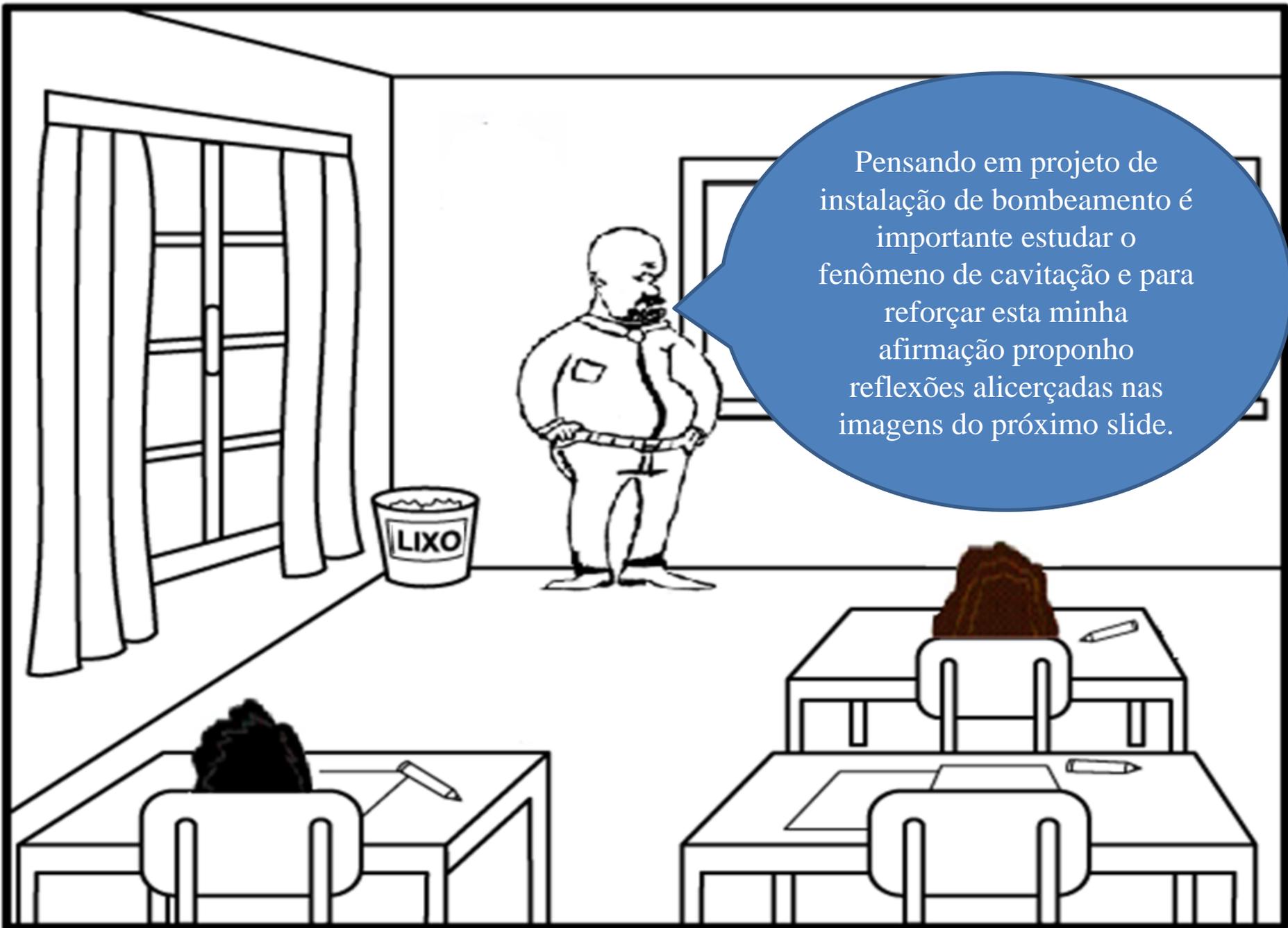


Aula 14 de laboratório de ME5330

Experiência relacionada à cavitação



Pensando em projeto de instalação de bombeamento é importante estudar o fenômeno de cavitação e para reforçar esta minha afirmação proponho reflexões alicerçadas nas imagens do próximo slide.

A figura a seguir foi extraída da dissertação apresentada por Wellington Ricardo Coelho para obtenção do título de mestre em engenharia mecânica junto a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho no capítulo de revisão bibliográfica página 7.

