



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3501
Engenharia de Precisão

A17
Mancais e guias hidrostáticas

2020.2



Planejamento



Dia	S	Aula	Tópico	Prof.
08.10	5ª	A17	Elementos de máquinas de precisão – mancais e guias hidrostáticos	RS
14.10	4ª	A18	Elementos de máquinas de precisão – mancais e guias aerostáticos	RS
15.10	5ª	A19	Elementos de máquinas de precisão – mancais magnéticos	RS
21.10	4ª	A20	Elementos de máquinas de precisão – guias de molas	RS
22.10	5ª	A21	Elementos de máquinas de precisão – transmissores do movimento	RS
28.10	4ª			RS
29.10	5ª	A22	Elementos de máquinas de precisão – conversores do movimento	RS
04.11	4ª	A23	Elementos de máquinas de precisão – atuadores	RS
05.11	5ª	A24	Elementos de máquinas de precisão – acoplamentos	RS
11.11	4ª	A25	Exercícios -4	RS
12.11	5ª	A26	Estruturas de sistemas de precisão: Requisitos, Materiais e Fabricação	RS
18.11	4ª	A27	Estruturas de sistemas de precisão: configurações estruturais e laço estrutural	RS
19.11	5ª	A28	Estruturas de sistemas de precisão: considerações estáticas, dinâmicas e térmicas. Erros, propagação de erros / compensação de erros	RS
25.11	4ª	A29	Materiais para componentes de precisão	RS
26.11	5ª	A30	Exercícios -5	RS
02.12	4ª	A29	Apresentação de Estudo de Caso/Seminário	RS
03.12	5ª	A30	Apresentação de Estudo de Caso/Seminário	RS
09.12	4ª	A31		
10.12	5ª			
14.12	3ª		Encerramento do semestre 2020-2	
06.12			Medidor tridimensional de coordenadas	

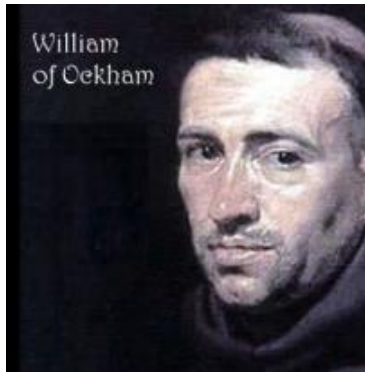


Fundamentos do projeto de precisão

**“Um homem que deseja projetar....
Deve inicialmente OBSERVAR, e
PENSAR!”**



Fundamentos do projeto de precisão



Princípio de Ockham (Occam's) Razor

William of Ockham (c. 1287–1347), Frade Franciscano, estudioso, professor, filósofo e teólogo Inglês.

'All things being equal, the simplest explanation tends to be the correct one'

"as entidades não devem ser multiplicadas além do necessário, ..."

(in: Duns Scotus, Tratado Econômico).

Resumindo:

- ✓ quanto mais simples melhor,
- ✓ quanto menos peças melhor, ou
- ✓ quanto menos peças móveis melhor.



Mancais e Guias

Mancais

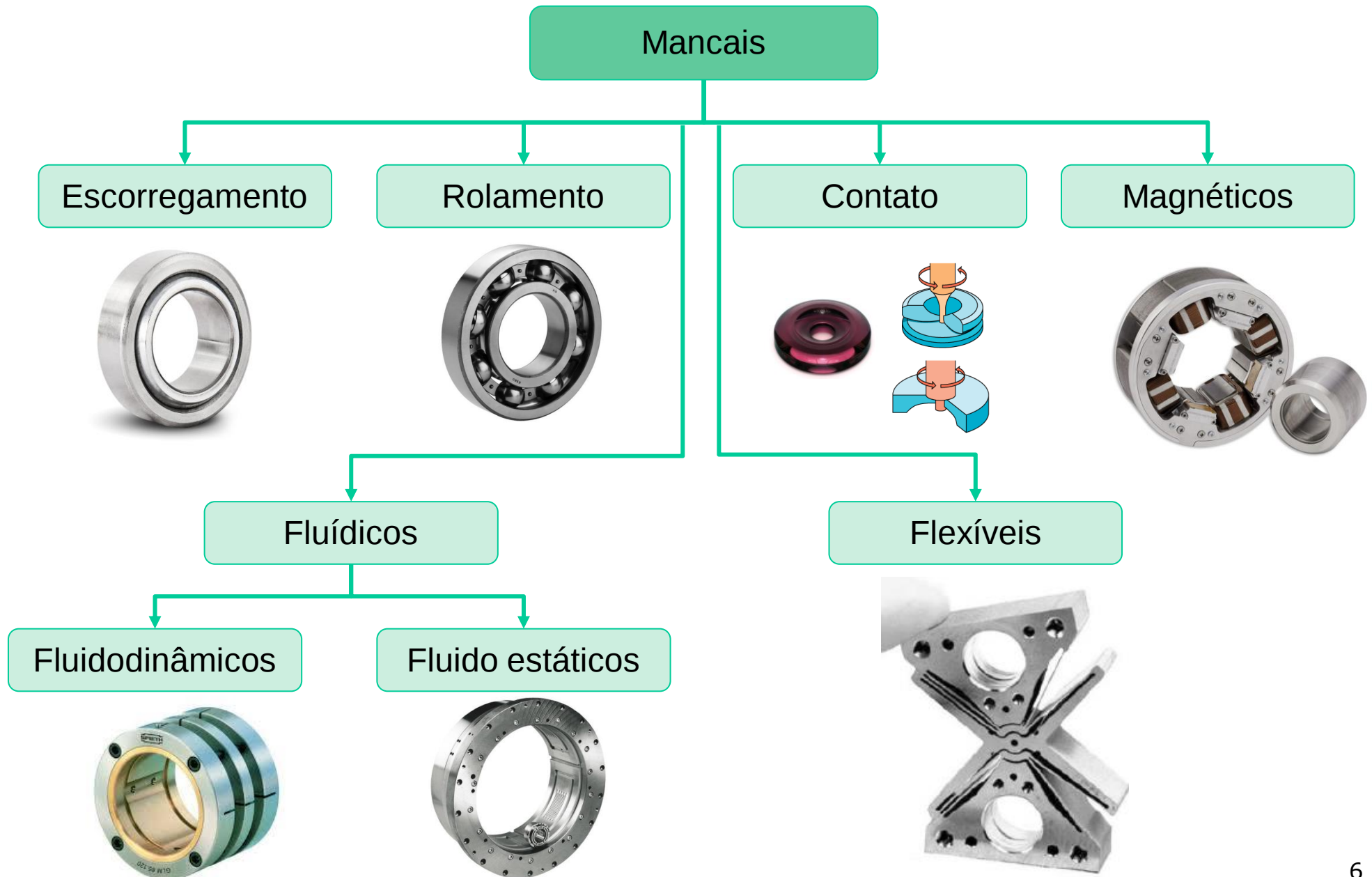


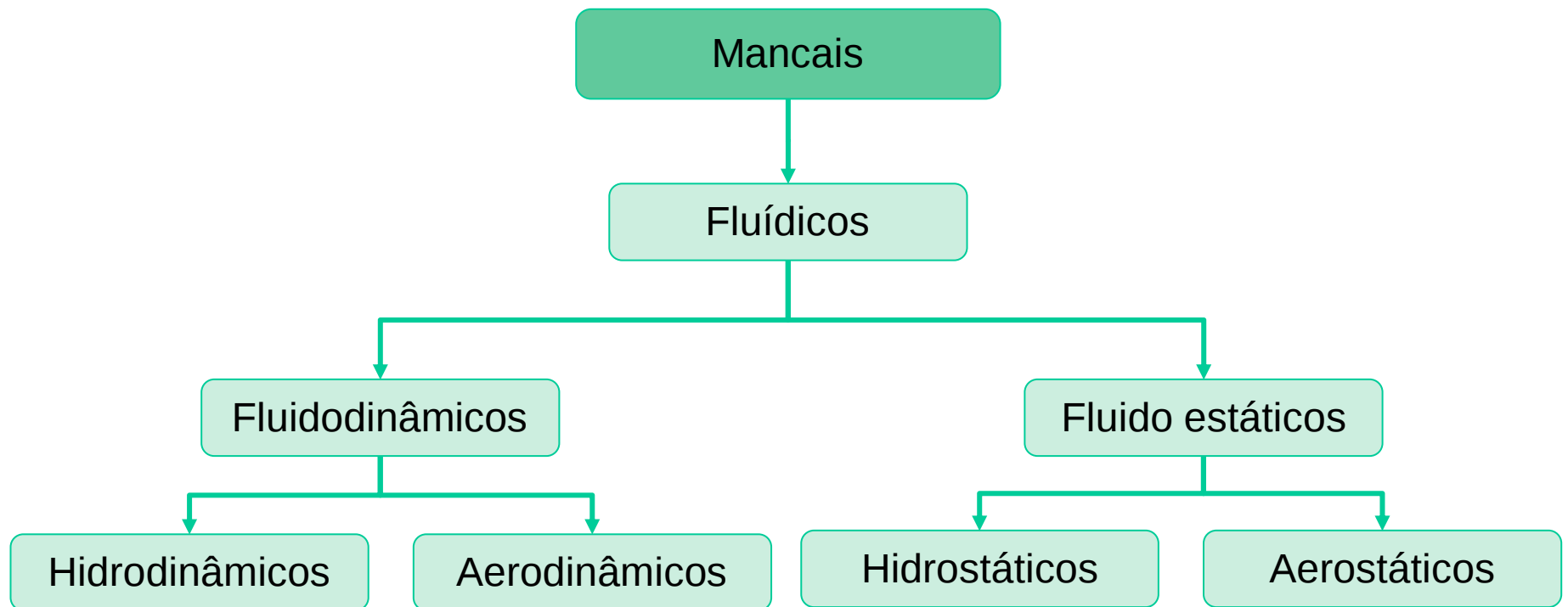
- **Mancais** são elementos de máquinas que tem por função básica absorver carregamentos, e onde o movimento de **translação** em qualquer direção deve ser minimizado, deixando **livre** somente a **rotação** em torno de um eixo.

Guias



- **Guias** são elementos de máquinas que tem por função básica absorver carregamentos, e onde o movimento de **rotação** em qualquer direção deve ser minimizado, deixando **livre** somente a **translação** ao longo de um eixo.



