



**Universidade do Porto**

**FEUP** Faculdade de  
Engenharia

DEMec - Dep. de Engenharia Mecânica  
SAIC- Secção de Automação, Instrumentação e Controlo  
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

## **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos**

3º Ano - 1º Semestre  
2012-2013

**Pneumática**

**Acetatos de Apoio às Aulas Teórico-práticas**

**Paulo Augusto Ferreira de Abreu**

**Edição de 2012**

Este trabalho destina-se exclusivamente ao apoio das aulas da unidade curricular de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica do DEMec, FEUP. A sua reprodução e/ou distribuição fora deste âmbito requer o consentimento prévio e por escrito do autor.



## Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

Paulo Abreu  
2012/2013

Secção de Automação, Instrumentação e Controlo  
Dep. de Engenharia Mecânica  
Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

Rua Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal  
Tel.: +351-22 508 1531 Fax: +351-22 508 1445  
Email: pabreu@fe.up.pt, URL: http://www.fe.up.pt/saic

Paulo Abreu ©



## Programa

- Introdução aos sistemas de acionamentos pneumáticos.
- Preparação e distribuição de ar comprimido: qualidade do ar; redes de distribuição.
- Elementos de atuação pneumáticos: cilindros. Aspectos construtivos. Seleção e dimensionamento.
- Elementos de atuação pneumáticos: atuadores angulares, motores pneumáticos, garras, ventosas, músculos pneumáticos. Sistemas modulares de atuação pneumática.
- Elementos de comando pneumáticos: válvulas direcionais; aspetos construtivos. Exemplo de circuitos pneumáticos.
- Elementos de comando pneumáticos: válvulas de controlo de fluxo e de pressão. Atuação e instalação de válvulas pneumáticas. Exemplos de circuitos.
- Simbologia. Normalização
- Elementos sensores pneumáticos: pressostatos, vacuostatos, sensores de barreira de ar. Unidades de construção especial: unidades hidropneumáticas, alimentadores de avanço.
- Análise e síntese de circuitos pneumáticos.

Paulo Abreu ©



## Pneumática

- **Pneumática**
  - Utilização da energia que pode ser armazenada num gás, por compressão desse gás
- **Utilização do ar comprimido como:**
  - elemento transmissor de energia
  - elemento armazenador de energia
  - elemento atuador de sistemas

Paulo Abreu ©



## Sistemas Pneumáticos

### Aplicações

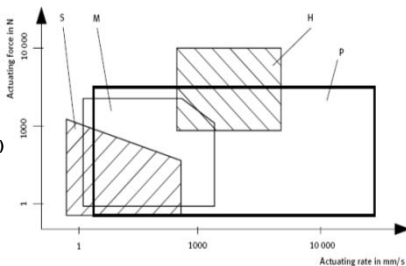
- Primeira aplicação industrial em grande escala de utilização de ar comprimido, como elemento transmissor de energia e produtor de trabalho, foi realizada na abertura de um túnel nos Alpes Suíços (1863).
- Indústria: em dispositivos de movimentação e transporte, em processos de fabrico, em equipamentos de teste, em sistemas de controlo, quer em sistemas exclusivamente pneumáticos, quer em sistemas eletropneumáticos.
- Explorações de minérios e explorações petrolíferas.
- Construção civil e em estradas.

Paulo Abreu ©



## Áreas de aplicação de acionamentos pneumáticos

- **H Hidráulica**
  - (100 to 10,000 N,
  - 100 to 10,000 mm/s)
- **M Motores**
  - (0.5 to 2,000 N)
- **P Pneumática**
  - (0.1 to 5,000 N,
  - 10 to 15,000 mm/s)
- **S Motores Step**



Paulo Abreu ©



## Sistemas Pneumáticos

### Vantagens

- existência de "matéria prima" - ar - em abundância
- ar comprimido facilmente transportável e armazenável
- utilização segura
  - ausência de perigo de explosão e incêndio
  - segurança em situações de sobrecarga
- não poluente
- elementos condicionadores de construção simples e baixo custo
- facilmente controlável e a custo reduzido

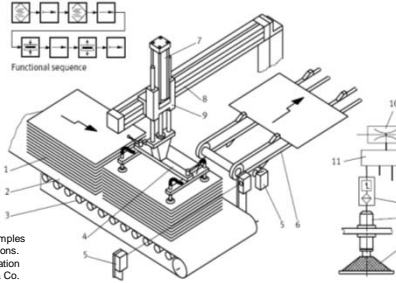
Paulo Abreu ©

## Sistemas Pneumáticos

### Desvantagens

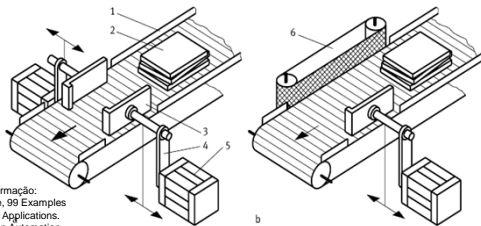
- custo de produção do ar comprimido elevado
- necessidade de uma preparação adequada do ar comprimido
- dificuldade de manter uniforme e constante velocidades de pistões de cilindro devido à compressibilidade do ar
- pressões de trabalho baixas (7 bar) (em sistemas óleo-hidráulicos, 300 bar)
- forças disponíveis nos atuadores pneumáticos baixas
- problemas de ruído
- problemas de corrosão possíveis nos elementos pneumáticos

## Exemplos de sistemas pneumáticos - desempilhar



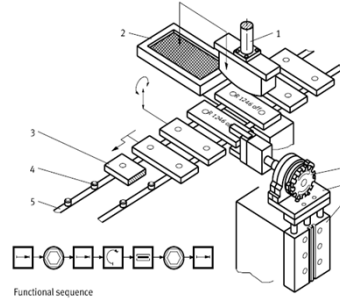
Fonte de informação:  
Stefan Hesse, 99 Examples  
of Pneumatic Applications.  
Blue Digest on Automation  
© 2000 by Festo AG & Co.

