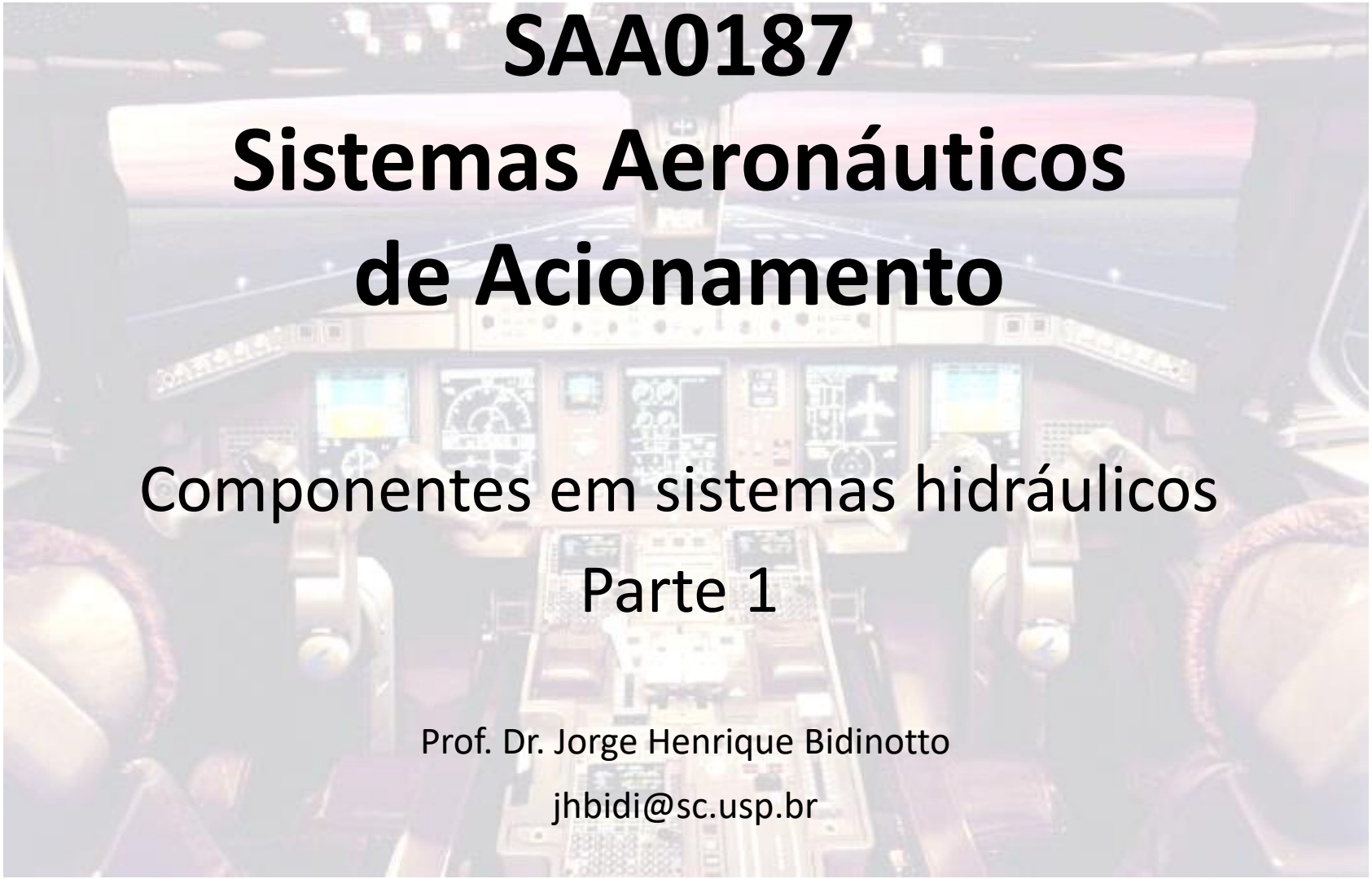


SAA0187
Sistemas Aeronáuticos de Acionamento

Componentes em sistemas hidráulicos
Parte 1

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto

jhbidi@sc.usp.br

Sumário

- Fluido hidráulico
- Tubulação hidráulica
- Filtros
- Reservatórios

Sumário

- **Fluido hidráulico**
- Tubulação hidráulica
- Filtros
- Reservatórios

Fluido hidráulico

- Constituem o meio para a transferência de energia em qualquer sistema hidráulico, devendo ser compatíveis com os componentes do sistema, favoráveis a adequada operação deste sob condições variadas como em ambientes agressivos, variações de temperatura.

