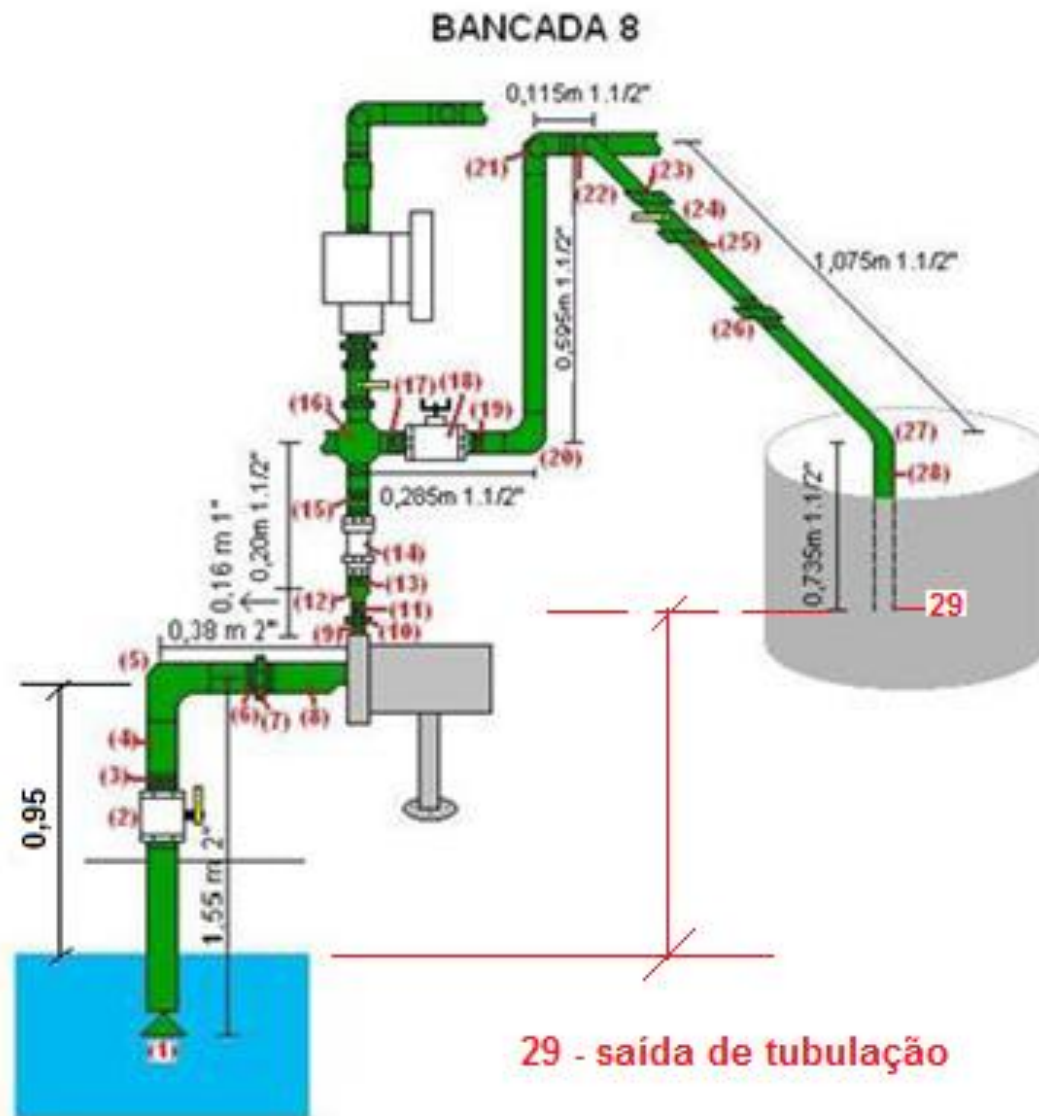


Nona aula de ME5330

Outubro de 2010

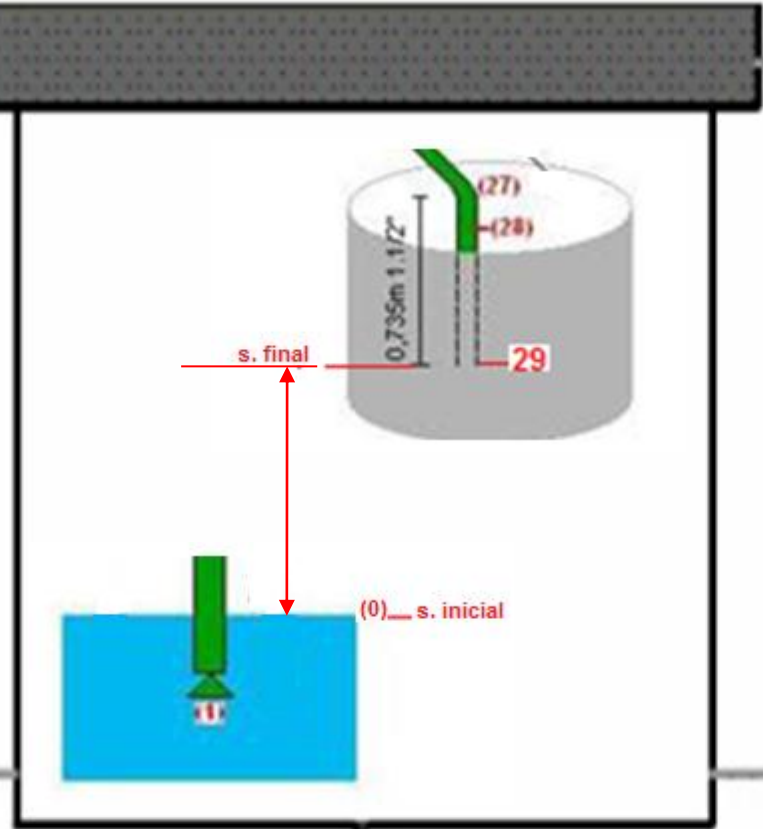
Obtenção da equação da CCI



- 1 - válvula de poço (ou pé com crivo)
 - 2, 24 - válv. esfera
 - 3, 6, 9, 11, 13, 15, 17 - niple
 - 4 - "T" passagem direta
 - 5 - curva longa
 - 7, 10, 11 - união
 - 8 - redução excêntrica
 - 12 - ampliação
 - 14 - válv. de retenção vertical
