciando com $H_B = f(Q)$

Vamos supor que a frequência foi reduzida de 58,5 Hz para 50 Hz, o que irá acontecer com a vazão máxima? E com a carga manométrica correspondente a vazão máxima? E com a potência da bomba nesta situação?



Seja a CCB da bomba Hero a seguir que tem uma rotação de 3510 rpm, motor elétrico de 2 pólos e diâmetro do rotor igual a 120 mm e onde a bomba opera com a vazão máxima.



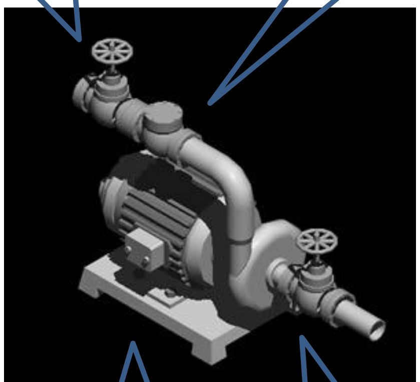
Consideramos como fluido a água com massa específica igual a 1000 kg/m³.

$$\eta_B = 0{,}029 \times Q^2 + 0{,}0645 \times Q + 21{,}2$$

$$\eta_B \rightarrow \% \text{ e } Q \rightarrow \frac{m^3}{h}$$

$$\psi = \frac{g \times H_B}{n^2 \times D_r^2}$$

$$\phi = \frac{Q}{n \times D_r^3}$$



$$\chi = \frac{N_B}{\rho \times n^3 \times D_r^5}$$

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

$$f = 58{,}5\ \text{Hz} \Rightarrow n = \frac{58{,}5 \times 120}{2} = 3510\ \text{rpm}$$

$$Q_{\text{máxima}} = 40\ \frac{m^3}{h} \Rightarrow H_B = 19\ m$$

$$\eta_B = 0{,}029 \times 40^2 + 0{,}0645 \times 40 + 21{,}2 = 70{,}18\ \%$$

$$N_B = \frac{1000 \times 9{,}8 \times \left(40/3600\right) \times 19}{0{,}7018} \cong 2948\ w$$

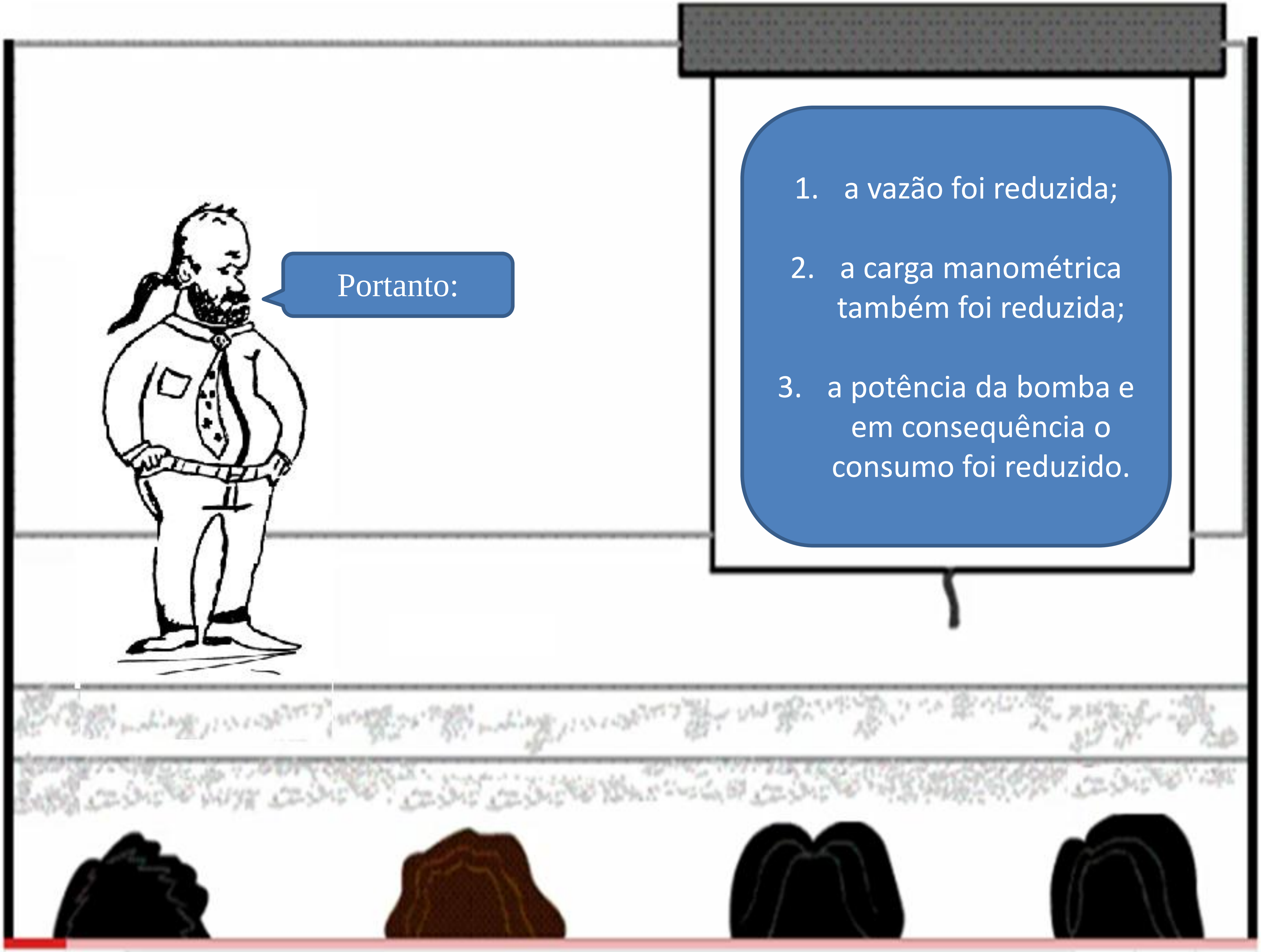
Condições de semelhança :

$$\phi_{58,5} = \phi_{50} \Rightarrow \frac{40}{3510} = \frac{Q_{50}}{3000} \therefore Q_{50} \cong 34{,}2\ \frac{m^3}{h}$$