## Exemplos de sistemas pneumáticos - alinhar



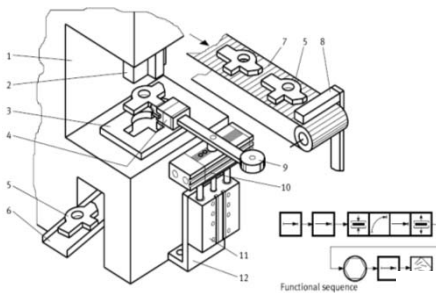
Fonte de informação:  
Stefan Hesse, 99 Examples  
of Pneumatic Applications.  
Blue Digest on Automation  
© 2000 by Festo AG & Co.

## Exemplos de sistemas pneumáticos - carimbar



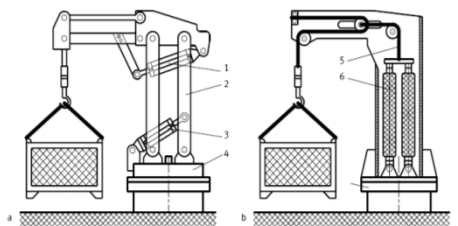
Fonte de informação:  
Stefan Hesse, 99 Examples  
of Pneumatic Applications.  
Blue Digest on Automation  
© 2000 by Festo AG & Co.

## Exemplos de sistemas pneumáticos – alimentação de prensa




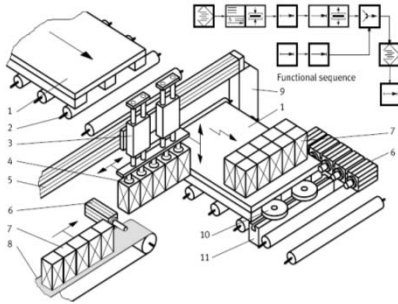
Fonte de informação:  
Stefan Hesse, 99 Examples  
of Pneumatic Applications.  
Blue Digest on Automation  
© 2000 by Festo AG & Co.

## Exemplos de sistemas pneumáticos – prensão




Fonte de informação:  
Stefan Hesse, 99 Examples  
of Pneumatic Applications.  
Blue Digest on Automation  
© 2000 by Festo AG & Co.

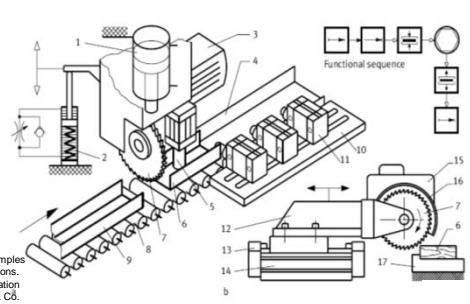

**Exemplos de sistemas pneumáticos – paletizar**



Fonte de informação:  
 Stefan Hesse, 99 Examples of Pneumatic Applications.  
 Blue Digest on Automation  
 © 2000 by Festo AG & Co.


Paulo Abreu ©

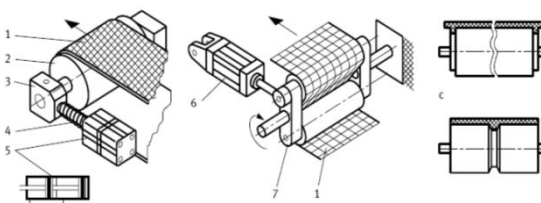

**Exemplos de sistemas pneumáticos – corte**



Fonte de informação:  
 Stefan Hesse, 99 Examples of Pneumatic Applications.  
 Blue Digest on Automation  
 © 2000 by Festo AG & Co.


Paulo Abreu ©

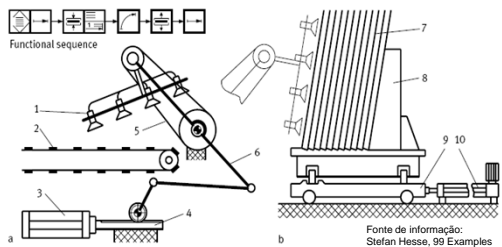

**Exemplos de sistemas pneumáticos – tensionar**



Fonte de informação:  
 Stefan Hesse, 99 Examples of Pneumatic Applications.  
 Blue Digest on Automation  
 © 2000 by Festo AG & Co.


Paulo Abreu ©


**Exemplos de sistemas pneumáticos – pick and place**



Fonte de informação:  
 Stefan Hesse, 99 Examples of Pneumatic Applications.  
 Blue Digest on Automation  
 © 2000 by Festo AG & Co.

Paulo Abreu ©



**Sistemas Pneumáticos**

**Utilização de sistemas pneumáticos**


necessidade de sistemas de:

- Produção (compressores)
- Distribuição (redes)
- Tratamento (secagem)
- Aplicação (atuadores )
- Controlo (válvulas)

Paulo Abreu ©


**Sistema Pneumático Típico**

- Ar
- Compressor
- Secador de ar
- Reservatório
- Rede de distribuição
- Preparação do ar (regulação)
- Controlo (válvulas)
- Atuadores (cilindros, motores)



Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Composição do Ar

- O ar é um fluido gasoso disponível em quantidades ilimitadas à volta da Terra.
- Na atmosfera, o ar contém, para além de gases e vapor de água, partículas sólidas em suspensão (pólen, poeiras, areia fina, ...)
- O ar atmosférico não é uma substância pura (composição química varia)

Composição por Volume	
Nitrogénio	78.09%
Oxigénio	20.95%
Árgon	0.93%
Outros	0.03%

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Grandezas

- Energia pneumática**
  - Pressão  $p$
  - Caudal  $Q$
  - Potência  $P$
- Energia mecânica**
  - Força / Binário
  - Velocidade (angular, linear)
  - Potência
- Energia elétrica**
  - Tensão  $V$
  - Corrente  $I$
  - Potência  $P$

