

B.01.01 – Máquinas Hidráulicas de Fluxo

Normas e Grandezas Básicas

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2021-01-28 18h56m55s UTC

1 Normas em Máquinas de Fluxo

- Definições – IEC 60193

2 Referências

Nomenclatura

- Máquinas de fluxo são uma **aplicação muito antiga** em fluidos;
- A **nomenclatura** empregada é **bastante heterogênea**;
- Referências incluem **acadêmicas** e **industriais**;
- **Maiores fornecedores mundiais** convergem para o **padrão IEC**.

Norma IEC 60193

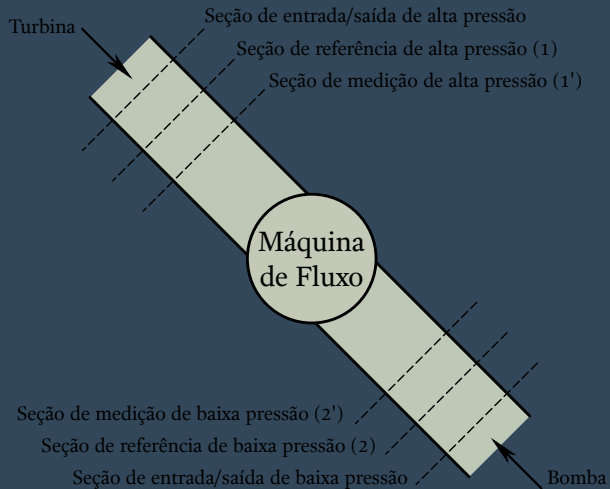
IEC é o acrônimo da *International Electrotechnical Commission*.

- A **IEC 60193:2019** cancela e revoga a 2ª Ed. de 1999;
- Aplica-se para **modelos de laboratório** de máquinas de **ação** e de **reação**;
- Aplica-se para **turbinas hidráulicas**, **bombas de armazenamento**, ou **turbina-bombas**;
- com **potência unitária** $> 5 \text{ MW}$, ou
- com **diâmetro** $> 3 \text{ m}$;



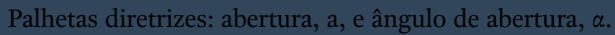
Subscritos e Símbolos Pertinentes

| Símbolo | Definição |
|----------|--|
| 1 | Seção de referência de alta pressão |
| 2 | Seção de referência de baixa pressão |
| 1' | Seção de medição de alta pressão |
| 2' | Seção de medição de baixa pressão |
| max, min | Máximo ou mínimo valor, respectivamente |
| P | Referente ao protótipo , em tamanho real |
| M | Referente ao modelo em escala reduzida |
| ref | Valores em condição de referência especificada |
| amb | Valores referentes ao ambiente |
| pl | Valores da planta |
| R | Referente à condição de disparo (runaway) |



Termos Geométricos

| Símbolo | Definição |
|----------------------------------|--|
| $A \text{ (m}^2\text{)}$ | Área |
| $a \text{ (m)}$ | Abertura de palhetas (menor distância média entre palhetas adjacentes) |
| $\alpha \text{ (}^\circ\text{)}$ | Ângulo de abertura de palhetas (valor médio à partir do fechamento) |
| $\beta \text{ (}^\circ\text{)}$ | Ângulo de abertura de pá de rotor |
| $D \text{ (m)}$ | Diâmetro de referência (geralmente mínimo e não variável) |
| $z \text{ (m)}$ | Nível, ou quota (elevação em rel. a uma ref.: nível do mar) |



Quantidades e Propriedades Físicas

| Símbolo | Definição |
|--------------------------------|--|
| g (m/s ²) | Aceleração devido à gravidade |
| Θ (K) | Temperatura termodinâmica |
| θ (°C) | Temperatura em Celsius, $\theta = \Theta - 273,15$ |
| ρ (kg/m ³) | Densidade. Subscritos incluem: w , a e Hg , para água, ar e Mercúrio |
| p_{va} (Pa) | Pressão absoluta de vapor d'água (uma função da temperatura) |
| μ (Pa·s) | Viscosidade dinâmica |
| ν (m ² /s) | Viscosidade cinemática, ou difusividade do movimento, $\nu = \mu/\rho$ |
| σ^* (J/m ²) | Tensão superficial |