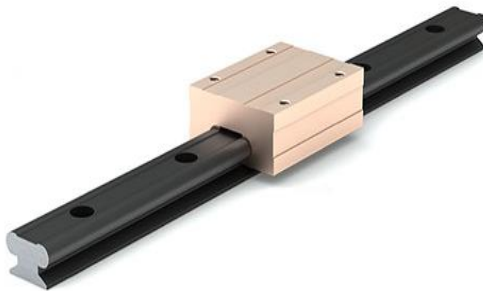




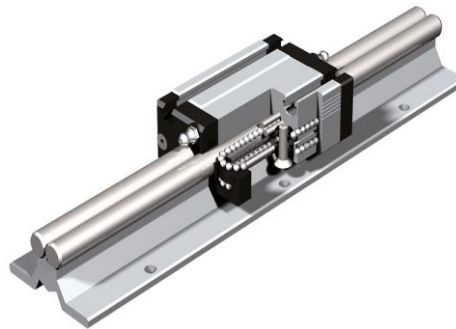
Introdução

Guias

Escorregamento



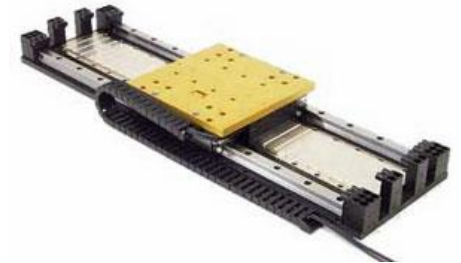
Rolamento



Flexíveis

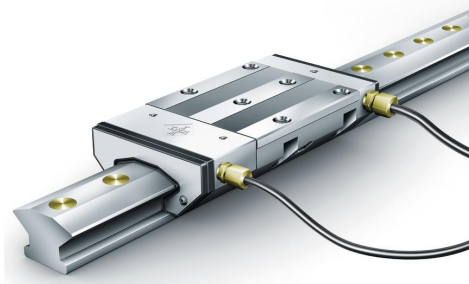


Magnéticas



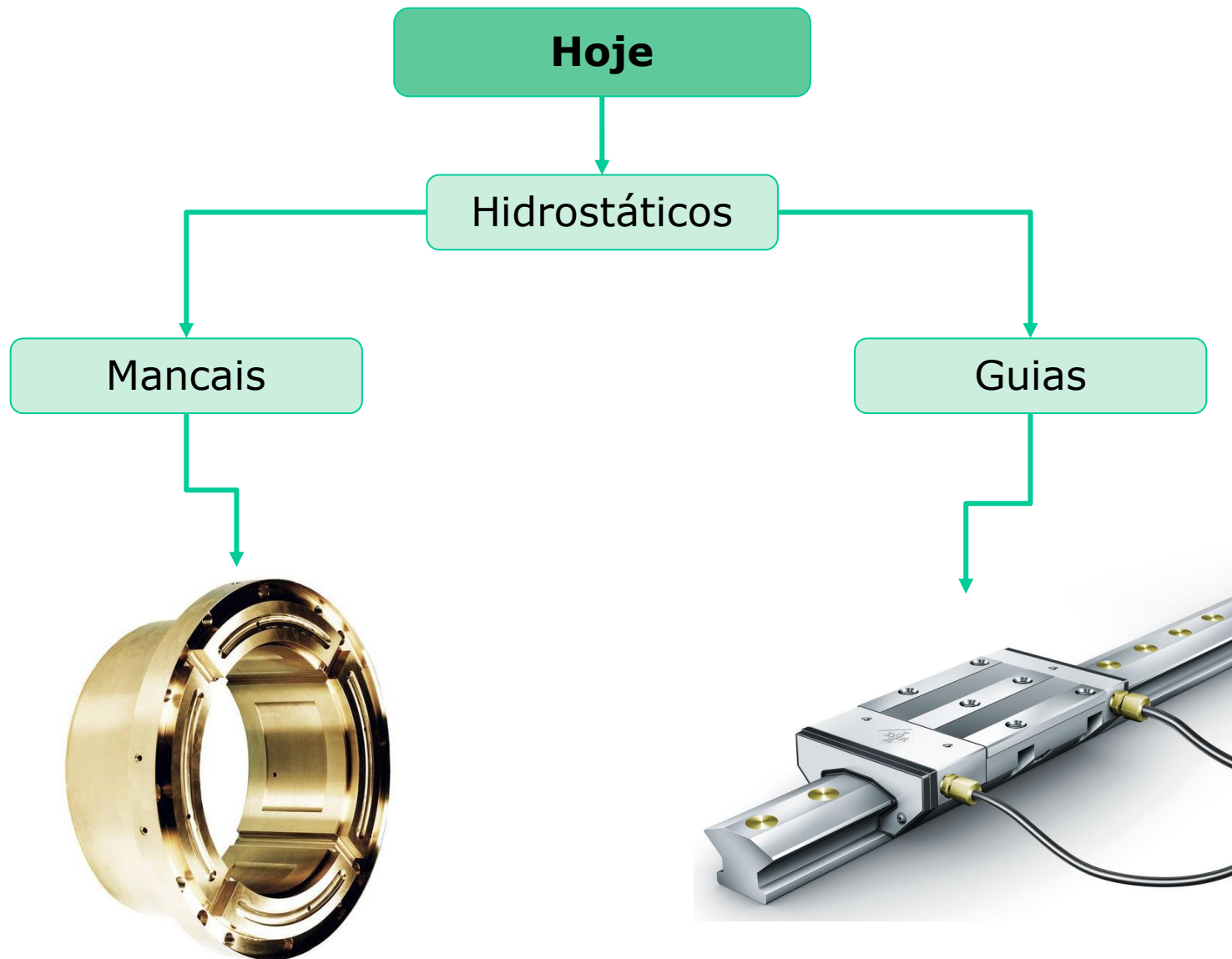
Fluídicas

Hidroestática



Aerostáticas







Mancais/Guias hidrostáticas

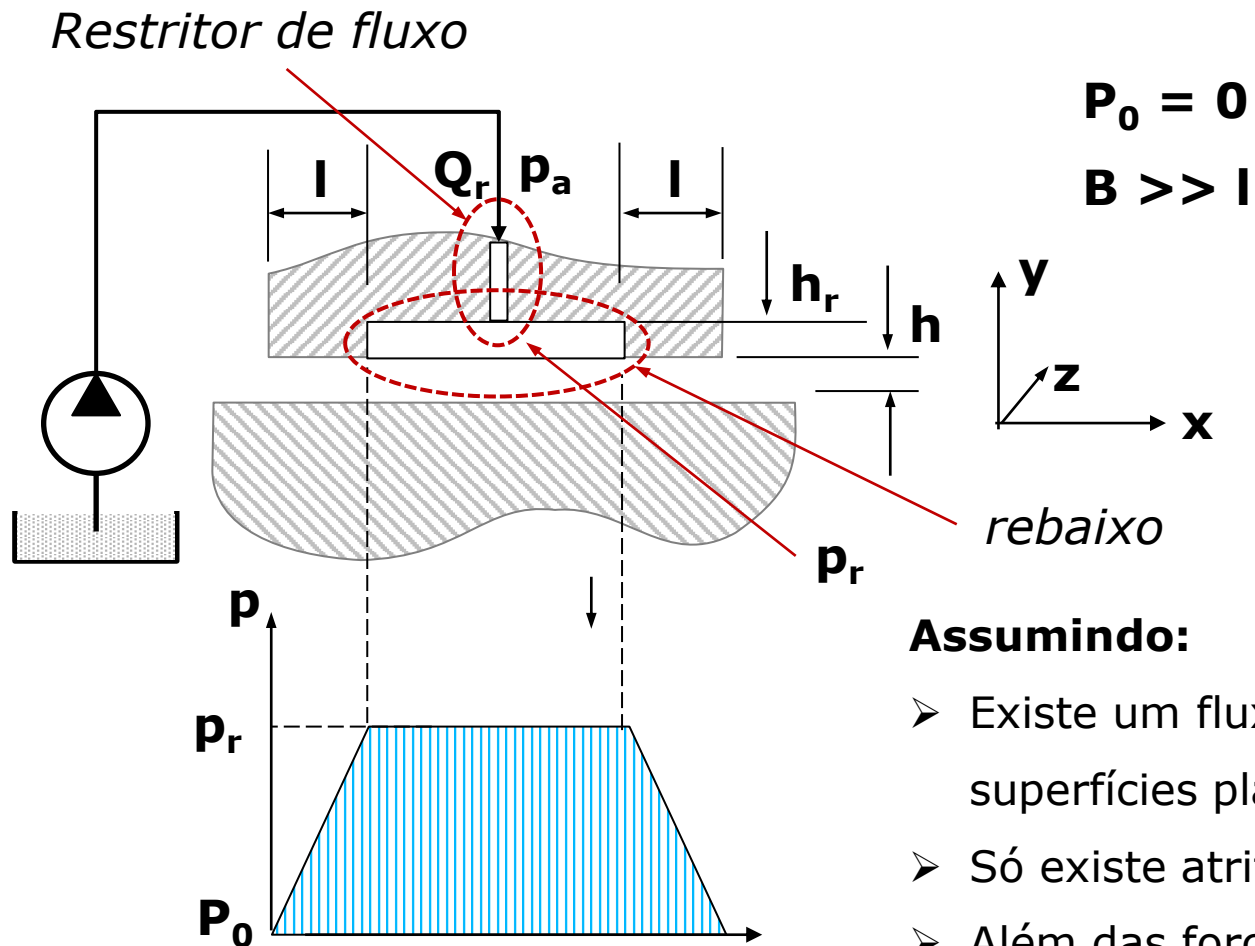
Características



- Projeto complexo
- Fabricação complexa
- Baixa modularidade
- Sem atrito, desgaste e *stick-slip*
- Elevada capacidade de carga
- Sistemas de retorno e resfriamento
- Alta rigidez
- Elevado amortecimento
- Alta velocidade
- Problema de estabilidade térmica
- Elevada exatidão
- Amortecimento



princípio de funcionamento

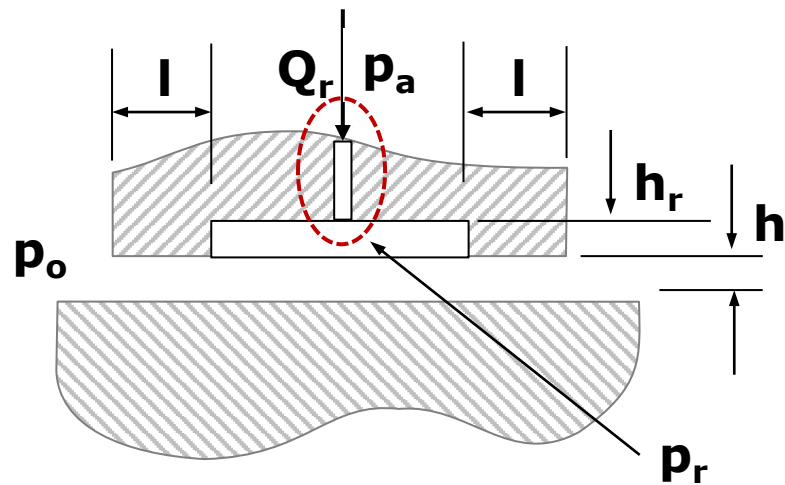


Assumindo:

- Existe um fluxo laminar entre superfícies planas.
- Só existe atrito viscosos
- Além das forças de compressão, as forças de empuxo também devem ser levadas em consideração (squeeze film effect).



princípio de funcionamento



Restritor de fluxo

Orifício

Capilares

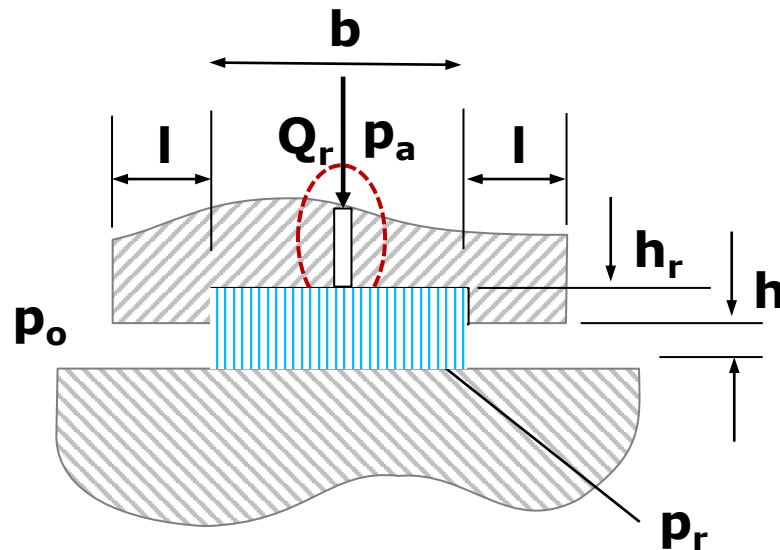
Flexíveis

Porosos

Outros



princípio de funcionamento



Fluxo em um restritor tipo orifício

$$Q_{r_o} = A_c C_{d_o} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_a - p_r)}$$

$$C_{d_{\text{orifício}}} \cong 0,80 \Rightarrow (0,6 \text{ a } 1,0)$$

$$Q_{r_o} = A_c C_{d_o} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_a - p_r)}$$