 - 16 - cruzeta de saída lateral
 - 18 - válv. globo reta sem guia
 - 19, 23, 25 - adptador de PVC
 - 20, 21, 27 - cotovelo de PVC,
 - 22 - "T" de saída lateral de PVC,
 - 26 - união de PVC
 - 28 - luva de PVC
- 29 - saída de tubulação



Deve-se caracterizar as seções inicial e final



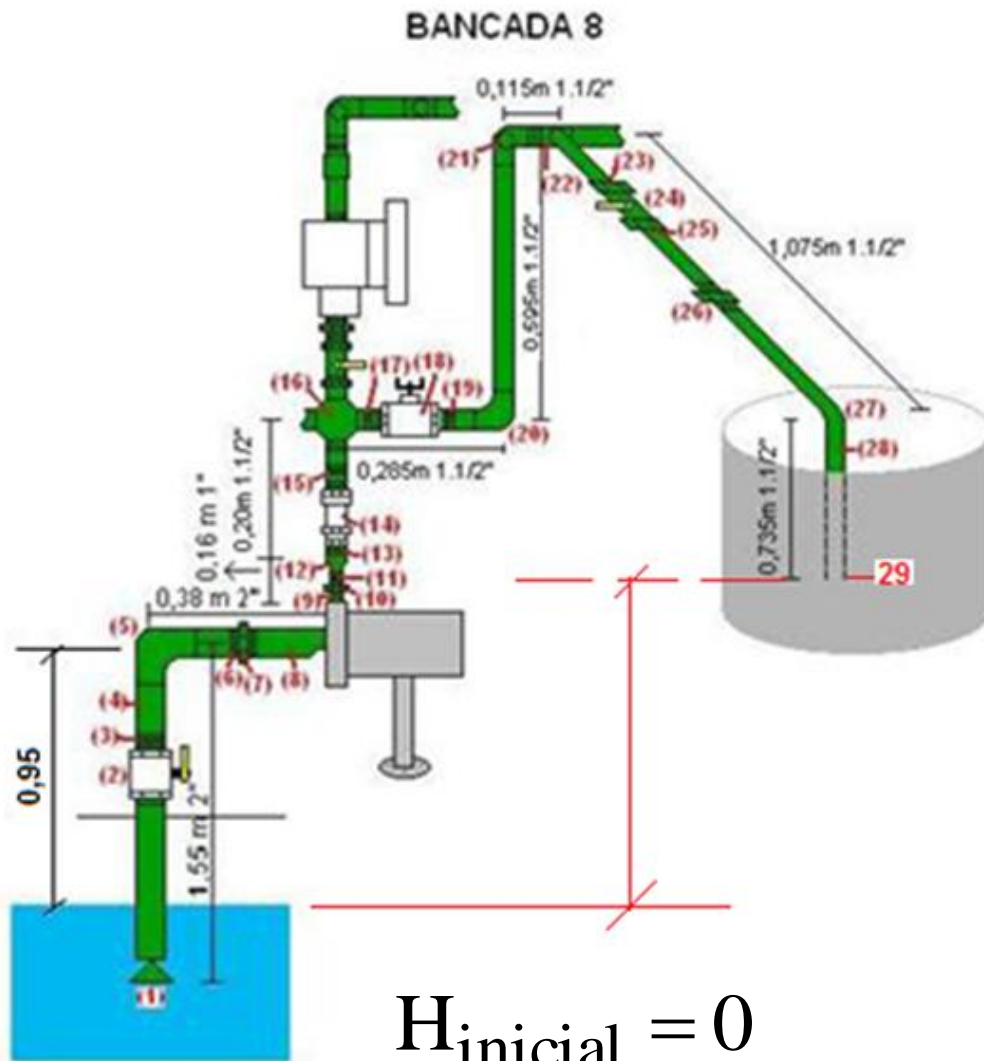
$$H_{\text{inicial}} + H_S = H_{\text{final}} + H_{P_{\text{totais}}}$$