Termos de Vazão e Velocidade

| Símbolo | Definição |
|-----------------------------------|--|
| Q (m^3/s) | Vazão (taxa de escoamento volumétrica) ou descarga |
| ρQ (kg/s) | Vazão mássica (taxa de massa) |
| Q_1' ou Q_2' | Vazão volumétrica medida |
| Q_1 ou Q_2 | Vazão volumétrica na seção de referência |
| Q_R (m^3/s) | Vazão volumétrica em condição de disparo (runaway) |
| Q_0 (m^3/s) | Vazão volumétrica da turbina em potência mecânica nula (no-load) |
| q (m^3/s) | Vazão de vazamentos (perdas) |

Termos de Vazão e Velocidade (Cont.)

| Símbolo | Definição |
|------------------|---|
| v (m/s) | Velocidade média, $v = Q/A$ |
| n (1/s) | (Velocidade de) rotação: revoluções por unidade de tempo |
| u (m/s) | Velocidade periférica (de rotor), $u = \pi D n$ |
| n_R (1/s) | Rotação, em regime permanente, em condição de disparo (runaway) |
| n_{Rmax} (1/s) | Rotação, em regime permanente, máxima em condição de disparo |

Termos de Pressão

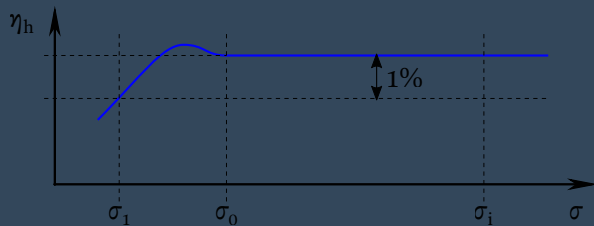
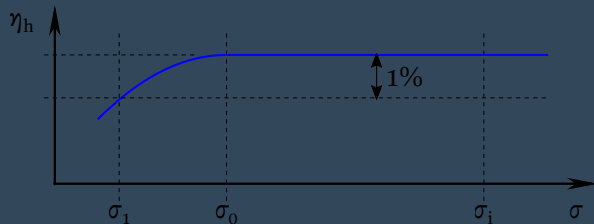
| Símbolo | Definição |
|----------------|---|
| p_{abs} (Pa) | Pressão absoluta — pressão estática de um fluido em relação ao vácuo |
| p_{amb} (Pa) | Pressão ambiente — pressão absoluta do ar ambiente |
| p (Pa) | Pressão manométrica, $p = p_{abs} - p_{amb}$, no nível de referência da medição. |

Termos de Energia Específica

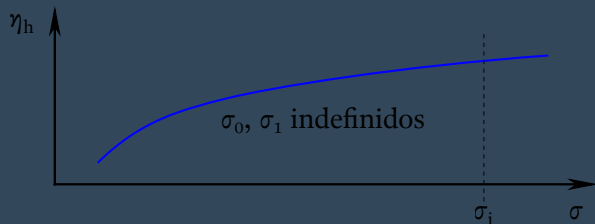
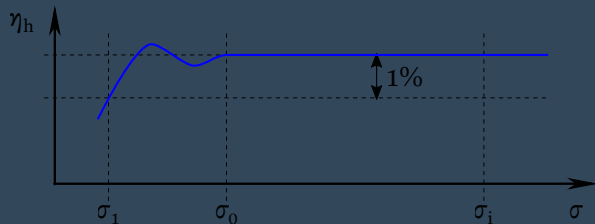
| Símbolo | Definição |
|---------------|--|
| e (J/kg) | Energia específica — energia hidráulica por unidade de massa da água |
| E (J/kg) | Energia hidráulica específica da máquina $E = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2)g, \text{ com } \bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ |
| E_0 (J/kg) | Energia hidráulica específica da bomba estrangulada na alta pressão |
| E_s (J/kg) | Energia potencial específica de sucção da máquina $E_s = g(z_r - z_2')$ |
| $NPSE$ (J/kg) | <i>Net pos. suction sp. energy</i> : energia específica de sucção positiva líquida $NPSE = \frac{p_{abs2} - p_{va}}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g(z_r - z_2)$ |

Termos de Energia Específica (Cont.)

