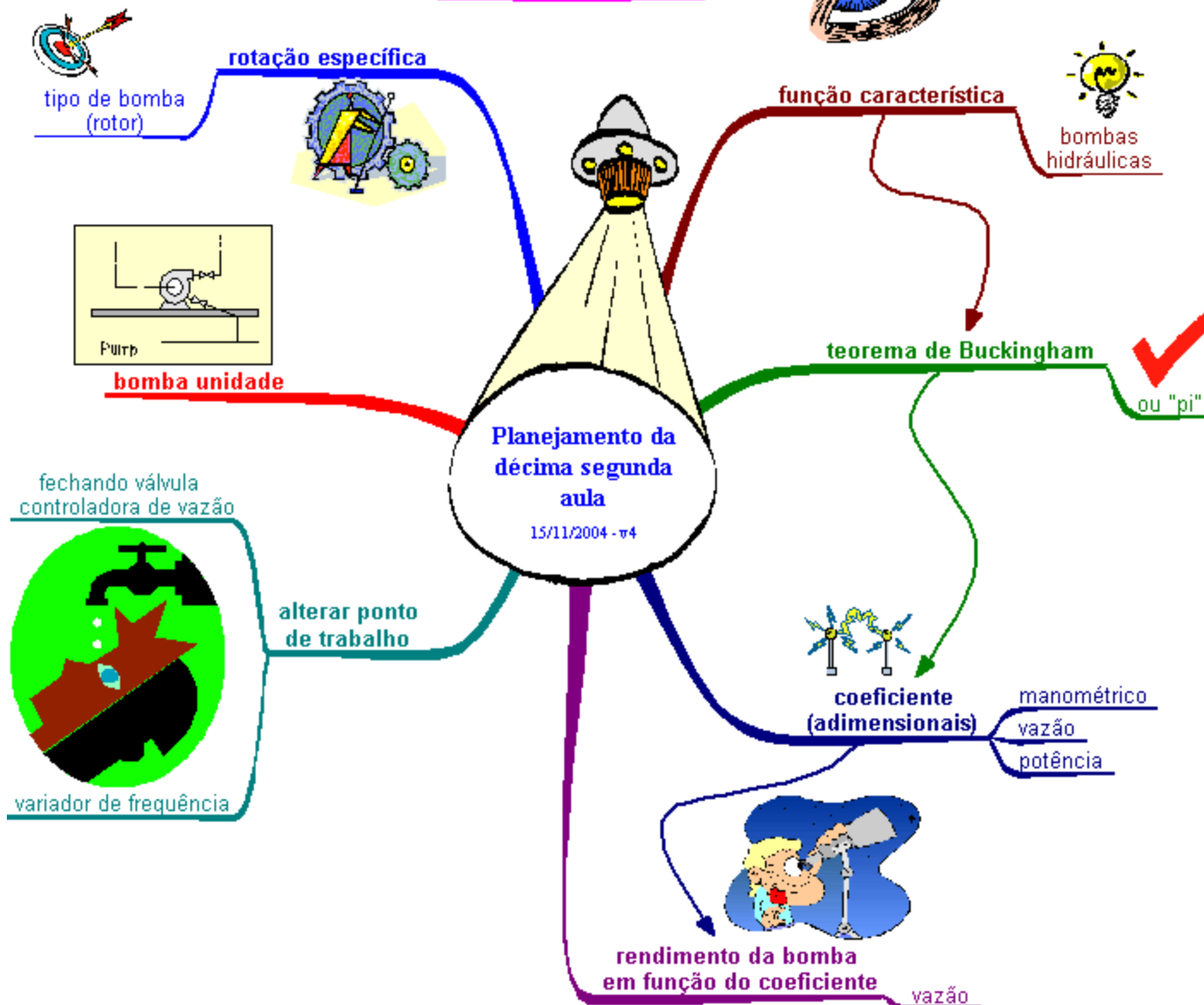


Análise dimensional e leis de semelhança aplicadas as bombas hidráulicas



Décima segunda aula

Exercício de aplicação destes conceitos e dos conceitos anteriormente estudados



Para os escoamentos incompressíveis, pode-se considerar o fenômeno definido pela seguinte função característica: $f(N_B, D_r, n, Q, \gamma H_B, \rho, \mu) = 0$, onde aplicando-se o teorema de Buckingham (ou "pi = π ") tem-se:

Coeficiente manométrico

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

Com a
rotação (n)
em rps



Coeficiente de vazão

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

Novamente com
a rotação (n) em
rps



Coeficiente de potência

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

Novamente com
a rotação (n) em
rps



Adimensional proporcional ao
número de Reynolds

$$\pi_4 = \frac{\rho \times n \times D_r^2}{\mu}$$

Por outro lado, evocando-se a expressão para o cálculo do rendimento da bomba, tem-se:

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

Através das expressões a seguir que foram originadas dos adimensionais típicos das bombas hidráulicas, pode-se obter uma importante relação entre o rendimento da bomba e estes adimensionais típicos:

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

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

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

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

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: $\eta_m = \eta_p$.