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Pressão

- Unidades SI de Pressão:**  
Pascal (Pa)  
[Pa] = [N / m<sup>2</sup>]
- Outras Unidades utilizadas:**  
bar, psi, mmHG, mm H<sub>2</sub>O, Torr, atm
- Conversões**
  - 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>  
= 1.02 Kgf/cm<sup>2</sup>  
= 14.50 psi
  - 1 psi = 7000 Pa  
= 0.06895 bar  
= 0.0714 Kgf/cm<sup>2</sup>
  - 1 mm Hg = 1.334 mbar aprox.
  - 1 mm H<sub>2</sub>O = 0.0979 mbar aprox.
  - 1 Torr = 1mmHg abs (para vácuo)
  - 1 atm = 1,013 x 10<sup>5</sup> Pa
- Pressão: força por unidade de área**

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Pressão atmosférica

- A pressão atmosférica pode ser medida pela altura de uma coluna de um líquido em vácuo
- Para um barómetro de mercúrio, uma atmosfera (a pressão ao nível do mar) equivale a uma coluna de 760 mm Hg (≈ 1013.9 milibar, ≈ 1 bar)
- Num barómetro de água, uma pressão de uma atmosfera equivaleria a uma coluna de mais de 10 metros, pois a densidade da água é muito menor do que a do mercúrio (≈13.6)

Barómetro de mercúrio

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Pressão atmosférica

- A pressão atmosférica é causada pelo peso do ar
- A pressão do ar diminui com o aumento da altitude
- A pressão do ar também é influenciada pelas condições climatéricas

Definição de um valor de referência

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Atmosfera standard

- Atmosfera standard definida pela "The International Civil Aviation Organisation"
- Ao nível médio das águas do mar, e a uma temperatura de 288 K (15°C) a pressão atmosférica tem o valor de 10.1325 x 10<sup>4</sup> N/m<sup>2</sup> (Pa) (1013.25 mili bar)

Paulo Abreu ©

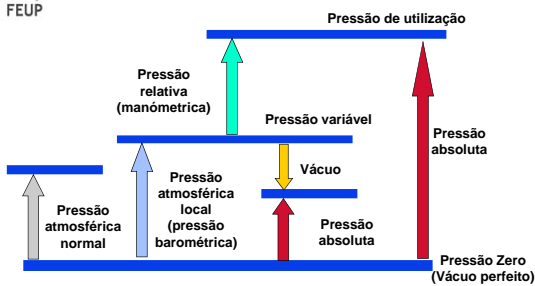
## Vácuo

- **Vácuo é uma forma de pressão**
- **Um gás diz-se que está sob vácuo quando a sua pressão é inferior à pressão atmosférica.**
- **Normalmente o vácuo é medido por um dispositivo diferencial que lê a pressão entre o sistema em causa e a pressão atmosférica. Subtraindo o valor lido ao valor da pressão atmosférica, teremos um valor da pressão absoluta.**

## Vácuo e nível de vácuo

- **A unidade de medida para o valor do vácuo é uma das unidades de pressão!**
  - “milímetros de mercúrio” ( mmHg) muito utilizada
- **O nível de vácuo pode ser representado por :**
  - Nível de depressão (valor da pressão relativamente à pressão atmosférica)
  - Nível de vácuo em valor absoluto (valor da pressão relativo à pressão de zero absoluto)

## Relações de Pressão

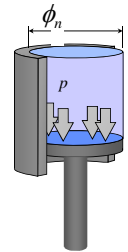


## Pressão e força

- **A força teórica desenvolvida pelo pistão de um cilindro devido a pressão do ar é dada pelo produto da pressão pela área do pistão**

$$F_t[N] = p[N/m^2] \times A[m^2]$$

$$= p_u[N/m^2] \times \frac{\pi \times \phi_n^2[m]}{4}$$



$p_u$	Pressão de utilização (manométrica)
$F_t$	Força
$\phi_n$	Diâmetro nominal do cilindro

$$F_t[N] = p_u[bar] \times \frac{\pi \times \phi_n^2[mm]}{40}$$

**Nota:** Na prática, a força disponível de um cilindro é de 60 a 80% da força teórica!

## Utilização de ar comprimido

- Pressões tipicamente expressas em “bar g” (pressão manométrica).

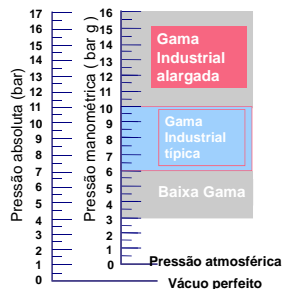
**Notas:**

- g – “gauge”
- O manómetro indica o valor de uma pressão relativa à pressão atmosférica.
- Pressão Zero “gauge” é a pressão atmosférica

- Pressão absoluta é utilizada para cálculos

$$p_{absoluta} = p_{manométrica} + p_{atmosférica}$$

- Para cálculos aproximados, assumir que 1 atmosfera vale 1000 mbar
- Para cálculos precisos, assumir que 1 atmosfera vale 1013 mbar



## Utilização de ar comprimido

- **Gama de pressões em sistemas pneumáticos: tipicamente até 10 bar**
- **Gama de pressões em sistemas hidráulicos: tipicamente até 300 bar**

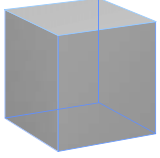
⇒ Capacidades de força muito distintas!