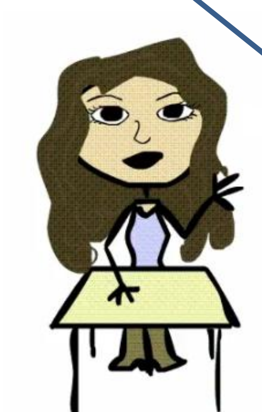
$$\psi_{58,5} = \psi_{50} \Rightarrow \frac{19}{3510^2} = \frac{H_{B_{50}}}{3000^2} \therefore H_{B_{50}} \cong 13{,}9\ m$$

$$\chi_{58,5} = \chi_{50} \Rightarrow \frac{2948}{3510^3} = \frac{N_{B_{50}}}{3000^3} \therefore N_{B_{50}} \cong 1841\ w$$

Na solução desse exercício nós recorremos aos adimensionais típicos das bombas e ao cálculo da rotação da mesma.


Portanto:
1. a vazão foi reduzida;
2. a carga manométrica também foi reduzida;
3. a potência da bomba e em consequência o consumo foi reduzido.

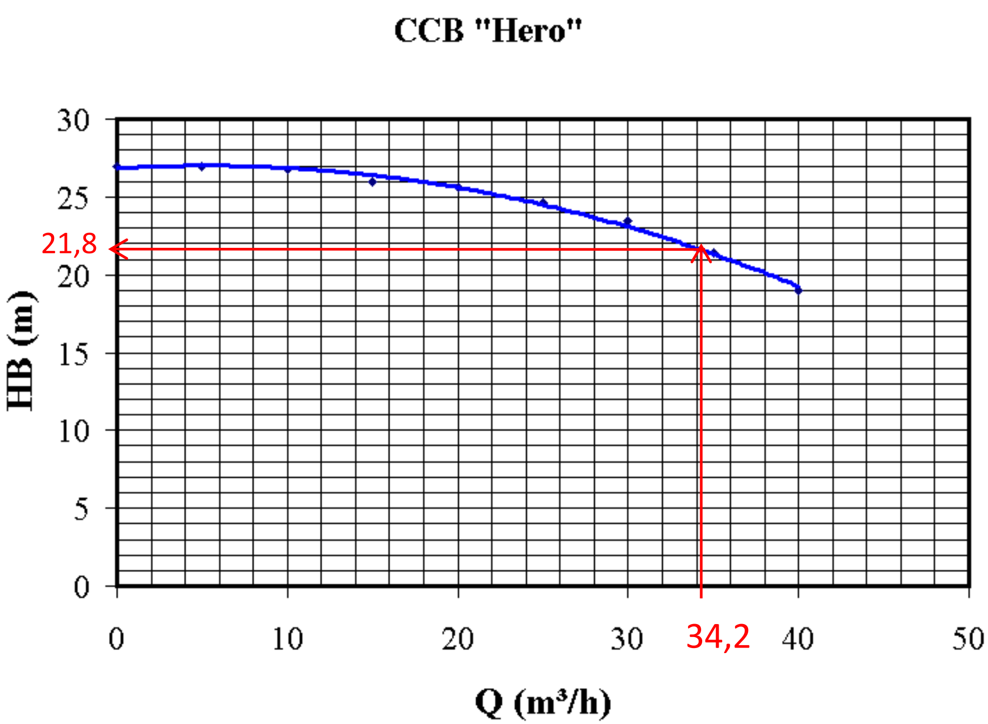
Existiria outra maneira para se obter a vazão de 34,2 m³/h sem alterar as características da bomba? Se sim, determine para esta situação a carga manométrica, o rendimento e a potência da bomba. Daria para comparar as duas possibilidades e concluir alguma coisa?



Solução: a nova maneira seria fechando parcialmente a válvula controladora de vazão

$$\text{Para a vazão de } 34{,}2\frac{m^3}{h} \Rightarrow H_B \cong 21{,}8\,m$$

$$\eta_B = 0{,}029 \times 34{,}2^2 + 0{,}0645 \times 34{,}2 + 21{,}2 \cong 57{,}3\,\%$$



$$N_B = \frac{1000 \times 9{,}8 \times \left(\frac{34{,}2}{3600}\right) \times 21{,}8}{0{,}573}$$

