

“Prefiro ser esta metamorfose ambulante, do que ter aquela velha opinião formada sobre tudo”. Raul Xeixas



Mecânica dos Fluidos para Engenharia Química – O estudo de instalações de bombeamento – Prof. Ms. Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

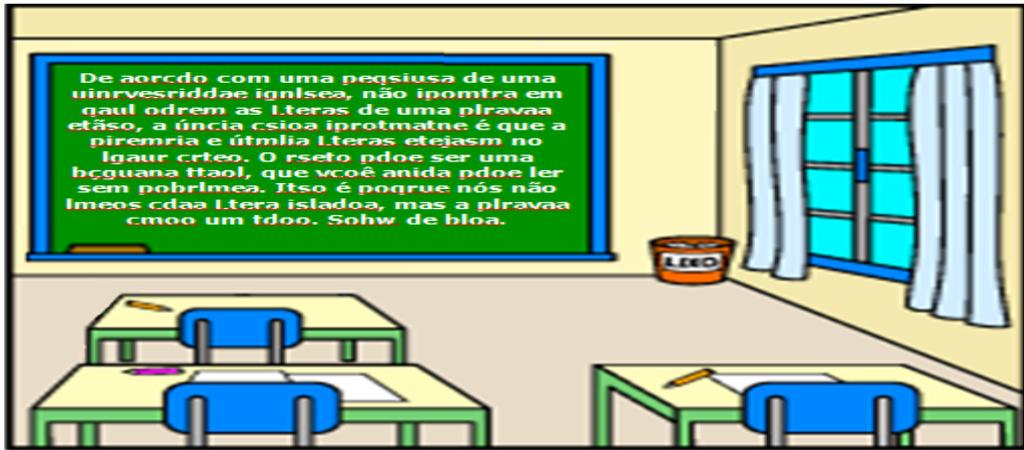


Trabalho
alicerçado na
disciplina
ME5330 no
primeiro
semestre de 2013



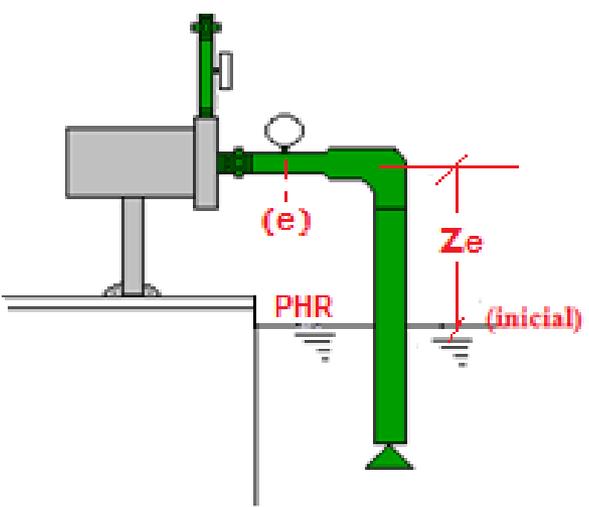
Se não sei para
onde vou
qualquer caminho
serve!

Lewis Carroll
ALICE NO PAÍS DAS MARAVILHAS
Tradução de Clélia Regina Ramos



No intuito de se estabelecer um caminho, apresento o que estudaremos.

E que está baseado em um curso de 72 horas distribuídas semanalmente com duas horas aula de teoria e duas horas aula de laboratório.



OBJETIVO CENTRAL DO CURSO



Relacionar e complementar a disciplina Mecânica dos Flúidos I nas suas principais aplicações à engenharia química, o que nos leva a estudar: a determinação experimental do rendimento de uma bomba, o projeto de uma instalação hidráulica básica, onde dimensionamos as tubulações, escolhemos a bomba adequada, analisamos o fenômeno de cavitação e calculamos o custo de operação; a associação série e paralelo de bombas hidráulicas; utilização do inversor de frequência tanto no controle da vazão do escoamento, como na redução da potência consumida pelo sistema; correções das curvas características das bombas (CCB) para flúidos viscosos e determinação do $NPSH_{\text{requerido}}$ em função da rotação específica.

Projeto de
uma instalação
de
bombeamento

Projeto, já
estava na
hora!