- **Propriedades:**
  - Ter baixa compressibilidade para transmitir integralmente as pressões exercidas sobre ele
  - Lubrificar os componentes do sistema prevenindo seu desgaste excessivo
  - Lavar as peças levando os detritos até o filtro onde serão separados
  - Refrigerar as áreas sujeitas a geração de calor, levando o calor até os trocadores de calor
  - Vedar os pontos de vazamento através de folgas de válvulas e outras peças sujeitas a movimentação

Fluido hidráulico

- **Propriedades – cont.**
  - Escoar nos dutos sem gerar grande atrito, calor, evitando consumo extra de energia e atraso nos movimentos de atuadores
  - Proteger o sistema contra a corrosão
  - Resistir a oxidação e outras transformações químicas que resultem na formação de depósitos
  - Resistir a formação de espuma para assegurar o funcionamento suave e contínuo do sistema
  - Não atacar os retentores e demais elementos de vedação
  - Não obstruir os filtros
  - Ser resistente ao fogo
  - Manter propriedades físicas e químicas em temperaturas variadas

Fluido hidráulico

- **Principais finalidades:**
  - Transmitir potência.
  - Lubrificar as partes móveis reduzindo o atrito.
  - Dissipar calor.

- **Idealmente, espera-se do fluido hidráulico:**
  - Baixa (ou o mais baixa possível) variação de viscosidade com a temperatura
  - Baixa compressibilidade
  - Baixo ponto de fusão
  - Alto ponto de ebulição
  - Ser facilmente resfriável

Fluido hidráulico

- **Histórico**
- Primeiras tentativas: água
  - Principais problemas: faixa limitada de temperatura (0 a 100°C), características lubrificantes muito ruins, baixa viscosidade.
- Glicerina
  - Temperatura de congelamento mais baixa e maior viscosidade, mas possui concentração variável, acelera a corrosão e não é bom lubrificante.
- Óleos vegetais
  - Mistura de borracha natural e óleo usada no passado sistemas de freios.
  - Facilmente inflamáveis, necessitam de vedação de borracha natural (ruim para outros fluidos).
  - Cor: Azul.
  - Especificação: MIL-H-7644.

Fluido hidráulico

- **Histórico**
- Óleos minerais
  - A base de derivados de petróleo, ainda são usados.
  - Utilizam vedação de borracha sintética, têm baixa variação da viscosidade, são inflamáveis, temperatura de trabalho até ~130°C.
  - Cor: vermelha.
  - Especificação: MIL-H-5606 (USA), DTD585(UK), AIR320(França).
- Óleos sintéticos - Skydrol
  - A base de fosfato de éster são os mais usados atualmente.
  - Pouco inflamáveis, bom desempenho a baixa temperatura, não agride componentes de metais como alumínio e aço, pouco tóxico
  - Propriedades lubrificantes
  - Requer cuidados no manuseio (irritações e poluentes)
  - Maior faixa de temperaturas de operação
  - Cor: púrpura.

Fluido hidráulico

- **Denominações comerciais**
- Principais fluidos utilizados atualmente na aviação militar:
  - DTD 585 (Reino Unido)
  - MIL-H-5606 (EUA)
  - AIR 320 (França)
  - H 515 (Região da OTAN)
- Principais fluidos utilizados atualmente na aviação civil:
  - Solutia Skydrol LD-4, Skydrol 500B-4 ou Skydrol 5
  - Exxon Type IV HJ4AP ou Type V HJ5MP

Fluido hidráulico

- **Comentários**
- Tem-se como padronização o uso da pressão do fluido em 3.000 psi ou 4.000 psi
- Atualmente, com o aumento da demanda, fala-se em modificar esse padrão para algo entre 5.000 psi a 8.000 psi
- Se isso realmente acontecer, vários componentes dos sistemas terão que ser revistos, para suportar essa pressão
- Dependendo o tipo de fluido, sua temperatura de trabalho é limitada entre 130°C e 200°C

Fluido hidráulico

- **Comentários – cont.**
- Essa limitação é importante, pois alguns tipos de fluido são inflamáveis
- A temperatura do fluido hidráulico é monitorada o tempo todo no cockpit
- Caso necessário, o fluido pode ser resfriado pela troca de calor com o combustível
- Cada sistema hidráulico opera apenas com um tipo de fluido. A utilização de outro tipo causa problemas com vedações.

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Densidade**
- Peso específico, γ (em N/m^3):
  - Peso da substância por unidade de volume
- Densidade, ρ (em kg/m^3):
  - Massa da substância por unidade de volume

$$\rho = {}^{\gamma}/_{g}$$

- Densidade relativa, ou "Specific Gravity" σ ou SG:
  - Razão entre a densidade (ou peso específico) de uma substância numa certa temperatura e a densidade (ou peso específico) da água na mesma temperatura.