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Caudal

- **Caudal:** quantidade de fluido que atravessa uma secção por unidade de tempo
  - Caudal mássico
  - Caudal volumétrico
- **Caudal volumétrico (o utilizado na pneumática):**
  - Volume de fluido (ar) que atravessa uma secção por unidade de tempo.
- **Unidades**
  - SI [m<sup>3</sup>/s]
  - Outras unidades
    - litros ou decímetros cúbicos por segundo [l/s] ou [dm<sup>3</sup>/s]
    - metros cúbicos por minuto [m<sup>3</sup>/min]

1 metro cúbico ou 1000 dm<sup>3</sup>



1 litro ou decímetro cúbico

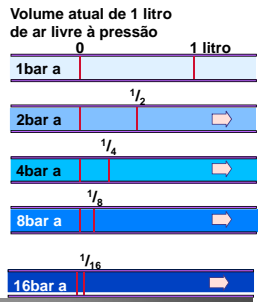
Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Caudal de ar livre

- **Ar livre:** ar à pressão atmosférica
- **O espaço entre barras representa o volume de ar no tubo ocupado por um litro de ar livre para as pressões referidas.**
- **O ar movimenta-se como resultado de uma diferença de pressões. A 1 bar absoluto (0 bar manométrico) o escoamento livre de ar apenas se pode dar para uma pressão inferior (pressão de vácuo)**

Volume atual de 1 litro de ar livre à pressão



Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Expressões

- **Conversão em caudal de ar livre**

$$Q_{al} = Q_{pu} \times \left( \frac{p_u + p_{atm}}{p_{atm}} \right)$$

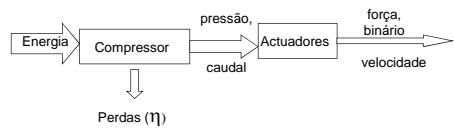
$Q_{al}$	Caudal de ar livre	[l/s]
$Q_{pu}$	Caudal à pressão de utilização ( $p_u$ )	[l/s]
$p_u$	Pressão de utilização	[bar]
$p_{atm}$	Pressão atmosférica	[bar]

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Potência

- **Potência:** trabalho desenvolvido por unidade de tempo
- **Potência [W] = pressão [N / m<sup>2</sup>] x caudal [ m<sup>3</sup> / s] P = p Q**



Nota: Rendimento de compressores de 20%! Custo de produção de ar comprimido elevado!

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Exercício

- **Considere o compressor de êmbolo-pistão LXF 08, da Atlas Copco. Estime o rendimento global do compressor.**

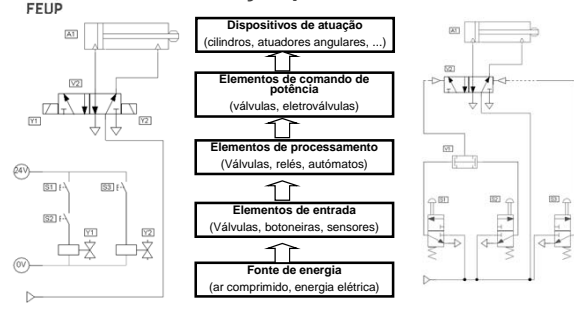


Compressor type	FAD (1) at normal working pressure and 1500 rpm		FAD (1) at normal working pressure and 1000 rpm		Maximum working pressure		Installed recommended power		Noise level dB(A) (2)
	l/s	cfm	l/s	cfm	bar	psi	kW	hp	
LXF 06	1.02	2.16	1.35	2.86	10	145	0.55	0.75	62
LXF 08	1.38	2.92	1.46	3.09	10	145	0.75	1.00	62
LXF 12	2.07	4.39	2.39	5.06	10	145	1.10	1.50	64
LXF 14	2.53	5.36	3.20	6.78	10	145	1.50	2.00	64

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Estrutura de um sistema de atuação pneumática



- Dispositivos de atuação (cilindros, atuadores angulares, ...)
- Elementos de comando de potência (válvulas, eletroválvulas)
- Elementos de processamento (Válvulas, relés, autômatos)
- Elementos de entrada (Válvulas, botoneiras, sensores)
- Fonte de energia (ar comprimido, energia elétrica)

Paulo Abreu ©

## Simbologia Gráfica

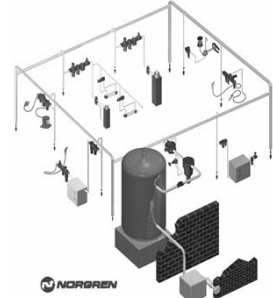
Simbologia aplicável a sistemas pneumáticos e hidráulicos referida na norma:

- **ISO 1219-1:1991** "Fluid power systems and components - Graphic symbols and circuit diagrams - Part 1: Graphic symbols"
- **ISO 1219-2:1995** "Fluid power systems and components - Graphic symbols and circuit diagrams - Part 2: Circuit diagrams"

Nota: acetatos disponíveis sobre este tema nos conteúdos de SHP no SIFEUP

## Sistema Pneumático Típico

- Ar
- Compressor
- Secador de ar
- Reservatório
- Rede de distribuição
- Preparação do ar (regulação)
- Controlo (válvulas)
- Atuadores (cilindros, motores)



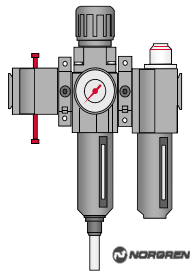
## Elementos de um sistema pneumático

Unidade FRL

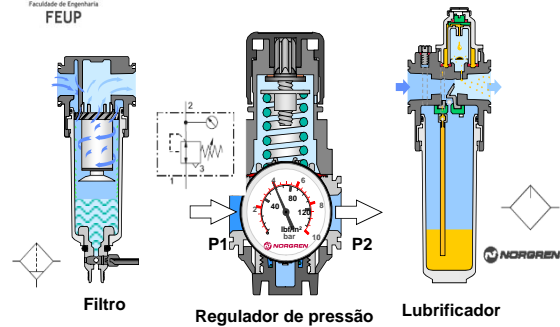
Filtro, regulador de pressão e lubrificador