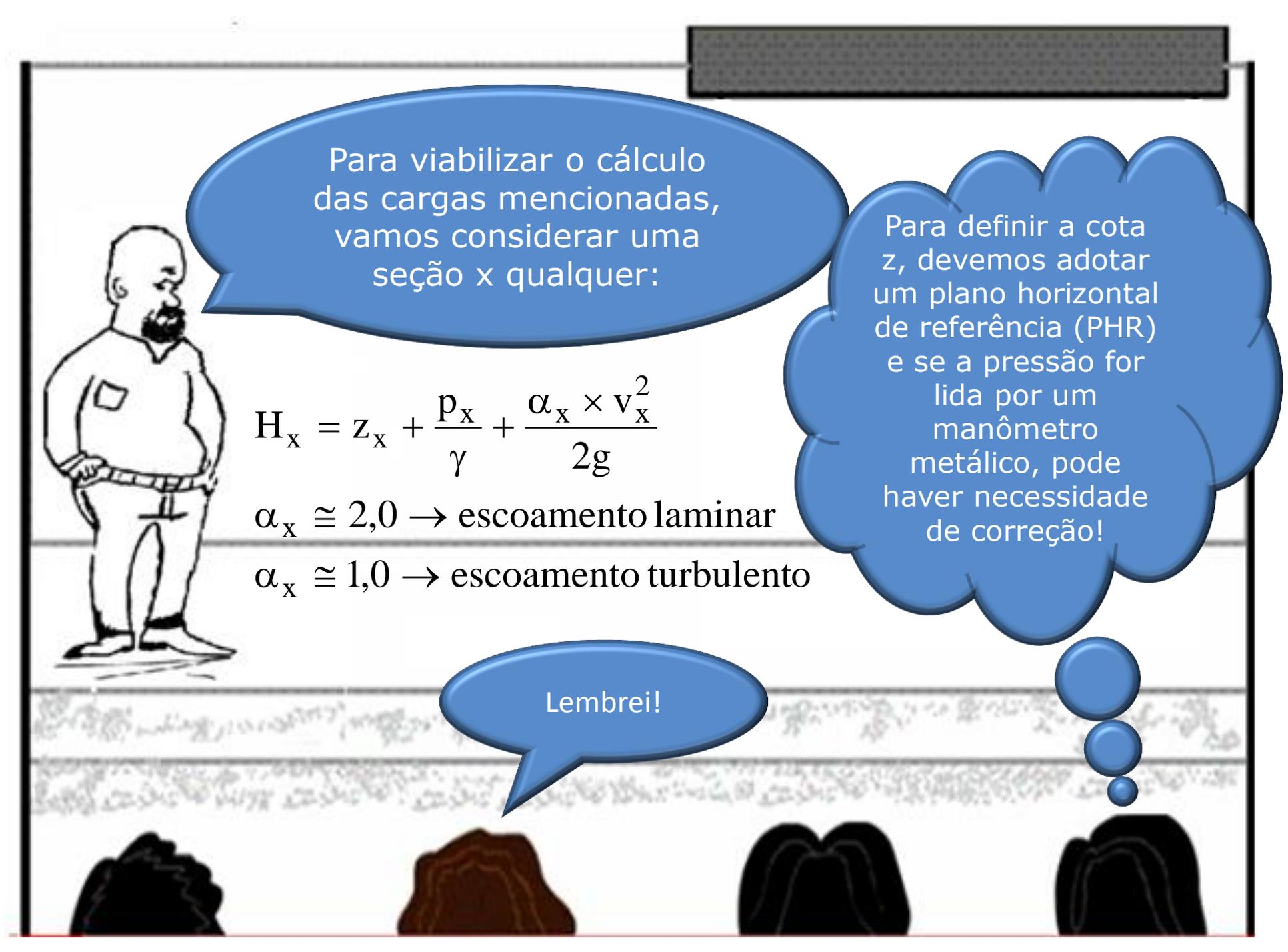
Vamos
apresentar as
suas etapas
básicas



1ª - Dados iniciais como fluido e sua temperatura de escoamento, condições de captação e descarga e a vazão desejada!

Condições de
captação e
descarga, o
que vem a ser
isto?