Exemplos	$\gamma\ (N/m^3)$	$\rho\ (\mathrm{kg}/m^3)$	σ
Água	9797	1000	1
Óleo mineral – OM15	8327	850	0,85
Óleo sintético – Skydrol 500	11266	1150	1,15

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Densidade**
- Implicações no projeto de sistemas hidráulicos
  - Quando um escoamento atravessa restrições (ex.: válvulas), a densidade tem influência na queda de pressão resultante.
  - Fluidos de alta densidade necessitam de válvulas de grandes dimensões. Fluidos de baixa densidade precisam de válvulas com aberturas pequenas.
  - Pequenas válvulas são de difícil manufatura e utilização de filtros de grande precisão. Baixa densidade pode dificultar a vedação de pequenas aberturas.
  - Nas bombas, é a massa de cada unidade de volume que resiste a aceleração e portanto define a energia consumida.

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Compressibilidade**
- A densidade varia em função da temperatura e pressão (aproximação linear):

$$\rho = \rho_0 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial P}\right)_T \times (P - P_0) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial P}\right)_P \times (T - T_0)$$

$$\rho = \rho_0 \times \left[1 + \frac{1}{\beta} \times (P - P_0) - \alpha \times (T - T_0)\right]$$

$$\beta = \rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T = -V_0 \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$$

Módulo volumétrico de compressibilidade
Variação do volume em relação a pressão (temp. cte)

$$\alpha = -\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_P = \frac{1}{V_0}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

Coeficiente de expansão cúbica
Variação do volume em relação a temperatura (pressão cte)

Fluido hidráulico

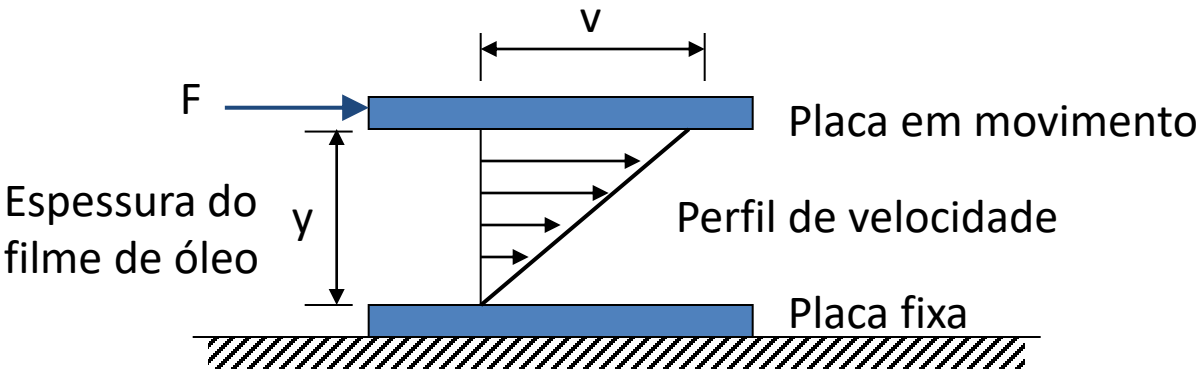
- **Propriedades físicas – Compressibilidade**
- Módulo volumétrico de compressibilidade – também chamado de Bulk Modulus

Exemplos	(N/m^2)
Água	$20x10^8$
Óleo mineral – OM15	$18x10^8$
Óleo sintético – Skydrol 500	$26x10^8$

- Implicações no projeto de sistemas hidráulicos:
  - A compressão de um fluido sob pressão tem efeito equivalente ao de uma mola.
  - Para um atuador, não é possível estender a faixa de operação em frequência além da frequência de ressonância do atuador (resultante da composição 'fluido/mola + massa/inércia').
  - Efeito 'martelo' (water hammer): ondas de alta pressão que se propagam ao longo da tubulação, causando oscilações.

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Viscosidade**
- Resistência de um fluido ao escoamento
- Viscosidade absoluta μ ($10\ Poise\ \equiv 1\ Pa \cdot s\ \equiv 1\ N \cdot s/m^2$)
  - Devido a viscosidade o óleo adere a ambas as superfícies, resultando em um perfil de velocidade linear, com inclinação v/y.



$$F = \mu \frac{A \cdot v}{y}$$

Viscosidade absoluta ← $\mu = \dfrac{\tau}{v/y}$ → Inclinação do perfil de velocidade

τ → Tensão de cisalhamento do fluido

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Viscosidade**
- Viscosidade absoluta μ ($10\ Poise\ \equiv 1\ Pa \cdot s\ \equiv 1\ N \cdot s/m^2$)
  - Para valores unitários de y, v e da área das placas:

$$\mu = \frac{\tau}{v/y} = \frac{\tau}{1/1} = F$$

  - É a força necessária para mover uma placa plana de área unitária, por uma distância unitária em relação a uma placa fixa, com velocidade relativa unitária, quando o espaçamento entre as placas está preenchido com o fluido.