Função

Preparação do ar comprimido antes de ser fornecido ao equipamento pneumático



## Elementos de uma unidade FRL

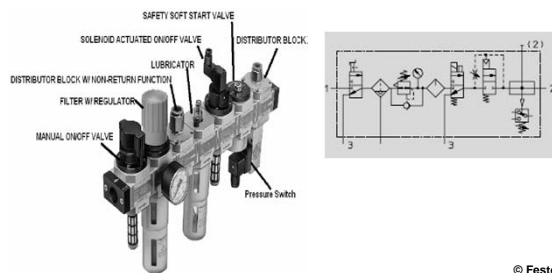


Filtro

Regulador de pressão

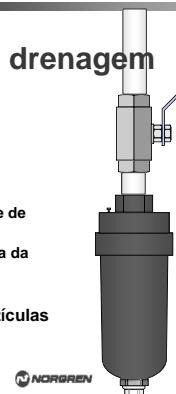
Lubrificador

## Unidade de Preparação de ar comprimido



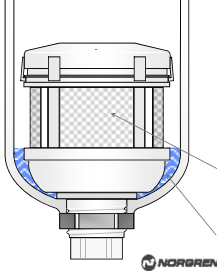
## Dispositivo de drenagem

- Componentes:
  - válvula de passagem (passador)
  - válvula de drenagem
- Colocação
  - extremidade de cada ramo da rede de distribuição de ar
  - acesso para manutenção e recolha da água libertada
- Válvula de drenagem automática possuindo um filtro para reter partículas sólidas de grandes dimensões



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvula de drenagem automática



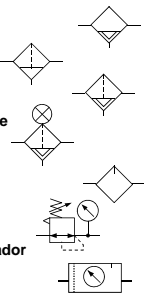
- Quando a água atinge um determinado nível, a válvula abre e a água é expelida, voltando a válvula a fechar
- Mesmo que não haja pressão, a válvula pode abrir para expelir a água
- Existe um filtro de rede que permite a expulsão de partículas de dimensão inferior a 500 µm
- Zona de depósito de partículas de grande dimensão

PAULO ABREU

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Simbologia

- Separador de água com dreno automático
- Filtro com dreno
- Filtro com dreno automático
- Filtro com dreno automático e indicador de serviço
- Lubrificador
- Regulador de pressão com manómetro
- FRL. Filtro, regulador de pressão, lubrificador (símbolo simplificado)



PAULO ABREU

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Atuadores Pneumáticos

- **Atuadores lineares**
  - cilindros de efeito simples
  - cilindros de efeito duplo
- **Atuadores angulares**
  - cilindros rotativos
  - motores
    - de pistões (até 5000 rpm, 1,5-20 KW)
    - de palhetas (3000-8500 rpm, 0,1-17 KW)
    - turbo motores (até 500000 rpm)
- **Garras pneumáticas**

PAULO ABREU

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Atuadores pneumáticos

- **Vantagens:**
  - Actuadores pneumáticos são equipamentos mecanicamente simples, de baixo custo, fáceis de instalar e operar
  - Permitem obter movimentos lineares (cilindros) ou movimentos de rotação (actuadores angulares e motores)
  - Possibilidade de regulação de força/ binário (por regulação de pressão)
  - Possibilidade de regulação de velocidade (por regulação de caudal)
  - Um actuador pneumático pode ser imobilizado, sem provocar danos (motor eléctrico pode queimar!)
  - Podem operar em condições de trabalho adversas (ambientes húmidos, secos, ou poeirentos)

PAULO ABREU

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Atuadores Pneumáticos Cilindros

- Cilindros pneumáticos: características gerais:
  - Diâmetros de 2.5 a 320 mm
  - Cursos de 1 a 2000 mm
  - Forças disponíveis de 2 a 45000 N, a 6 bar
  - Velocidade do pistão de 0.1 a 1.5 m/s
- Baixo custo (relativo)
- Fácil instalação
- Construção simples e robusta
- Disponibilidade de tamanhos e cursos elevada

