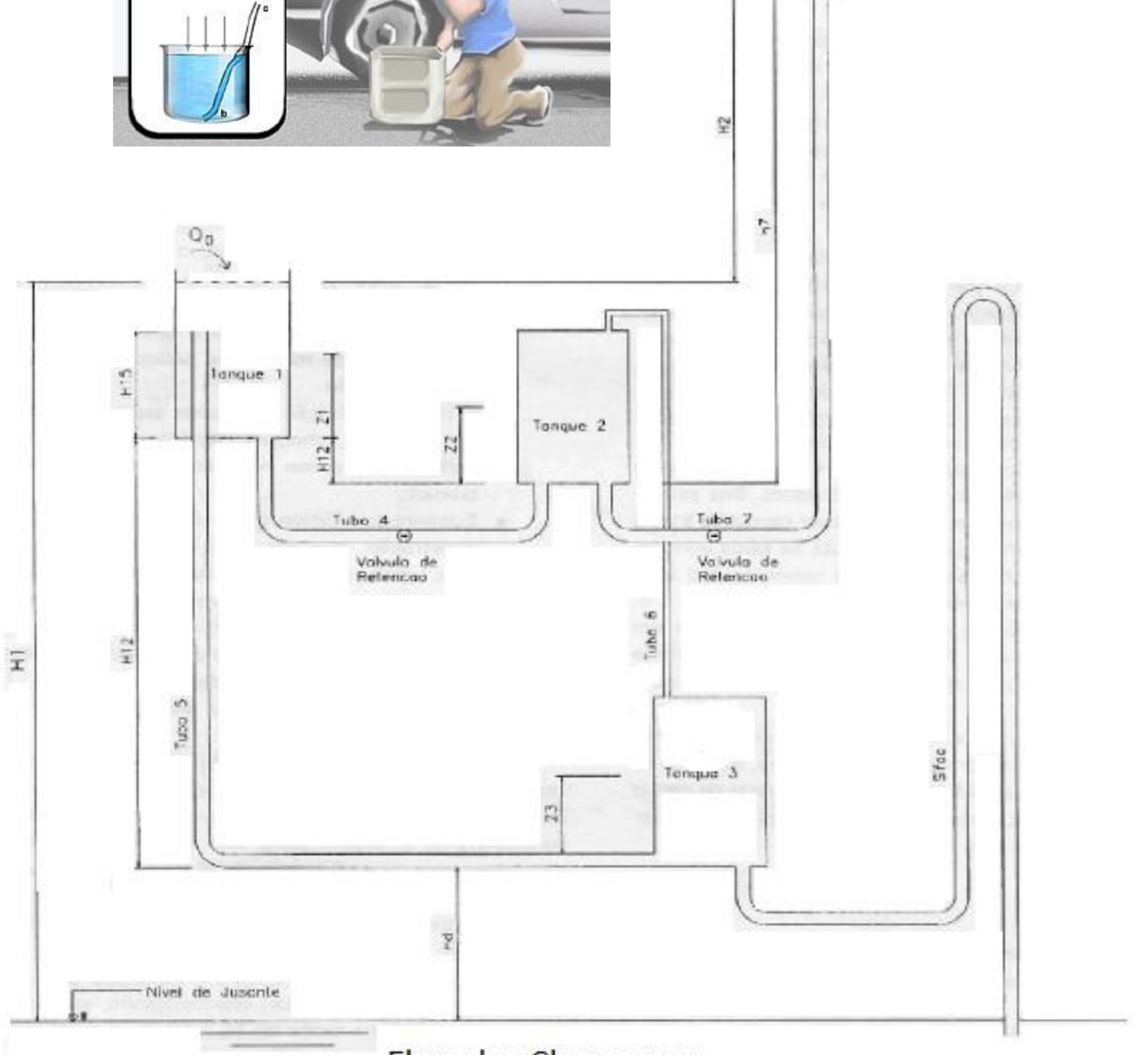
Sifão



Elevador Cherepnov

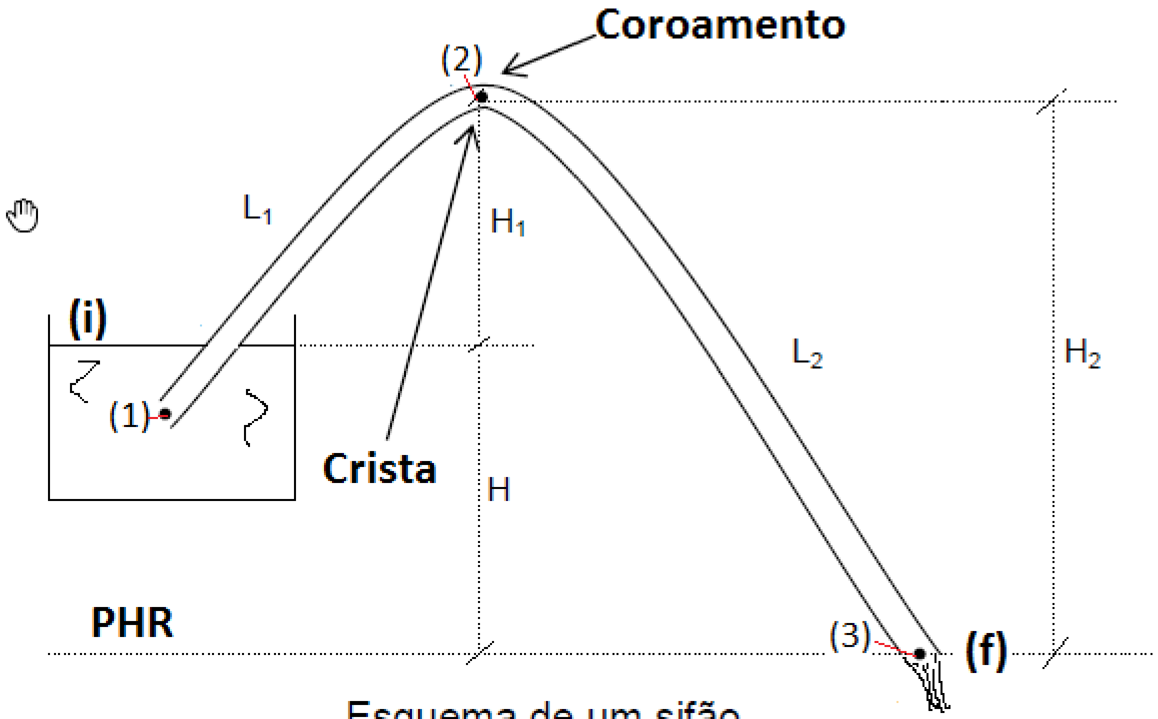
A figura a seguir mostra esquematicamente um sifão que, para funcionar, deve estar previamente cheio de fluido, ou seja, deve ter sido escorvado.

Nomenclatura normalmente utilizada

A seção (1) denomina-se boca de entrada e a seção (3) boca de saída. Em (2), temos o vértice do sifão marcado no eixo do conduto, onde a curva inferior recebe o nome de crista e a superior de coroamento.

O trecho (1) a (2), de comprimento L_1, chama-se ramo ascendente e o trecho (2) a (3), de comprimento L_2, ramo descendente.

O comprimento total do sifão será $L = L_1 + L_2$.