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Viscosidade**
- Viscosidade cinemática v (m^2/s)
  - Para valores unitários de y, v e da área das placas:

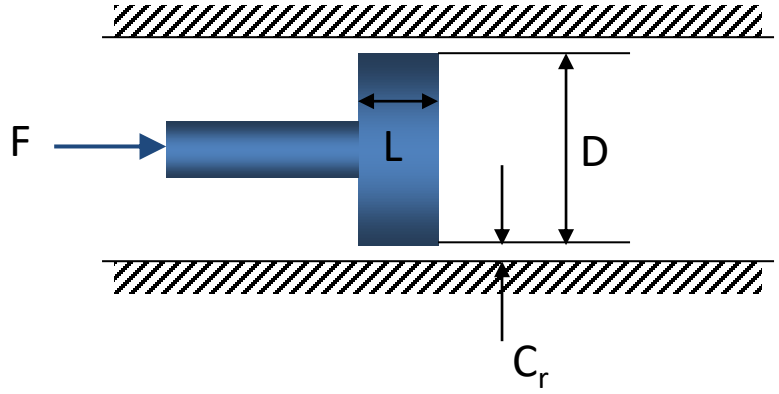
$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

μ → Viscosidade absoluta

ρ → Densidade

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Viscosidade**
- Viscosidade como amortecimento:
  - A força necessária para ocasionar um movimento relativo é proporcional a velocidade e área de contato, e inversamente proporcional a espessura do filme:



$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{\dot{x}}{C_r}$$

Área de contato

Viscosidade

Espessura do filme

$$F = \left(\mu \cdot \frac{D \cdot L \cdot \pi}{C_r}\right)\dot{x} = b\dot{x}$$

Amortecimento

Fluido hidráulico

- **Propriedades físicas – Viscosidade**
- Implicações no projeto de sistemas hidráulicos:
  - Alta viscosidade auxilia no controle de vazamentos através de pequenas aberturas, mas restringe o fluxo em tubulações.
  - Influencia o vazamento entre baixa e alta pressão em bombas e motores, afetando seu desempenho.
  - Atua como amortecimento para o sistema de controle.
  - A viscosidade é fortemente influenciada pela temperatura (e também um pouco pela pressão).
  - Consequentemente, a viscosidade limita a faixa de temperatura que um circuito pode operar.

Sumário

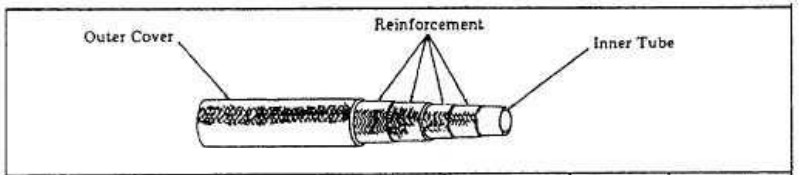
- Fluido hidráulico
- **Tubulação hidráulica**
- Filtros
- Reservatórios

Tubulação hidráulica

- **Tubos hidráulicos**
  - Linhas de alta pressão são feitas de titânio
  - Linhas de retorno são feitas de liga de alumínio (pressões médias e baixas), exceto nas baias de trens de pouso e naceles onde são de aço inox
  - A tubulação é metálica e deve suportar o escoamento do fluido considerando aplicação de todos os sistemas ao mesmo tempo (mais uma margem de segurança)
  - O caminho da tubulação deve ter o mínimo de curvas possível
  - A tubulação de diferentes sistemas deve passar por caminhos diferentes, como forma de segregação

Tubulação hidráulica

- **Mangueiras**
  - Para conectar partes móveis a partes fixas ou em regiões com alto nível de vibração
  - Para linhas de médias e baixas pressões são compostas por um tubo interno de borracha sintética, reforçado por malhas de aço inox
  - Vantagem de ser inerte quimicamente aos fluidos, durável, faixa variada de temperatura



Construction Material			Intended Use	Cautions	Use To Fabricated Hose Assy
Inner Tube	Reinforcement	Outer Cover			
Synthetic rubber compound, seamless construction, resistant to: Petroleum base fuel, Lubricating oil and Hydraulic fluid	Inner cotton braid and wire braid	Synthetic rubber inpregnated, cotton braid, resistant to: Oil (petroleum base)	Medium pressure hydraulic, fuel, and petroleum base oil system applications		MIL-H-8795

Sumário

- Fluido hidráulico
- Tubulação hidráulica
- **Filtros**
- Reservatórios

Filtros

- As características do fluido hidráulico têm efeito crucial no desempenho e vida útil do equipamento.
- O fluido deve estar sempre limpo.
- Deve ser realizada troca periódica, onde a frequência depende do fluido e das condições de operação. Pode resultar em aumento da viscosidade e da acidez.