A igualdade anterior foi utilizada na experiência do variador de frequência, onde estudou-se o efeito da mudança de rotação nas curvas características da bomba hidráulica.

Para justificar a importância deste estudo, deve-se lembrar que uma das maneiras de alterar o ponto de trabalho de uma bomba hidráulica é através do fechamento de uma válvula hidráulica, porém este procedimento é menos eficiente, **do ponto de vista econômico**, do que operar com variador de frequência, onde alterando-se a rotação deve-se efetuar a correção das curvas características através das expressões oriundas das condições de semelhança, ou seja:

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{n_m}{n_p}$$

$$\frac{H_{Bm}}{H_{Bp}} = \left(\frac{n_m}{n_p} \right)^2$$

$$\frac{N_{Bm}}{N_{Bp}} = \left(\frac{n_m}{n_p} \right)^3$$

Outro ponto a ser observado é que existem muitos tipos de bomba e cada um deles com suas características geométricas, atendendo uma faixa de vazões e de cargas, portanto na escolha da bomba, além dela atender o par H_B e Q , deve operar com o melhor rendimento possível e para isto, deve-se escolher a geometria conveniente para uma dada instalação.

Para a escolha da bomba adequada, uma das possibilidades é se recorrer a **rotação específica**, que é uma expressão matemática oriunda das condições de semelhança.

Para a determinar da rotação específica é conveniente se introduzir o conceito de bomba unidade, que a bomba que irá operar com uma rotação n_q , com uma vazão $Q = 1 \text{ m}^3/\text{h}$ e com $H_B = 1 \text{ m}$.

Partindo das condições de semelhança, obtém-se as equações:

$$\psi_m = \psi_p \Rightarrow \frac{H_{Bm}}{H_{Bp}} = \left(\frac{n_m}{n_p} \right)^2 \times \left(\frac{D_{rm}}{D_{rp}} \right)^2 \rightarrow \text{(I)}$$

$$\phi_m = \phi_p \Rightarrow \frac{Q_m}{Q_p} = \frac{n_m}{n_p} \times \left(\frac{D_{rm}}{D_{rp}} \right)^3 \rightarrow \text{(II)}$$

$$\frac{(\text{I})^3}{(\text{II})^2} = \frac{\left(\frac{H_{Bm}}{H_{Bp}} \right)^3}{\left(\frac{Q_m}{Q_p} \right)^2} = \left(\frac{n_m}{n_p} \right)^4 \rightarrow \text{(III)}$$

Observe-se que a equação (III) utiliza a vazão, a carga e a rotação de duas bombas pertencentes a uma mesma família, na condição especial de semelhança completa.

Para generalizar a situação anterior, optou-se em considerar como modelo a **bomba unidade**, que passa a ser um modelo que vale para qualquer família, onde tanto a vazão como a carga manométrica são definidas para o **ponto de projeto**, ou seja, o ponto onde se tem o **rendimento máximo**, o qual pode coincidir, ou não, com o ponto de trabalho.

Considerando a bomba unidade como modelo, pode-se reescrever a equação (III) que dará origem a expressão para o cálculo da rotação específica:

$$\frac{\left(\frac{1}{H_{Bp}}\right)^3}{\left(\frac{1}{Q_p}\right)^2} = \left(\frac{n_q}{n}\right)^4 \Rightarrow n_q = \frac{n \times \sqrt{Q}}{H_B^{3/4}}$$

n_q terá a mesma unidade de n já que

Q será em $\frac{m^3}{s}$ e H_B em m

Deve-se notar que com as características n , Q e H_B de uma bomba real, os dois últimos obtidos para a condição de ponto de projeto, ou seja, para o rendimento máximo, pode-se calcular a rotação específica, a qual possibilita conhecer a classificação das bombas segundo o seu tipo de rotor:

n_q (rpm)

Tipo de bomba (rotor)

< 10

Deslocamento positivo - êmbolo, engrenagens, lóbulos, parafusos, palhetas, etc.