$$N_B \cong 3542\ w$$

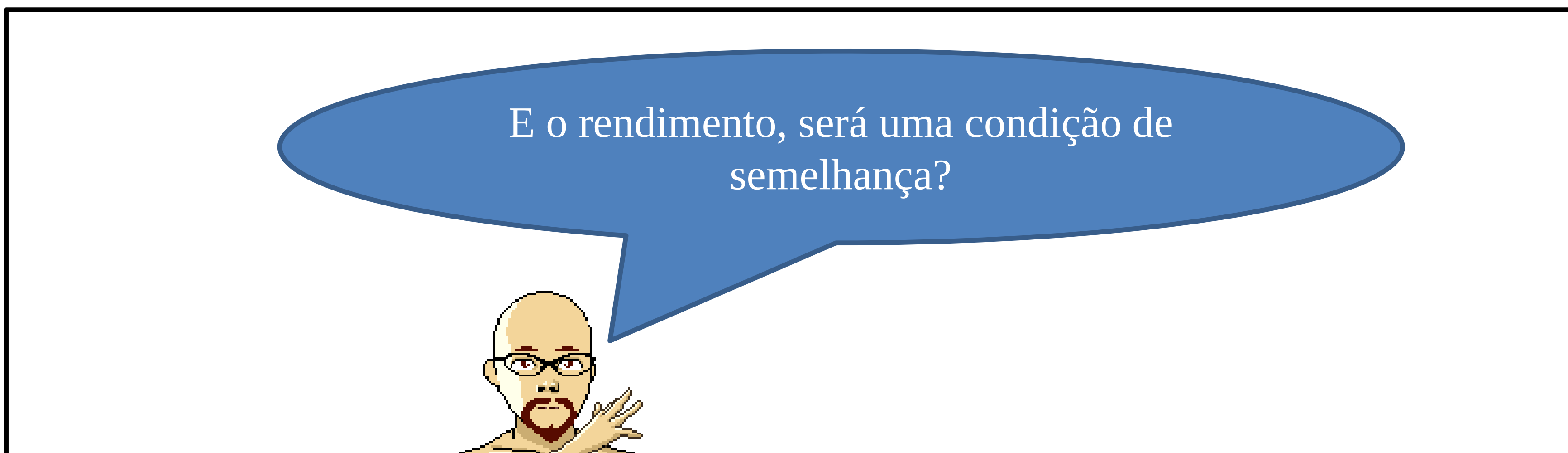
Pode-se observar que o consumo será muito maior nesta situação do que na obtida através do inversor de frequência.

Condições de semelhança:

$$\Psi_{modelo} = \Psi_{protótipo}$$

$$\phi_{modelo} = \phi_{protótipo}$$

$$X_{modelo} = X_{protótipo}$$



$$\eta_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{N_B}$$

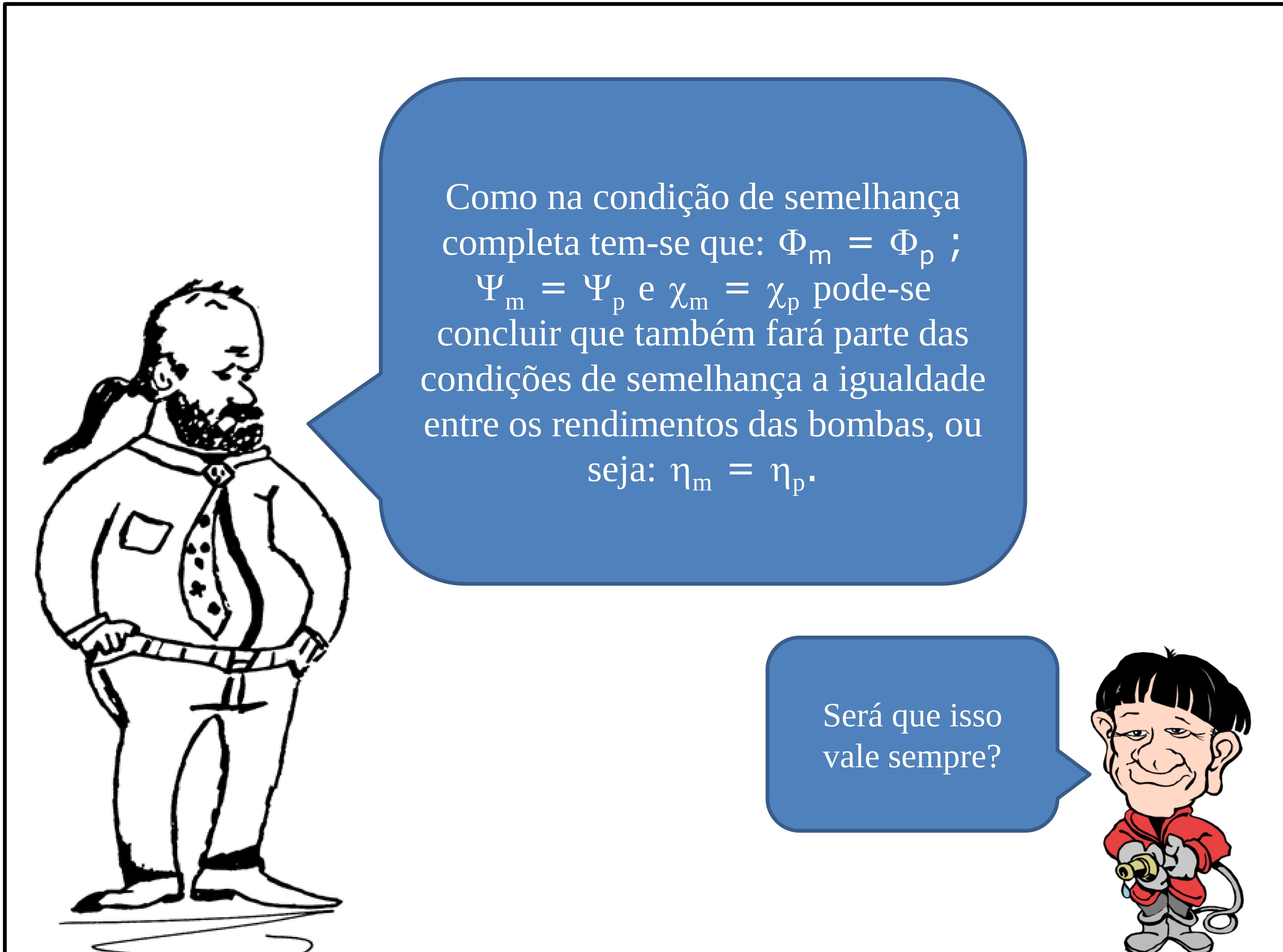
$$Q = \phi \times n \times D_r^3$$

$$g \times H_B = \psi \times n^2 \times D_r^2$$

$$N_B = \chi \times \rho \times n^3 \times D_r^5$$

$$\therefore \eta_B = \frac{\rho \times \phi \times n \times D_r^3 \times \psi \times n^2 \times D_r^2}{\chi \times \rho \times n^3 \times D_r^5}$$