Adotando o PHR na seção inicial:

Aplica-se a equação da energia do início ao fim



$$H_{\text{final}} = 1,17 + 22067,6Q^2$$



Perdas	Diâmetro(pol)	Leq (m)
válv pé c/ crivo	1x2"	19,81
válv esfera	1x2"	0,7
válv esfera	1x1,1/2"	0,55
niple	2x2" + 2x1" + 3x1,1/2"	0,07
T' passagem dir.	1x2"	0,41
curva longa	1x2"	1,04
união	1x2" + 1x1"	0,02
redução excêntrica	1x1,1/2"	0,38
ampliação	1x1"	0,32
válv. de retenção vert.	1x1,1/2"	17,07
cruzeta saída lateral	1x1,1/2"	2,02
válv globo reta s/ guia	1x1,1/2"	13,72
adaptador de PVC	3x1,1/2"	0,03
cotovelo de PVC	3x1,1/2"	9,6
T' saída lateral PVC	1x1,1/2"	7,3
união PVC	1x1,1/2"	0,01
luva PVC	1x1,1/2"	0,01
saída de tubulação	1x1,1/2"	3,2
Σ (Leq)		76,26
Σ (Leq) _{2"}		21,99
Σ (Leq) _{1"}		0,35
Σ (Leq) _{1,1/2"} aço		33,77
Σ (Leq) _{1,1/2"} PVC		20,15
D _{PVC1,1/2"} (mm)		44
A _{PVC1,1/2"} (mm ²)		1520,5

Calculando
as perdas



$$H_{p_{\text{total}}} = H_{p_{2''\text{aço}}} + H_{p_{1,5''\text{aço}}} + H_{p_{1''\text{aço}}} + H_{p_{1,5''\text{PVC}}}$$

$$H_{p_{2''\text{aço}}} = f_{2''\text{aço}} \times \frac{(1,93 + 21,99)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p_{2''\text{aço}}} = f_{2''\text{aço}} \times 4936581,8 \times Q^2$$

$$H_{p_{1,5''\text{aço}}} = f_{1,5''\text{aço}} \times \frac{(0,485 + 33,77)}{0,0408} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (13,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p_{1,5''\text{aço}}} = f_{1,5''\text{aço}} \times 24961182,0 \times Q^2$$

$$H_{p_{1''\text{aço}}} = f_{1''\text{aço}} \times \frac{(0,16 + 0,35)}{0,0266} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (5,57 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p_{1''\text{aço}}} = f_{1''\text{aço}} \times 3152986,3 \times Q^2$$

$$H_{p_{1,5''\text{PVC}}} = f_{1,5''\text{PVC}} \times \frac{(2,52 + 20,15)}{0,044} \times \frac{Q^2}{19,6 \times \left(\frac{\pi \times 0,044^2}{4} \right)^2}$$