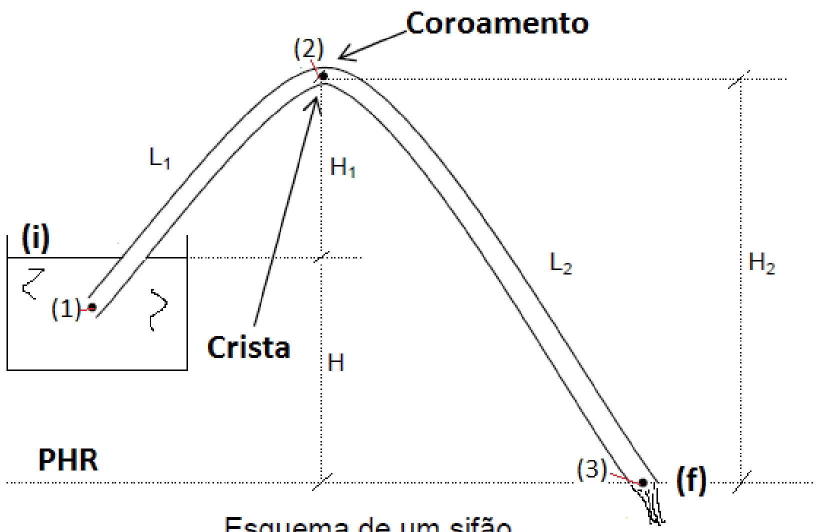


Esquema de um sifão

Funcionamento do sifão

As condições de funcionamento de um sifão podem ser estabelecidas por meio da equação da energia, considerando o escoamento incompressível e em regime permanente.

1ª Condição: Aplicando a equação da energia do nível inicial (i) a seção final (3), temos:



Esquema de um sifão

$$H_{(i)} = H_3 + H_{p_{(i)-3}} \Rightarrow z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + H_{p_{(i)-3}}$$

$$z_i = H \rightarrow p_i = p_{atm} = 0 \rightarrow \text{escala} \quad \text{efetiva}$$

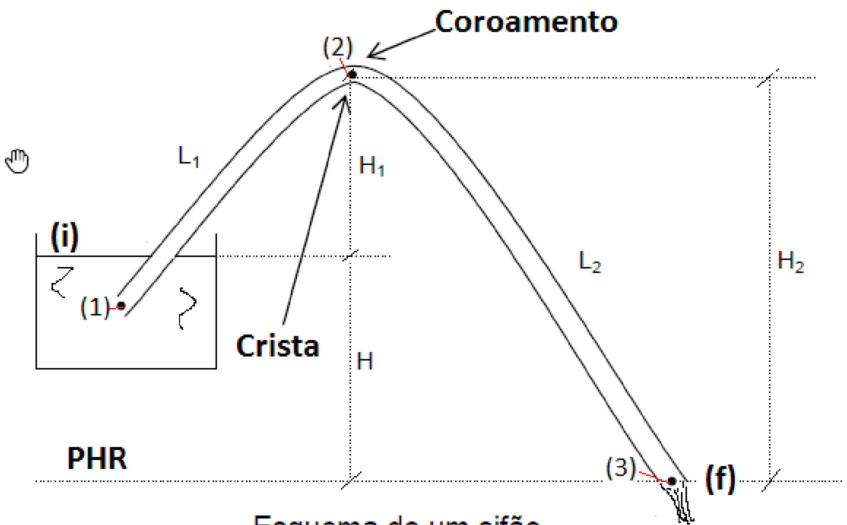
$$v_i = 0 \rightarrow \text{regime} \quad \text{permanente}$$

$$z_f = 0 \rightarrow \text{PHR}$$

$$p_3 = p_{atm} = 0 \rightarrow \text{escala} \quad \text{efetiva}$$

$$H = \frac{v_3^2}{2g} + H_{p_{(i)-3}} \therefore v_3 = \sqrt{2g \times \left(H - H_{p_{(i)-3}}\right)}$$

2ª Condição: Aplicando a equação da energia entre o nível inicial (i) e o vértice (2), e considerando o PHR agora no nível inicial (i), resulta:



Esquema de um sifão

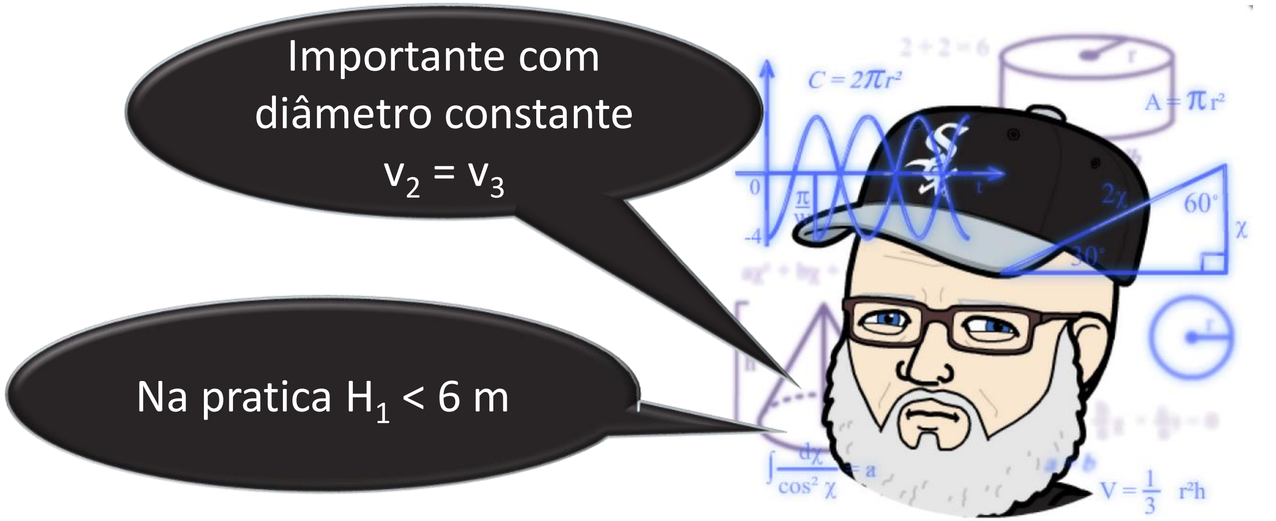
$$H_{(i)} = H_{(2)} + H_{p_{(i)-(2)}} \Rightarrow z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + H_{p_{(i)-(2)}}$$

Trabalhando na escala absoluta, resulta:

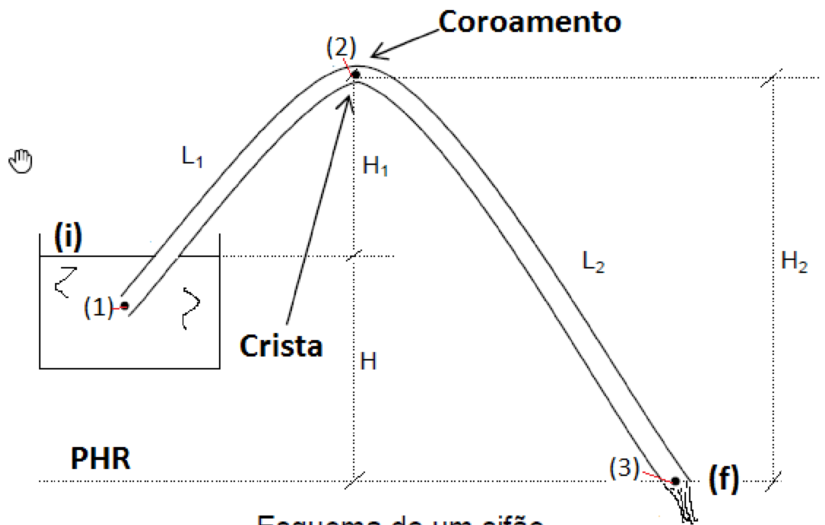
$$\frac{p_{atm}}{\gamma} = H_1 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + H_{p_{(i)-(2)}} \therefore \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_{atm}}{\gamma} - \left(H_1 + \frac{p_2}{\gamma} + H_{p_{(i)-(2)}}\right)$$

$$v_2 = v_3 > 0$$

$$H_1 < \frac{p_{atm}}{\gamma} - \left(\frac{p_2}{\gamma} + H_{p_{(i)-(2)}}\right)$$