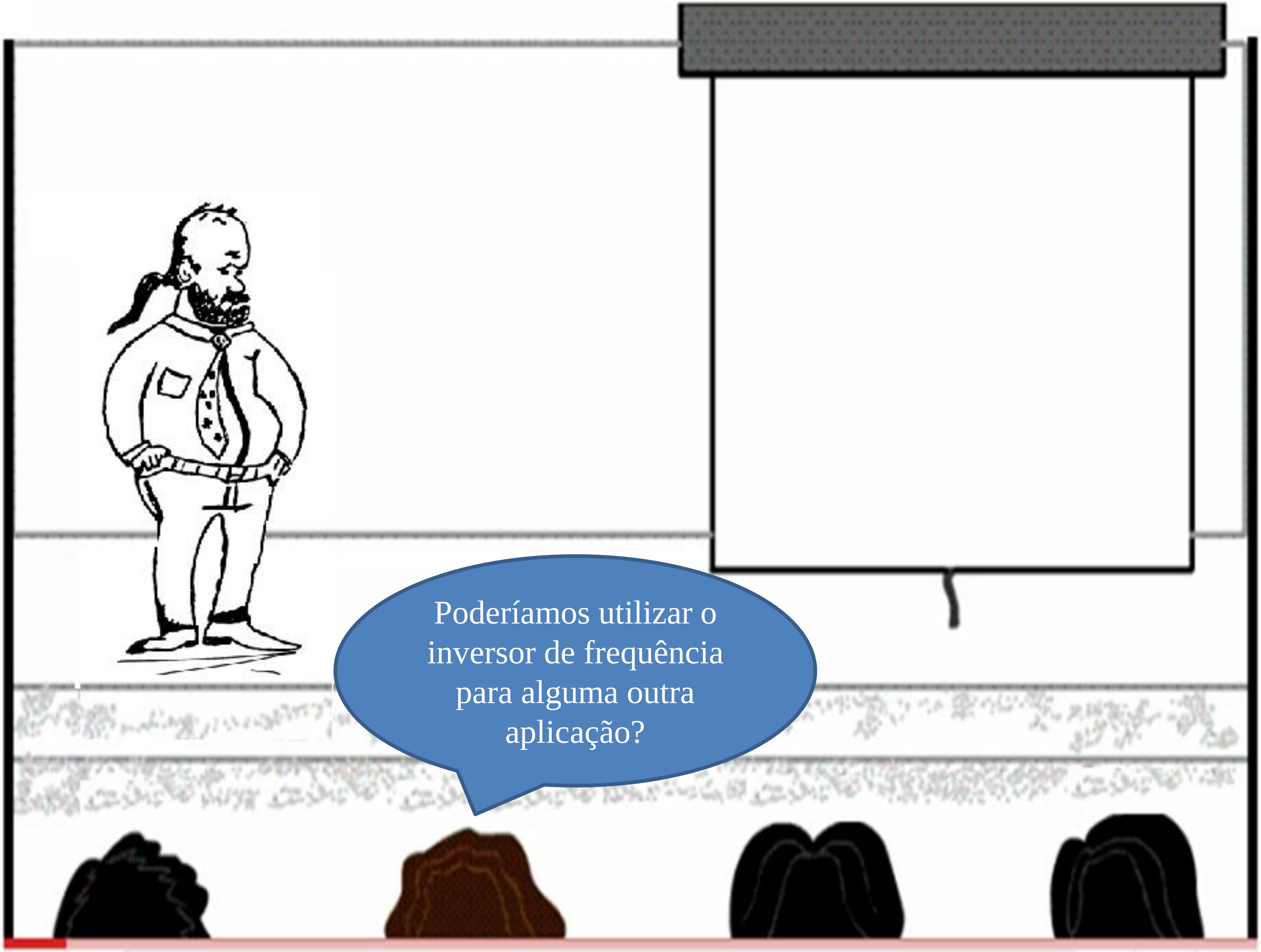
$$\eta_B = \frac{\phi \times \psi}{\chi}$$