$$H_{p_{1,5''\text{PVC}}} = f_{1,5''\text{PVC}} \times 11369786,4 \times Q^2$$

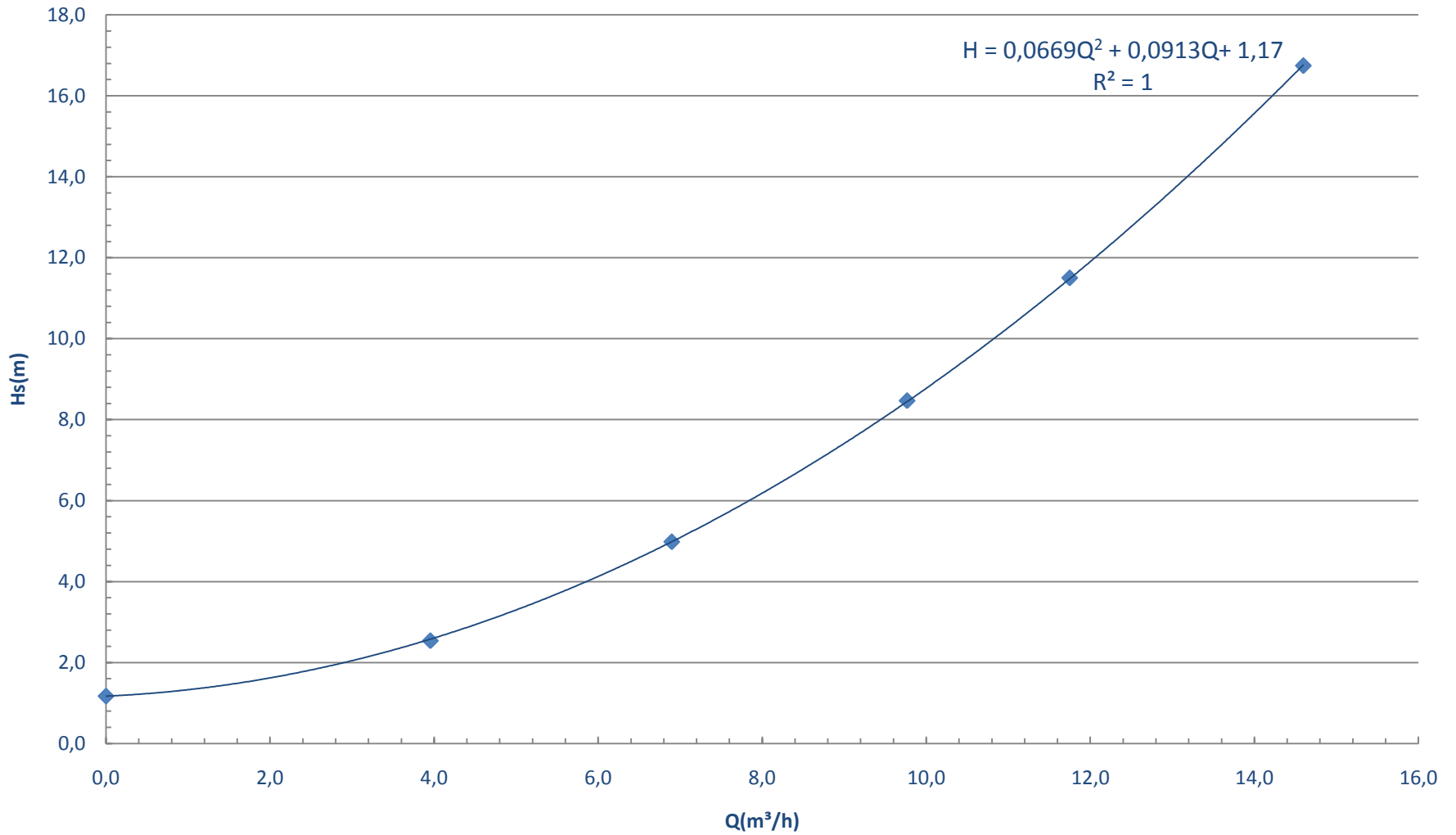
$$H_s = 1,17 + 22067,6 \times Q^2 + H_{P_{total}}$$



Q(m3/h)	f _{2"}	f _{1"}	f _{1,1/2" aço}	f _{1,1/2" PVC}
0,0	0	0	0	0
4,0	0,0267	0,0263	0,0262	0,0232
6,9	0,0244	0,0251	0,0243	0,0204
9,8	0,0232	0,0245	0,0234	0,0189
11,7	0,0227	0,0242	0,0230	0,0182
14,6	0,0222	0,0240	0,0226	0,0174

Q (m ³ /s)	Hp(m) _{2"}	Hp(m) _{1"}	Hp(m) 1,1/2" aço	Hp(m) _{1,1/2} PVC	Hp(m) _{total}	Hs(m)
0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	1,2
0,00110	0,16	0,100	0,790	0,318	1,4	2,5
0,00192	0,44	0,290	2,2	0,852	3,8	5,0
0,00271	0,84	0,568	4,3	1,6	7,3	8,5
0,00326	1,20	0,814	6,1	2,2	10,3	11,5
0,00405	1,80	1,2	9,3	3,3	15,6	16,7

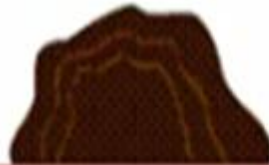
CCI





Vamos partir para a
determinação do
ponto de trabalho
considerando a CCB
obtida
experimentalmente

O ponto de
trabalho é
obtido no
cruzamento da
CCB com a CCI



$$P_{abs} = P_{efetiva} + P_{barométrica}$$

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{tan\ que}}{t}$$

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

$$p_s = P_{medida_s} + \gamma \times h_s$$

$$p_e = P_{medida_e} + \gamma \times h_e$$

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

Lembrar que a
pressão medida
na entrada da
bomba está na
escala absoluta!