Seria conhecer os
dados para
calcular a carga
inicial e final (H_i e
 H_f)



Para viabilizar o cálculo das cargas mencionadas, vamos considerar uma seção x qualquer:

$$H_x = z_x + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{\alpha_x \times v_x^2}{2g}$$

$\alpha_x \cong 2,0 \rightarrow$ escoamento laminar

$\alpha_x \cong 1,0 \rightarrow$ escoamento turbulento

Para definir a cota z , devemos adotar um plano horizontal de referência (PHR) e se a pressão for lida por um manômetro metálico, pode haver necessidade de correção!

Lembrei!

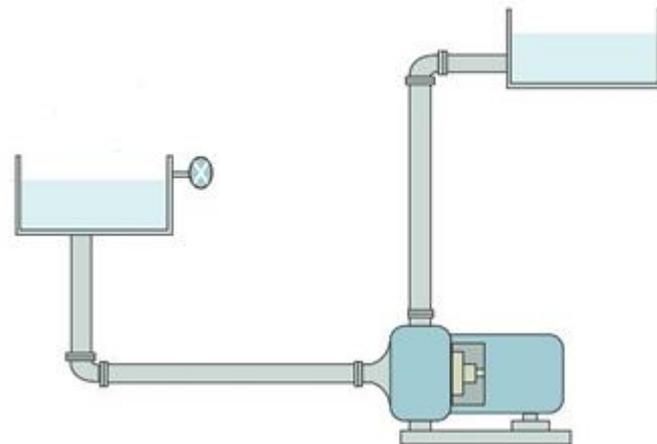
2ª - Com a vazão desejada dimensionamos os tubos, ou seja especificamos o seu material, seu diâmetro nominal, sua espessura, seu diâmetro interno e a sua área de seção livre.

$$Q = v \times A$$

3ª - Aí, indo ao local do projeto, esboçamos a instalação a ser projetada, definindo desta forma a sua cota crítica, seus comprimentos e seus acessórios hidráulicos.

4ª - Tendo o esboço escrevemos a equação da curva característica da instalação (CCI)

$$H_i + H_S = H_f + H_{pT}$$



5ª - Obtemos a vazão de projeto multiplicando a vazão desejada por um fator de segurança, que é no mínimo igual a 1,1.

6ª - Com a vazão de projeto na equação da CCI calculamos a carga manométrica de projeto.

7ª - Com a Q_{projeto} o $H_{B\text{projeto}}$ e a aplicação da instalação escolhemos a bomba.



8ª - Comparando a viscosidade do fluido com uma viscosidade de referência, verificamos a necessidade de correção das CCB.

9ª - No cruzamento da CCI com a CCB obtemos o diâmetro do rotor e o ponto de trabalho da bomba.

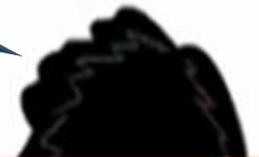
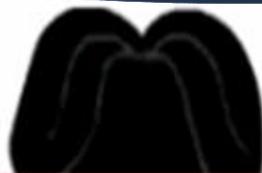


10ª - Verificamos o fenômeno de cavitação. Aqui talvez haja a necessidade de se usar o conceito de rotação específica.

11ª - Calculamos o custo de operação.

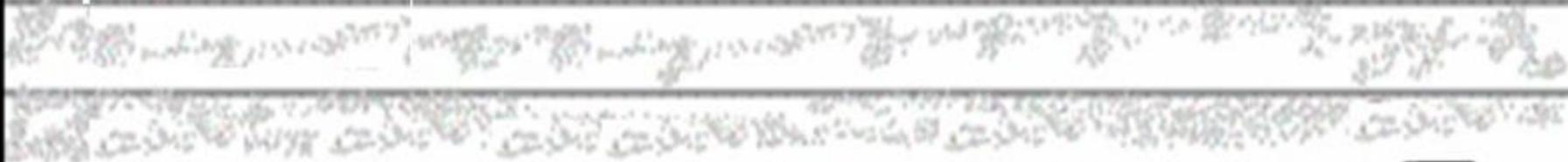
Se houver alterações no processo alimentado pela instalação, já que existe uma bomba reserva na casa de máquina verificamos a possibilidade de se associar as bombas em série ou paralelo.