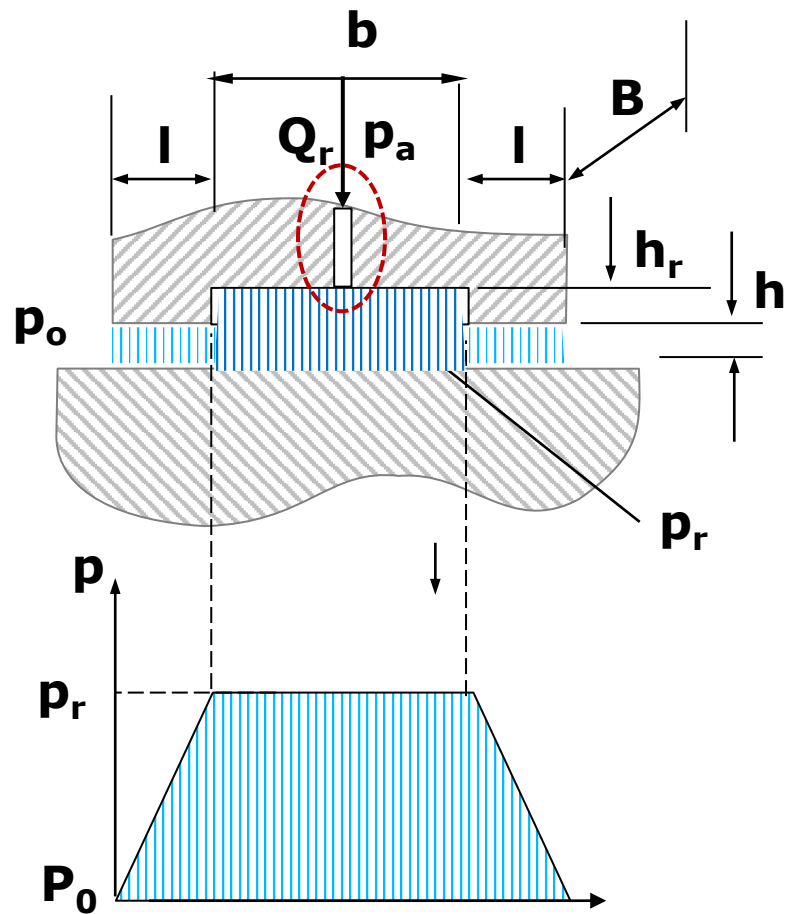
C_{d_o} = Coeficiente de descarga

A_c = Área do orifício

Q_{r_o} = fluxo de fluido no restritor



princípio de funcionamento



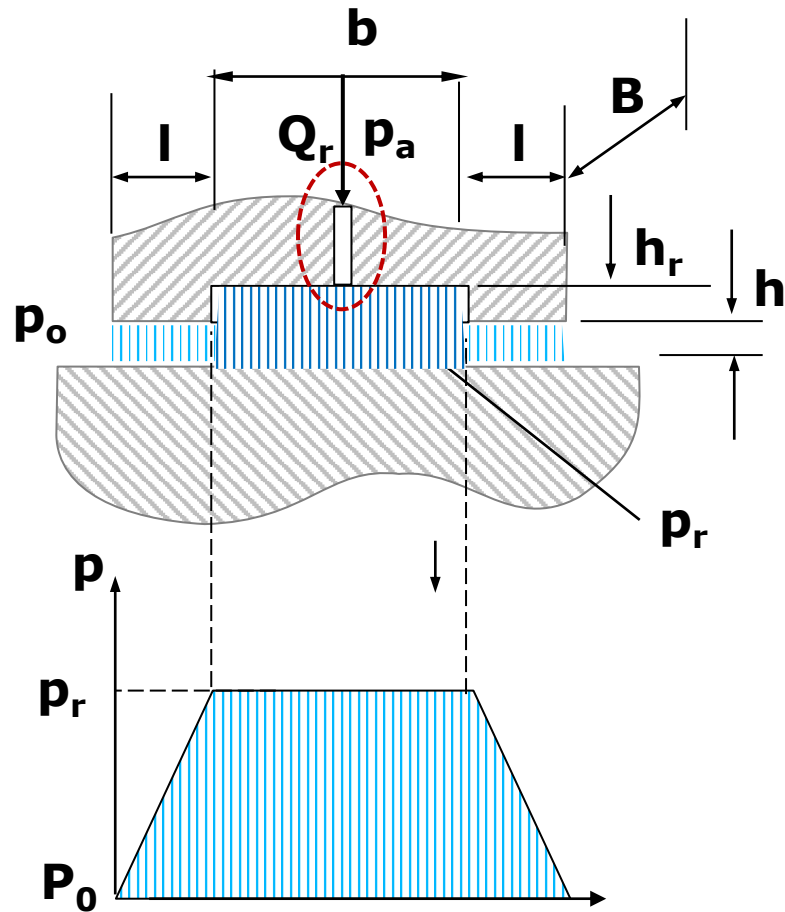
Capacidade de carga

$$W = B \left\{ p_r \frac{l}{2} + p_r b + p_r \frac{l}{2} \right\}$$

$$W = p_r B(l + b)$$



princípio de funcionamento



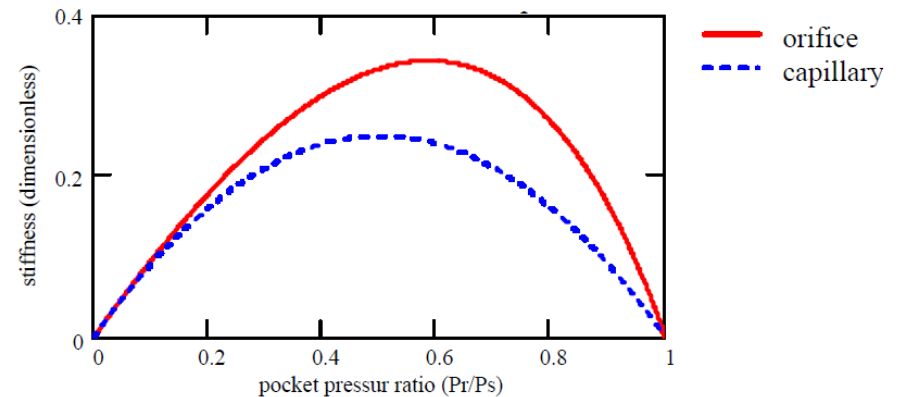
Rigidez

$$K = \frac{3B(l + b)}{h} \frac{p_r}{(Z + 1)}$$

$$Z = \frac{(p_r - p_a)}{a(p_s - p_r)}$$

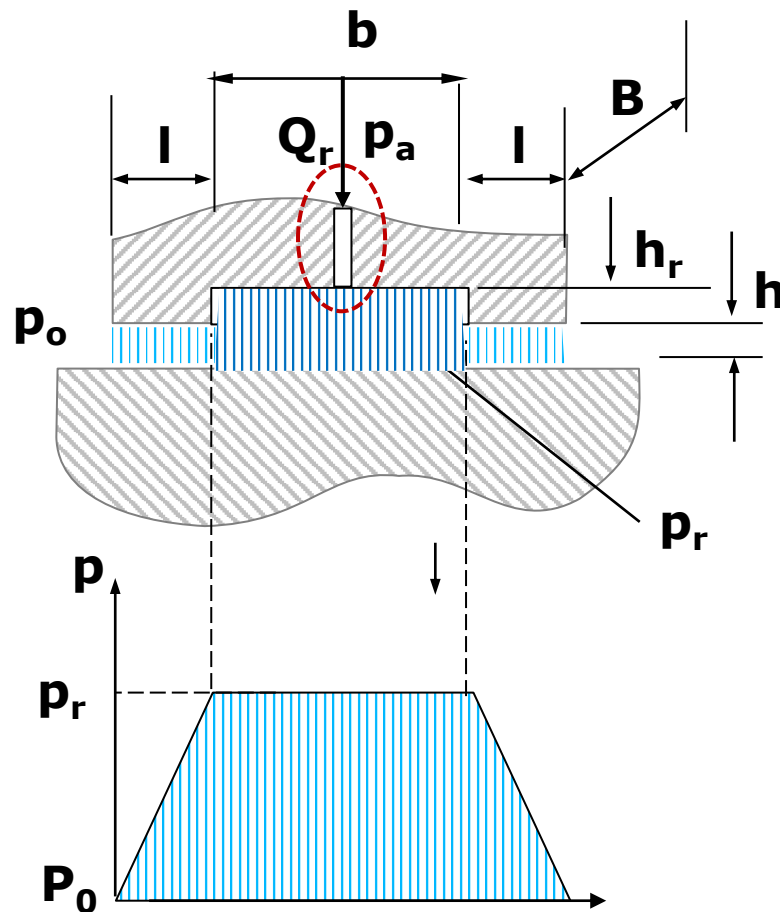
$a = 2$ para restritor tipo orifício
 $a = 1$ para restritor tipo capilar