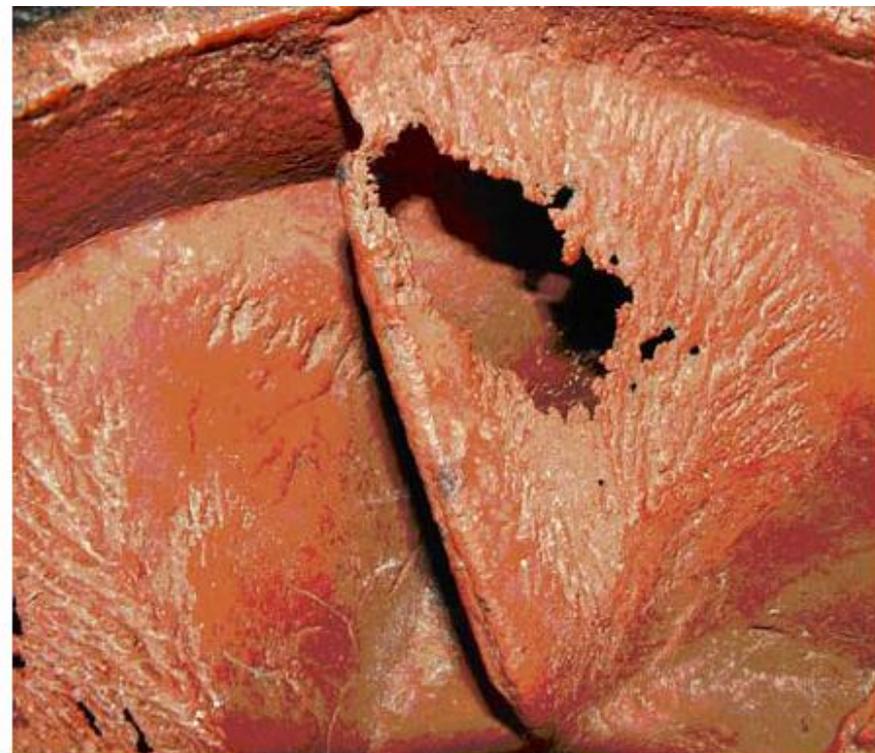
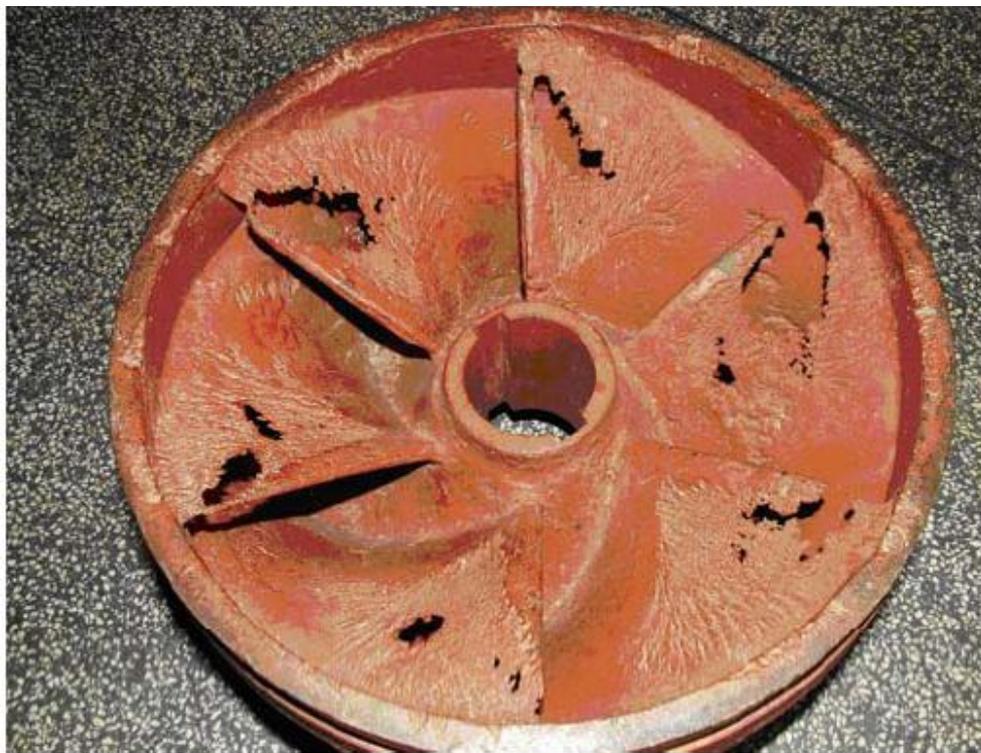