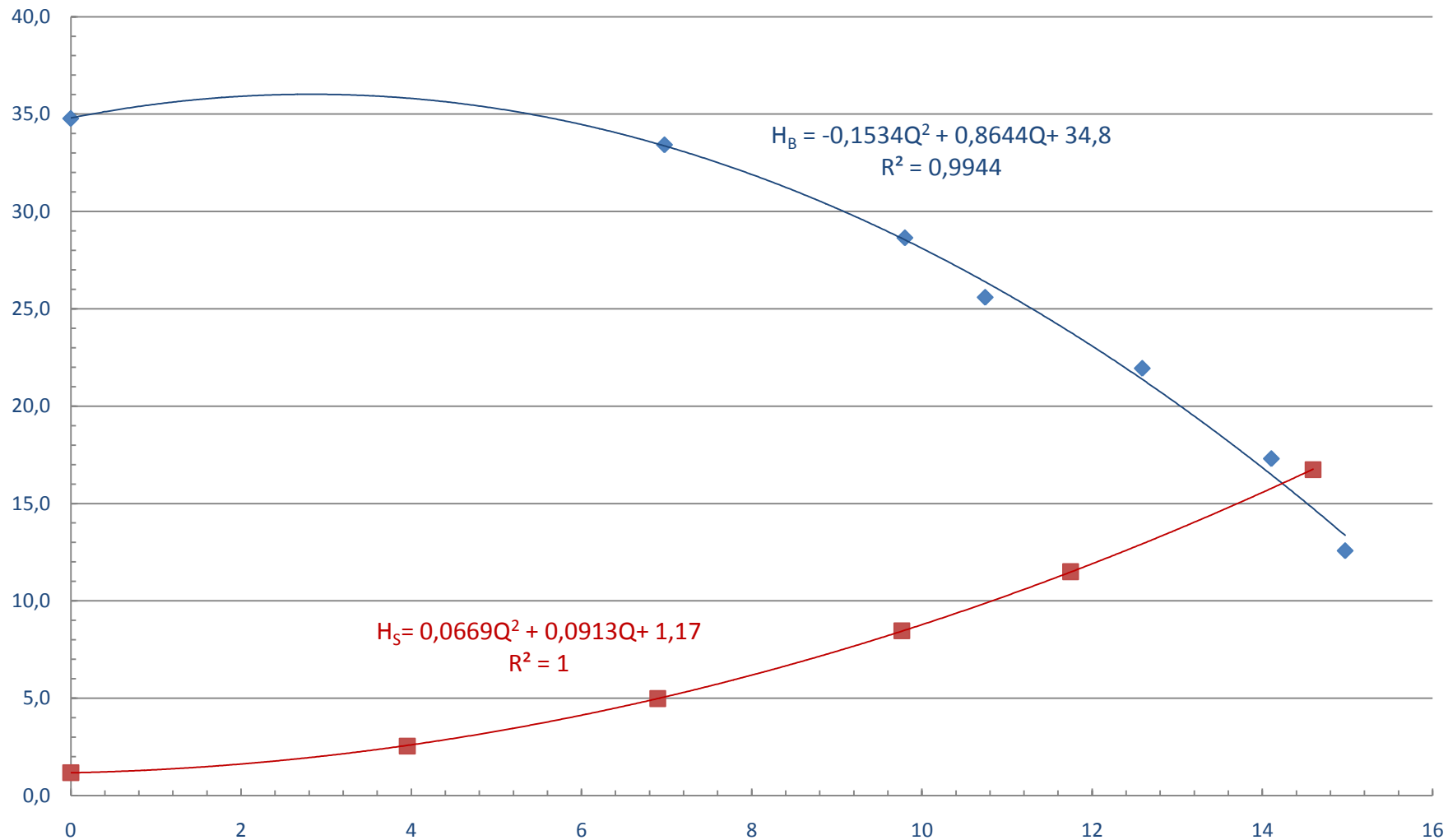
DADOS DA BANCADA 8				
BRASILIT				
Δh (mm)	t(s)	Pe (bar)	Ps (Kpa)	n (rpm)
100	0	0,843	321,9	3458
100	22,2	0,77	290,6	3401
100	15,9	0,742	239,8	3380
100	14,5	0,723	209,9	3381
100	12,4	0,688	171,7	3374
100	11,07	0,672	127,3	3373
100	10,22	0,654	86,8	3442