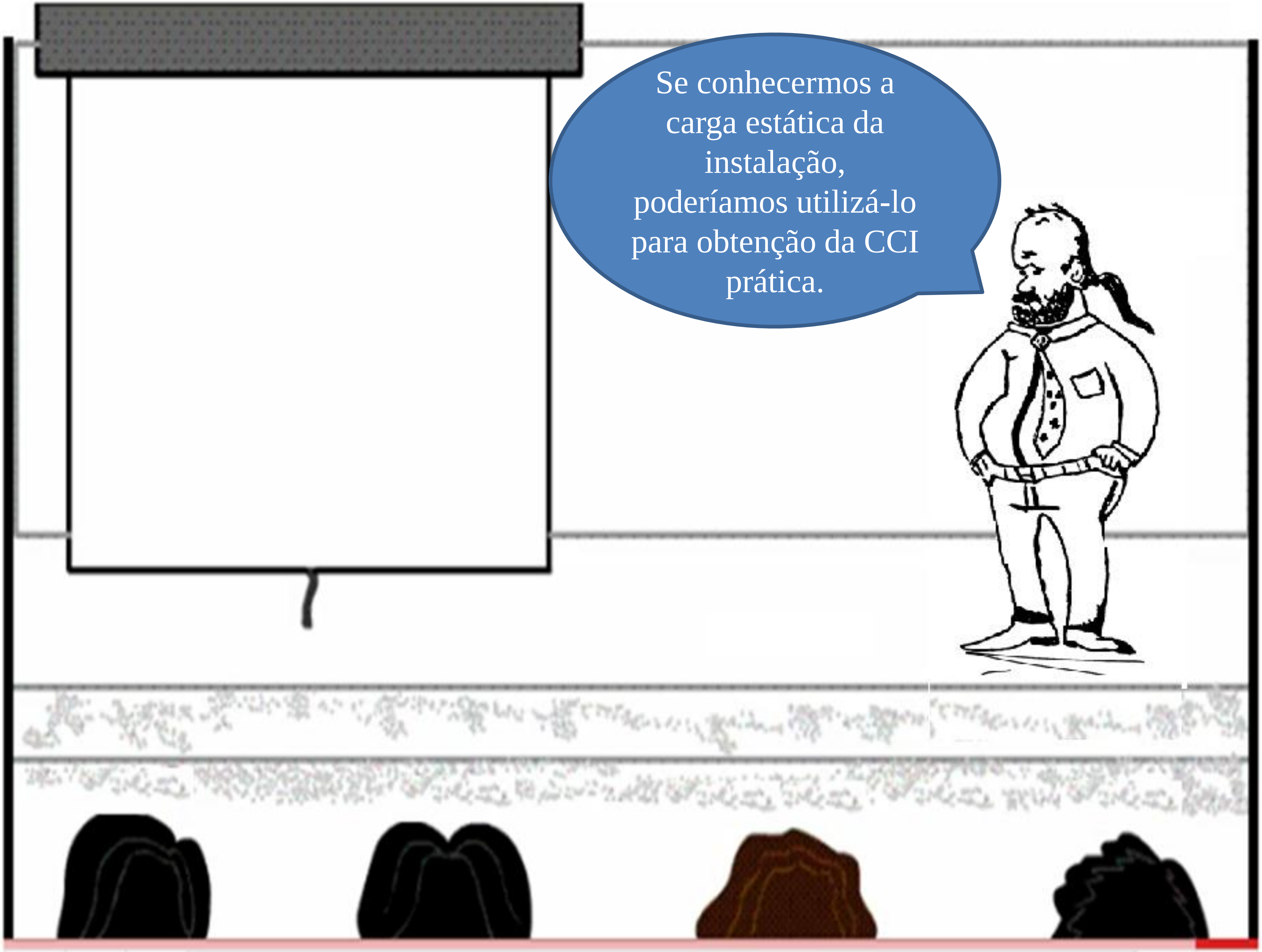

Como na condição de semelhança completa tem-se que: $\Phi_m = \Phi_p$; $\Psi_m = \Psi_p$ e $\chi_m = \chi_p$ pode-se concluir que também fará parte das condições de semelhança a igualdade entre os rendimentos das bombas, ou seja: $\eta_m = \eta_p$.
Será que isso vale sempre?

Na prática o rendimento pode sofrer variações tanto com a rotação como com o diâmetro do rotor. Para a variação da rotação essa correção pode ser feita introduzindo-se os rendimentos na equação de potência, considerando para isto o rendimento η_1 em rotação nominal e o rendimento η_2 para uma rotação qualquer, que pode ser obtido a partir da expressão empírica 12 (Macintyre, Archibald Joseph - Bombas e Instalações de Bombeamento - editado pela Guanabara Dois - segunda edição) a seguir. Comolet (1.961) também propôs uma outra expressão empírica para essa correção (equação 13) que geralmente é utilizada para água quente.

$$\eta_2 = 1 - \left[(1 - \eta_1) \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^{0,1} \right] \rightarrow (12)$$