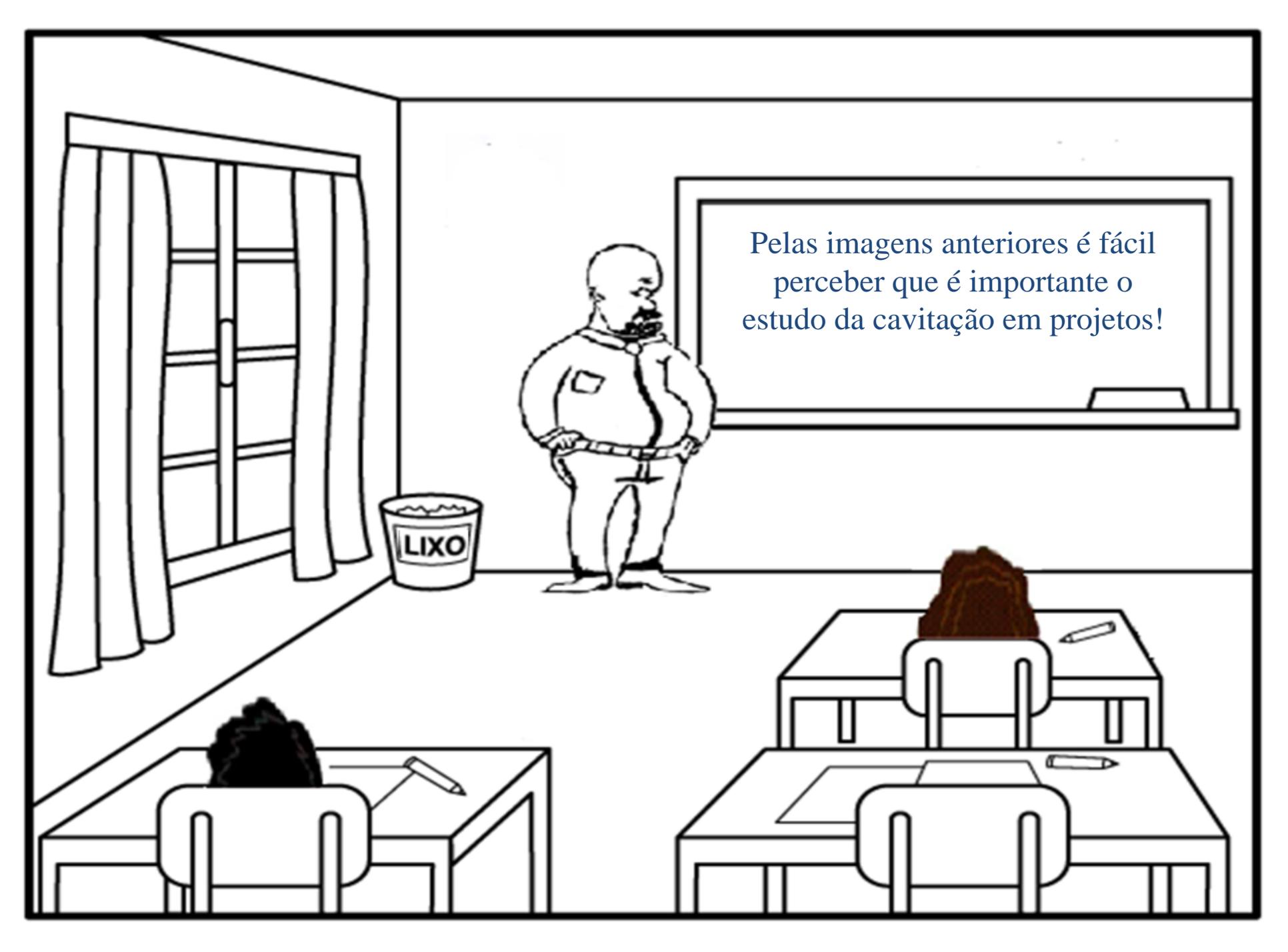
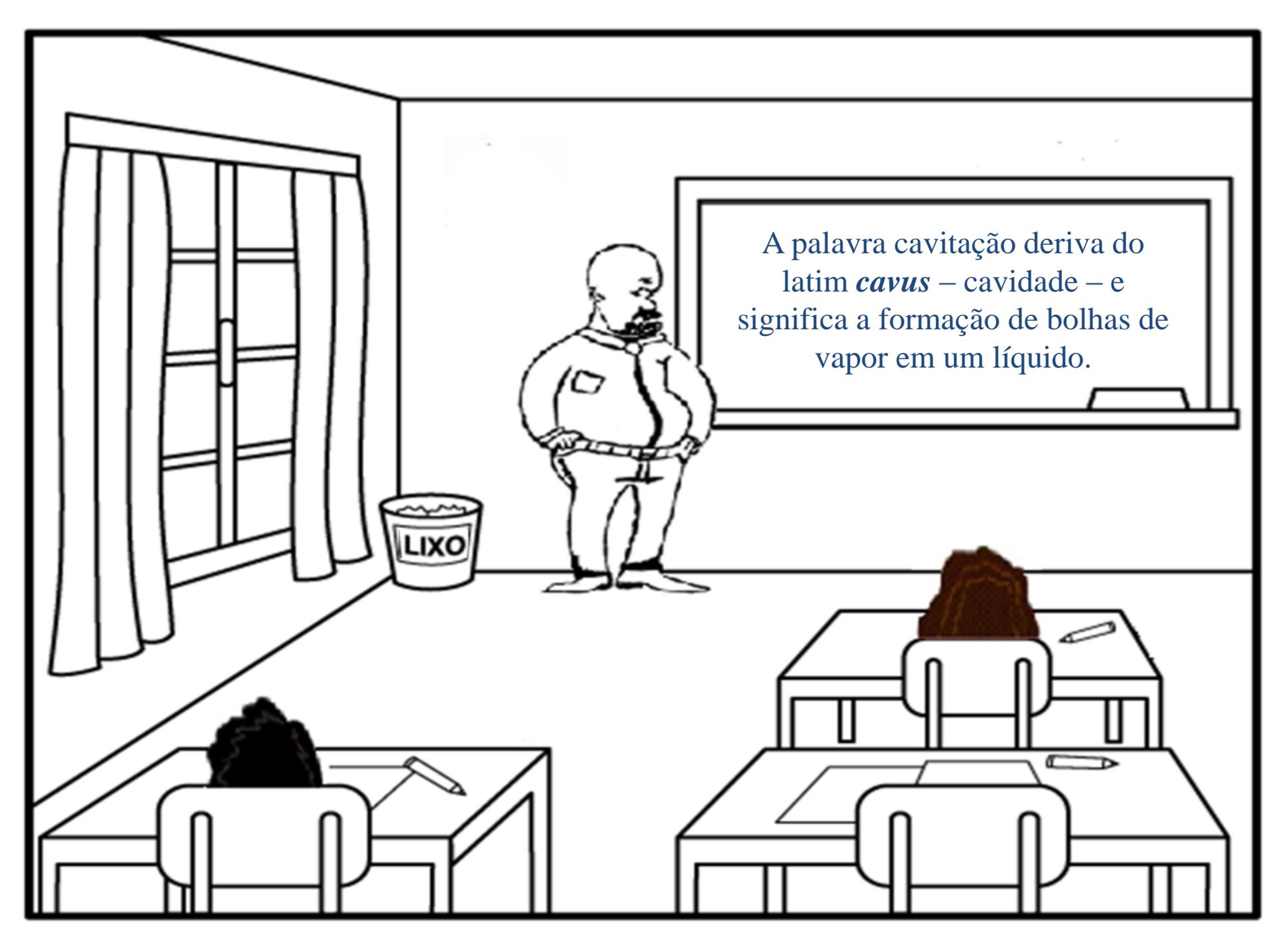