3ª Condição: Aplicando a mesma equação entre o vértice do sifão e a seção final (3):

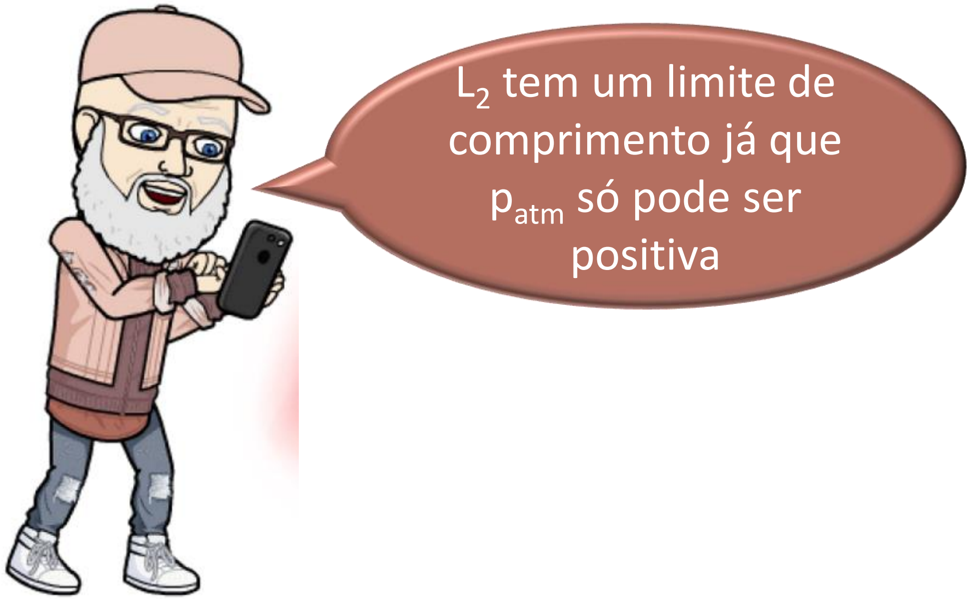


Esquema de um sifão

$$H_{(2)} = H_3 + H_{p_{(2)-3}} \Rightarrow z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + H_{p_{2-3}}$$

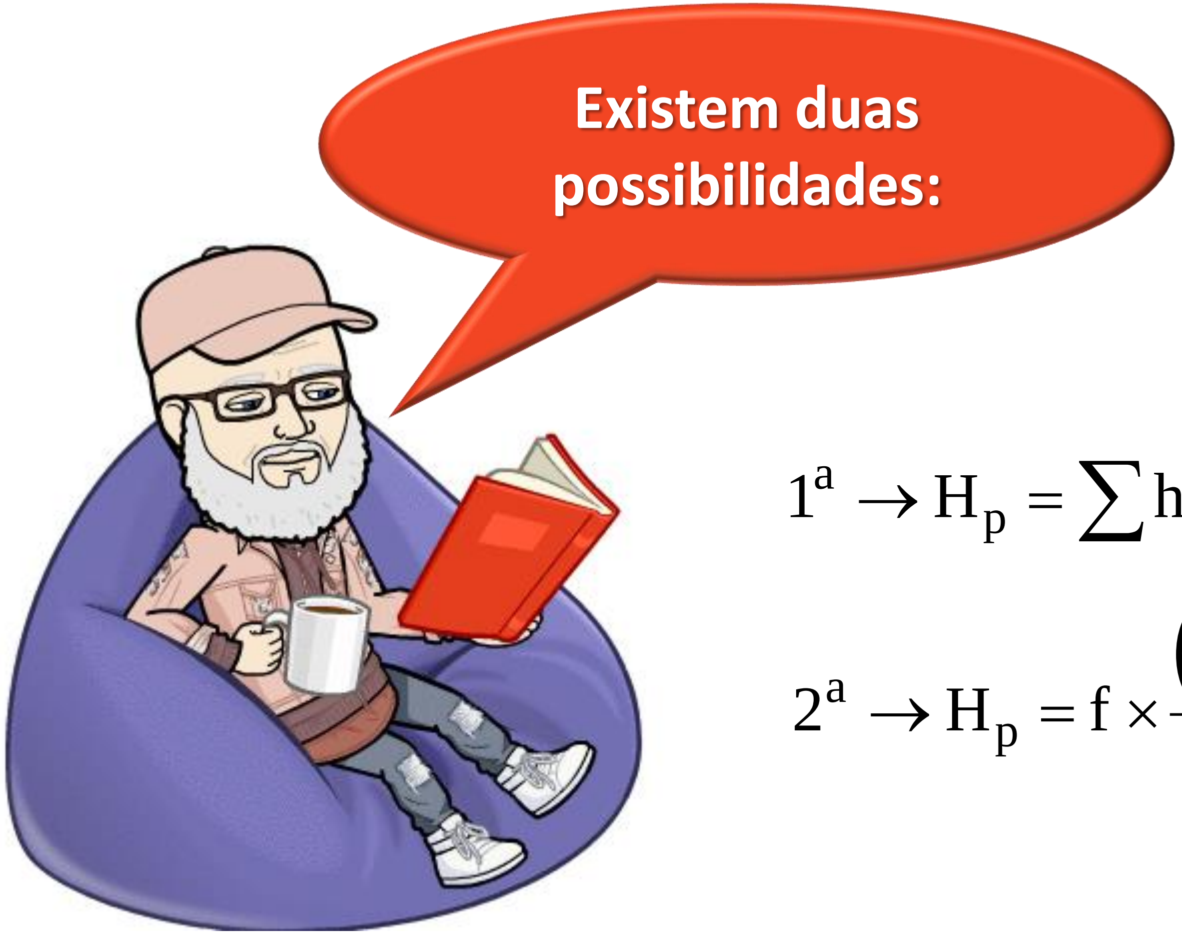
Trabalhando na escala absoluta, resulta:

$$H + H_1 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_{atm}}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + H_{p2-3} \therefore H + H_1 + \frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_{atm}}{\gamma} + H_{p_{2-3}}$$