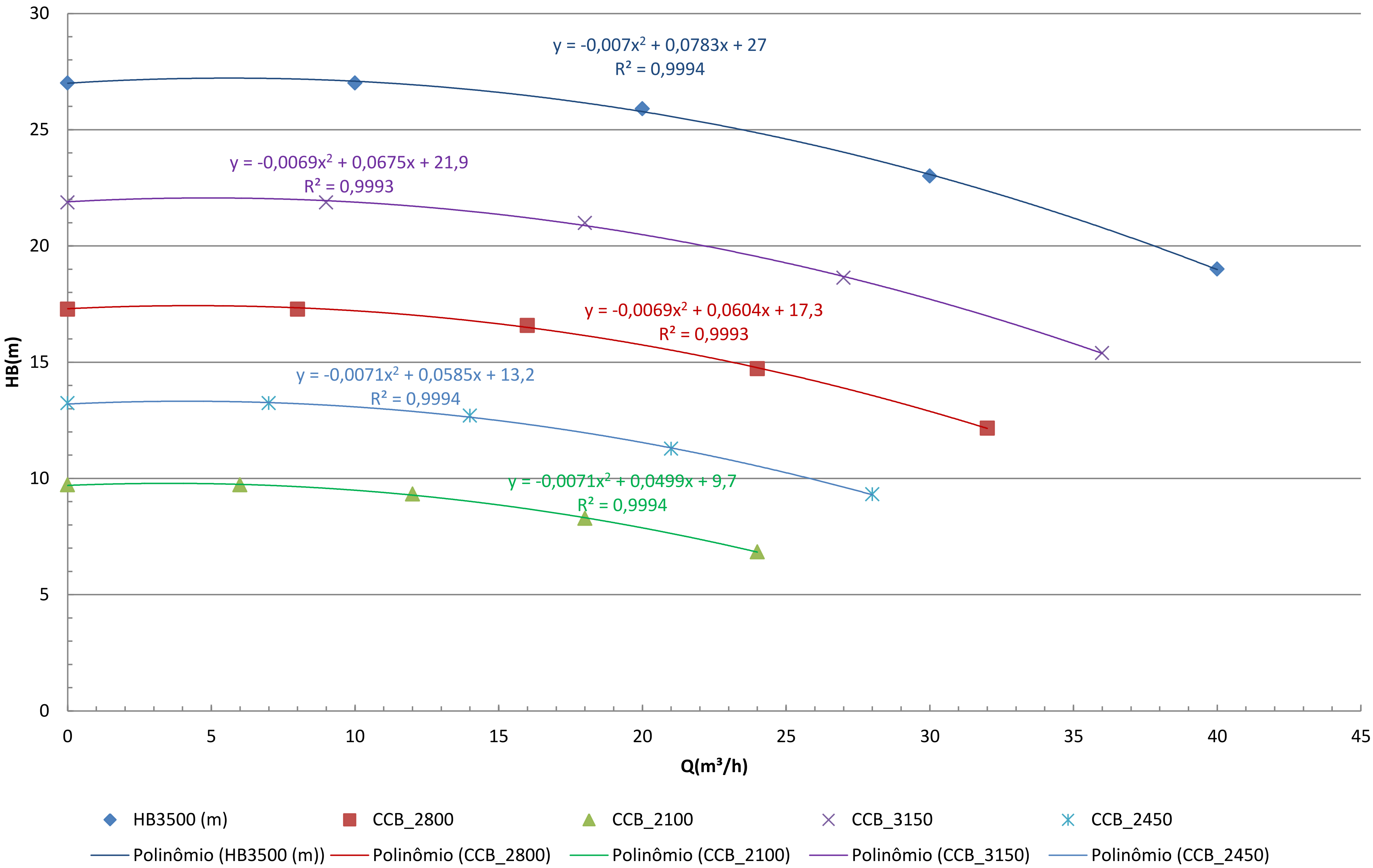
$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1 - \eta_1) \times \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^{0,17}} \rightarrow (13)$$


Poderíamos utilizar o inversor de frequência para alguma outra aplicação?

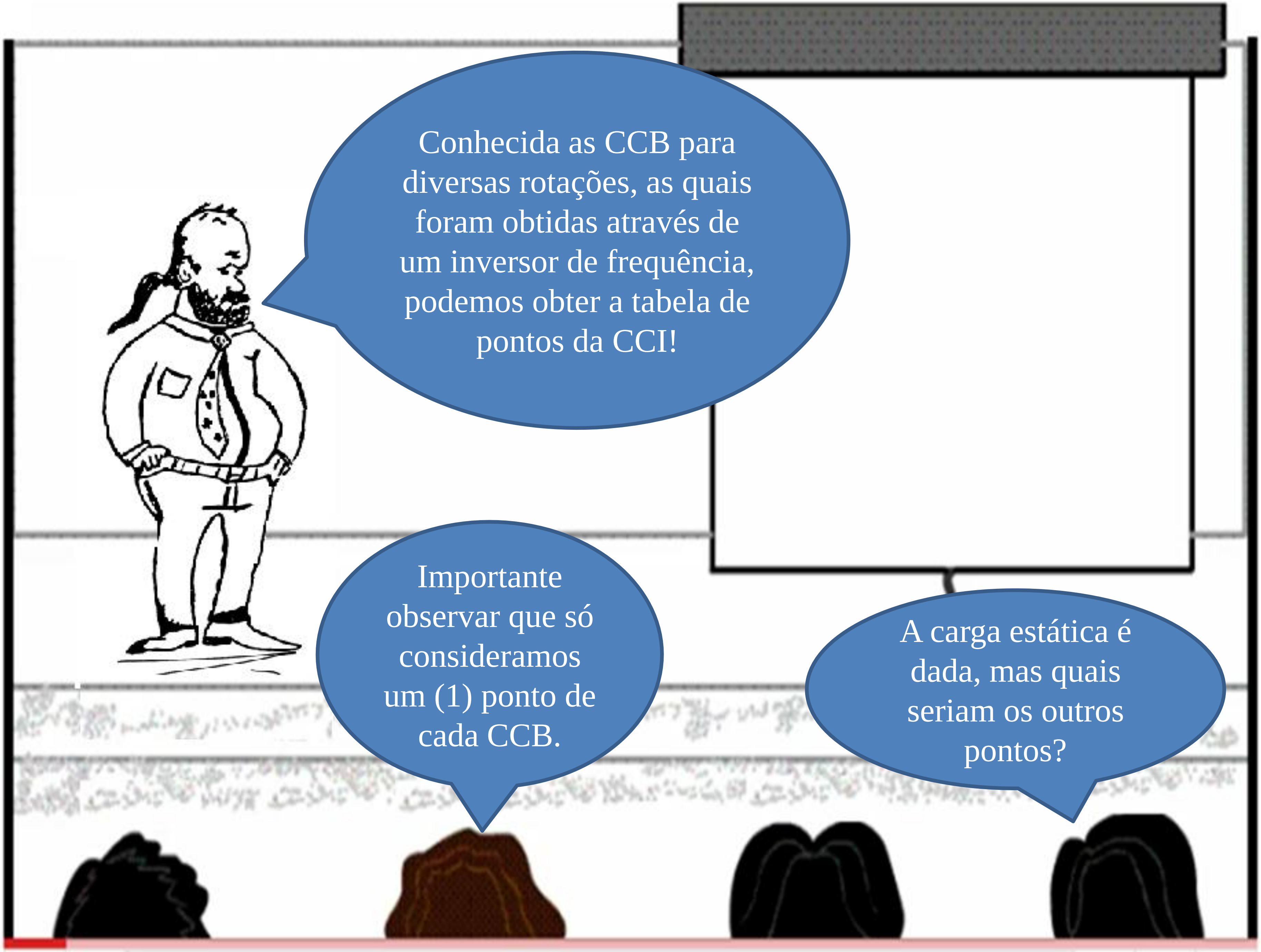

Se conhecermos a carga estática da instalação, poderíamos utilizá-lo para obtenção da CCI prática.