E como os assuntos serão apresentados neste trabalho, no intuito de facilitar a compreensão do desenvolvimento do projeto mencionado?





Apresento a seguir o sumário deste trabalho, que encontra-se dividido em "TEORIA" e "LABORATÓRIO"





TEORIA

1. Pré-requisitos:

1.1. Equação da energia para regime permanente

1.2. Escoamento permanente de fluido incompressível em condutos forçados

2. Etapas de um projeto de uma instalação hidráulica básica de bombeamento

2.1. Dados iniciais; cálculo das cargas iniciais e finais da instalação a ser projetada; dimensionamento das tubulações que constituem a instalação;

2.2. Determinação da equação da curva característica da instalação (CCI);

- 2.3. Escolha preliminar da bomba e estabelecimento do seu ponto de trabalho;
- 2.4. Conceito de supercavitação e cavitação e estabelecimento das condições para que este fenômeno não ocorra na instalação a ser projetada;
- 2.5. Especificação do motor elétrico e cálculo da potência consumida pela instalação hidráulica de bombeamento;
- 2.6. Especificação do motor elétrico e cálculo da potência consumida pela instalação hidráulica de bombeamento.

3. Rotação específica

4. Correção das curvas de bomba para o bombeamento de fluido viscoso.

5. A utilização do inversor de frequência.

6. Associação série e paralelo de bombas hidráulicas.



Estes assuntos estarão sendo desenvolvidos interligados às atividades de laboratório!



LABORATÓRIO

1. Determinação da carga total em secções de uma instalação hidráulica de bombeamento e cálculo das perdas de carga antes e depois da bomba
2. Determinação do coeficiente de perda de carga distribuída (f) e do comprimento equivalente (L_{eq})
3. Determinação da vazão pelo parâmetro Reynolds raiz de “ f ”
4. Correção da CCB em função do escorregamento existente no acoplamento da bomba hidráulica com o motor elétrico (utilização do tacômetro)

5. Estudos ligados à cavitação e a sua visualização no laboratório.
6. Determinação do rendimento da bomba.
7. Experiência do inversor de frequência.
8. Experiência da associação em série de bombas hidráulicas.
9. Experiência da associação em paralelo de bombas hidráulicas.
10. Influência da perda de carga na vazão máxima de operação de uma bomba hidráulica

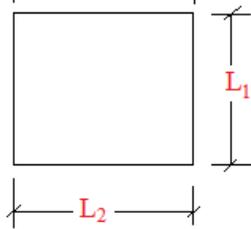
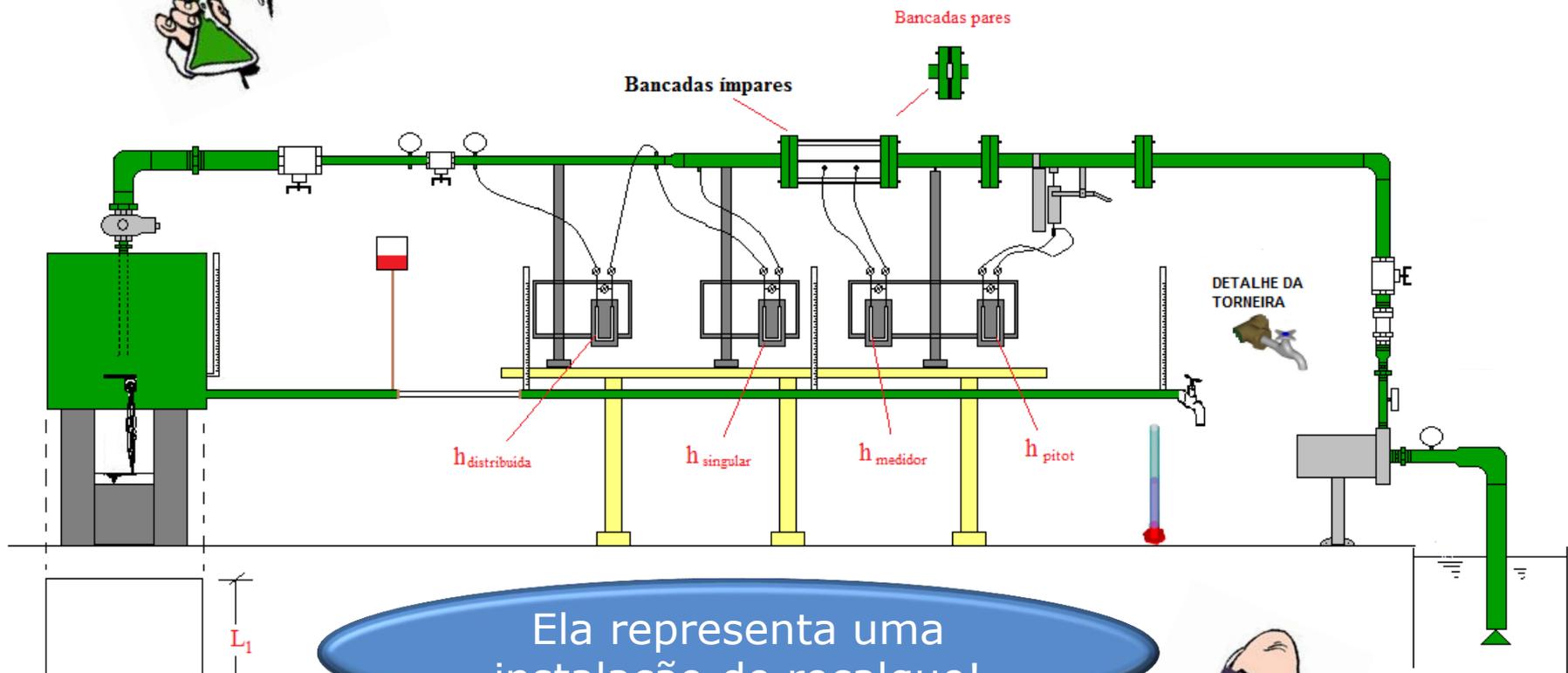