Filtros

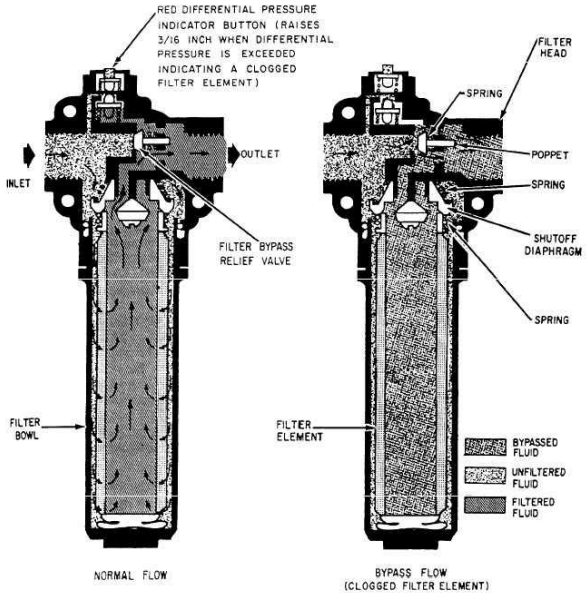
- Contaminação de fluido hidráulico

Abrasivos

- Limalhas e partículas de sujeira
- Implicam em desgaste de partes móveis do sistema

Não abrasivos

- Provenientes de oxidação e reações químicas do fluido
- Implicam em corrosão de partes e deterioração da vedação



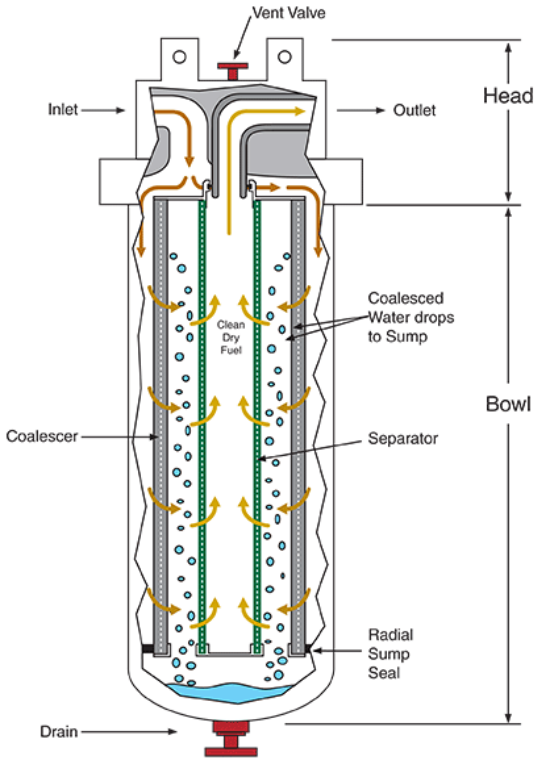
Filtros

- Necessários para manter o fluido livre de partículas

- Possuem malhas metálicas de diferentes padrões:
  - 5 – 15 microns
  - 15 – 25 microns
  - 25 – 50 microns
  - 50 – 100 microns
  - Acima de 100 microns

- O uso da(s) melhor(es) malha(s) se baseia no tipo de aeronave e normalmente em experiências anteriores

Filtros


Vent Valve
Inlet
Outlet
Head
Coalesced
Water drops
to Sump
Clean
Dry
Fuel
Bowl
Coalescer
Separator
Radial
Sump
Seal
Drain

Sumário

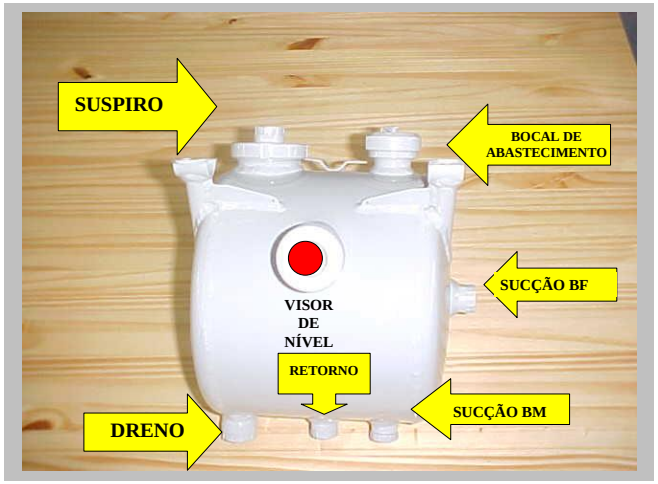
- Fluido hidráulico
- Tubulação hidráulica
- Filtros
- **Reservatórios**