Conhecida a tabela abaixo e a carga estática de uma dada instalação de bombeamento que é igual a 1,9 m, obtenha a sua CCI prática

3500 rpm		3150		2800		2450		2100	
Q_{3500} (m³/h)	H_{B3500} (m)	Q_{3150} (m³/h)	H_{B3150} (m)	Q_{2800} (m³/h)	H_{B2800} (m)	Q_{2800} (m³/h)	H_{B2800} (m)	Q_{2100} (m³/h)	H_{B2100} (m)
0	27	0	21,9	0	17,3	0,0	13,2	0	9,7
10	27	9	21,9	8	17,3	7,0	13,2	6	9,7
20	25,9	18	21,0	16	16,6	14,0	12,7	12	9,3
30	23	27	18,6	24	14,7	21,0	11,3	18	8,3
40	19	36	15,4	32	12,2	28,0	9,3	24	6,8



y = -0,007x² + 0,0783x + 27
R² = 0,9994
y = -0,0069x² + 0,0675x + 21,9
R² = 0,9993
y = -0,0069x² + 0,0604x + 17,3
R² = 0,9993
y = -0,0071x² + 0,0585x + 13,2
R² = 0,9994
y = -0,0071x² + 0,0499x + 9,7
R² = 0,9994
HB(m)
Q(m³/h)
HB3500 (m)
CCB_2800
CCB_2100
CCB_3150
CCB_2450
Polinômio (HB3500 (m))
Polinômio (CCB_2800)
Polinômio (CCB_2100)
Polinômio (CCB_3150)
Polinômio (CCB_2450)

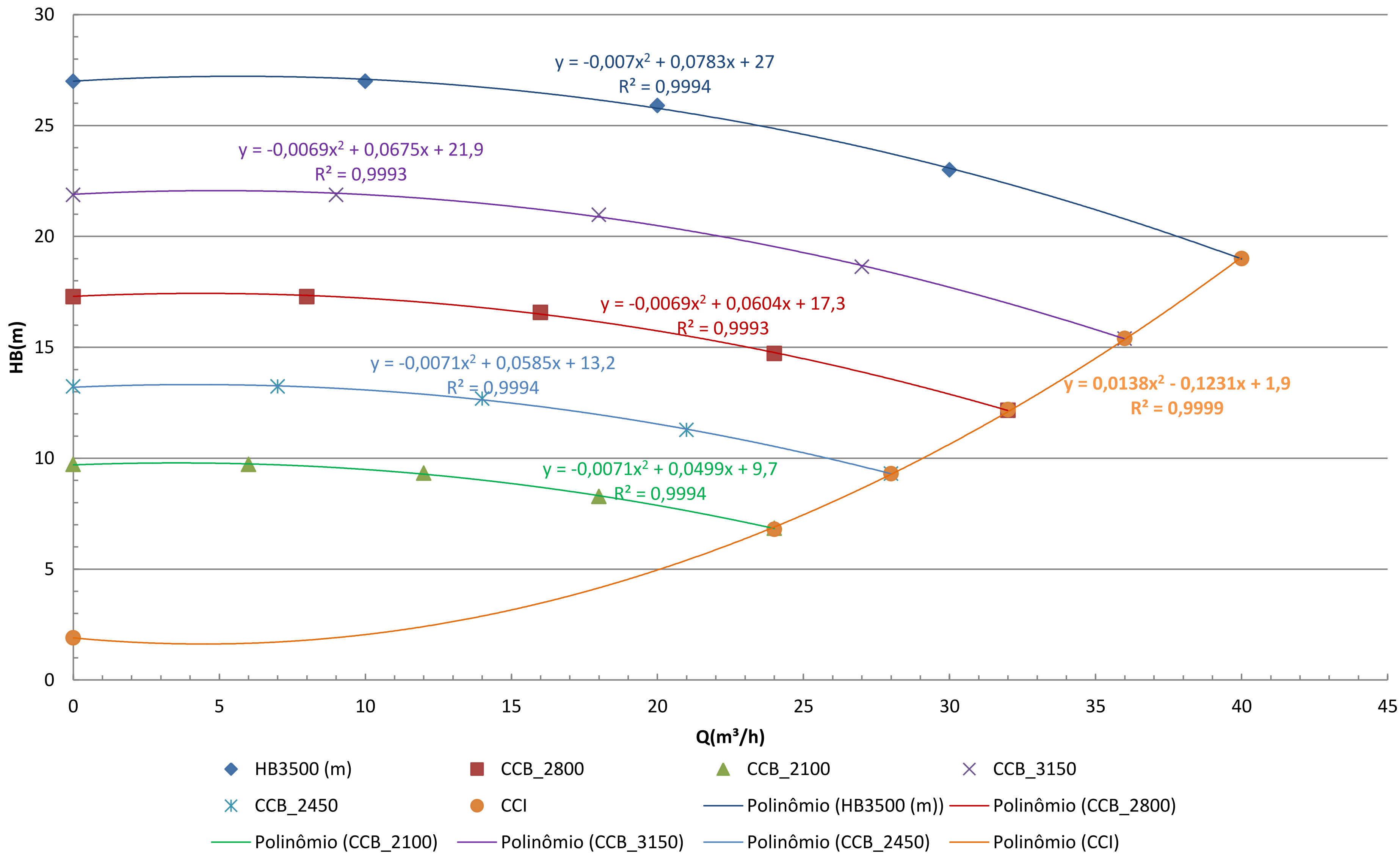

Conhecida as CCB para diversas rotações, as quais foram obtidas através de um inversor de frequência, podemos obter a tabela de pontos da CCI!
Importante observar que só consideramos um (1) ponto de cada CCB.
A carga estática é dada, mas quais seriam os outros pontos?