Comparando – Orifício vs Capilar

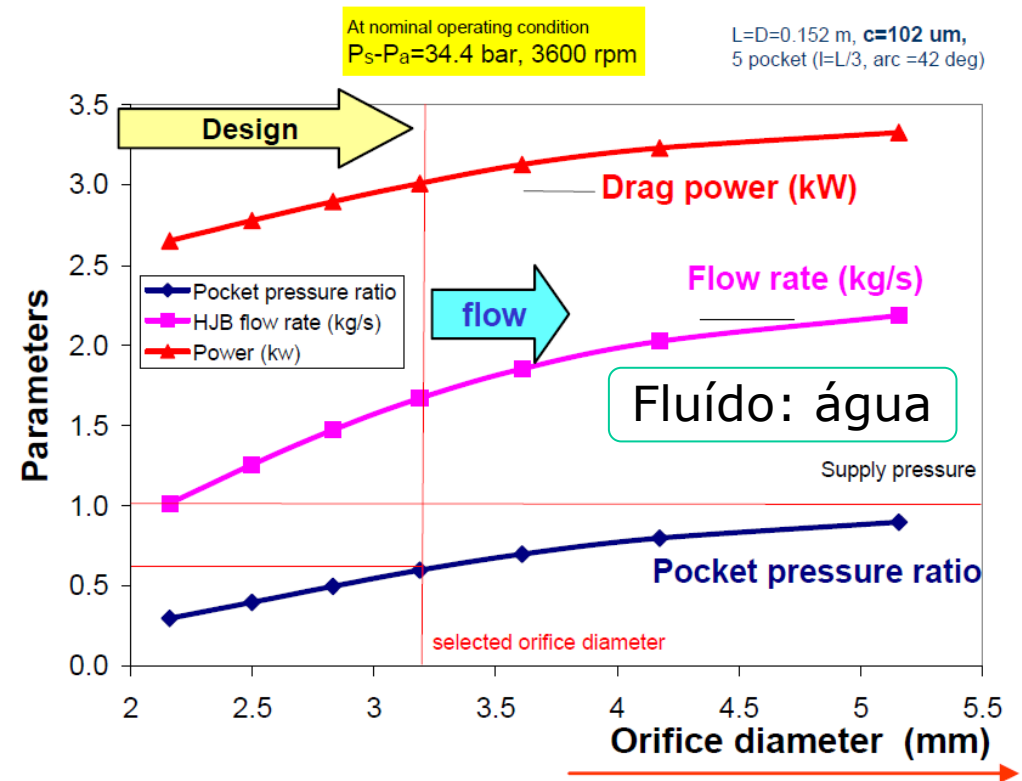


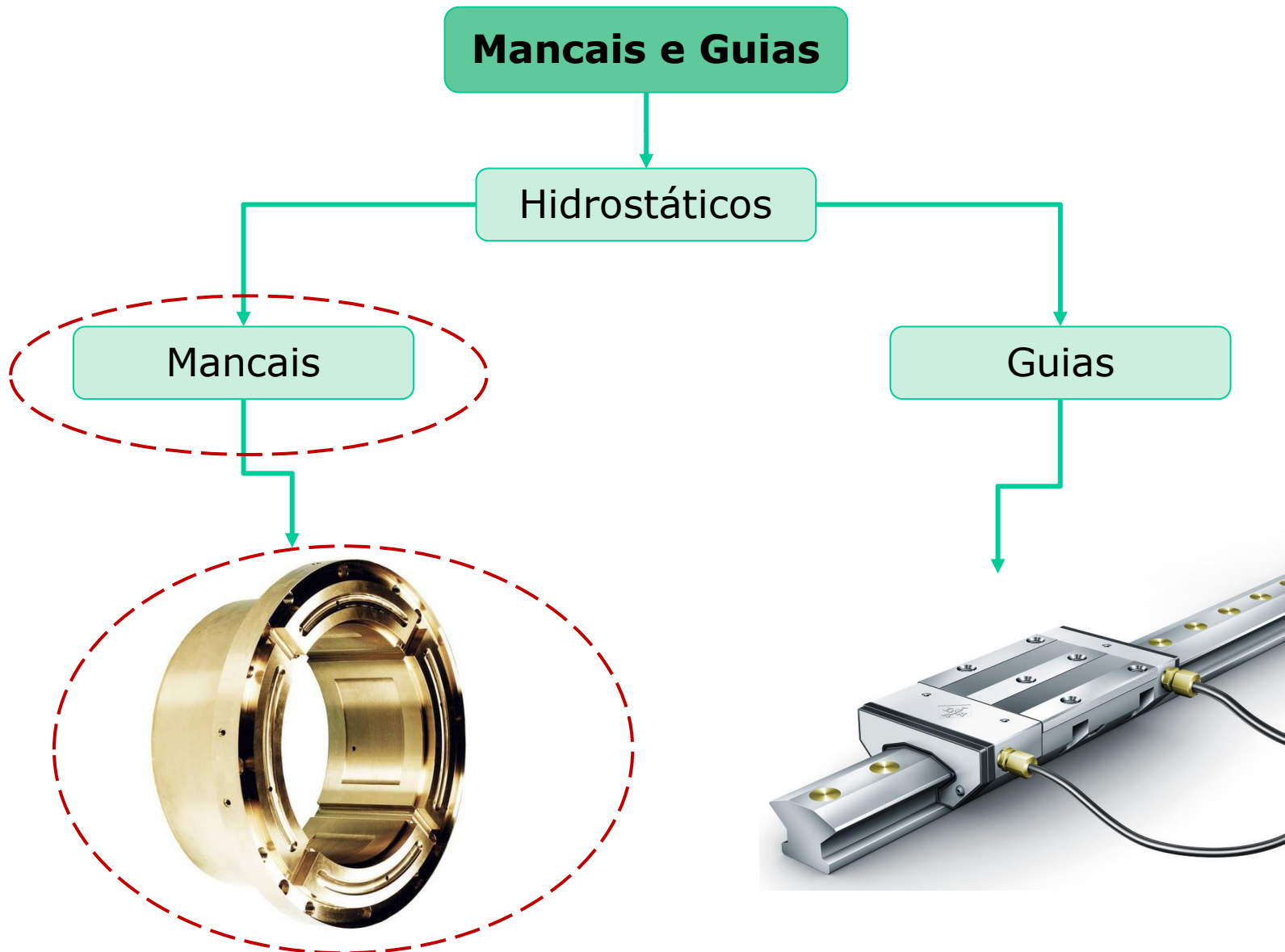


princípio de funcionamento



Efeito do diâmetro do orifício



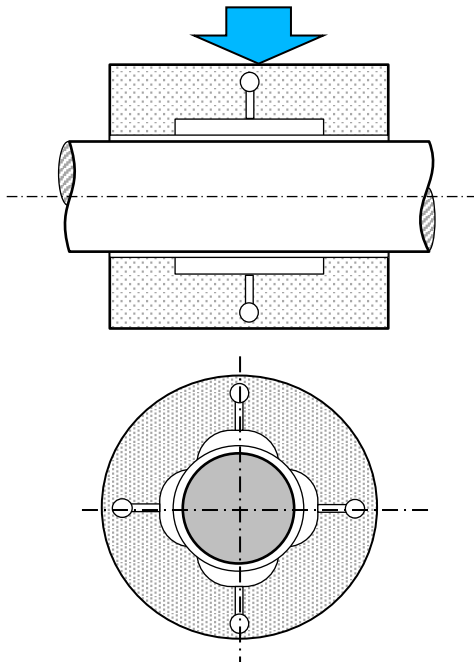




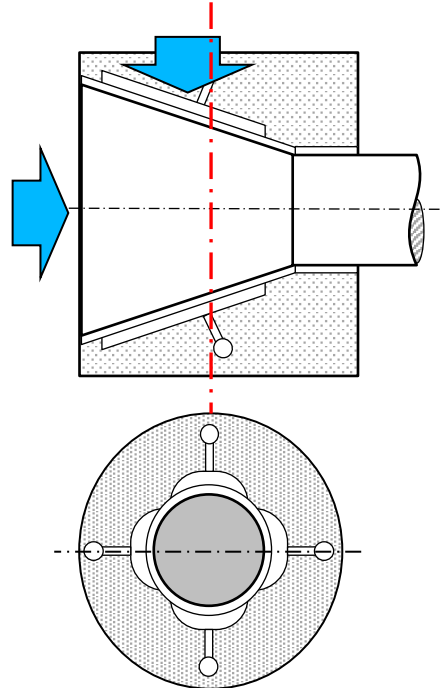
Mancais hidrostáticos

carregamento

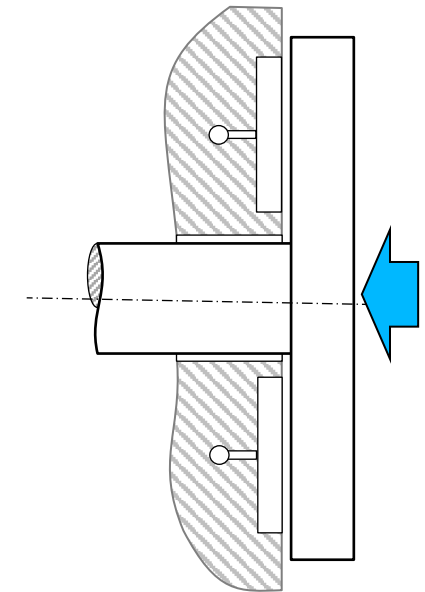
Radiais

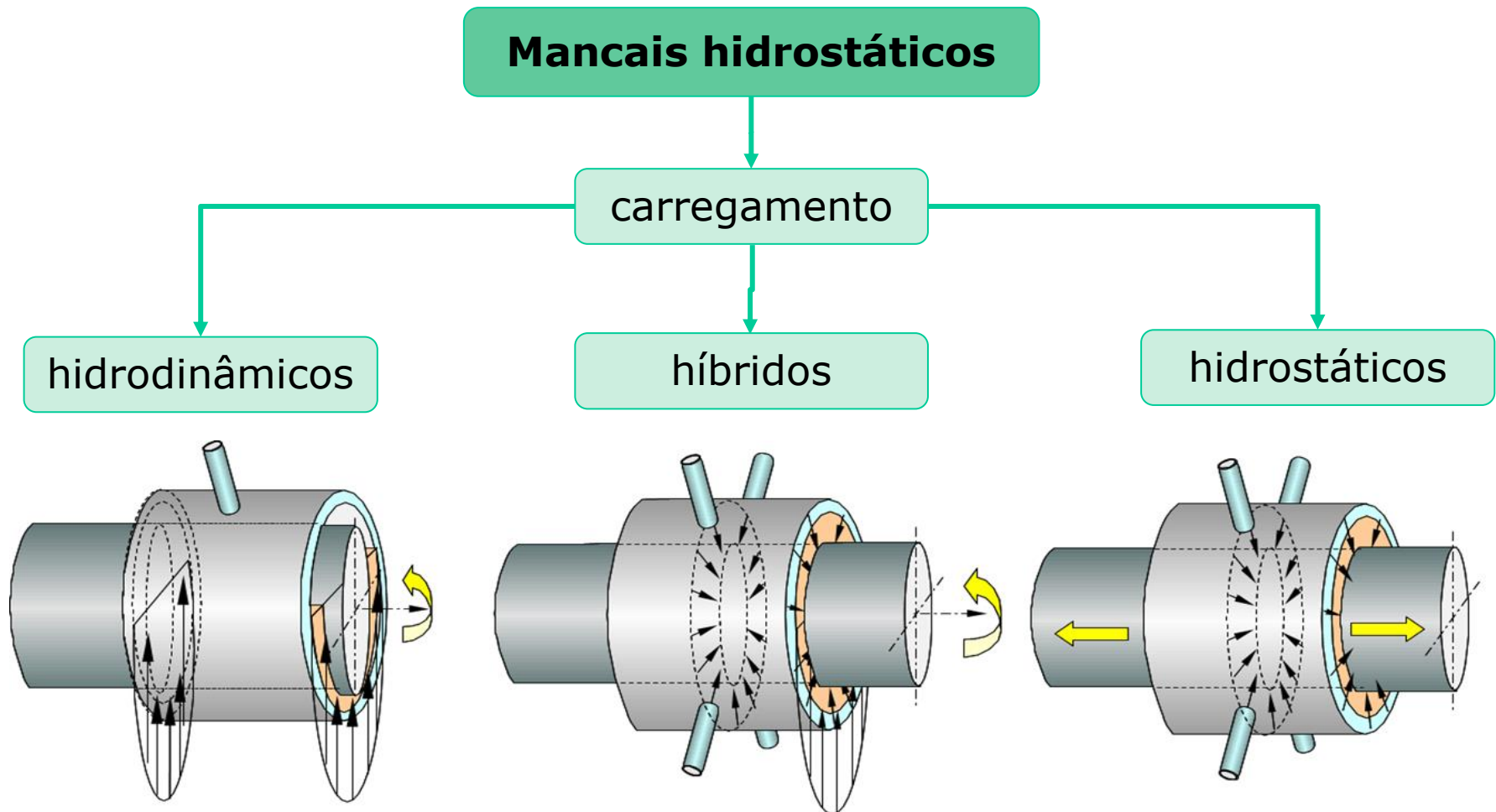


Radiais/axiais



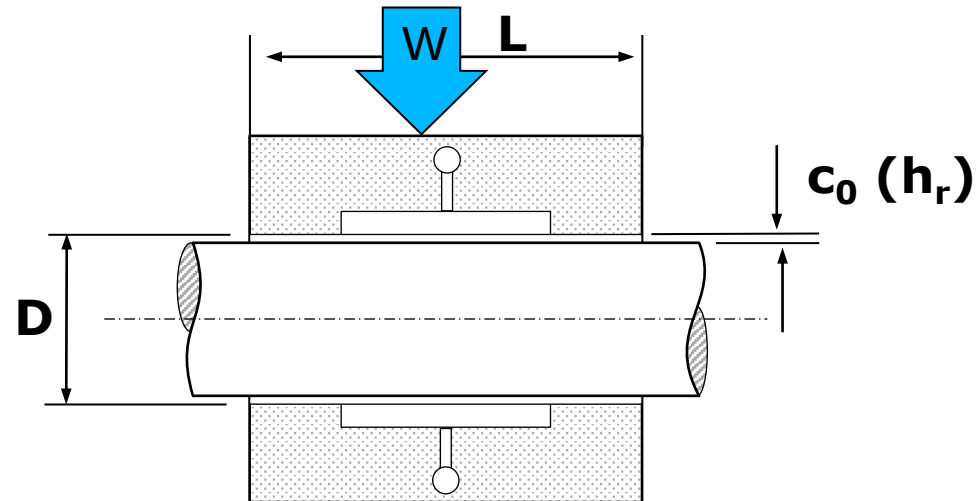
Axiais



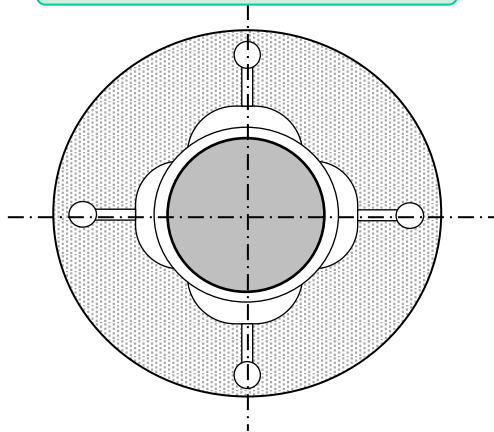




Mancais hidrostáticos

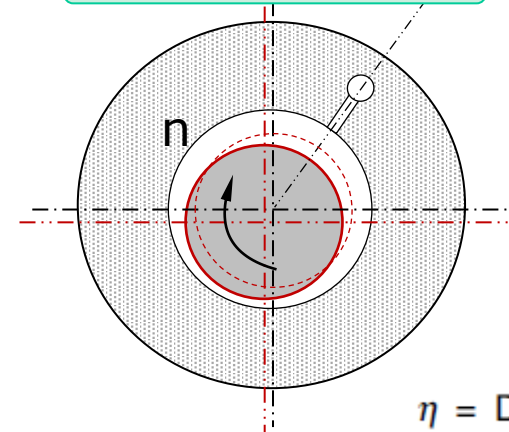


hidrostáticos



$$W = f(L D P_a)$$

hidrodinâmicos



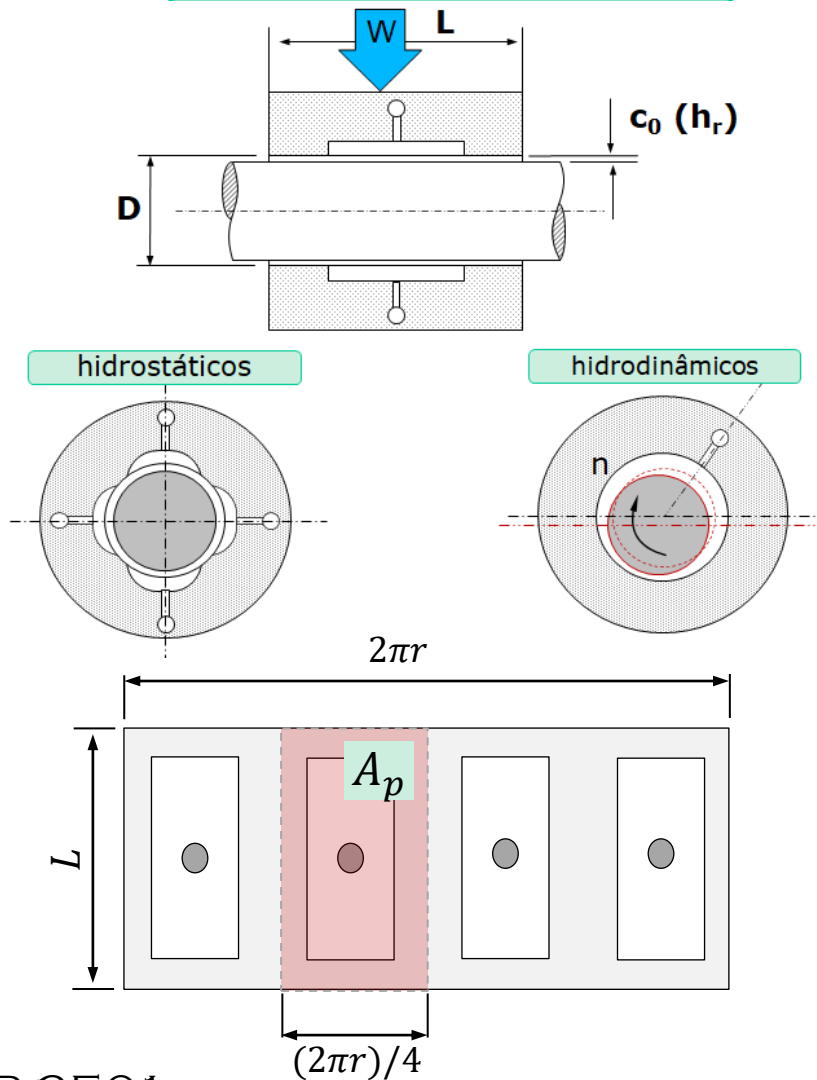
η = Dynamic viscosity

$$W = f\left(L D n \eta \left[\frac{D}{c_0}\right]^2\right)$$



Mancais hidrostáticos

Dimensionamento



$$W = a_f A_p P_r$$

$$Q = q_f \frac{F}{A_p} \frac{c^3}{\mu}$$

$$P_a = P_r Q$$

$$P_a = H_f \left(\frac{F}{A_p} \right)^2 \left(\frac{c^3}{\mu} \right)$$

$W \Rightarrow$ capacidade de carga do mancal

$Q \Rightarrow$ fluxo no mancal

$P_a \Rightarrow$ pressão de alimentação (bomba)

$P_r \Rightarrow$ pressão no rebaixo

$a_f \Rightarrow$ coeficiente de carga

$q_f \Rightarrow$ coeficiente de fluxo

$H_f \Rightarrow$ coeficiente de potência

$A_p \Rightarrow$ área do Pad

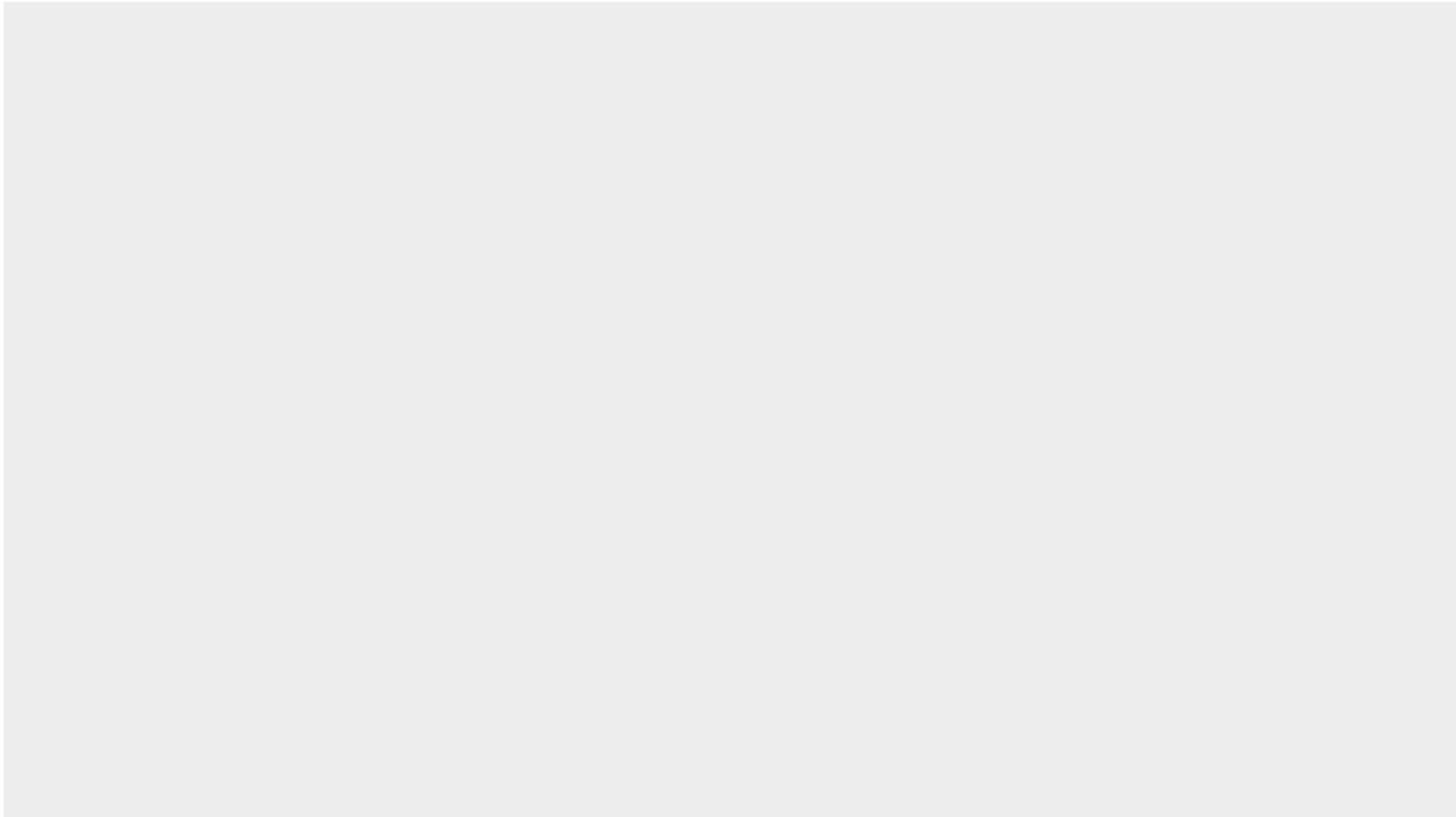
$c \Rightarrow$ folga

$c_0 \Rightarrow$ folga nominal

$\mu \Rightarrow$ viscosidade dinâmica do fluido



Professional Instruments Hydrostatic spindle orientation demo



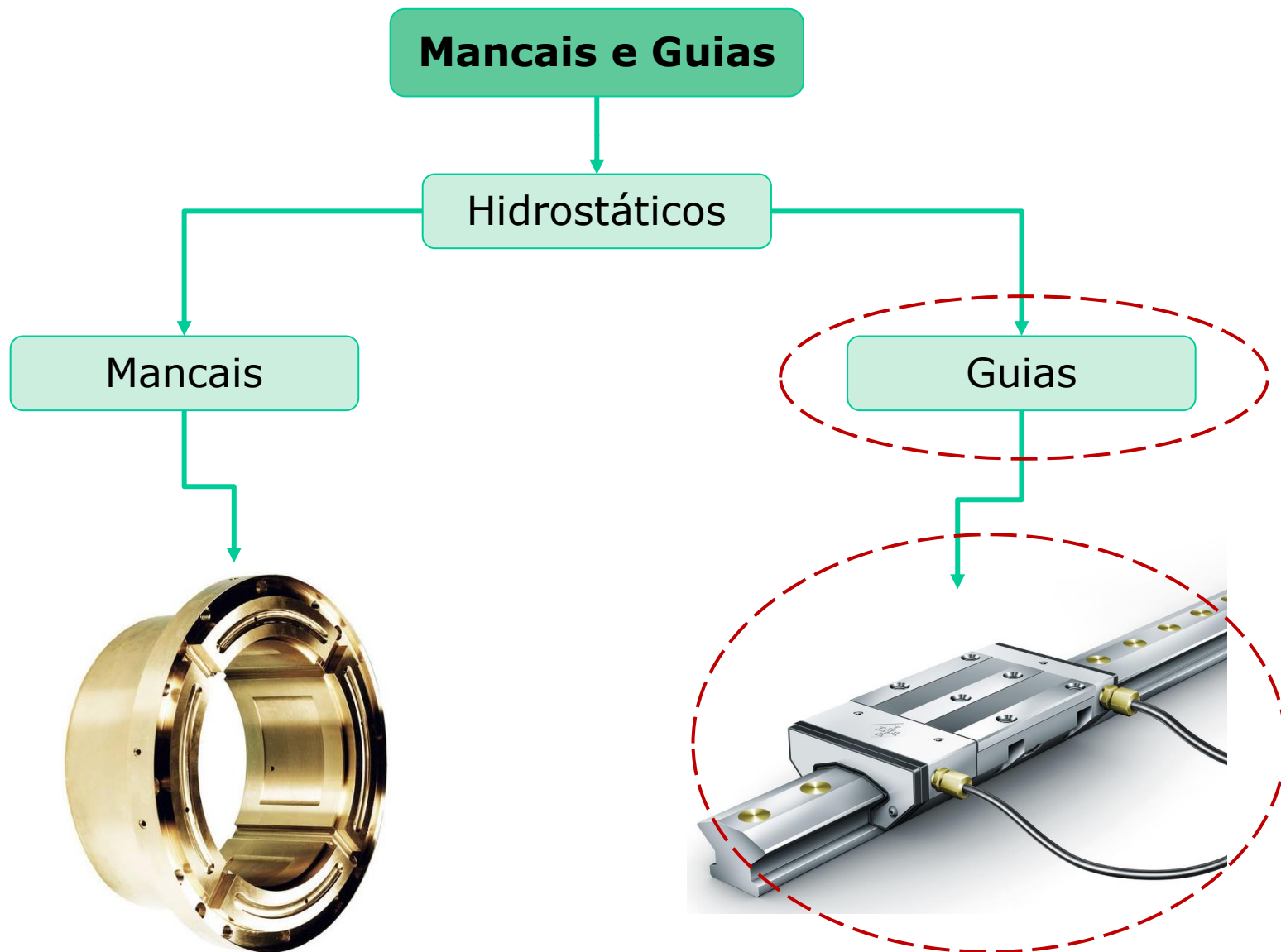
<https://www.youtube.com/watch?v=PN1VExrOxTo&t=31s>