As atividades de laboratório serão realizadas através das bancadas dos laboratórios.

Existe algum esboço das bancadas que serão utilizadas?



Sim e o apresento a seguir.

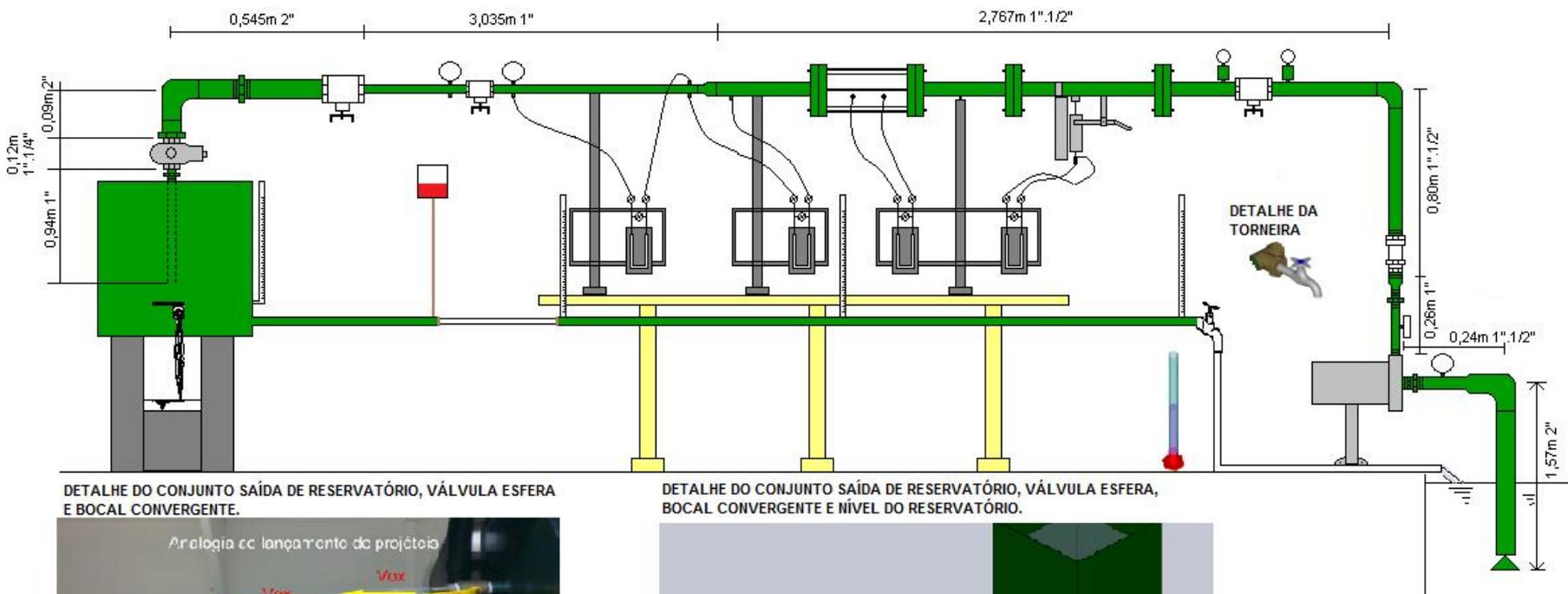


Ela representa uma instalação de recalque!



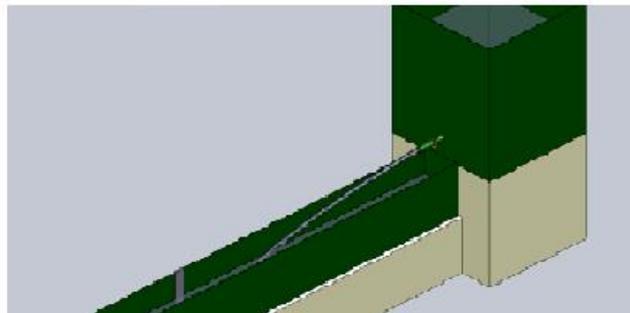