Reservatórios

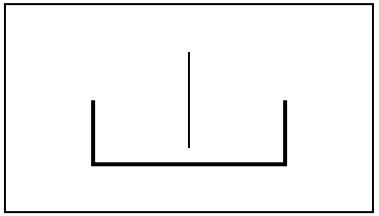
- Funções:
  - Armazenam o fluido hidráulico
  - Reabastecer o sistema alimentando a bomba
  - Fornecer espaço para variações de volume do fluido
  - Dissipar calor
  - Manter reserva de fluido para emergências

Reservatórios

- **Tipos:**
  - Abertos (não-pressurizados)

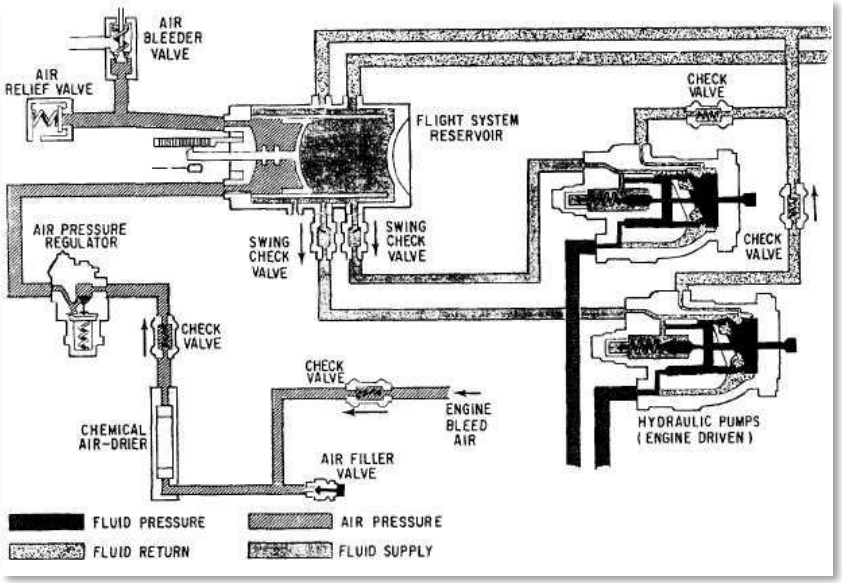


SIMBOLOGIA



Reservatórios

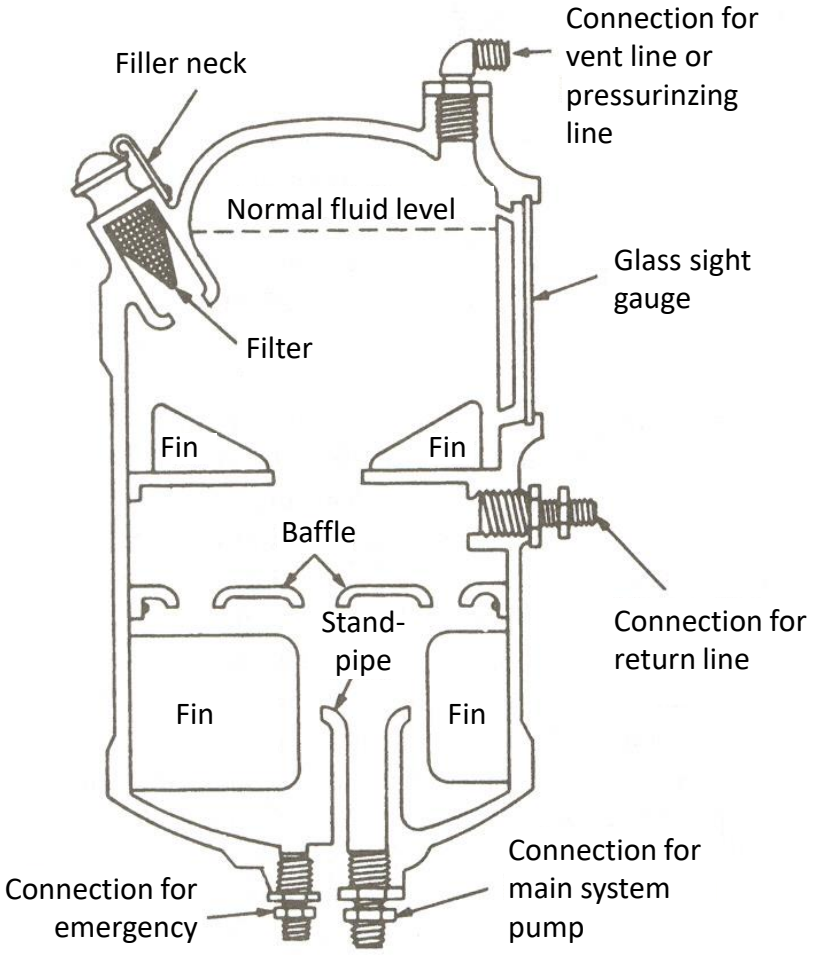
- **Tipos:**
  - Fechados (pressurizados)
    - pressão interna de cerca de 4 bar, mantida através de uma tomada de ar alimentada a partir:
      - do sistema de pressurização da cabine
      - do compressor da turbina + regulador de pressão.