Figura 1.3 – Rotor de bomba centrífuga danificado pela cavitação.



Pelas imagens anteriores é fácil
perceber que é importante o
estudo da cavitação em projetos!



A palavra cavitação deriva do latim *cavus* – cavidade – e significa a formação de bolhas de vapor em um líquido.

Em toda região onde temos um grande aumento de energia cinética e em consequência uma grande redução da energia de pressão este fenômeno pode ser observado, já que podemos atingir pressões menores ou iguais a pressão de vapor.

É o caso da bancada utilizada em nosso laboratório e que é mostrada nos próximos slides.



CAVITATION APPARATUS



THROAT AREA = 36.34
UPSTREAM AREA = 164.89
SAGRE HEIGHT CORRECTION = 182.5mm
FLOW ←

CAUTION: This apparatus is designed for use with water only. Do not use any other liquid. The pressure gauges are not to be used for measuring pressures above 3 bar. The flow rate is limited to 10 l/min. The flow rate is limited to 10 l/min. The flow rate is limited to 10 l/min.



Venturi

CAVITATION APPARATUS

armfield



THROAT AREA = 36.24
UPSTREAM AREA = 44.89
GAUGE HEIGHT CORRECTION = 0.25 m
FLOW ←

The equipment is to be used only in accordance with the instructions in the manual.
Students using the apparatus must be adequately supervised.
Great care must be taken in the use of all apparatus, especially the use of any electrical equipment, to ensure safety. Read the instructions before using the apparatus.



Área máxima = A_1

Área mínima = A_2

THROAT AREA = 36.34 mm^2

UPSTREAM AREA = 144.89 mm^2

GAUGE HEIGHT CORRECTION = 162.5 mm

FLOW





CE armfield
CAT. REF. F10
SERIAL No. 1157-2
INSPECTED BY WJ

Manômetro que lê a pressão na seção de aproximação do Venturi = p_1





Vacuômetro que lê a pressão na garganta do Venturi = p_2

THROAT AREA= 36.34
UPSTREAM AREA= 144.89
GAUGE HEIGHT CORRECTION
FLOW ←

Nas regiões de menor pressão, forma-se pequenas bolsas, bolhas ou cavidades, onde o líquido se vaporiza. Em seguida, as bolhas de vapor são conduzidas pelo fluxo líquido atingindo regiões de pressão mais elevada, onde se processa o seu colapso (dimensões se reduzem bruscamente e o líquido circundante se desloca para o seu interior ocorrendo a condensação). Para exemplificar o mencionada observe a figura a seguir e que foi extraída de uma palestra da KSB proferida pelo Engenheiro Carlos.