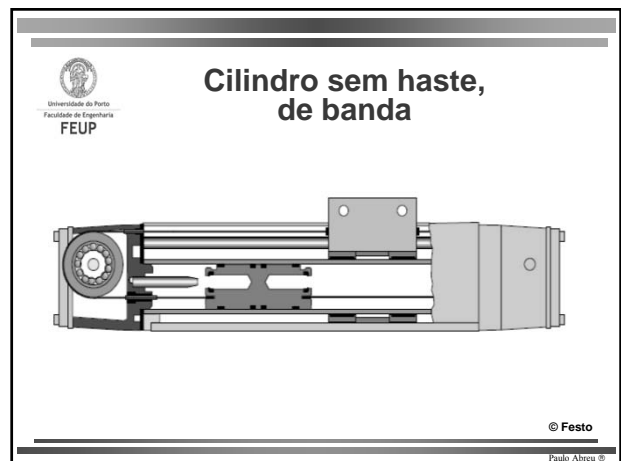
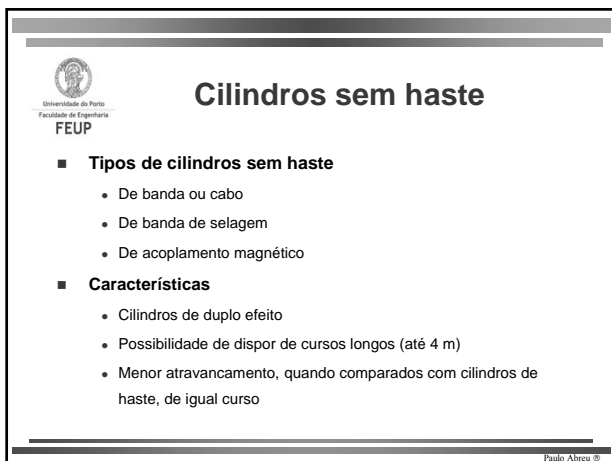
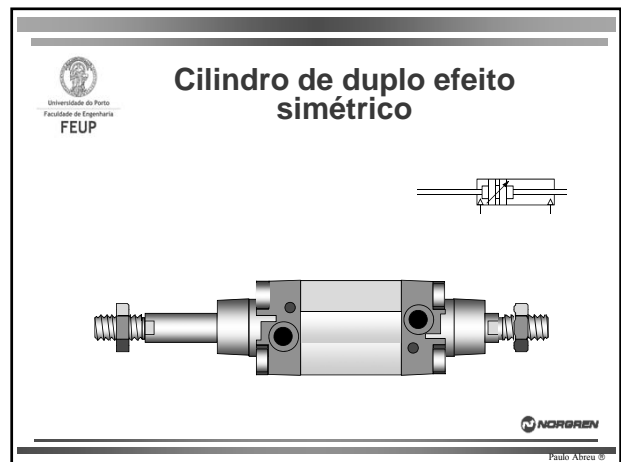
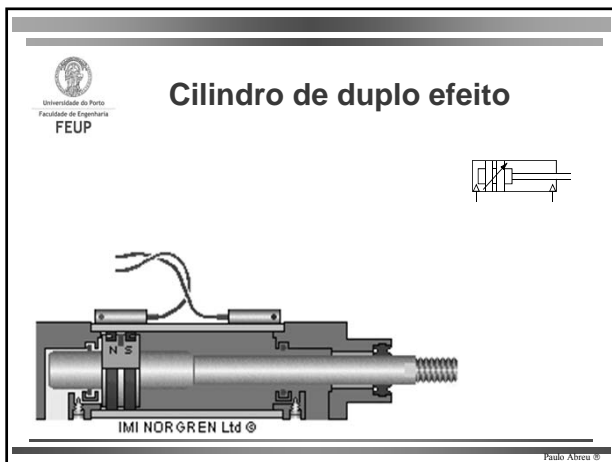
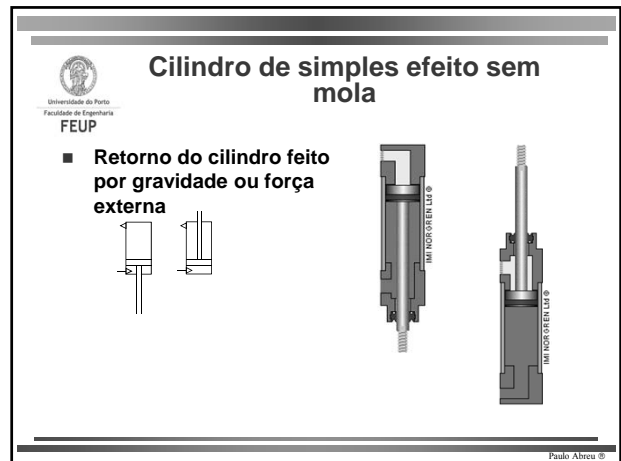
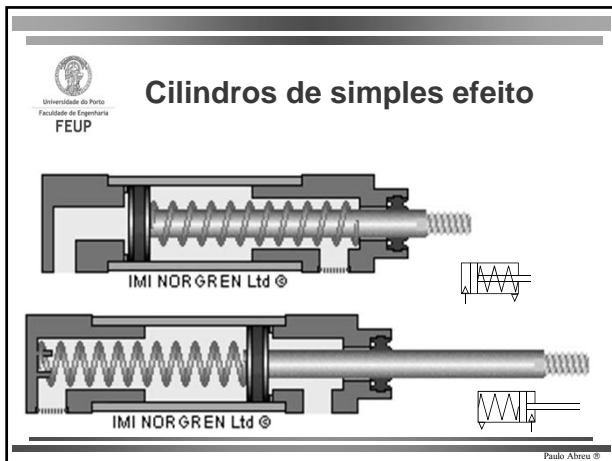
PAULO ABREU

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Tipos de cilindros

- Existe uma gama muito alargada de cilindros pneumáticos, de diferentes tamanhos e estilos e tipo, que incluem os seguintes:
  - De simples efeito, com ou sem mola de retorno
  - De duplo efeito, assimétricos ou simétricos
    - Com e sem amortecimento
    - Com amortecimento regulável
    - De êmbolo magnético
  - Cilindros sem haste
  - Cilindros de aperto
  - Cilindros de membrana


PAULO ABREU

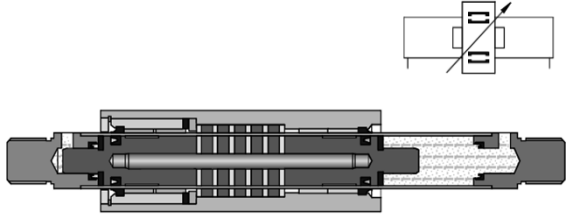



**Cilindro sem haste, de banda de selagem**



IMI NORGREN Ltd ©  
 © NORGREN  
 Paulo Abreu ©


**Cilindro sem haste, magnético**




© Festo  
 Paulo Abreu ©


**Cilindros de Aperto**

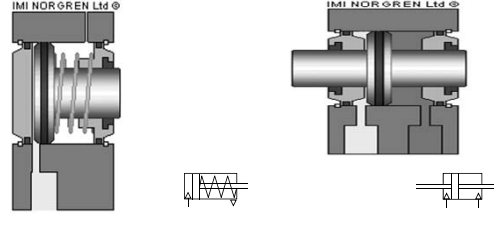
- Cilindros para serem utilizados em espaços pequenos, para funções de aperto. Tipicamente, possuem um curso reduzido e um diâmetro de êmbolo elevados
- Utilizados em aplicações que requerem forças de aperto leves
- Possibilidade de utilização de cilindros assimétricos, de simples ou duplo efeito, ou cilindros simétricos de duplo efeito