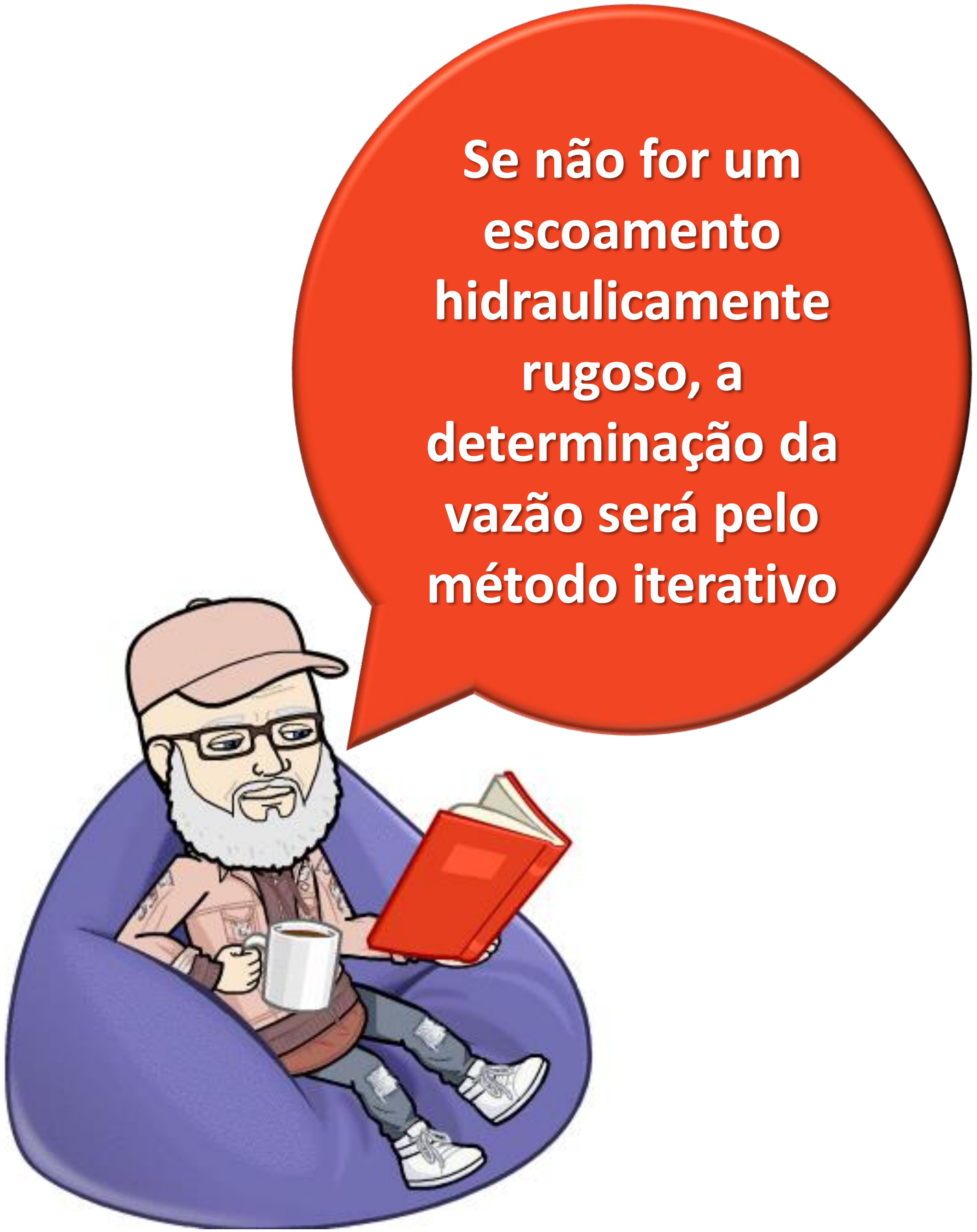
$$\frac{p_{atm}}{\gamma} = H_2 + \frac{p_2}{\gamma} - H_{p_{2-3}}$$

Determinando as perdas e a vazão no sifão



$$1^a \rightarrow H_p = \sum h_S + h_f = \left[\left(\sum K_s + f \times \frac{L}{D_H}\right) \times \frac{1}{2g \times A^2}\right] \times Q^2$$

$$2^a \rightarrow H_p = f \times \frac{\left(L + \sum L_{eq}\right)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$



$$H = \frac{Q^2}{2g \times A^2} + f \times \frac{\left(L + \sum L_{eq}\right)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$Q = \sqrt{\frac{H}{\left[1 + f \times \frac{\left(L + \sum L_{eq}\right)}{D_H}\right] \times \frac{1}{2g \times A^2}}}$$

$$Q = A \times \sqrt{\frac{2g \times H}{1 + f \times \frac{\left(L + \sum L_{eq}\right)}{D_H}}}$$

$$Q = A \times \sqrt{\frac{2g \times H}{1 + f \times \frac{\left(L + \sum L_{eq}\right)}{D_H}}}$$

O método iterativo: atribuímos um valor inicial para o "f", geralmente o 0,02 e com ele calculamos a Q, com a Q, a temperatura do fluido, o diâmetro interno do sifão em "mm", a área da seção transversal do sifão em "cm²" e a rugosidade equivalente "K" na planilha do Excel fornecida na página:

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/primeiro2008/determina%C3%A7%C3%A3o_dos_f.xls

determinamos o novo "f", se este for diferente do adotado inicialmente, no caso 0,02, será o novo valor adotado e repete-se o procedimento até não haver diferença entre o "f" adotado e o determinado pelo Excel, ou até a diferença ser menor ou igual a um erro fixado por quem está resolvendo o exercício, por exemplo:

$$\left| f_{adotado} - f_{determinado} \right| \leq 0{,}000005$$

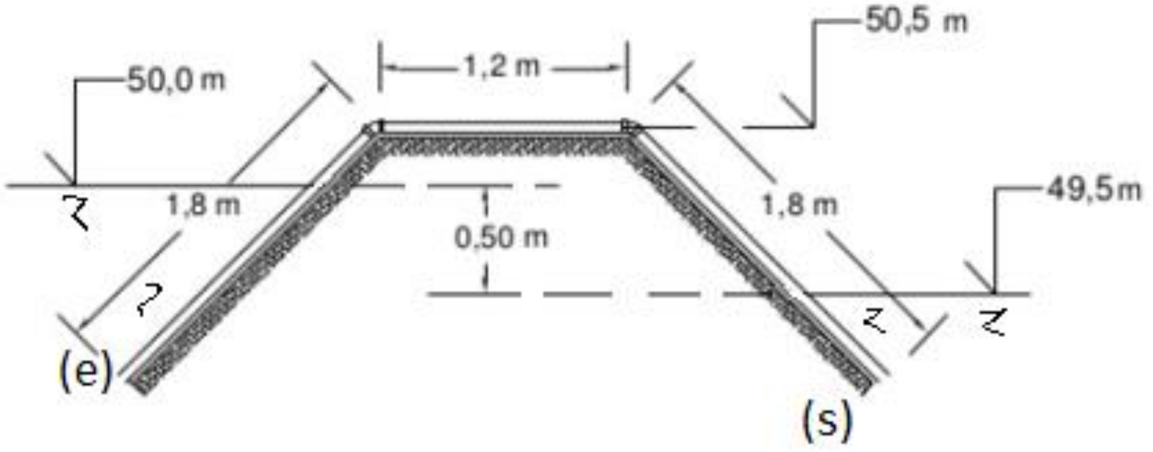
Com o "f" determinado, estimamos a Q

$$Q = A \times \sqrt{\frac{2g \times H}{1 + f \times \frac{\left(L + \sum L_{eq}\right)}{D_H}}}$$

Em um sistema de irrigação, recorre-se a um sifão de ferro fundido sem revestimento, que tem um diâmetro nominal de 2” e rugosidade equivalente (K) igual a 0,15 mm. Estime a vazão e a carga de pressão na seção localizada no meio do trecho horizontal da tubulação.

Dados: escoamento em regime permanente; a água encontra-se a 20^0C; o coeficiente de perda de carga singular (K_S) na seção de entrada igual a 0,5, na seção de saída 1,0 e em cada cotovelo de 45^0 igual a 0,2.