DADOS GERAIS			
Patm (bar)	0,924	γ (N/m ³)	9782,36
Atbras (m ²)	0,418	T (°C)	20
At7 (m ²)	0,5476		
he7 (m)	0,1	he8 (m)	0,1
hs7 (m)	0,025	hs8 (m)	0,025
ΔZ (m)	0,29	ΔZ (m)	0,29
Ae (m ²)	2,17E-03		
As (m ²)	1,31E-03		

BRASILIT COM B8

Ensaio	Q (m ³ /s)	Q _{corrigida} (m ³ /h)	ΔZ (m)	ps (Pa)	pe (Pa)	(ps-pe)/ γ	(vs ² -ve ²)/2g	H _B (m)	H _{Bcorrigido} (m)
1	0	0	0,29	322144,6	-7121,76	33,7	0	33,9	34,8
2	0,00188	7,0	0,29	290844,6	-14421,8	31,2	0,0670	31,6	33,4
3	0,00263	9,8	0,29	240044,6	-17221,8	26,3	0,131	26,7	28,7
4	0,00288	10,7	0,29	210144,6	-19121,8	23,4	0,157	23,9	25,6
5	0,00337	12,6	0,29	171944,6	-22621,8	19,9	0,215	20,4	21,9
6	0,00378	14,1	0,29	127544,6	-24221,8	15,5	0,269	16,1	17,3
7	0,00409	15,0	0,29	87044,56	-26021,8	11,6	0,316	12,2	12,6

Ponto de trabalho





$$-0,1534Q^2 + 0,8644Q + 34,8 = 0,0669Q^2 + 0,0913Q + 1,17$$
$$0,2203Q^2 - 0,7731Q - 33,63 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,7731 + \sqrt{0,7731^2 + 4 \times 0,2203 \times 33,63}}{2 \times 0,2203}$$

$$Q_{\tau} \cong 14,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Deu uma diferença de aproximadamente 3,56% em relação a vazão obtida experimentalmente!



Para obtermos a vazão do ponto de trabalho igual a obtida experimentalmente deveríamos obter a CCI experimental através 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.

No caso específico , o inversor de frequência é utilizado para controlar a rotação de um motor assíncrono (de indução) .



E se eu posso controlar a rotação eu posso também controlar a Q pelo inversor de frequência!

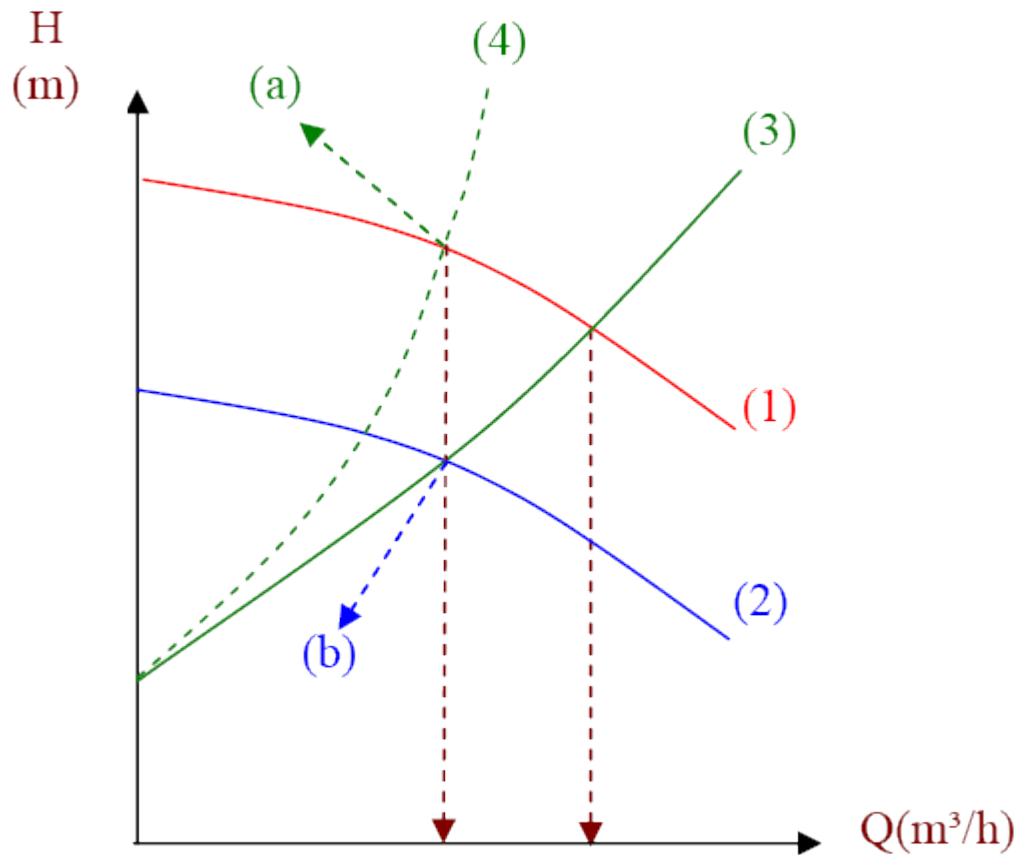
Lembramos que 51% da energia elétrica gasta na indústria é usada para alimentar os motores. Podemos então ver a importância de se dimensionar corretamente nossos motores e de reduzir ao máximo a potência consumida otimizando os meios de controle e de processo.