CAVITAÇÃO



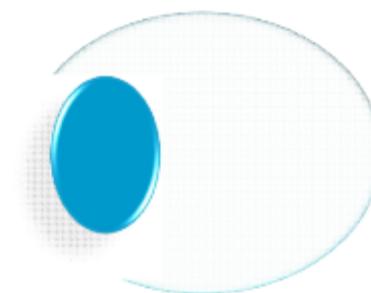
Eng^o Tiago Rafael Niero
Instrutor Técnico
tiago.niero@ksb.com.br

Intensa formação de bolhas de vapor na zona de baixa pressão e posterior colapso destas bolhas na região de alta pressão.

Eng^o Carlos Guilherme Chachá
Eng^o de Produção
carlos.chachá@ksb.ind.br

CONSEQÜÊNCIAS DA CAVITAÇÃO

- Barulho e vibração
- Alteração na performance da bomba
- “Pitting” das palhetas do rotor



As informações a seguir foram extraídas da dissertação apresentada por Welington Ricardo Coelho.

As superfícies metálicas onde se chocam as pequenas porções de líquido resultantes da condensação são submetidas a atuação de forças complexas, oriundas da energia liberada dessas partículas, desagregando elementos de material de menor coesão, formando pequenos depressões. O prosseguimento desse fenômeno estabelece um aspecto esponjoso, rendilhado e corroído à superfície. É a erosão por cavitação. O desgaste pode assumir proporções tais que pedaços de material podem soltar-se das peças. Cada bolha de vapor assim formada tem um ciclo entre crescimento e colapso, da ordem de poucos milésimos de segundo e induz altíssimas pressões que atingem concentradamente a região afetada. Para se ter idéia desse processo, Grein & Wyss, (1974) e Knapp *et al.*, (1970) mencionam que este ciclo é repetido numa frequência que pode atingir a ordem de 25.000 bolhas por segundo e que a pressão provavelmente transmitida às superfícies metálicas adjacentes ao centro de colapso das bolhas pode atingir 1000 atm.

Um outro aspecto que merece atenção é que, tendo em vista o caráter cíclico do fenômeno, as ações mecânicas repetidas na mesma região metálica ocasionam um aumento local de temperatura de até 800°C.

Pode-se dividir a cavitação em quatro (4) níveis distintos e que segundo Ball e al. (1975) são:

1⁰ – cavitação incipiente;

2⁰ – cavitação crítica;

3⁰ – cavitação com perigo incipiente;

4⁰ – cavitação plenamente estabelecida.

Para as vazões pequena ainda teríamos o que é denominado de *cavitação pulsante* e que geralmente gera a *recirculação*.

Esta pulsação geralmente tem uma frequência de 2 a 10 Hz e ela pode existir sempre que se tem baixos gradientes de pressão.

A recirculação no caso de bomba é mostrada na figura a seguir e que foi também extraída da dissertação de Welington Ricardo Coelho.