Importante: utilize a fórmula universal (fórmula de Darcy-Weisbach)



DADO

Equivalência entre Diâmetros Nominais

Sistema Inglês (pol)	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Sistema Métrico (mm)	8	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150

DADO

Tubos e Conexões de Ferro Fundido Dúctil — *1.07.04*

DEFINIÇÃO | MÉTODO EXECUTIVO | CRITÉRIOS DE CONTROLE | MEDIÇÃO E PAGAMENTO | DOCUMENTOS

ABREVIATURA : TK9JE

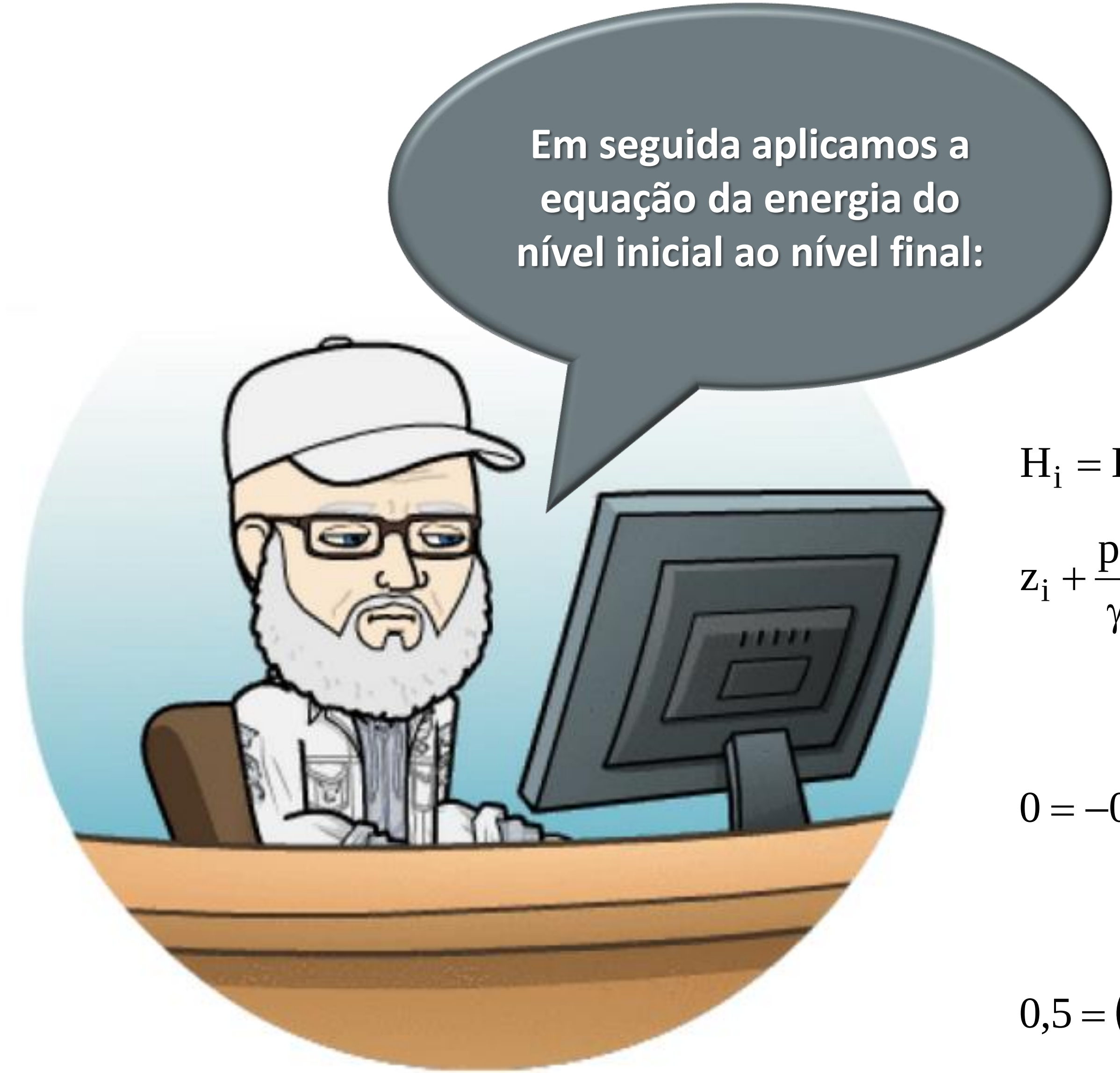
Características

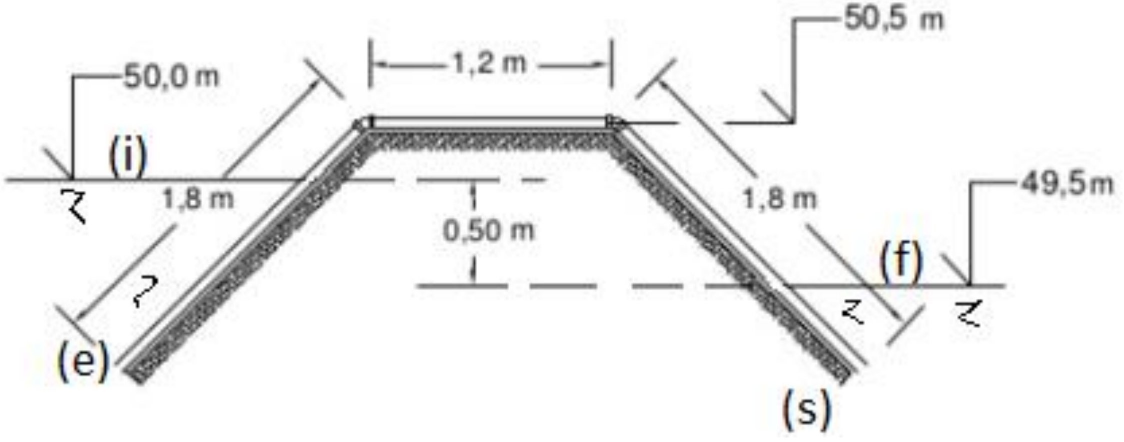
Diâmetro Nominal DN	Comprimento Útil Médio L	CORPO		BOLSA			MASSAS MÉDIAS			
							de um tubo		por metro	
		e (só ferro)	DE	DI	P	C	Só ferro	Total com cimento	Só ferro	Total com cimento
(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
50	3	4,9	66	69	75	118	22,5	25,5	7,5	8,5
75	3	5,2	92	95	82	154	33	37,5	11	12,5
	6						63	72	10,5	12
100	6	5,4	118	121	88	183	84	96	14	16
150	6	5,9	170	173	94	240	135	156	23	26,5
200	6	6,4	222	225	100	299	195	225	32	37
250	6	6,8	274	277	103	358	255	291	43	49
300	6	7,2	326	329	105	401	324	366	54	61
350	6	7,7	378	381	107	448	399	462	67	77
400	6	8,1	429	432	110	501	477	543	80	91
500	6	9	532	535	115	608	660	744	110	124
600	6	9,9	635	638	120	715	867	969	145	162
700	6	10,8	738	741	133	822	1098	1236	183	206
	7						1272	1433	182	205
800	6	11,7	842	845	140	930	1362	1524	227	254
	7						1576	1765	225	252
900	6	12,6	945	948	145	1038	1647	1827	275	305
	7						1906	2116	272	302
1000	7	13,5	1048	1051	150	1150	2275	2506	325	358
1200	7	15,3	1255	1258	163	1383	3101	3395	443	485