Reservatórios

- **Arquitetura interna:**

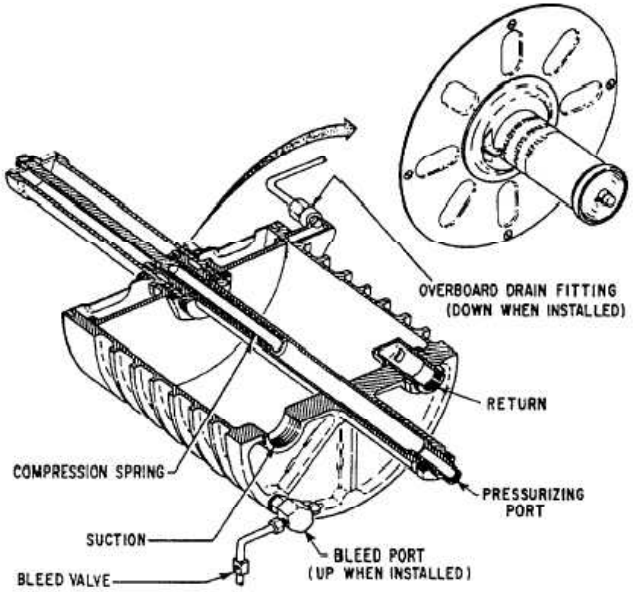
- Reservatório não pressurizado: conexão com a atmosfera (vent line).
- Visor (glass sight gauge): utilizado para verificação do nível do fluido.
- Filtro para impedir a entrada de impurezas no tanque.
- Aletas (baffle, fins): reduzem a mistura do fluido com o ar no tanque.
- Stand-pipe: isola a parte inferior do tanque para conexão de emergência garantindo uma quantidade mínima no caso de vazamentos.