E o inversor de frequência propicia essa redução!

E 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; ainda segundo este mesmo autor, 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.

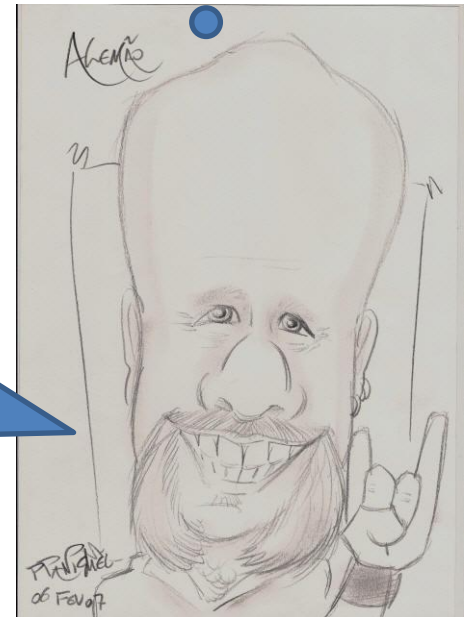


Vamos procurar entender o mencionado através de um exercício!

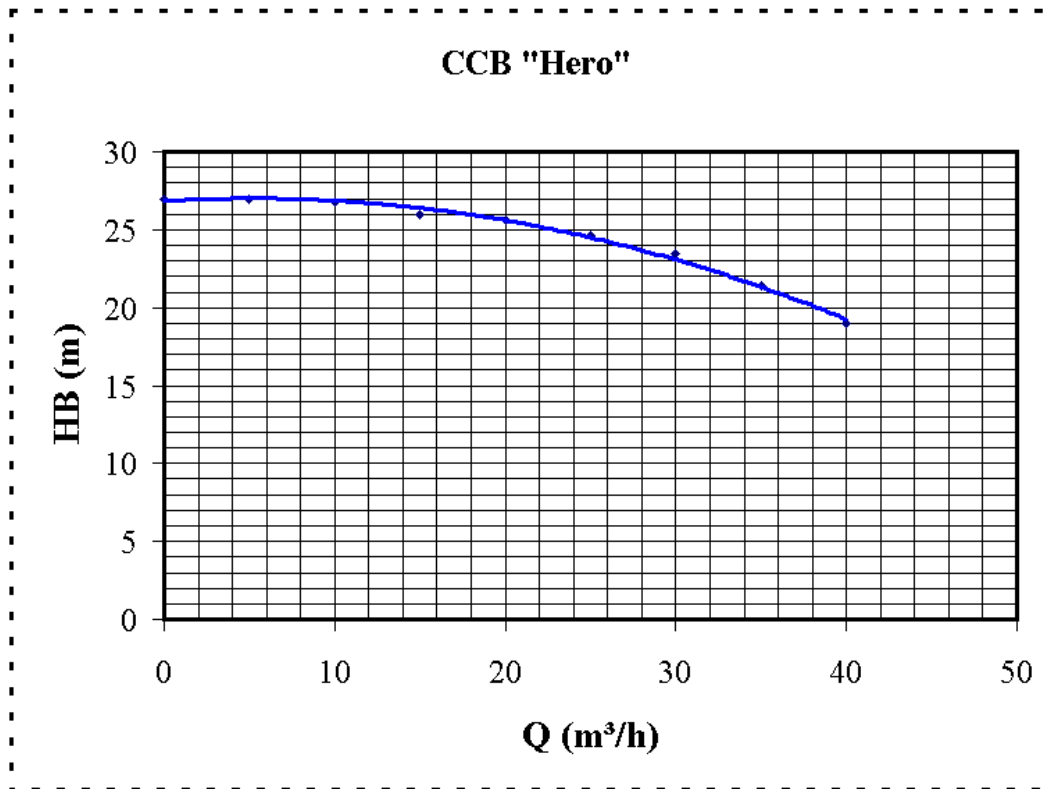


Objetivo verificar a influência da rotação (n) nas curvas características da bomba, iniciando com $H_B = f(Q)$