Diamond Turning on a Professional Instruments Oil Hydrostatic Spindle

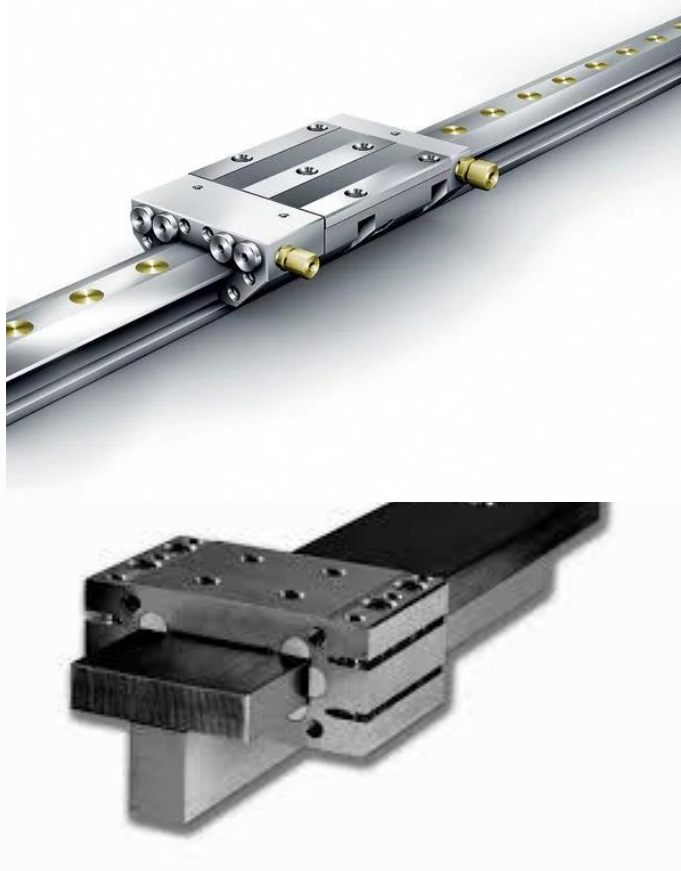


<https://www.youtube.com/watch?v=6EsvHIRhuBE>





Guias Hidrostáticas

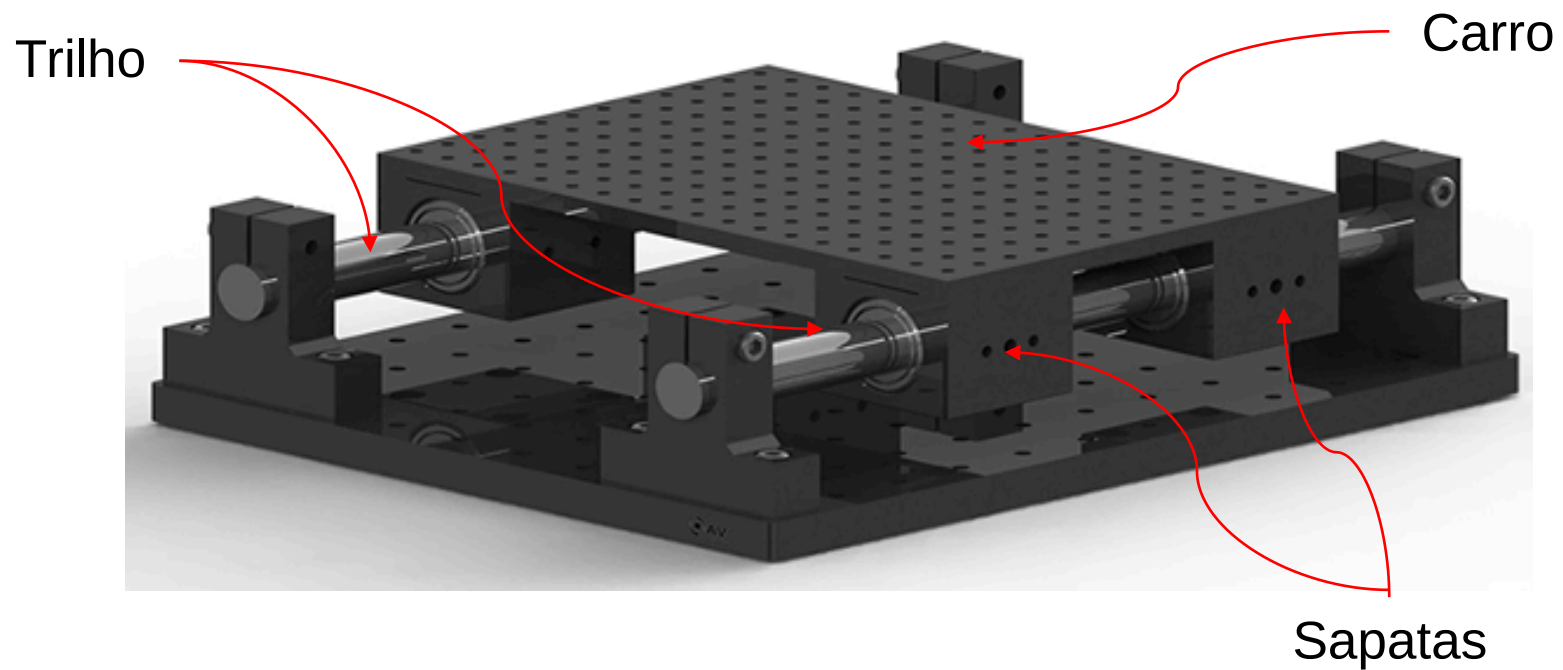


- **Guias** hidrostáticas são elementos de máquinas onde a separação das partes com movimento relativo, e a absorção dos carregamentos é resultado de um filme de óleo (ou outro líquido) cuja a pressão é fornecida por uma bomba externa.



Guias

Constituintes de um guia genérica





Motion Control Basics: Linear Stage Terminology - Aerotech



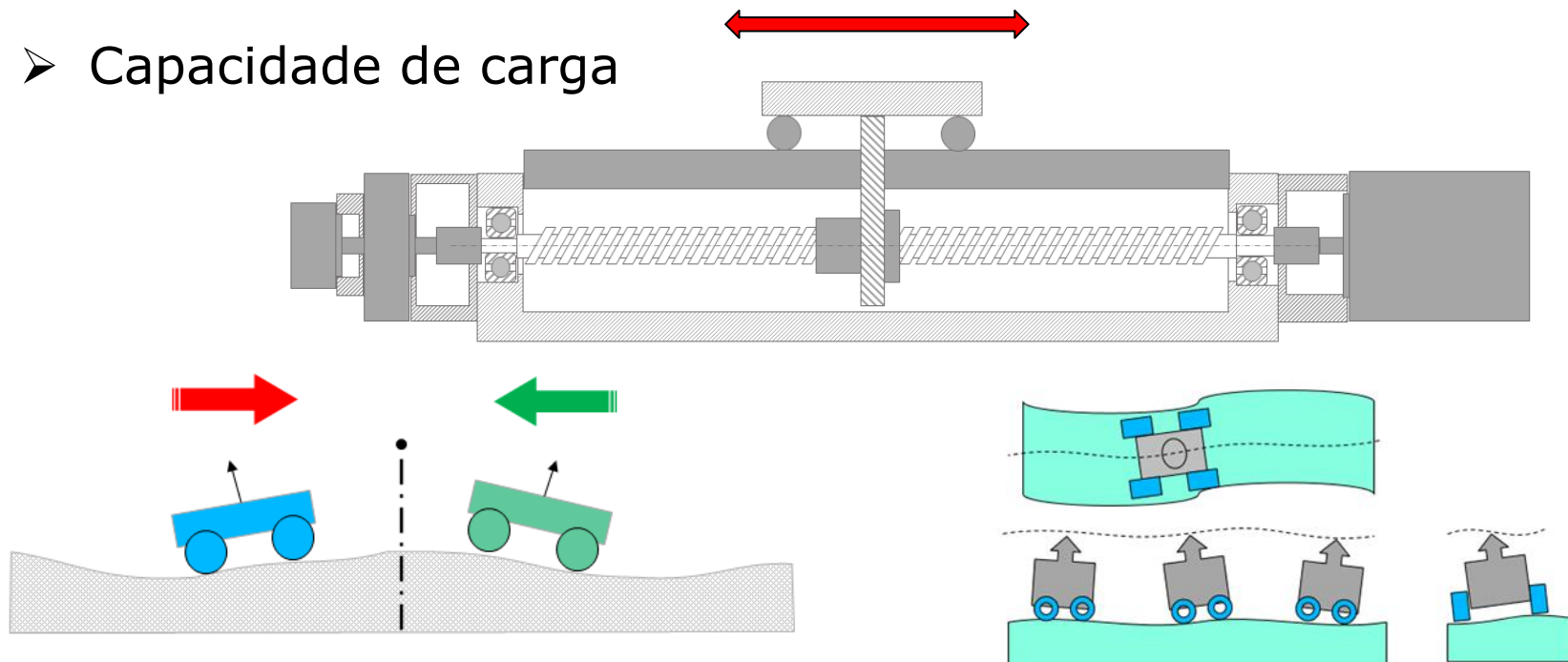
<https://www.youtube.com/watch?v=VCqvv6PMeco>



Guias

Requisitos de um guia genérica

- Movimento geometricamente precisos
- Posicionamento preciso e exato $\Rightarrow$ controlabilidade
- Movimento suave
- Capacidade de carga





Requisitos de um guia genérica

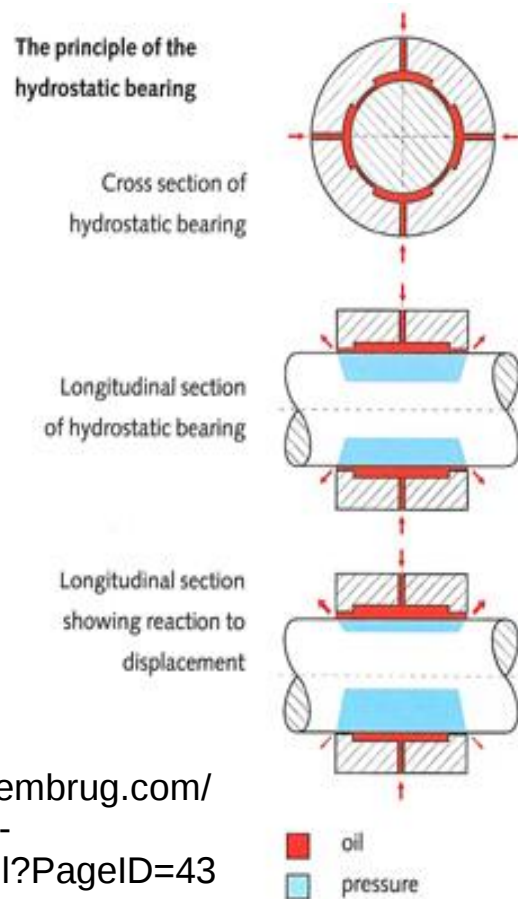
- rigidez
- velocidade de trabalho
- do tipo e intensidade dos carregamentos
- dimensões para instalação
- confiabilidade
- manutenibilidade
- adaptabilidade as condições de operação
- custos
- Desgaste
- amortecimento





Guias Hidrostáticas

Características



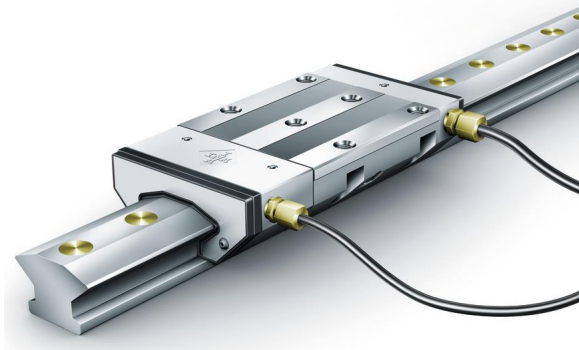
- Projeto complexo
- Fabricação complexa
- Baixa modularidade
- Sem atrito, desgaste e stick-slip
- Elevada capacidade de carga
- Sistemas de retorno e resfriamento
- Alta rigidez
- Elevado amortecimento
- Alta velocidade
- Problema de estabilidade térmica
- Elevada exatidão



Guias Hidrostáticas

Guias

hidrostáticas



Vantagens

- Movimento de cargas pesadas
- Movimentação suave
- Movimento preciso
- Controláveis

Desvantagens

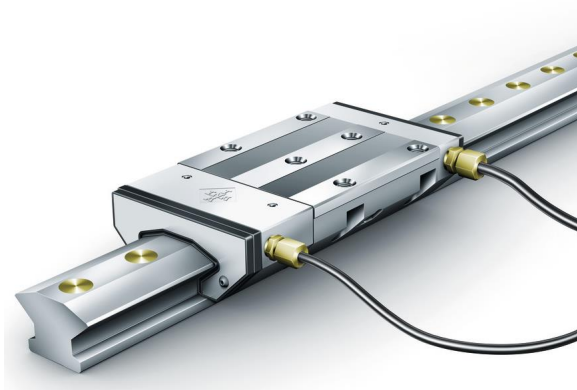
- Projeto complexo
- Fabricação
- Equipamento de retorno
- Geração de calor
- Equipamento de resfriamento
- Contaminação