10 a 40

Centrífuga radial ou pura

35 a 85

Centrífuga tipo Francis, ou seja, a helicoidal.

80 a 150

Centrífuga de fluxo misto ou semi-axial

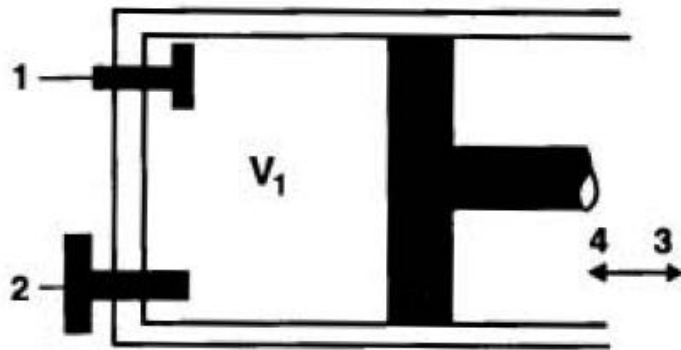
125 a 500

Axial

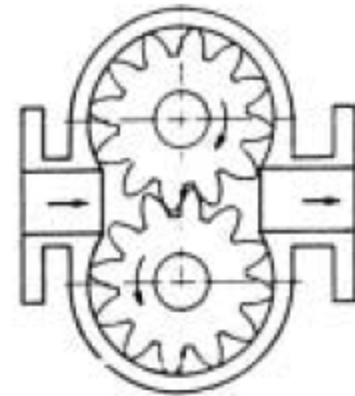
Bombas de deslocamento positivo: este tipo de máquina tem por característica de funcionamento a transferência direta da energia mecânica cedida pela fonte motora em energia potencial (energia de pressão). Esta transferência é obtida pela movimentação de um órgão mecânico da bomba, que obriga o fluido a executar o mesmo movimento do qual ele está animado.

O líquido, sucessivamente enche e depois é expulso dos espaços com volume determinado no interior da bomba, daí resultando o nome de bombas volumétricas.

Tipos de bombas de deslocamento positivo:

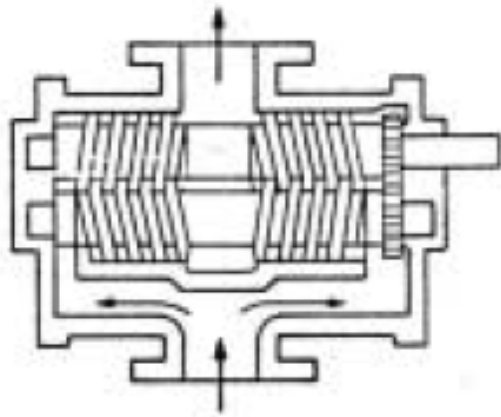


Bomba de lóbulos

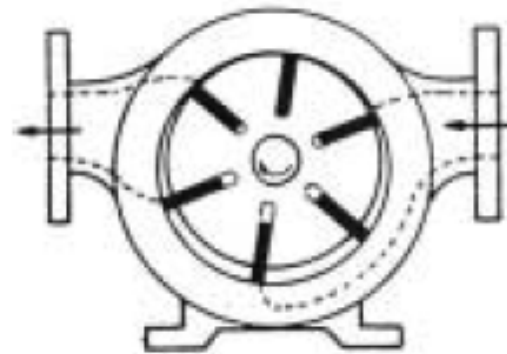


Bomba de engrenagens

Tipos de bombas de deslocamento positivo:



Bomba de parafusos



Bomba de palhetas

Bombas centrífugas: este tipo de bomba tem por princípio de funcionamento a transferência de energia mecânica para o fluido a ser bombeado em forma de energia cinética. Por sua vez, esta energia cinética é transformada em energia potencial (energia de pressão) sendo esta a sua característica principal.

O movimento rotacional de um rotor inserido em uma carcaça (corpo da bomba) é o órgão funcional responsável por tal transformação.

Classificação:

a) **Radiais ou Puras:** quando a direção do fluido bombeado é perpendicular ao eixo de rotação.

b) **Fluxo misto ou Semi-Axial:** quando a direção do fluido bombeado é inclinada em relação ao eixo de rotação.

c) **Fluxo Axial:** quando a direção do fluido bombeado é paralela em relação ao eixo de rotação.

Classificação das bombas centrífugas