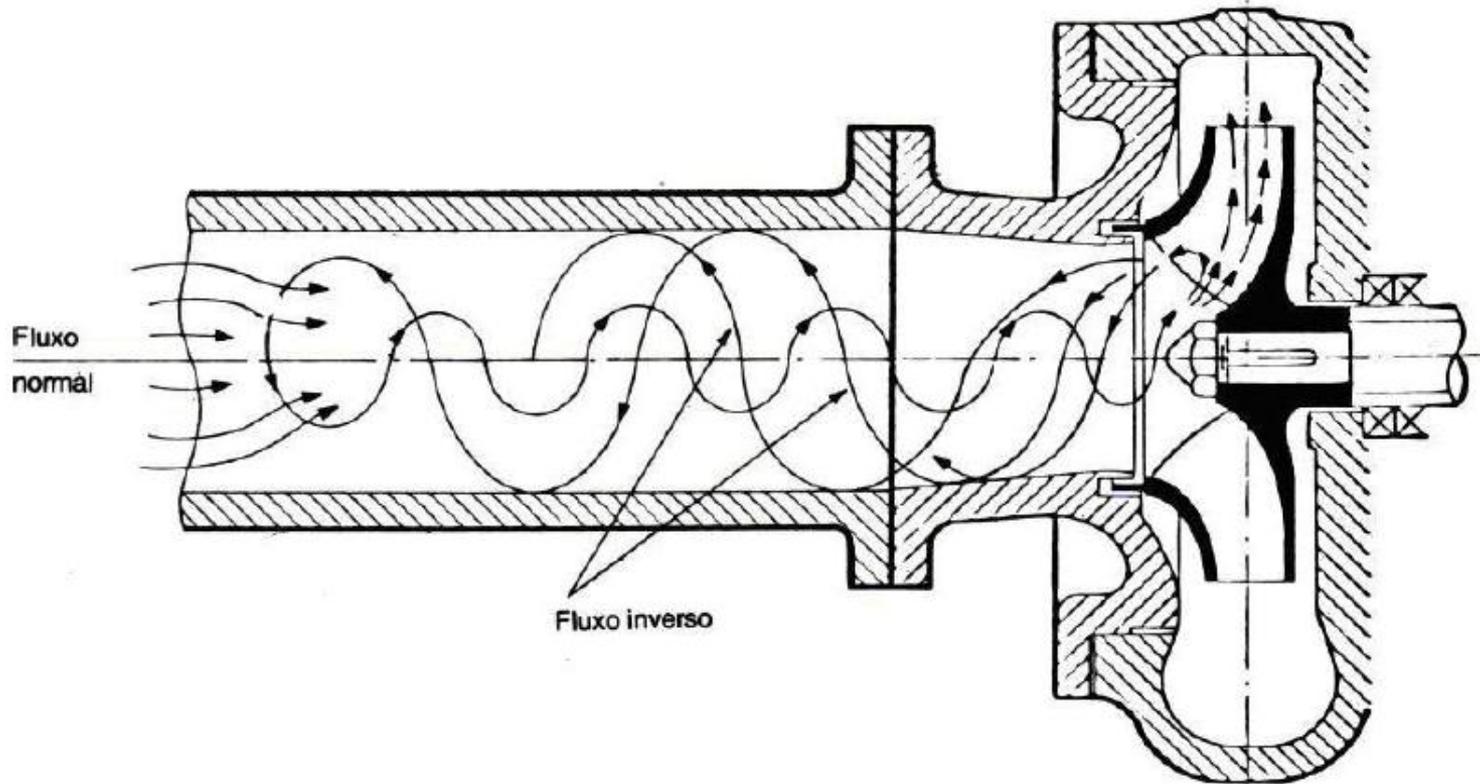


Figura 2.2 – Fluxo em sentido inverso na entrada de sucção para vazões bem inferiores à de projeto. (Mattos e Falco, 1998).

O parâmetro de avaliação dos efeitos de cavitação mais tradicional é denominado de número (ou fator) de Thoma (σ), ou também conhecido como coeficiente de cavitação, que é o parâmetro adimensional quantitativo do fenômeno.

O número de Thoma mede a resistência à ocorrência da cavitação. Quanto maior for (σ) menor será a possibilidade da ocorrência da cavitação. Se o número de Thoma diminui por decréscimo da pressão estática ou por aumento da velocidade do escoamento, o fenômeno passa a ter uma maior probabilidade de ocorrência.

Para bombas centrífugas o fator de Thoma é obtido em função da rotação (ou velocidade) específica (n_q).

$$n_q = \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}} \therefore n_S = 3,65 \times n_q$$

$$N_q = \frac{n \sqrt{Q_{opt}}}{H^{3/4}}$$

 **Vazão (m³/s)**

 **Altura manométrica (m)**

 **Rotação (rpm)**

$$\sigma = \varphi \times n_q^{4/3} = \varphi \times \left(\frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}} \right)^{4/3}$$

e

$$\text{NPSH}_{\text{requerido}} = \sigma \times H_B$$

$\varphi = 0,0011 \rightarrow$ para bombas centrífugas radiais, lentas e normais ;

$\varphi = 0,0013 \rightarrow$ para bombas helicoidais e hélico-axiais

$\varphi = 0,00145 \rightarrow$ para bombas axiais

O fator de Thoma também pode ser obtido graficamente.



O gráfico a seguir foi extraído da dissertação apresentada por Welington Ricardo Coelho.