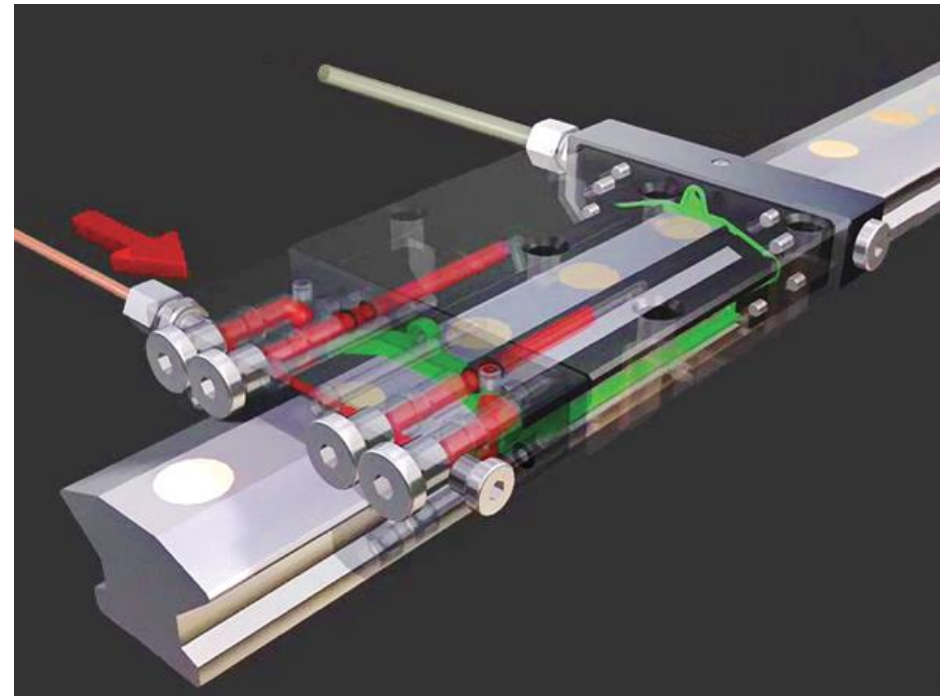
Guias Hidrostáticas

Guias

hidrostáticas



➤ Equipamento de retorno

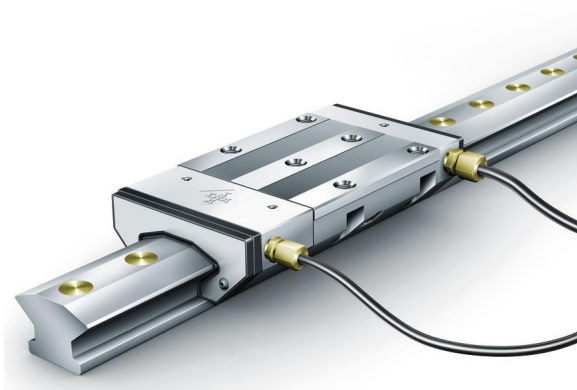




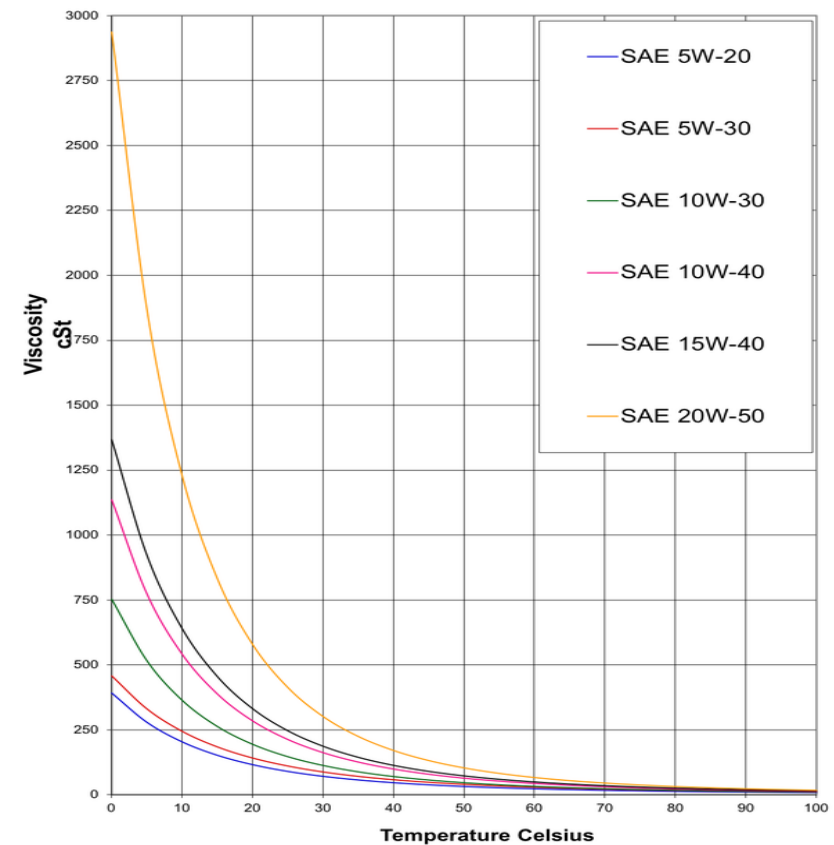
Guias Hidrostáticas

Guias

hidrostáticas



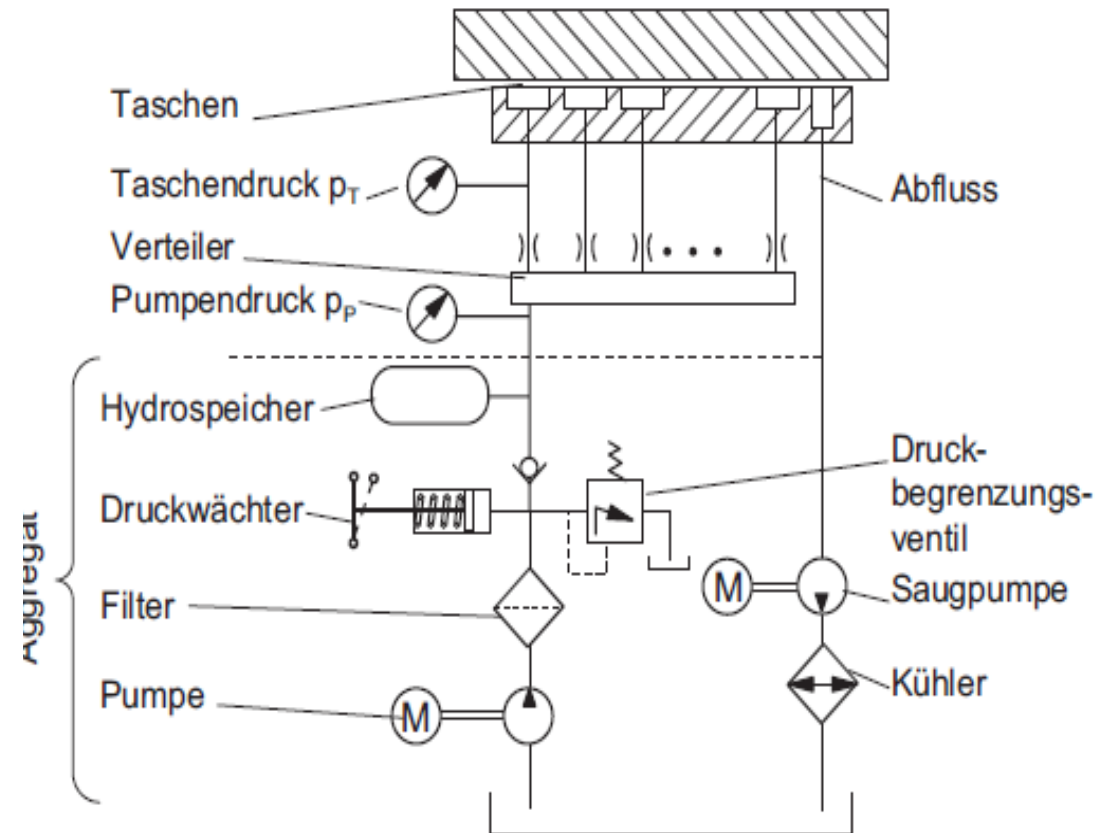
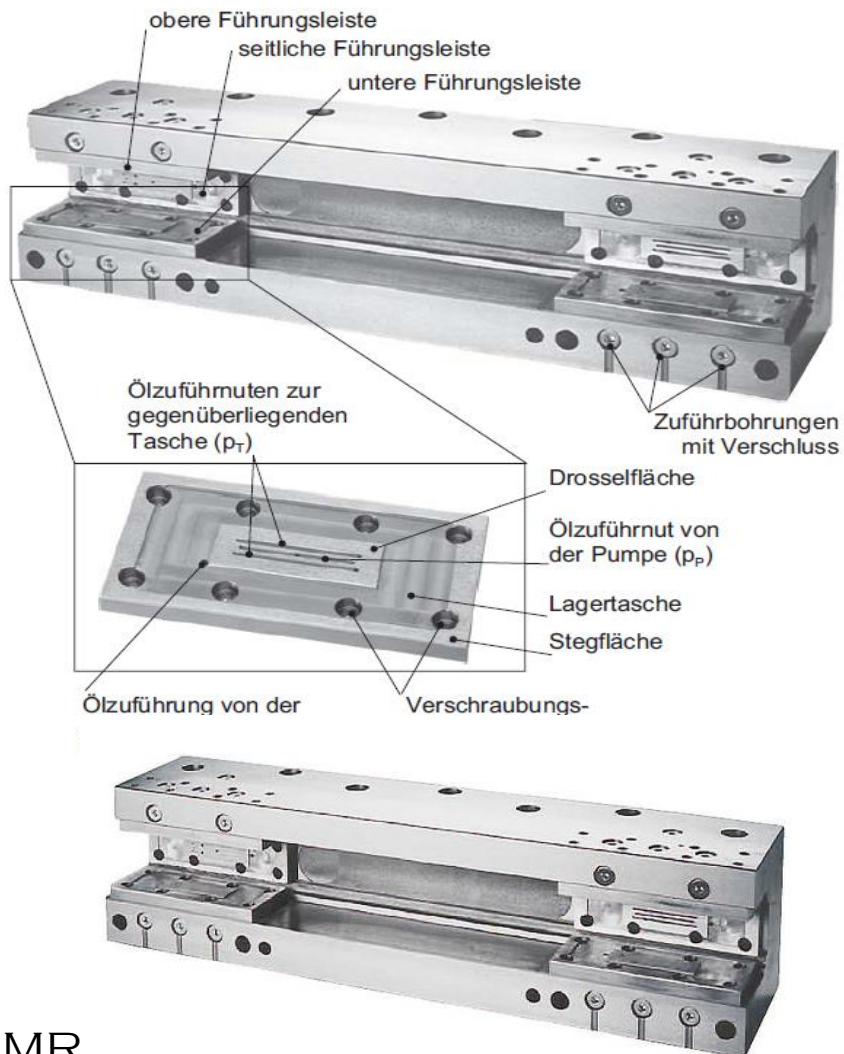
➤ Equipamento de resfriamento





Guias Hidrostáticas

Constituintes



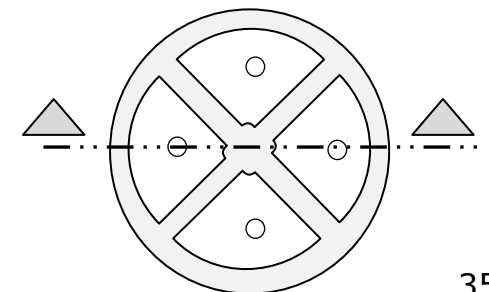
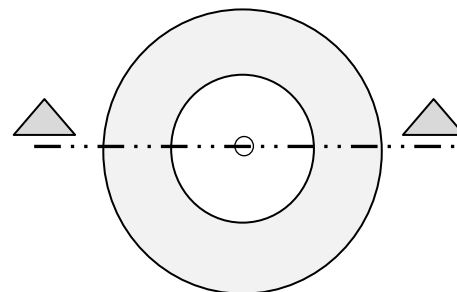
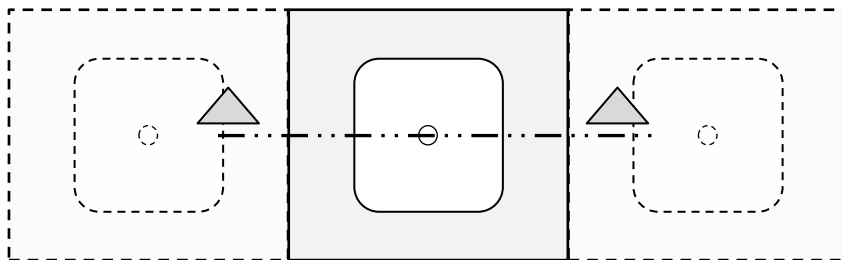
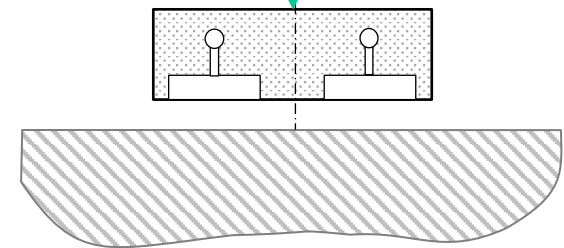
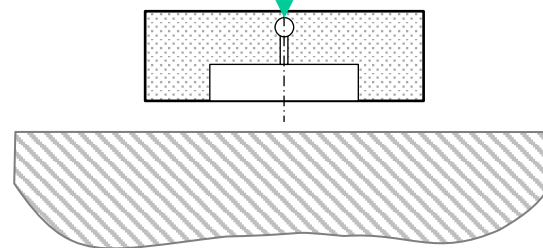
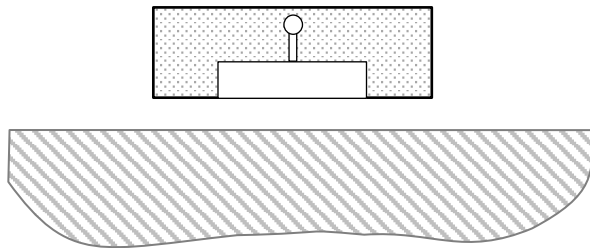