Paulo Abreu ©


**Cilindros de aperto**

- De simples efeito
- De duplo efeito simétrico




Paulo Abreu ©

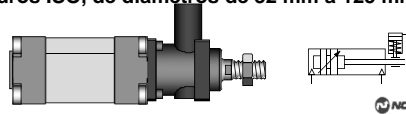

**Cilindros de membrana**



www.pneumatica.be  
 © Festo  
 Paulo Abreu ©


**Cilindro com unidade de bloqueio de haste**

- Por razões de segurança, quer por falta de ar ou como funcionalidade, pode ser necessário parar e manter parado um cilindro em qualquer posição do seu curso.
- Cilindro de bloqueio da haste, passivo ou ativo
- Existem unidades de bloqueio de haste para cilindros ISO, de diâmetros de 32 mm a 125 mm



© NORGREN  
 Paulo Abreu ©



## Cilindros com guiamento

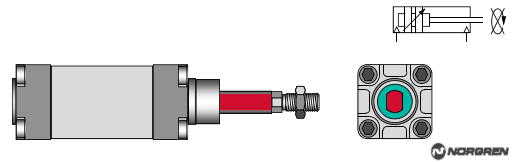
- Cilindros com hastes/êmbolos não circulares
- Cilindros com veios de guiamento
- Unidades de guiamento externo para integrar em cilindros

Paulo Abreu ©



## Cilindros com haste/êmbolo não circular

- Disponibilidade de cilindros ISO, de diâmetros 32 a 100 com pistão não rotativo
- Adequados para cargas torsionais baixas



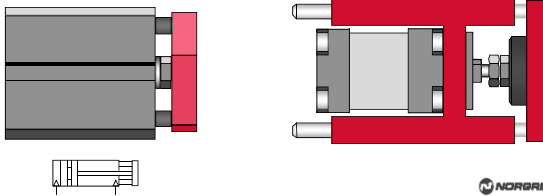
NORGREN

Paulo Abreu ©



## Cilindros com guiamento

- Veios de guiamento incorporados no corpo do cilindro
- Unidade de guiamento externa ao cilindro



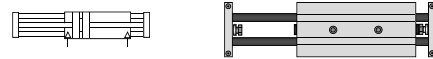
NORGREN

Paulo Abreu ©



## Unidades Lineares

- Muito compactas
- Guiamentos precisos
- Elevada velocidades de operação
- Facilidade de montagem e integração

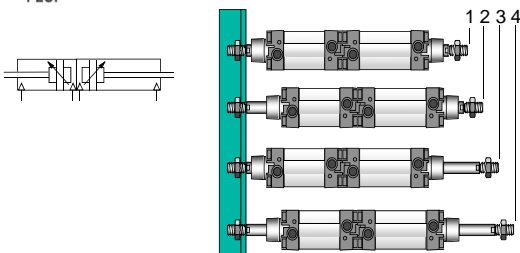


NORGREN

Paulo Abreu ©



## Cilindro de 4 posições

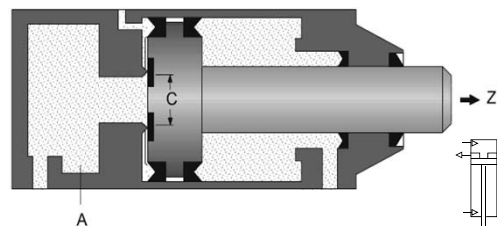


NORGREN

Paulo Abreu ©



## Cilindro de impacto



- Velocidade de avanço até 6 m/s
- Retorno a velocidade normal (equivalente a cilindro de duplo efeito)
- Aplicações em operações de percussão (rebitagem, estampagem, ...)

© Festo

Paulo Abreu ©

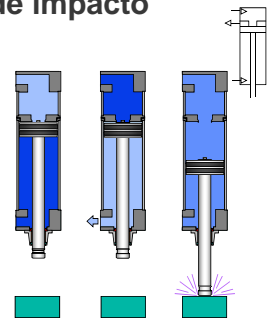
## Cilindro de impacto

- O pistão e a haste são acelerados rapidamente de modo a obter uma cação de batida tipo martelo
- Dotando o cilindro com uma ferramenta adequada, pode ser utilizado em certos tipos de trabalho de prensagem, que de outro modo necessitaria de equipamentos hidráulicos ou mecânicos
- Cilindros com diâmetros de êmbolo de 2" (~50 mm) a 6" (150 mm) permitem obter uma força de impacto de 25 kN a 253 kN, quando perfuram materiais de 1.0 mm de espessura, trabalhando a uma pressão de 5.5 bar.

## Cilindro de impacto

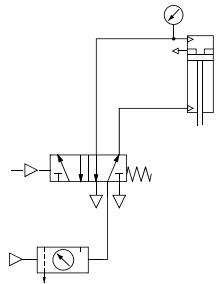
### Três etapas de funcionamento

1. Pistão mantido na posição de recuado.
2. Reservatório acima do pistão pressurizado, mas a força por baixo do pistão é ainda elevada devido à maior área. O ar da câmara inferior ainda está a ser expelido.
3. A pressão na câmara inferior cai o suficiente para permitir o movimento do pistão, permitindo que o ar armazenado na câmara superior atue sob a área total do êmbolo, causando uma rápida aceleração

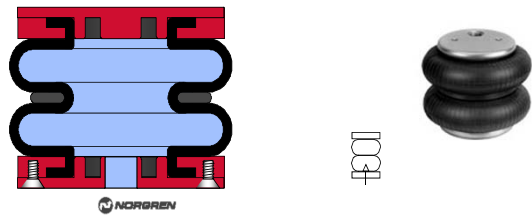


## Circuito de controlo

- Válvula representada na posição normal, mantendo o cilindro com a haste recuada
- Quando a válvula de controlo é comutada, a câmara de topo do cilindro é pressurizada e a câmara inferior ligada ao escape
- Pressão máxima na câmara superior é rapidamente atingida, mas a pressão na câmara inferior deve cair abaixo de 1/9 da superior para que a haste inicie o seu movimento
- Nota: relação de áreas na câmara superior é tipicamente de 1/9