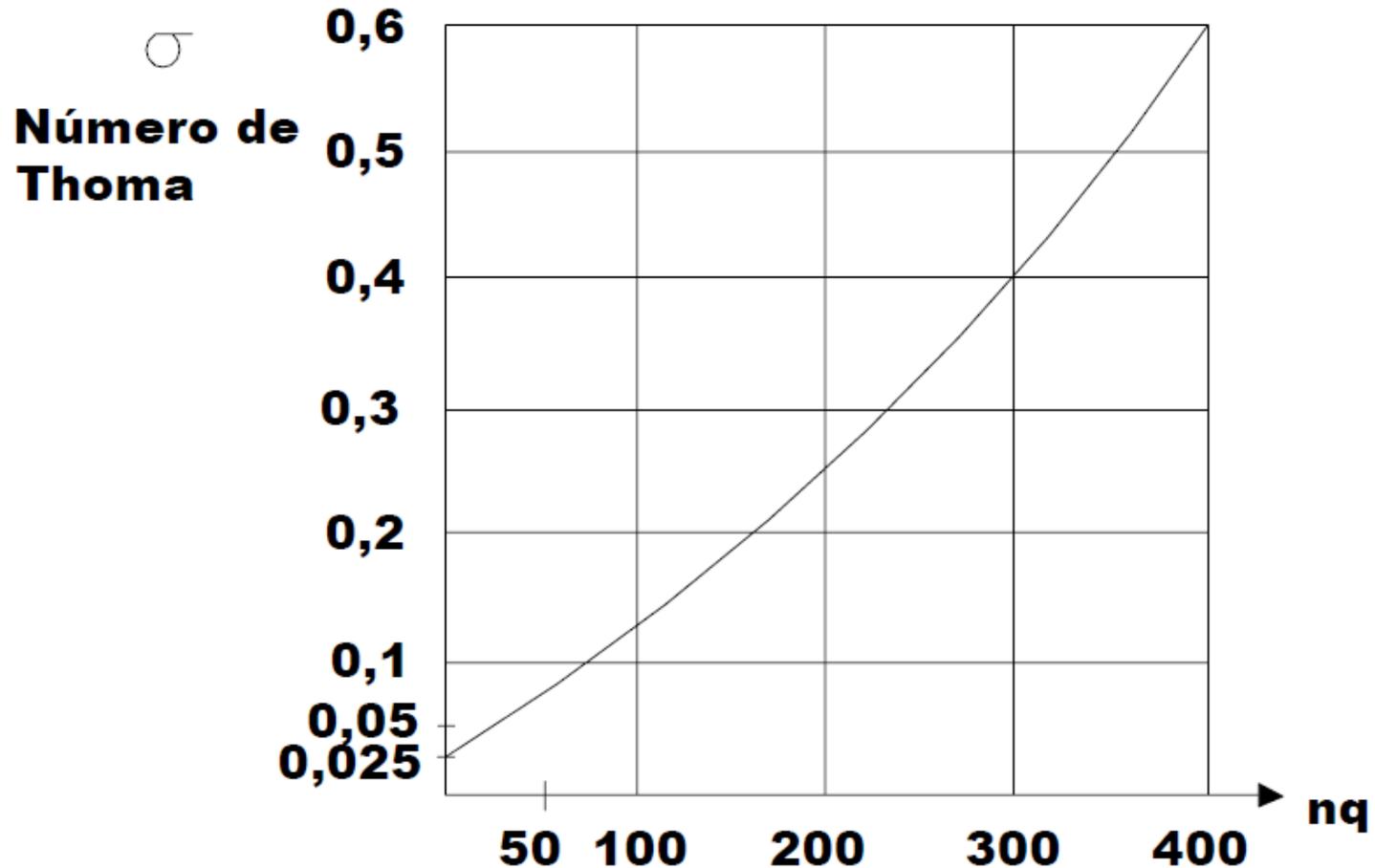
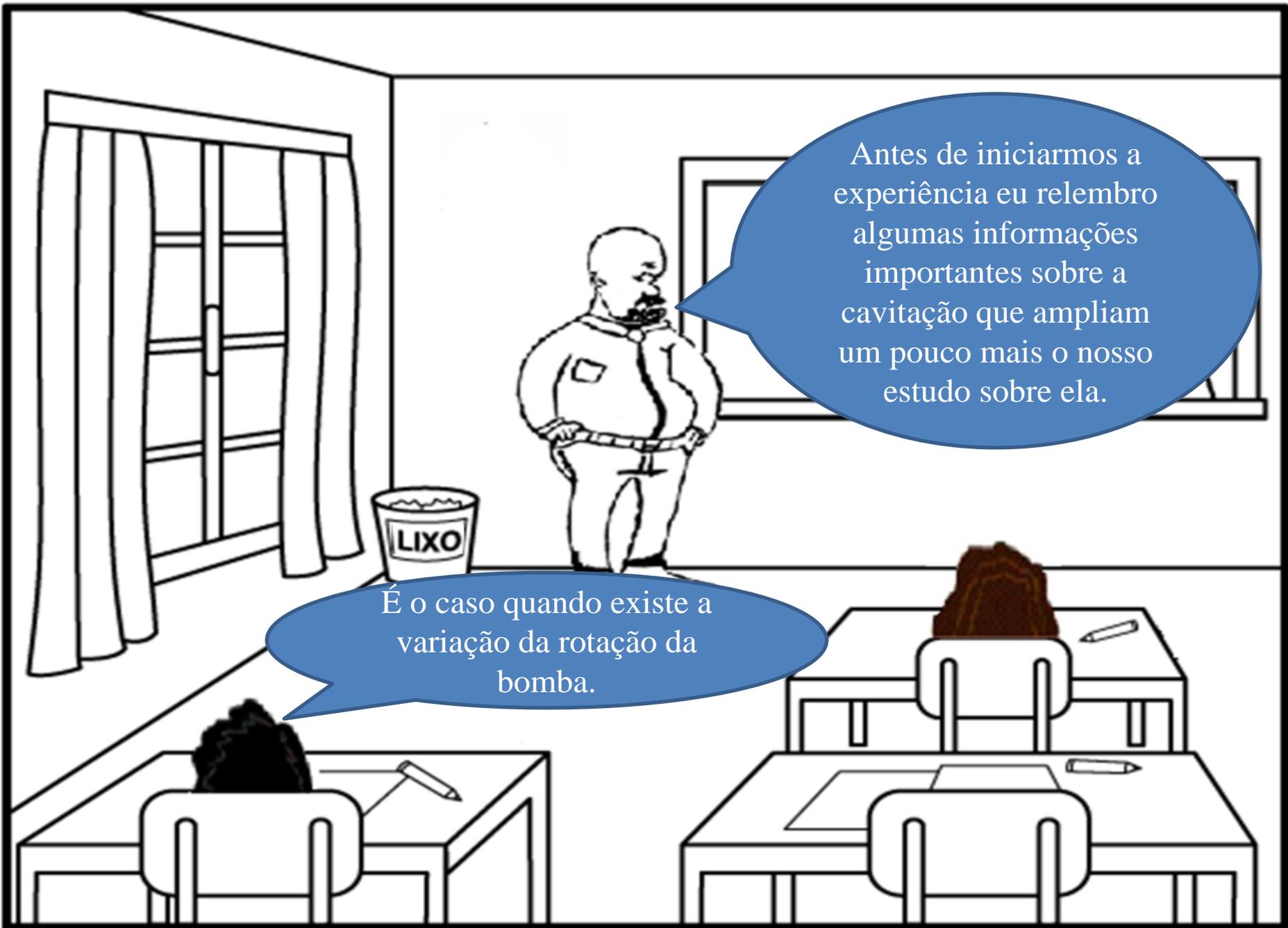