Guias hidrostáticas

Pads / Sapatas

Retangulares

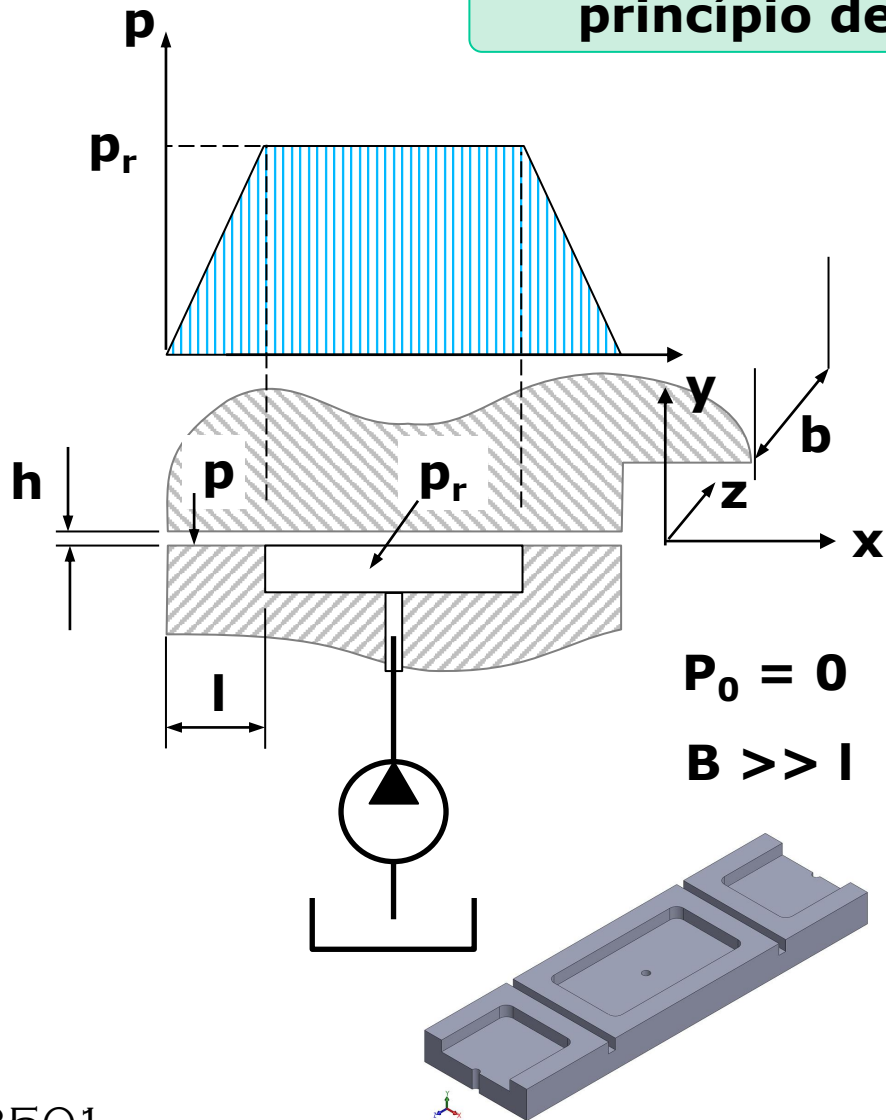
Circulares





Guias Hidrostáticas

princípio de funcionamento



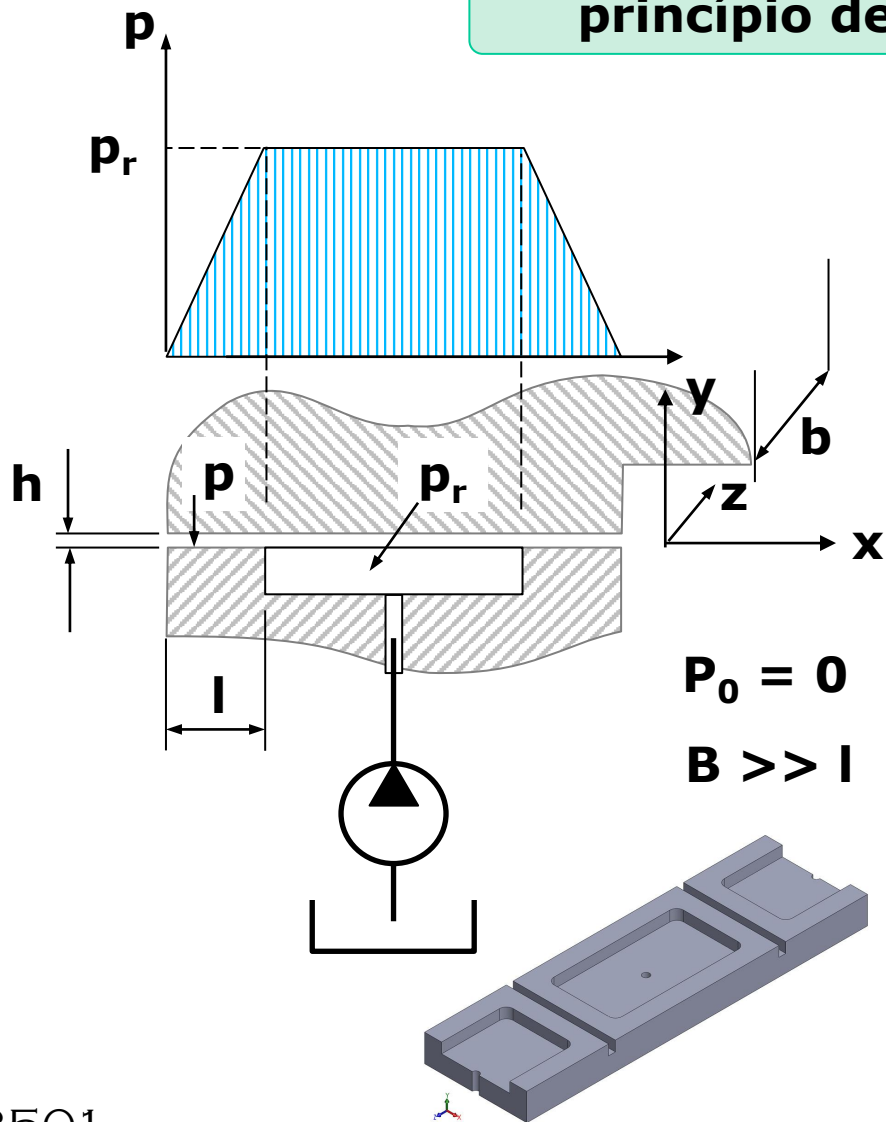
Assumindo:

- Existe um fluxo laminar entre superfícies planas.
- Só existe atrito viscosos
- Além das forças de compressão, as forças de empuxo também devem ser levadas em consideração (squeeze film effect).



Guias Hidrostáticas

princípio de funcionamento



Assumindo:

- Nenhum fluxo ocorre perpendicular ao plano YX, não há fluxo interno na direção Z. Temos:

$$(\tau + d\tau) dx - \tau dy - (p + dp) dy = 0$$

e

$$\frac{dp}{dx} = \frac{d\tau}{dz}$$

Então:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

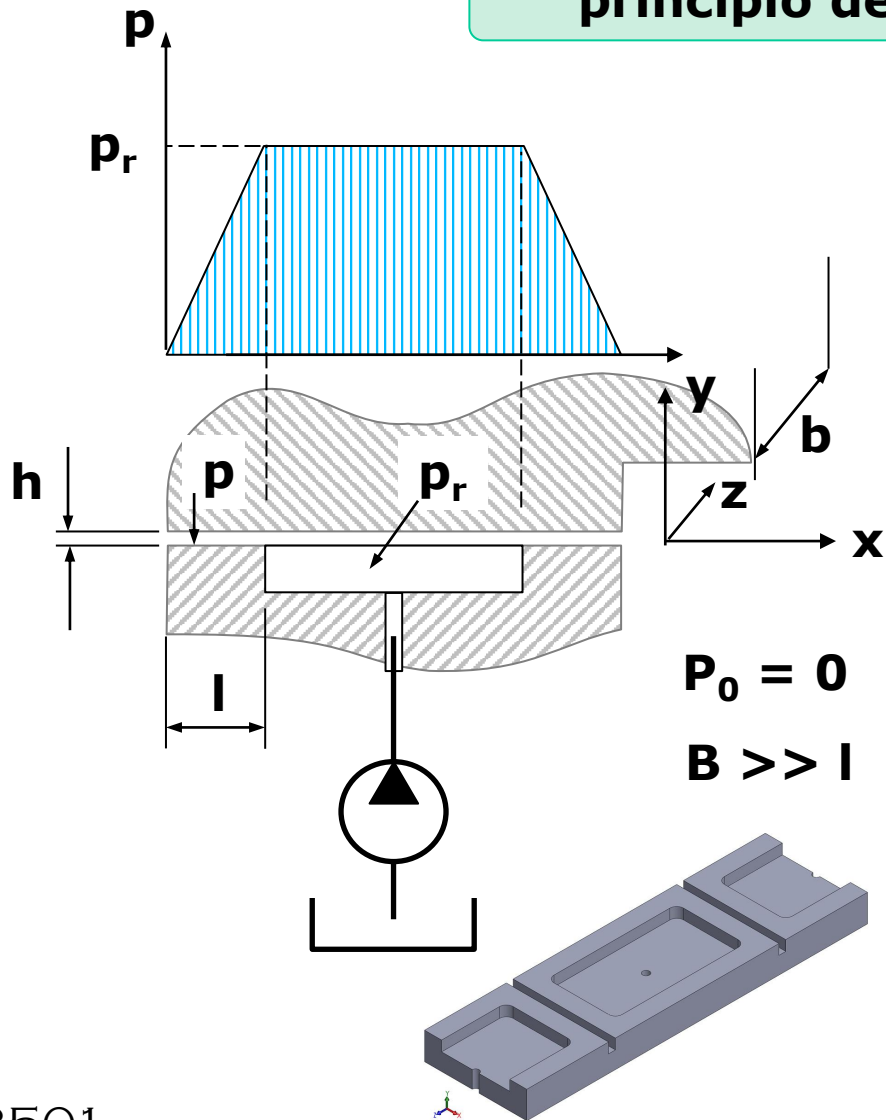
η = viscosidade dinâmica

$$\eta_{\text{óleo}} = 28000 \text{ e} - 6 \text{ Pa.s}$$



Guias Hidrostáticas

princípio de funcionamento



$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

η = viscosidade dinâmica

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

$$\frac{dp}{dx} = \eta \frac{d^2v}{dy^2}$$

Como: $\frac{dp}{dy} = -J = \text{constante}$

$$J = \frac{P_2 - P_1}{l}$$

$$\eta_{\text{óleo}} = 28000 \text{ e} - 6 \text{ Pa.s}$$

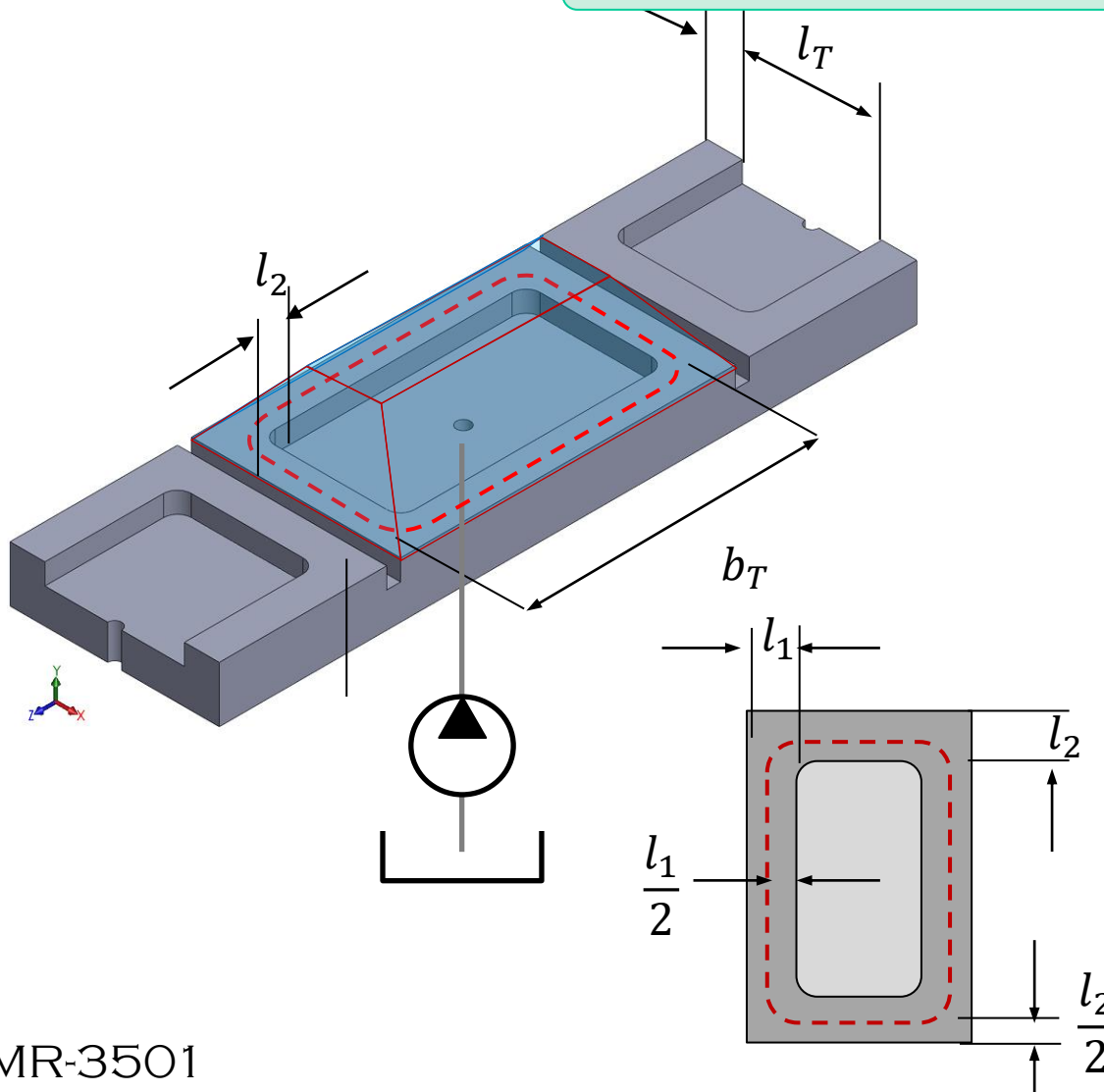
$$\text{➤ } Q = \frac{bh^3}{12}$$

$$\text{➤ } W = \frac{P_2 - P_1}{l}$$



Guias Hidrostáticas

princípio de funcionamento



$Q = \text{Vazão de óleo}$

$$Q = \frac{bh^3}{12\eta l} (p_2 - p_1)$$

➤ Como $p_1 = p_r$, e $p_2 = 0$ temos:

$$Q = \frac{bh^3}{12\eta l} (p_r)$$

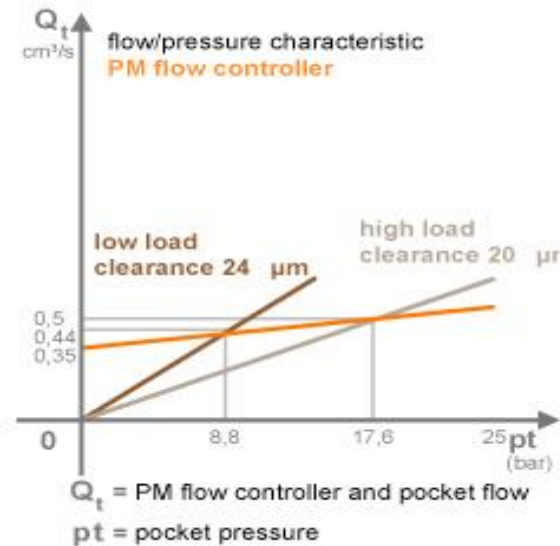
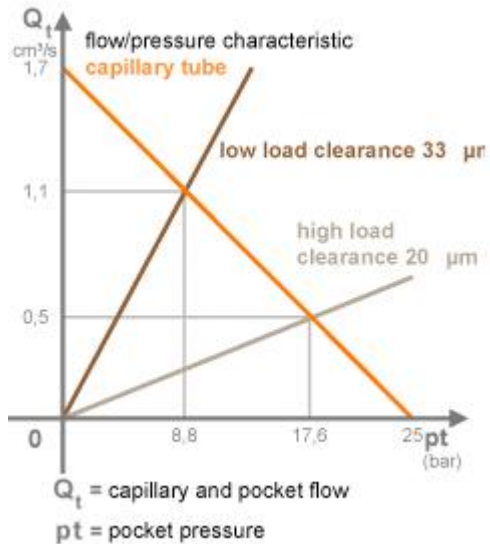
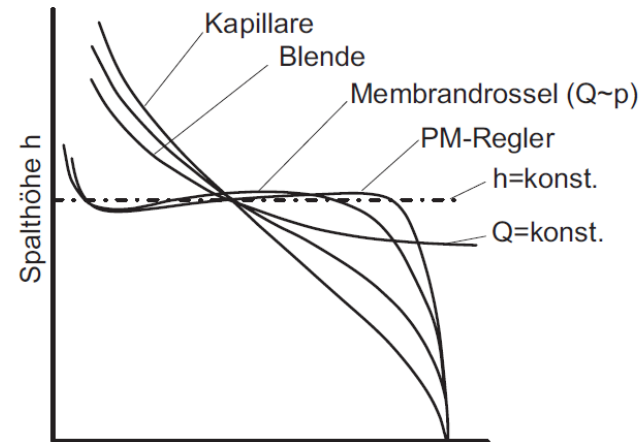
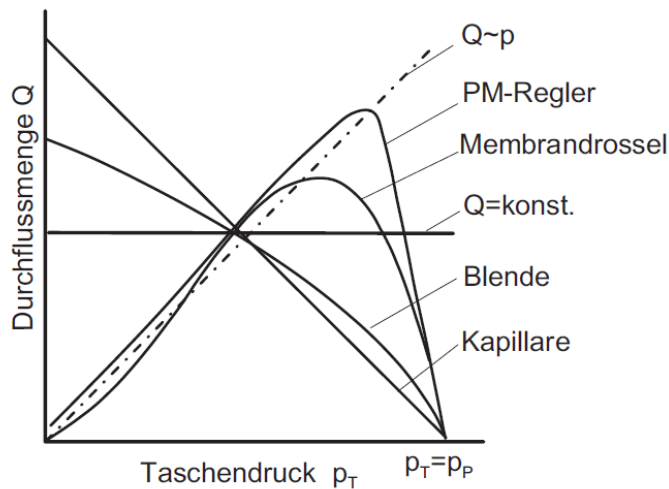
$W = \text{Capacidade de Carga}$

$$W = \frac{12 Q \eta l A_{eff}}{b h^3}$$



Guias Hidrostáticas

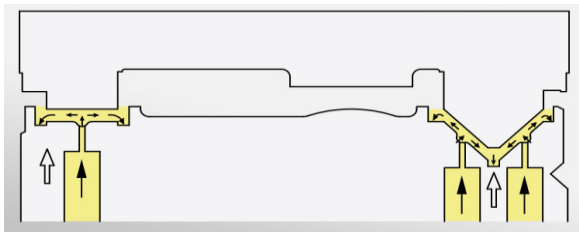
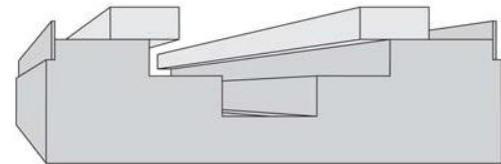
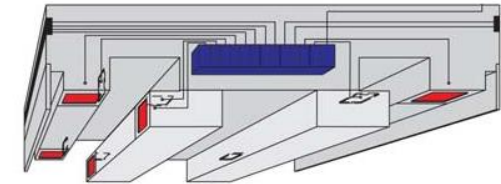
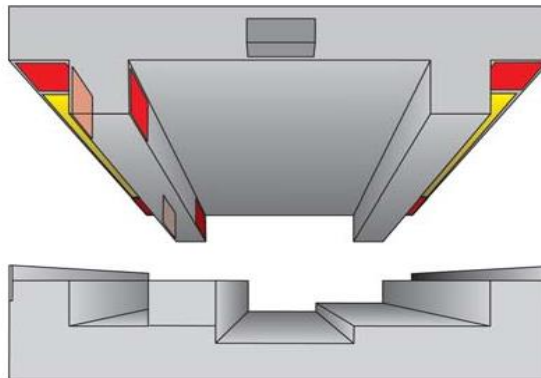
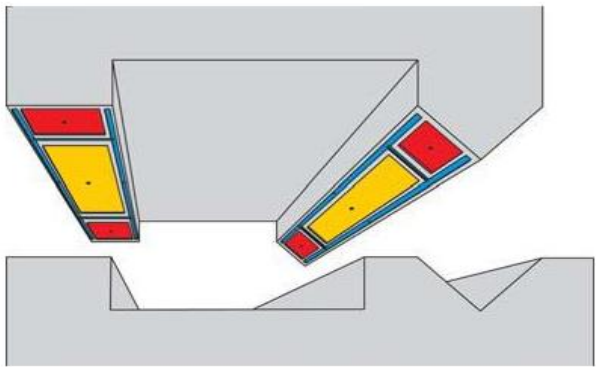
Efeito do tipo de restritor de fluxo





Guias Hidrostáticas

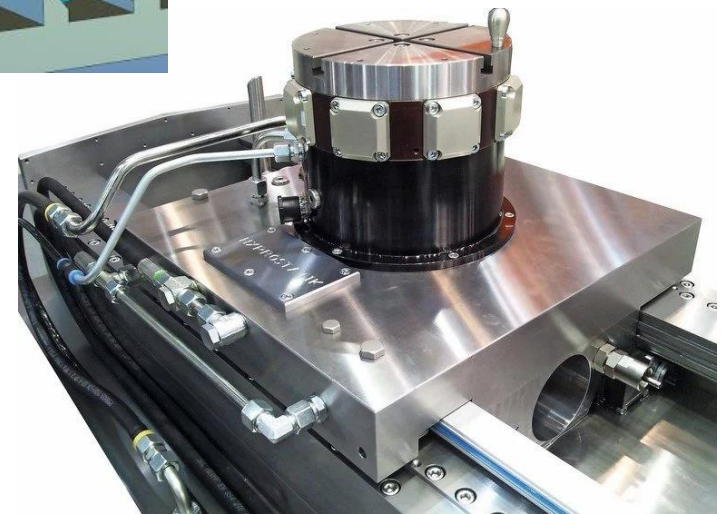
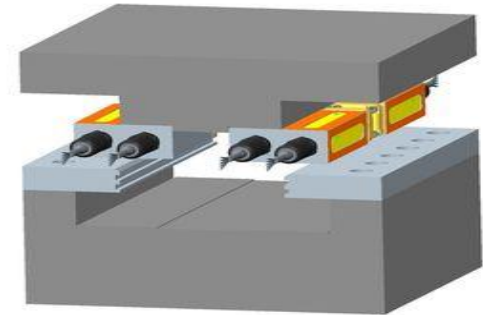
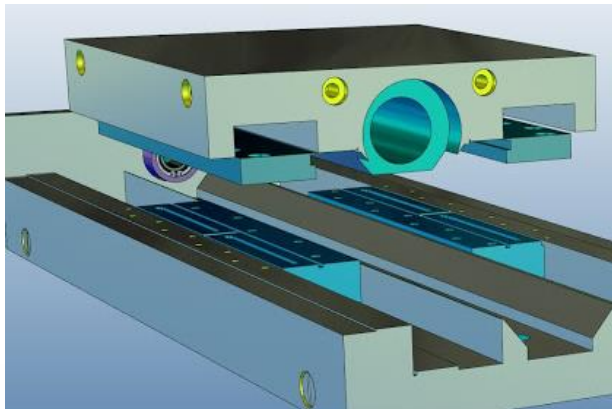
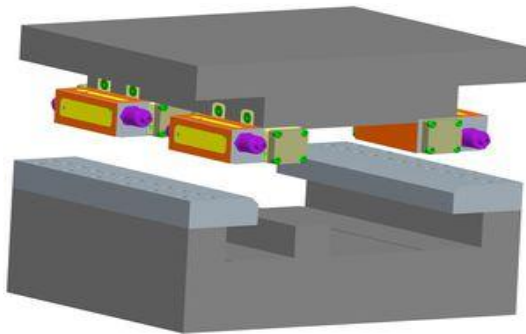
Tipos construtivos





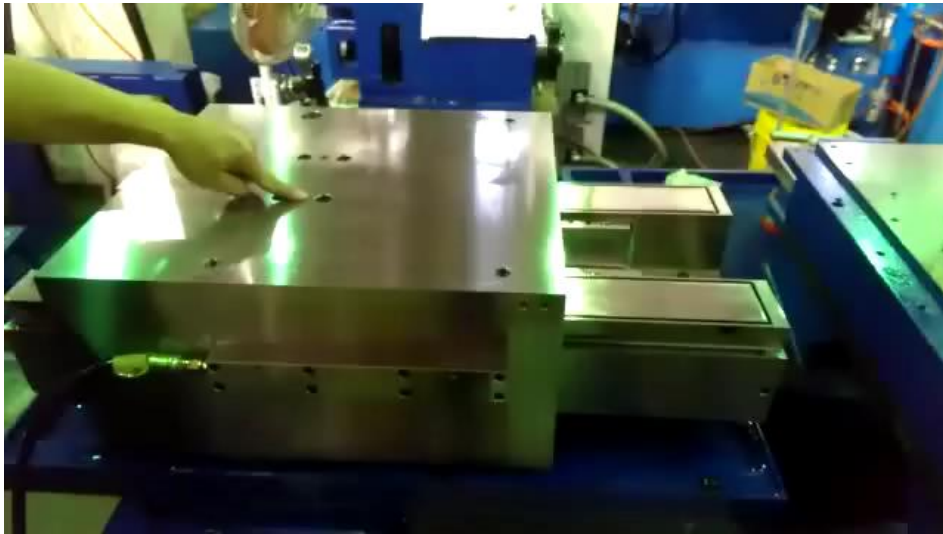
Guias Hidrostáticas

Tipos construtivos





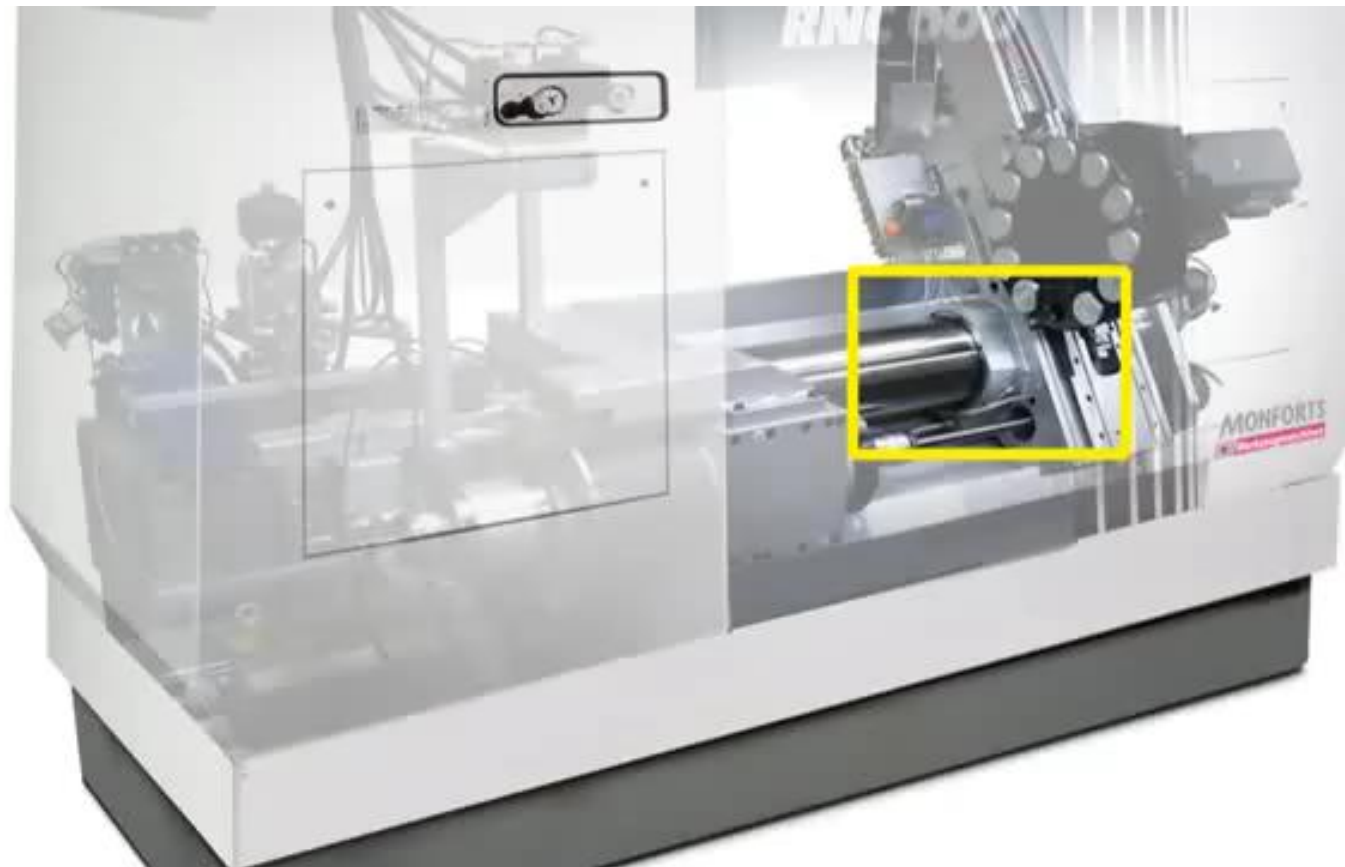
Weibo Hydrostatic Guideway



<https://www.youtube.com/watch?v=15bis0Z6cEc>



Monforts Hydrostatik



<https://www.youtube.com/watch?v=Oe-JStsN-Wo>



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FIM DA AULA