Diâmetro Nominal DN	Comprimento Útil Médio L	CORPO	
		e (só ferro)	DE
(mm)	(m)	(mm)	(mm)
50	3	4,9	66

$$D_{int} = DE - 2 \times e = 66 - 2 \times 4{,}9$$

$$D_{int} = 56{,}2mm$$





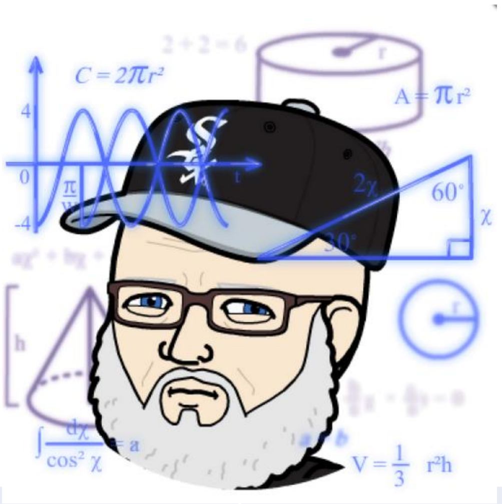
$$H_i = H_f + H_{p_{i-f}}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + \sum K_S \times \frac{Q^2}{2g \times A^2} + f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$0 = -0,5 + \left[\left(0,5 + 0,2 + 0,2 + 1,0 + f \times \frac{4,8}{0,0562} \right) \times \frac{1}{19,6 \times \left(\frac{\pi \times 0,0562^2}{4} \right)^2} \right] \times Q^2$$

$$0,5 = (15753,33486\ldots + f \times 708147,6618\ldots) \times Q^2$$

$$Q = \sqrt{\frac{0{,}5}{15753{,}33486\ldots + f \times 708147{,}6618\ldots}}$$



$f_{adotado}$	ref a hs (s²/m^5)	ref a hf (s²/m^5)	Hi-Hf (m)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	$f_{determinado}$
0,02	15753,33	708147,66	0,5	0,004088	14,71749	0,027084511
0,027085	15753,33	708147,66	0,5	0,003783	13,61973	0,027203605
0,027204	15753,33	708147,66	0,5	0,003779	13,60332	0,027205515
0,027206	15753,33	708147,66	0,5	0,003779	13,60306	0,027205546
0,027206	15753,33	708147,66	0,5	0,003779	13,60305	0,027205546
0,027206	15753,33	708147,66	0,5	0,003779	13,60305	

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/primeiro2008/determina%C3%A7%C3%A3o_dos_f.xls

propriedades do fluido transportado

temp (ºC)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m³)	pv (Pa)	ν (m²/s)
20		1,00E-03	998,2		1,004E-06

propriedades do local

g =		m/s²
patm =		Pa

mat. tubo aço

espessura	Dint (mm)	A (cm²)
	56,2	24,81

K(m)	D_H/k
1,50E-04	375

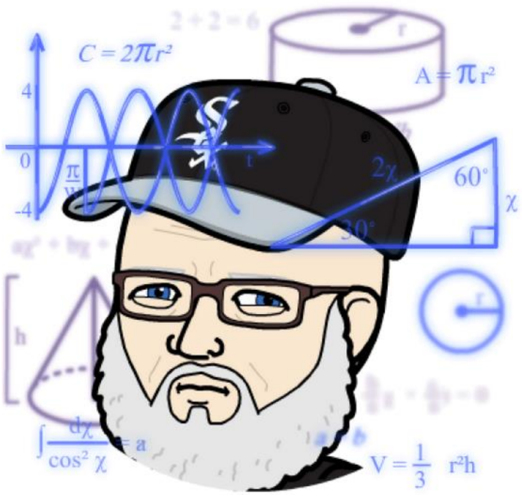
Legenda

- deve ser preenchida
- será calculada
- preenchimento opcional
- copiado de outra planilha

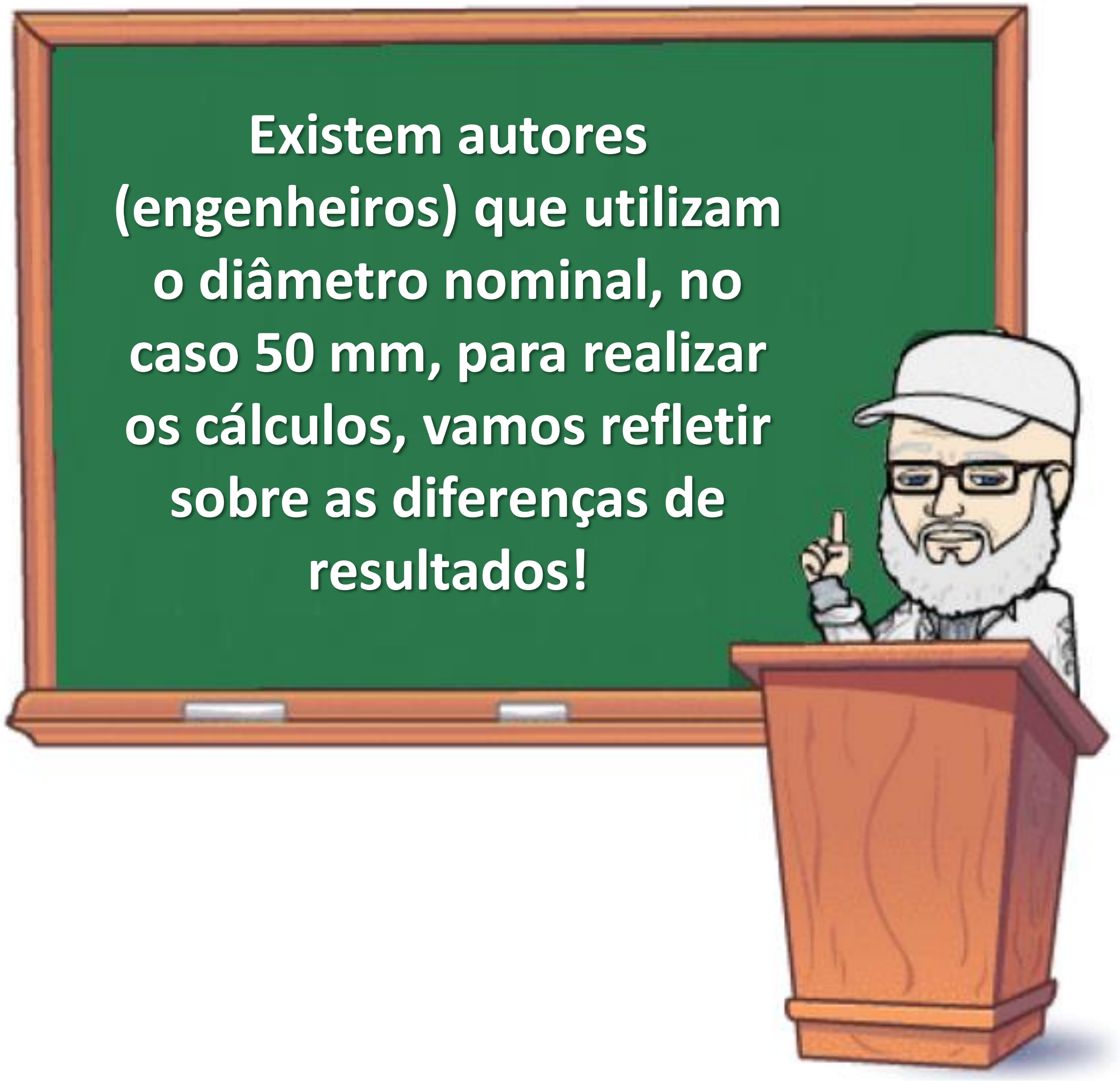
Q m³/h	Q(m³/s)	Q(L/s)	Q(L/min)
	deve transformar para m³/h		
14,7			
13,6			
13,6			
13,6			
13,6			
13,6			