Reservatórios

- **Arquitetura interna:**

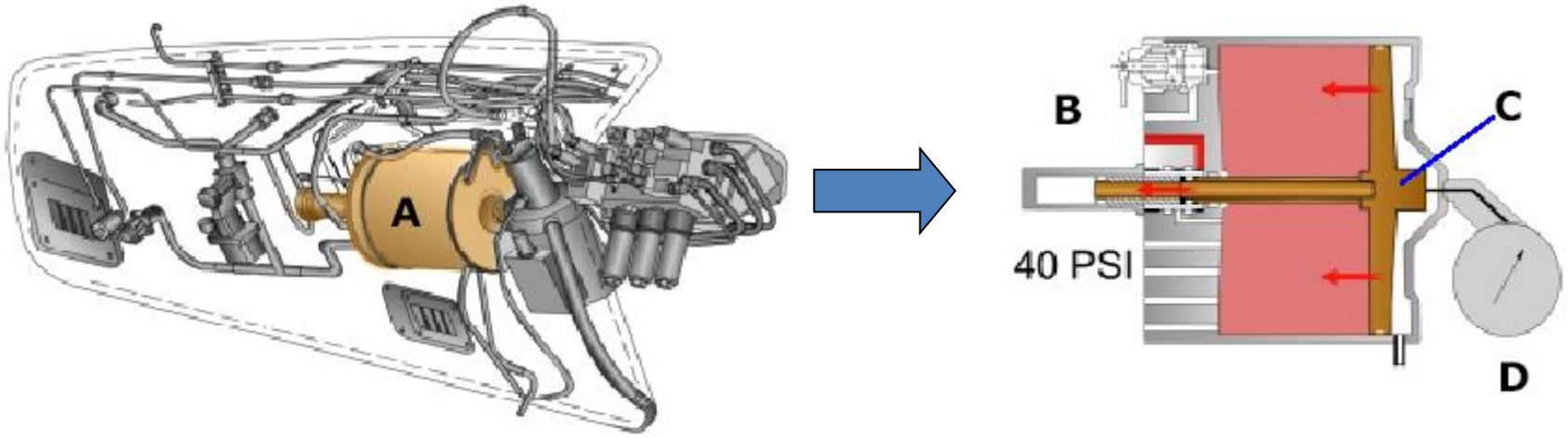
- Reservatório com atuador



Reservatórios

- **Arquitetura interna:**

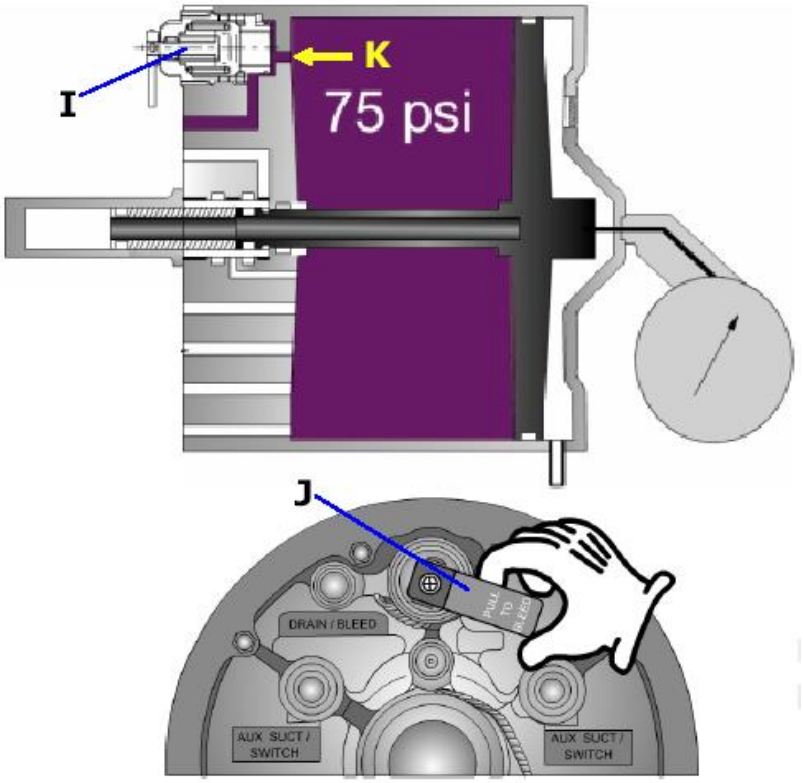
- Reservatório com atuador



Reservatórios

- **Arquitetura interna:**

- Reservatório com atuador



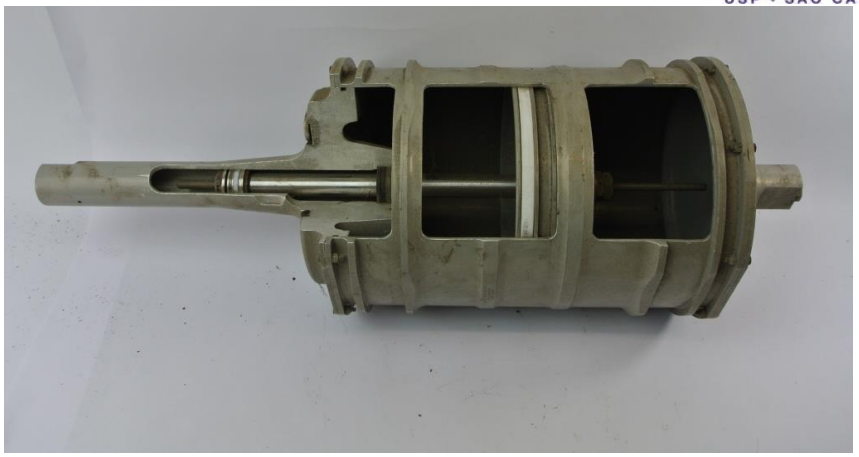
Reservatórios

- **Considerações de projeto:**

- Deve ser dimensionado para suportar todo o fluido da linha em uma condição em que nenhum sistema esteja acionado (mais uma margem de segurança)

- Em aeronaves acrobáticas deve ser lacrado, pressurizado e sem contato com o ar externo. Deve armazenar adequadamente em qualquer atitude da aeronave e qualquer fator de carga

Reservatórios



Referências

- Stinton, D., The anatomy of the aeroplane
- Stinton, D., The design of the aeroplane
- Etkin, Bernard, Dynamics of flight
- Moir, I. Aircraft systems : mechanical, electrical, and avionics subsystems integration
- Roskam, J, Airplane Design – Part IV

FIM