| Símbolo | Definição |
|-------------------|---|
| σ (–) | Número de Thoma, indicativo das condições de operação quanto à cavitação, $\sigma = NPSE/E$ |
| σ_{nD} (–) | Coefficiente de cavitação, $\sigma_{nD} = NPSE/(n^2 D^2)$ |
| σ_0 (–) | Número de Thoma zero, incipiente da redução de performance |
| σ_1 (–) | Número de Thoma um, de 1% de redução de performance |
| σ_i (–) | Número de Thoma incipiente, de visível cavitação em rotor |
| σ_{pl} (–) | Número de Thoma da planta, nas condições de operação do protótipo |
| E_L (J/kg) | Perda de energia hidráulica específica, entre quaisquer duas seções |



autoria própria



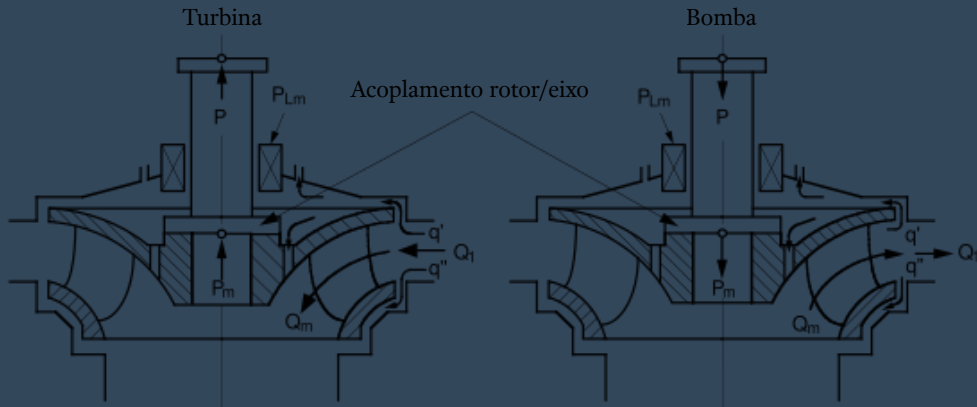
autoria própria

Termos de Elevações e Quedas

| Símbolo | Definição |
|------------|--|
| h (m) | Queda ou carga: energia por unidade de peso em qualquer seção, $h = e/g$ |
| H (m) | Queda da turbina ou carga da bomba, $H = E/g$ |
| H_0 (m) | Carga da bomba em condição de estrangulamento, $H_0 = E_0/g$ |
| Z_s (m) | Altura de sucção da bomba, $Z_s = E_s/g$ |
| $NPSH$ (m) | <i>Net pos. suction head</i> queda de sucção positiva líquida |
| z_r (m) | Nível de referência (elevação do ponto de referência) da máquina |

Termos de Potência e Torque

| Símbolo | Definição |
|----------------|--|
| P_h (W) | Potência hidráulica disponível (turb.) ou fornecida (bombas) na/à água $P_h = E(\rho Q_1)$ |
| P (W) | Potência mecânica entregue pela (turb.) ou à (bombas) máquina |
| P_m (W) | Potência mecânica do rotor |
| P_{Lm} (W) | Perda de potência mecânica, devido a vedações e mancais $P = P_m - P_{Lm}$ (turb.) ou $P = P_m + P_{Lm}$ (bombas) |
| P_0 (W) | Potência da bomba em condição de estrangulamento |
| T (N·m) | Torque de eixo correspondente à potência mecânica |
| T_m (N·m) | Torque de rotor correspondente à potência mecânica de rotor |
| T_{Lm} (N·m) | Torque de atrito, devido a vedações e mancais |



Fonte: Adaptado de parte da Fig. 6, IEC 60193 (1999)

autoria própria

Termos de Eficiência

| Símbolo | Definição |
|---------|-----------|
|---------|-----------|

Termos de Escala e Grupos Adimensionais em Fluidodinâmica

| Símbolo | Definição |
|---------|-----------|
|---------|-----------|



Fatores Adimensionais





| Símbolo | Definição |
|---------|-----------|
|---------|-----------|

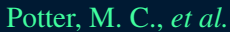
Coefficients and Dimensional Numbers

| Símbolo | Definição |
|---------|-----------|
|---------|-----------|

Referências

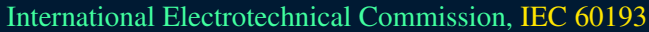
-  Potter, M. C., *et al.*
Mecânica dos Fluidos. **Seção 12-1**.
Cengage. São Paulo. ISBN 978-85-221-1568-6.
-  International Electrotechnical Commission, **IEC 60193**
Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests.
International Standard. 2019. webstore.iec.ch/publication/60951.





Mecânica dos Fluidos. Seção 12-1.

Cengage. São Paulo. ISBN 978-85-221-1568-6.



Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests.



Photo by mali maeder from Pexels

www.pexels.com/photo/environment-forest-grass-leaves-142497