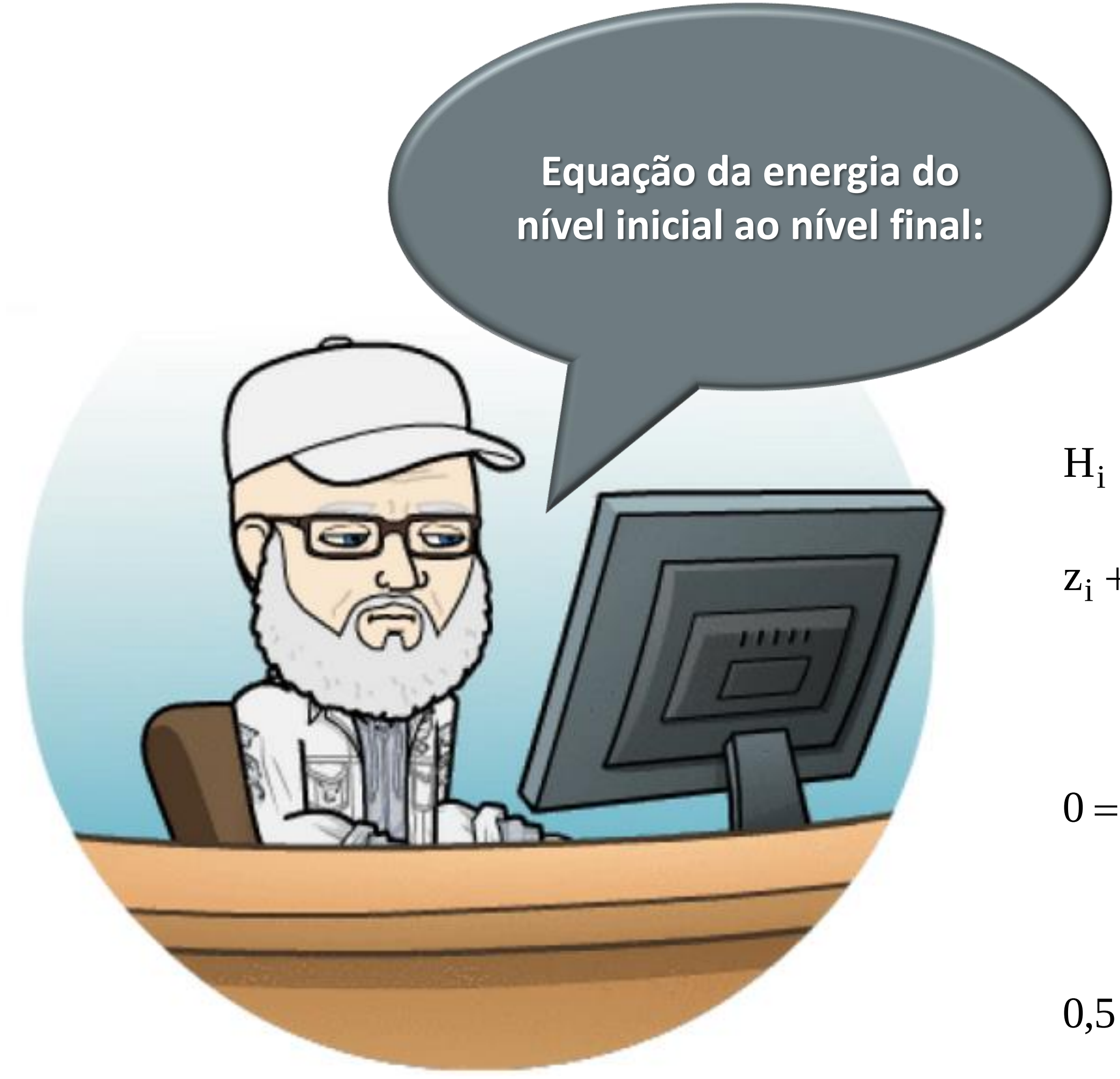
FLUIDO (líquido)	Velocidade econômica (m/s)	Material da Tubulação
Água:		
- serviços gerais	0,9 a 2,5	aço
- rede industrial	0,9 a 2,2	aço
Bombas:		
- linha de sucção	0,9 a 2,2	aço

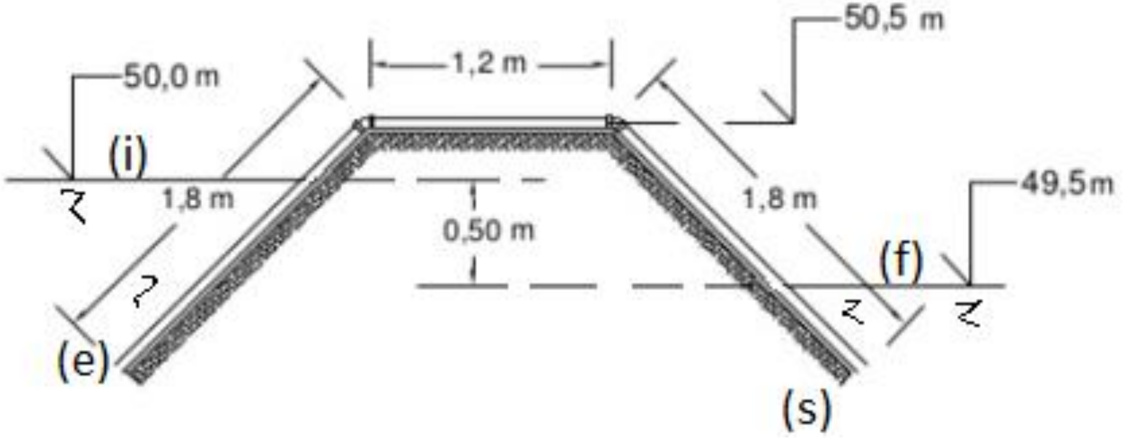
http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/primeiro2008/determina%C3%A7%C3%A3o_dos_f.xls



$Q(m^3/h)$	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee\ e\ Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$	$f_{experimental}$
14,7	1,65	92251	0,026691971	0,027080223	0,027084511	0,026834926	
13,6	1,53	85370	0,026794846	0,027198845	0,027203605	0,026946499	
13,6	1,52	85267	0,026796502	0,027200748	0,027205515	0,026948292	
13,6	1,52	85266	0,026796529	0,027200778	0,027205546	0,026948321	
13,6	1,52	85266	0,026796529	0,027200779	0,027205546	0,026948322	


Existem autores
(engenheiros) que utilizam
o diâmetro nominal, no
caso 50 mm, para realizar
os cálculos, vamos refletir
sobre as diferenças de
resultados!