Lembre que:

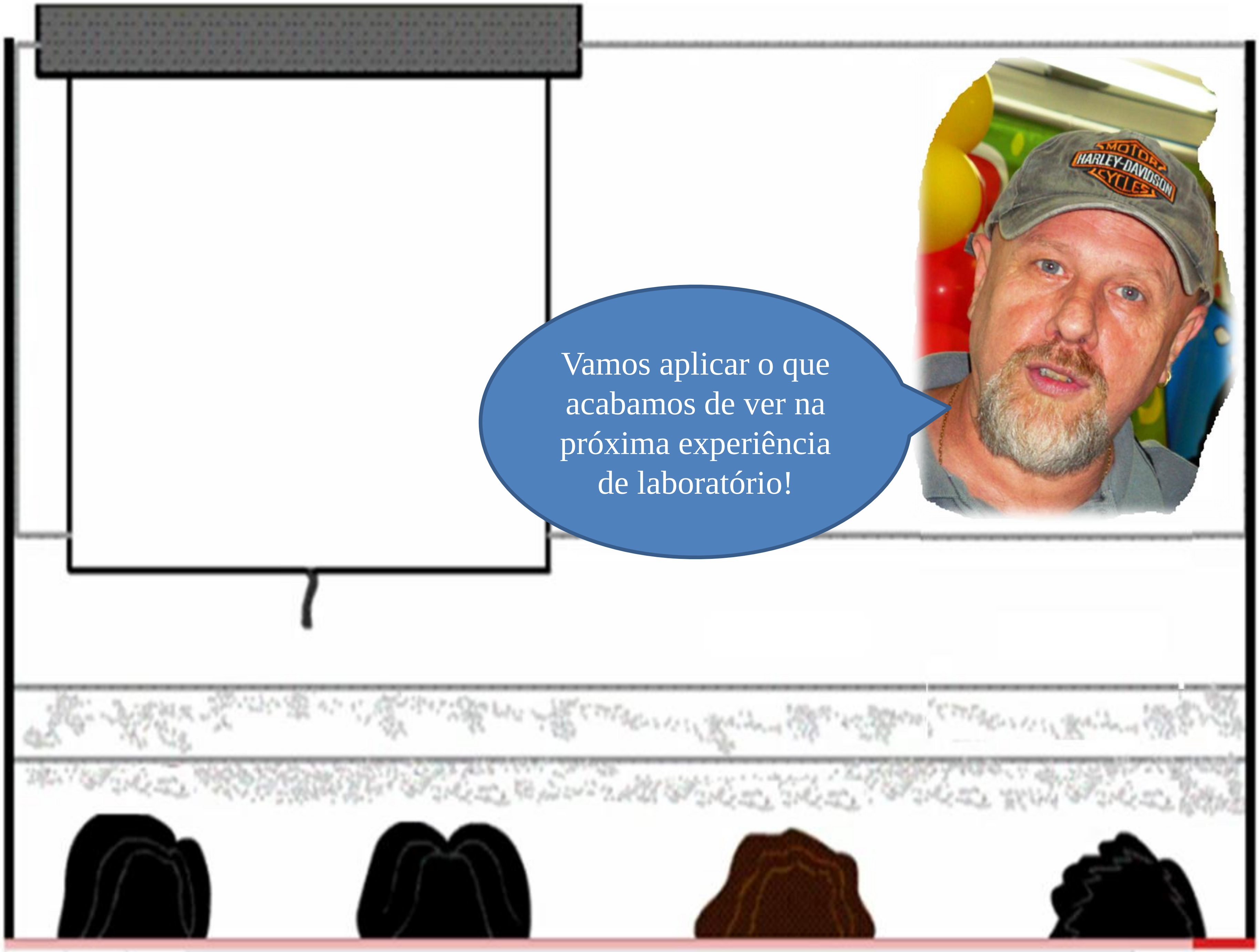
$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

CCI	
Q (m³/h)	H_S (m)
0	1,9
24	6,8
28	9,3
32	12,2
36	15,4
40	19

Seriam os pontos correspondentes a máxima vazão de cada rotação imposta pelo inversor, já que este representa o ponto de trabalho obtido com a válvula de controle de vazão totalmente aberta.



y = -0,007x² + 0,0783x + 27
R² = 0,9994
y = -0,0069x² + 0,0675x + 21,9
R² = 0,9993
y = -0,0069x² + 0,0604x + 17,3
R² = 0,9993
y = -0,0071x² + 0,0585x + 13,2
R² = 0,9994
y = 0,0138x² - 0,1231x + 1,9
R² = 0,9999
y = -0,0071x² + 0,0499x + 9,7
R² = 0,9994
HB(m)
Q(m³/h)
HB3500 (m)
CCB_2800
CCB_2100
CCB_3150
CCB_2450
CCI
Polinômio (HB3500 (m))
Polinômio (CCB_2800)
Polinômio (CCB_2100)
Polinômio (CCB_3150)
Polinômio (CCB_2450)
Polinômio (CCI)


Vamos aplicar o que acabamos de ver na próxima experiência de laboratório!