Figura 2.3 – Curva do Fator de Thoma (σ) \times Velocidade Específica (n_q) (Mattos e Falco, 1998).



Antes de iniciarmos a experiência eu relembro algumas informações importantes sobre a cavitação que ampliam um pouco mais o nosso estudo sobre ela.

É o caso quando existe a variação da rotação da bomba.

Esta é uma primeira dificuldade que surge quando trabalhamos com rotações diferentes da fornecida pelo fabricante.

Consultando fabricantes de bomba é comum eles sugerirem a expressão:

$$\text{NPSH}_{\text{requerido}_n} = \text{NPSH}_{\text{requerido}_{n_1}} \times \left(\frac{n}{n_1} \right)^2$$

Este procedimento também é apresentado pelas normas técnicas especializadas, mas é apenas indicado para se efetuar o ajuste das curvas do $\text{NPSH} = f(Q)$ para quando as variações da rotação se limitam a 3%, ou seja:

$$0,97 \leq \frac{n}{n_1} \leq 1,03$$



Vamos partir para o desenvolvimento da experiência

LIXO



CAVITATION APPARATUS



Shorrli
R.A. 17



CAVITATION APPARATUS



6

Objetivos:

1. Calcular a perda de carga no bocal convergente;
2. Calcular o coeficiente de perda de carga distribuída;
3. Construir a curva característica do Venturi;
4. Construir a curva de calibração do Venturi;
5. Visualizar o fenômeno de cavitação e comparar o número de cavitação real e teórico na condição de cavitação.

Neste experimento
objetivamos também
calcular o número de
cavitação que é um número
adimensional e que é
utilizado para caracterizar o
potencial do escoamento em
gerar a cavitação.



$$\sigma = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}, \text{ onde :}$$

σ → número de cavitação

p → pressão estática no escoamento não perturbado (Pa)

p_v → pressão de vapor do fluido (Pa)

ρ → massa específica do fluido (kg/m³)

v → velocidade média do escoamento (m/s)



O número de cavitação pode ser considerado como a razão entre a pressão estática líquida disponível para colapsar a bolha com a pressão dinâmica disponível para iniciar a formação da bolha.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

1. Comece abastecimento de água na vazão mínima e vá abrindo a válvula muito lentamente para não danificar os ponteiros dos manômetro metálicos (manômetro na área máxima e vacuômetro na área mínima).
2. Regule a vazão de água através da secção de teste com o auxílio da válvula instalada a montante da área máxima do Venturi.
3. Determine vazão de água de forma direta no tanque da bancada 8.
4. Para cada vazão anote a pressão na seção máxima (p_1) e na seção mínima (p_2) do Venturi.

Equacionamento

1. Determinação das áreas (A_1 e A_2)
2. Cálculo do número teórico da cavitação

$$\sigma_t = \frac{p_1 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v_2^2}$$

3. Cálculo do número experimental da cavitação

$$\sigma_{\text{exp}} = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho v_2^2}$$

4. Cálculo da vazão

$$Q = \frac{\Delta h \times A_t}{t}$$

Equacionamento (continuação)

1. Determinação das velocidades

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \rightarrow v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

Aí é construir
a tabela de
dados e
resultados



THROAT AREA= 36.34mm²
UPSTREAM AREA= 144.89 mm²
GAUGE HEIGHT CORRECTION=162.5mm
FLOW ←

Tabela de dados:

Ensaio	p_1 (bar)	p_2 (bar)	Δh (mm)	t (s)	Condição observada
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Ensaio	Q ₁ (m ³ /s)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	hs (m)	Ks	Cd	σ _t	σ _{exp}	Condição	
									Obs.	Calc.
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Condição teórica para a cavitação, $\sigma_t \leq \sigma_{exp}$