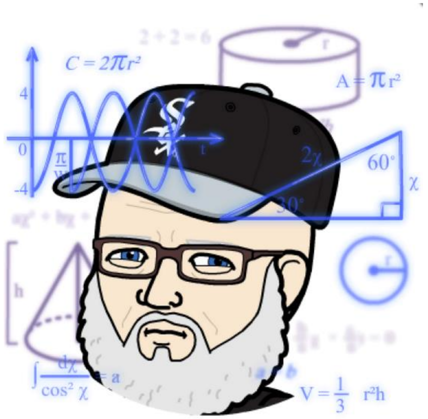
$$H_i = H_f + H_{p_{i-f}}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + \sum K_S \times \frac{Q^2}{2g \times A^2} + f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$0 = -0{,}5 + \left[\left(0{,}5 + 0{,}2 + 0{,}2 + 1{,}0 + f \times \frac{4{,}8}{0{,}05} \right) \times \frac{1}{19{,}6 \times \left(\frac{\pi \times 0{,}05^2}{4} \right)^2} \right] \times Q^2$$

$$0{,}5 = (25144{,}19578\ldots + f \times 1270443{,}576\ldots) \times Q^2$$

$$Q=\sqrt{\frac{0{,}5}{25144{,}19578\ldots+f\times 1270443{,}576\ldots}}$$



$f_{adotado}$	ref a hs (s²/m^5)	ref a hf (s²/m^5)	Hi-Hf (m)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	$f_{determinado}$
0,02	25144,20	1270443,58	0,5	0,003145	11,32175	0,028037
0,028037	25144,20	1270443,58	0,5	0,002869	10,32675	0,028189
0,028189	25144,20	1270443,58	0,5	0,002864	10,31045	0,028192
0,028192	25144,20	1270443,58	0,5	0,002864	10,31016	0,028192
0,028192	25144,20	1270443,58	0,5	0,002864	10,31015	0,028192
0,028192	25144,20	1270443,58	0,5	0,002864	10,31015	

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/primeiro2008/determina%C3%A7%C3%A3o_dos_f.xls

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

propriedades do local		
g =		m/s²
patm =		Pa

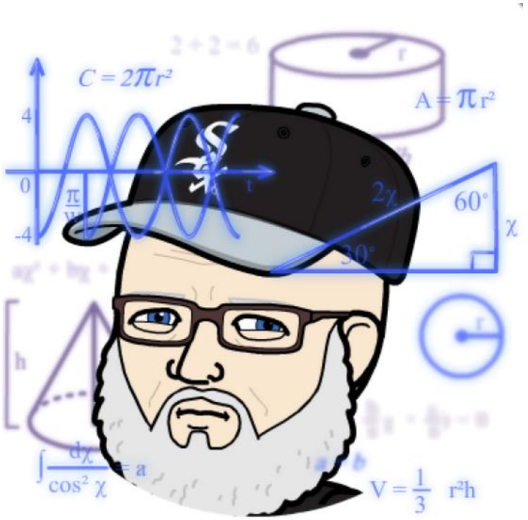
mat. tubo aço			
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
		50	19,63
	K(m)	DH/k	
	1,50E-04	333	

Legenda	
(azul)	deve ser preenchida
(verde)	será calculada
(laranja)	preenchimento opcional
(lilás)	copiado de outra planilha

FLUIDO (líquido)	Velocidade econômica (m/s)	Material da Tubulação
Água:		
- serviços gerais	0,9 a 2,5	aço
- rede industrial	0,9 a 2,2	aço

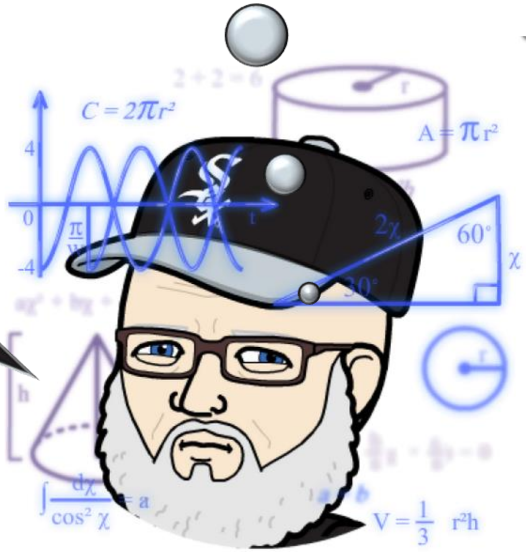
Q m³/h	Q(m³/s)	Q(L/s)	Q(L/min)
	deve transformar para m³/h		
11,3			
10,3			
10,3			
10,3			
10,3			

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/primeiro2008/determina%C3%A7%C3%A3o_dos_f.xls

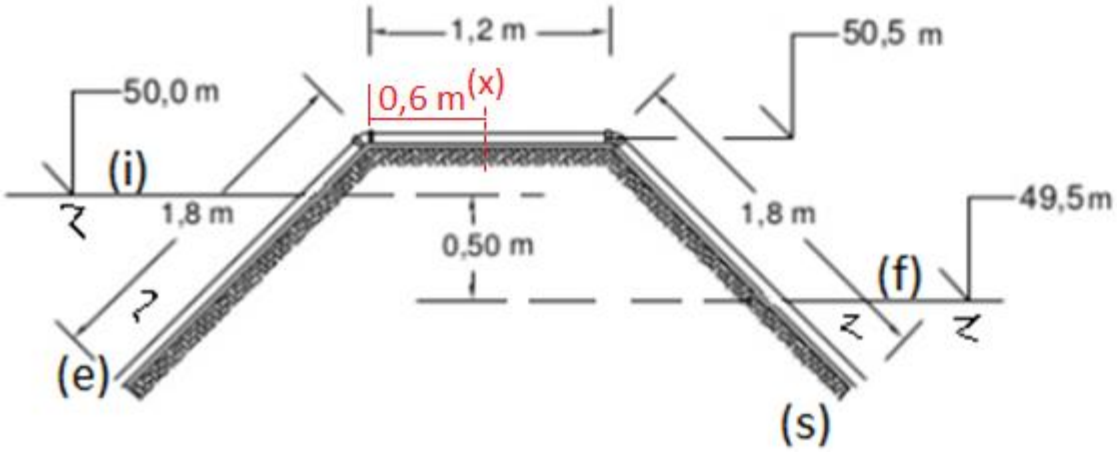


Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee\ e\ Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$	$f_{experimental}$
11,3	1,60	79766	0,027621	0,028033	0,028037	0,027768	
10,3	1,46	72756	0,027752	0,028184	0,028189	0,027909	
10,3	1,46	72641	0,027754	0,028186	0,028192	0,027912	
10,3	1,46	72639	0,027754	0,028186	0,028192	0,027912	
10,3	1,46	72639	0,027754	0,028186	0,028192	0,027912	

Trabalhando com o D_{int} = 56,2 mm a vazão obtida é aproximadamente igual a 3,78 L/s, já trabalhando com o DN = 50 mm, O QUE NÃO É O CORRETO, a vazão obtida foi de aproximadamente 2,86 L/s, o que originou um erro na ordem de 24,3%



E aí aplicamos a equação da energia do nível (i) a seção (x)
A carga de pressão será calculada com a vazão de 3,78 L/s e o f = 0,027206



$$H_i = H_x + H_{p_{i-x}}$$

$$0 = 0,5 + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{0,00378^2}{19,6 \times \left(\frac{\pi \times 0,0562^2}{4} \right)^2} + H_{p_{i-x}}$$

$$0 = 0,618468394 + \frac{p_x}{\gamma} + H_{p_{i-x}}$$

$$H_{p_{i-x}} = \left(0,027206 \times \frac{2,4}{0,0562} + 0,5 + 0,2 \right) \times \frac{0,00378^2}{19,6 \times \left(\frac{\pi \times 0,0562^2}{4} \right)^2} \cong 0,220567071\text{m}$$

$$\therefore \frac{p_x}{\gamma} \cong -0,8394\text{m}$$