Bancada com mais detalhes

BANCADA 1



DETALHE DO CONJUNTO SAÍDA DE RESERVATÓRIO, VÁLVULA ESFERA E BOCAL CONVERGENTE.

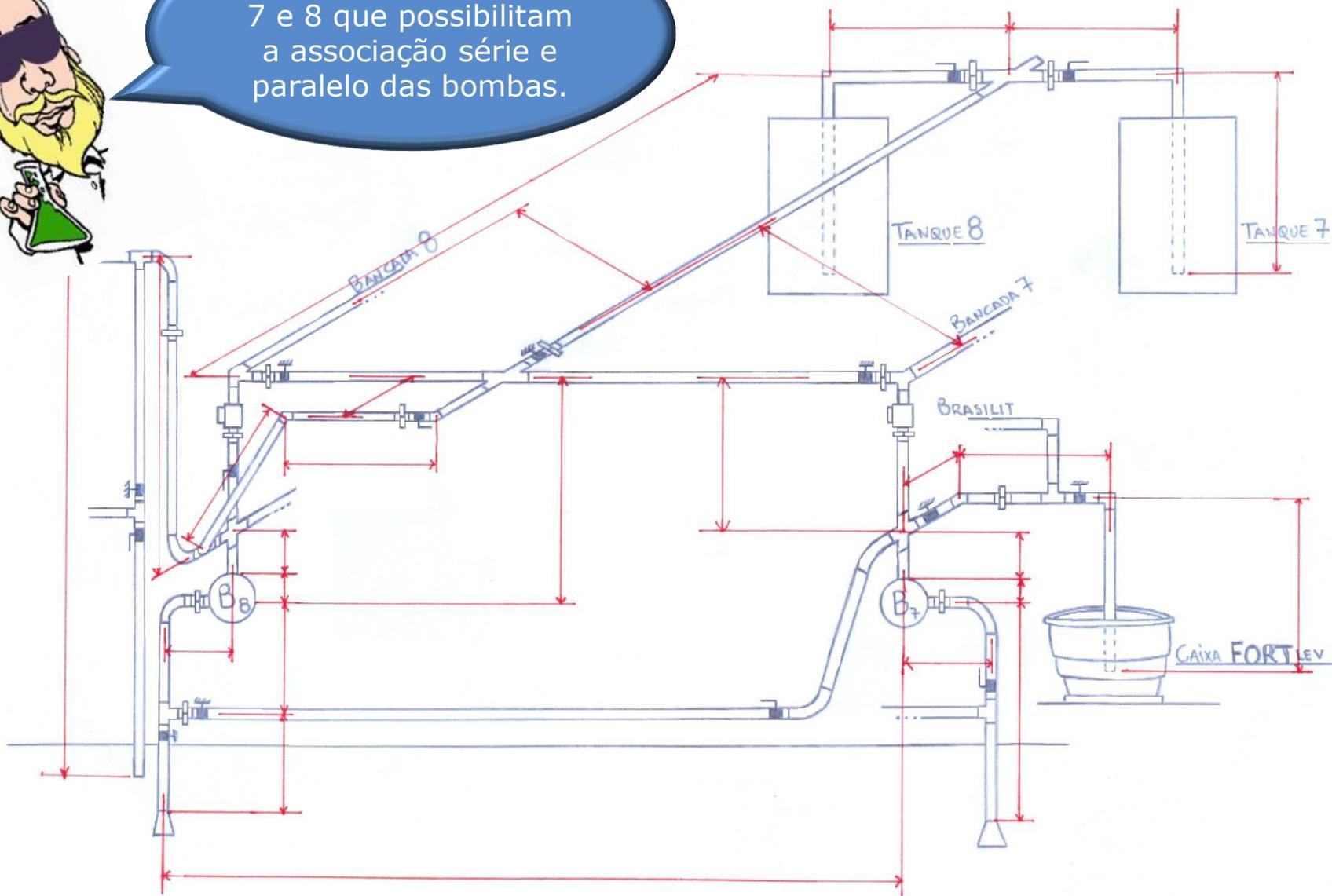
DETALHE DO CONJUNTO SAÍDA DE RESERVATÓRIO, VÁLVULA ESFERA, BOCAL CONVERGENTE E NÍVEL DO RESERVATÓRIO.