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



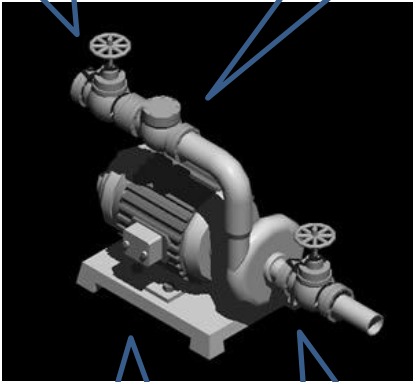
Suponha que se considere como fluido a água com massa específica igual a 1000 kg/m^3

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

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

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

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



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

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



Para a solução desse exercício nós evocamos os adimensionais típicos das bombas e o cálculo da rotação da mesma.

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

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

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

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

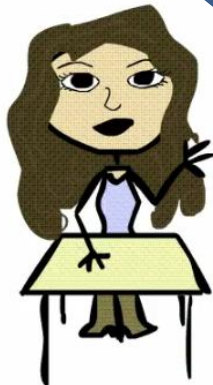
Condições de semelhança

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

$$\psi_{58,5} = \psi_{50} \Rightarrow \frac{19}{3510^2} = \frac{H_{B50}}{3000^2} \therefore H_{B50} \cong 13,9 \text{ m}$$

$$X_{58,5} = X_{50} \Rightarrow \frac{2948}{3510^3} = \frac{N_{B50}}{3000^3} \therefore N_{B50} \cong 1841 \text{ w}$$

Existiria outra maneira para se obter a vazão de $34,2 \text{ m}^3/\text{h}$ 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?



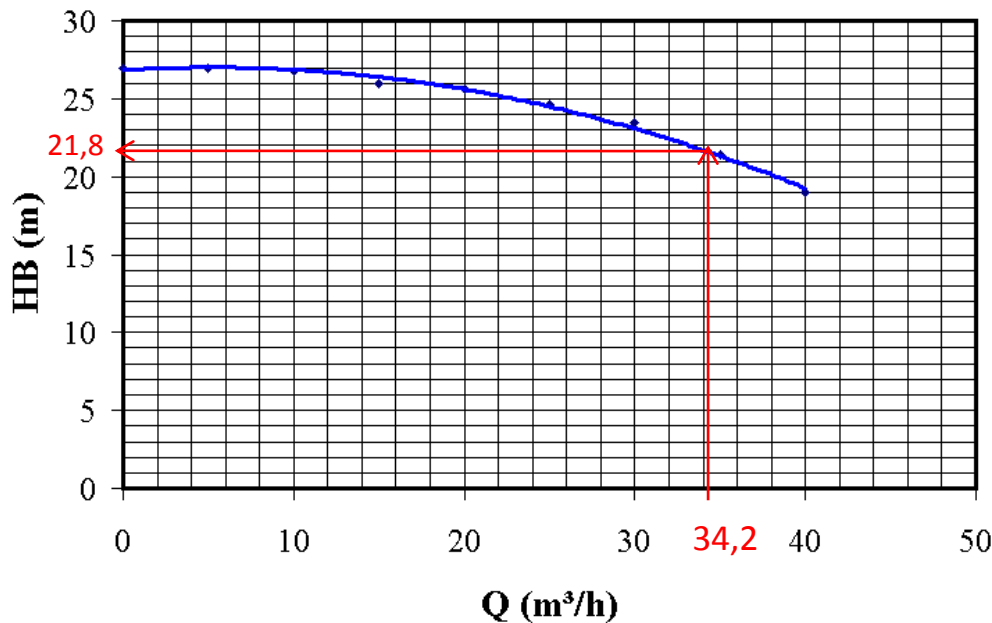
Solução: a nova maneira seria fechando parcialmente a válvula controladora de vazão



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

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

CCB "Hero"



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

$$N_B \cong 3542 \text{ w}$$

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





Na solução do exercício anterior recorreremos também as condições de semelhança.

Condições de semelhança:

$$\Psi_{\text{modelo}} = \Psi_{\text{protótipo}}$$

$$\phi_{\text{modelo}} = \phi_{\text{protótipo}}$$

$$X_{\text{modelo}} = X_{\text{protótipo}}$$

E o rendimento, será uma condição de semelhança?





Para responder o questionamento anterior, evoca-se a expressão para o cálculo do rendimento da bomba:

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



Através dos adimensionais típicos das bombas hidráulicas, pode-se obter uma importante relação entre o rendimento da bomba e estes adimensionais:

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

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

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

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

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



Como na condição de
semelhança completa tem-se
que: $\Phi_m = \Phi_p$; $\Psi_m = \Psi_p$ e
 $X_m = X_p$ 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.

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

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