- 1 = SEÇÃO À MONTANTE DA TORNEIRA
- C = NÍVEL DE CAPTAÇÃO
- N = NÍVEL DO RESERVATÓRIO SUPERIOR
- BC = SAÍDA DO BOCAL CONVERGENTE
- T = SAÍDA DA MANGUEIRA ACOPLADA A TORNEIRA



Esboço das bancadas 7 e 8 que possibilitam a associação série e paralelo das bombas.



Como este material será utilizado em um curso de formação dos futuros engenheiros químicos eu proponho uma metodologia de avaliação.





Critério de
avaliação

$$A = \text{fator} \times M_{\text{provas}}$$

$$M_{\text{provas}} = \frac{\sum P_i}{2}$$

$$0,8 \leq \text{fator} \leq 1,2 \Rightarrow M_{\text{Lab}} = \frac{P_{L1} + P_{L2}}{2}$$

$$M_{\text{Lab}} \geq 8,0 \Rightarrow \text{fator} = 1,2$$

$$M_{\text{Lab}} \leq 4,0 \Rightarrow \text{fator} = 0,8$$

$$4,0 \leq M_{\text{Lab}} \leq 8,0 \Rightarrow \text{fator} = 0,1 \times M_{\text{Lab}} + 0,4$$

As provas (P_1 , P_2 e P_3) serão constituídas de duas partes cada uma valendo 5,0.

A primeira parte ocorrerá em 80 minutos e será sem consulta.

A segunda parte ocorrerá 10 minutos após o término da primeira e será com consulta aos apontamentos e tendo a duração máxima de 160 minutos.

Nestas provas a matéria avaliada será tanto referente as aulas de teoria como as de laboratório.

Já as provas de laboratório (P_{L1} e P_{L2}) ocorrerão sempre uma semana antes das semanas de provas (da $P1$ e da $P2$) e serão de 80 minutos, sem consulta e onde a matéria avaliada será referente as aulas de laboratório.

Optei em apresentar este trabalho na internet, primeiro para democratizar o seu uso e romper limites de utilização e segunda para estar aberto para uma melhoria continua.

Existem bibliografias para o seu acompanhamento?



A black and white cartoon illustration of a classroom. A teacher with a beard and a mustache stands at the front of the room, looking towards a group of students. The students are seated at desks, some holding books or papers. One student on the right is wearing sunglasses. The teacher has his hands on his hips. A blue speech bubble is positioned above the teacher, containing text in Portuguese. The background shows a chalkboard and a window.

Sim e as apresento a seguir,
salientando que encontram-
se com link na página:

www.escoladavida.eng.br

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- Mecânica dos fluídos para engenharia química – publicado no sítio:

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/chamada_de_planejamento.htm

MACINTYRE, Archibald Joseph. Bombas e instalações de bombeamento – 2ª edição – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

SANTOS, Sérgio Lopes dos. Bombas & Instalações Hidráulicas - 3ª edição

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

GOMIDE, R. Operações com fluídos – Operações Unitárias – Volume II – 2ª. parte – Edição do Autor, 1997

MATTOS, E.E./Falco, R. Bombas Industriais – Rio de Janeiro, Editora Interciência Ltda., 1998

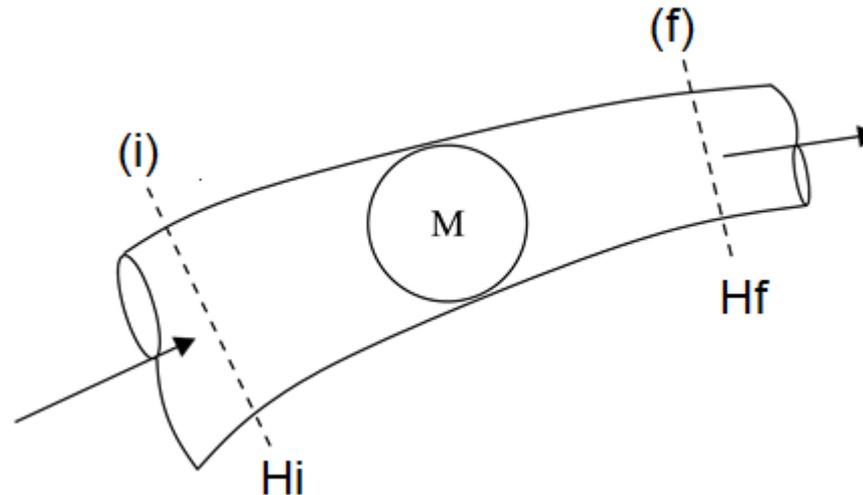
Outras bibliografias complementares encontram-se disponível na página:
http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_22012/bibliografia_complementar_4.htm

Para facilitar os estudos propostos, iniciamos evocando alguns conceitos que foram abordados no curso de mecânica dos fluidos básica.

Ainda bem, pois eu já esqueci praticamente tudo!



1. Equação da energia para regime permanente em uma instalação com uma entrada e uma saída



Considerando o trecho ao lado.



Nesta possibilidade efetuamos um balanço de carga, onde temos 4 termos:

$$H_{\text{inicial}} + H_M = H_{\text{final}} + H_{p_{i-f}}$$

$$H_{\text{inicial}} + H_M = H_{\text{final}} + H_{\text{pi-f}}$$

onde:

H_{inicial} = carga inicial e H_{final} = carga final

H_M = carga manométrica da máquina

$H_{\text{pi-f}}$ = perda de carga da seção inicial a final

$$H_x = z_x + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{\alpha_x \times v_x^2}{2g} \rightarrow \alpha_x = 2 \Rightarrow \text{Re} \leq 2000$$

$$\rightarrow \alpha_x = 1 \Rightarrow \text{Re} \geq 4000$$

→ quando for bomba $\Rightarrow H_M = +H_B$

→ quando for turbina $\Rightarrow H_M = -H_T$

$$H_p = \sum h_f + \sum h_s \Rightarrow h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} \rightarrow e \rightarrow h_s = K_s \times \frac{v^2}{2g}$$

ou

$$H_p = \sum h_f \Rightarrow h_f = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{v^2}{2g}$$

A black and white cartoon illustration of a classroom. A professor with a beard and a white lab coat stands in the center, looking towards the students. He has his hands on his hips. In the foreground, several students are seated at desks. One student on the left is looking towards the professor. Another student on the right is looking at a book. A third student on the right is wearing sunglasses and looking towards the professor. There are two blue speech bubbles overlaid on the image. The first speech bubble is positioned above the professor and contains the text 'Vamos aplicar estas equações na aula de laboratório'. The second speech bubble is positioned above the student with sunglasses and contains the text 'Este era meu medo!'. The background shows a chalkboard with some faint lines.

Vamos aplicar estas equações na aula de laboratório

Este era meu medo!