## Cilindro de membrana de fole



## Normas aplicáveis a cilindros

- Entidades
  - ISO (International organization for normalization)
  - CETOP (Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques)
  - VDMA (VDMA - Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau - German Engineering Federation)
- Configurações típicas de cilindros:
  - Segundo ISO/VDMA (ISO 6431, CETOP RP34P, VDMA24562)
  - Segundo ISO/CETOP (ISO 6431)
  - Segundo ISO 6432
- Normas:
  - ISO 6431 e 6432 definem a dimensões de instalação de cilindros pneumáticos específicos e dos seus sistemas de fixação. Sistemas de fixação de um fabricante, podem contudo não servir em cilindros de outro
  - VDMA 24562 apresenta uma especificação mais detalhada das normas acima referidas, particularmente em sistemas de fixação

## Normas

- ISO 6432:1985  
*Pneumatic fluid power -- Single rod cylinders -- 10 bar (1 000 kPa) series -- Bores from 8 to 25 mm -- Mounting dimensions*
- ISO 7180:1986  
*Pneumatic fluid power -- Cylinders -- Bore and port thread sizes*
- ISO 8139:1991  
*Pneumatic fluid power -- Cylinders, 1 000 kPa (10 bar) series -- Rod end spherical eyes -- Mounting dimensions*
- ISO 8140:1991  
*Pneumatic fluid power -- Cylinders, 1 000 kPa (10 bar) series -- Rod end clevis -- Mounting dimensions*
- ISO 6430:1992  
*Pneumatic fluid power -- Single rod cylinders, 1 000 kPa (10 bar) series, with integral mountings, bores from 32 mm to 250 mm -- Mounting dimensions*
- ISO 6431:1992  
*Pneumatic fluid power -- single rod cylinders, 1 000 kPa (10 bar) series, with detachable mountings, bores from 32 mm to 320 mm -- mounting dimensions*
- ISO 10099:2001  
*Pneumatic fluid power -- Cylinders -- Final examination and acceptance criteria*
- ISO 15552:2004  
*Pneumatic fluid power -- Cylinders with detachable mountings, 1 000 kPa (10 bar) series, bores from 32 mm to 320 mm -- Basic, mounting and accessories dimensions*
- ISO 21287:2004  
*Pneumatic fluid power -- Cylinders -- Compact cylinders, 1000 kPa (10 bar) series, bores from 20 mm to 100 mm*



## Dimensões não standard

- Existem variados designs de cilindros que não cumprem as normas atualmente existentes.
- Alguns destes cilindros incorporam inovações técnicas, designs compactos, pelo que ainda não existem normas aplicáveis.

Paulo Abreu ©



## Simbologia para cilindros de simples efeito

- Simples efeito, normalmente recuado
- Simples efeito, normalmente avançado
- Simples efeito, normalmente recuado, êmbolo magnético
- Simples efeito, normalmente avançado, êmbolo magnético

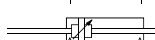


Paulo Abreu ©



## Simbologia para cilindros de duplo efeito

- Duplo efeito, sem amortecimento
- Duplo efeito, com amortecimento regulável
- Duplo efeito, simétrico, amortecimento regulável
- Duplo efeito, com amortecimento regulável, êmbolo magnético
- Duplo efeito, sem haste, com amortecimento regulável, êmbolo magnético



Paulo Abreu ©



## Atuadores Pneumáticos de Trabalho

- Atuadores lineares
  - cilindros de efeito simples
  - cilindros de efeito duplo
- Atuadores angulares
  - cilindros rotativos
  - motores
- Garras pneumáticas

Paulo Abreu ©



## Atuadores pneumáticos

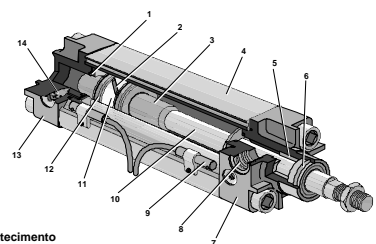
- A secção de um cilindro condiciona a força máxima que este pode exercer
- O "curso" define o máximo deslocamento linear que pode produzir
- A "pressão máxima" de utilização (pressão de trabalho) depende do tipo de cilindro. Cilindros de acordo com VDMA podem operar até 16 bar.
- A pressão máxima de um sistema é facilmente controlada com uma "válvula reguladora de pressão"

Paulo Abreu ©



## Construção típica de um cilindro pneumático

- 1 vedante de amortecimento
- 2 magneto ("iman")
- 3 espiga de amortecimento
- 4 corpo do cilindro
- 5 chumaceira
- 6 vedante raspador
- 7 cabeça do cilindro
- 8 ligação pneumática
- 9 sensor de fim de curso
- 10 haste
- 11 cinta de guiamento
- 12 vedante do êmbolo
- 13 topo do cilindro
- 14 parafuso de ajuste do amortecimento

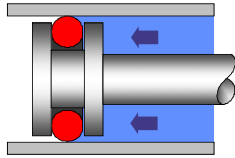


**NORGREN**

Paulo Abreu ©

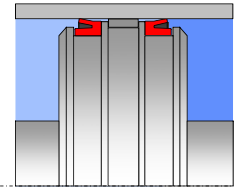
## Vedantes para êmbolo – Junta tórica (“O’ring”)

- Na vedação por “junta tórica” (O’ring), a pressão do ar provoca a sua deformação, sendo o O’ring empurrado contra as superfícies envolventes, assegurando assim a vedação entre o êmbolo e a parede do cilindro



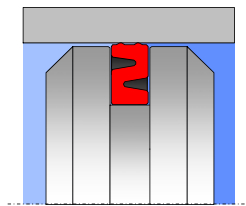
## Vedante de êmbolo - Vedante labial

- Vedação em apenas um sentido
- Vedantes de baixa rigidez (grande flexibilidade)
- Atrito estático baixo

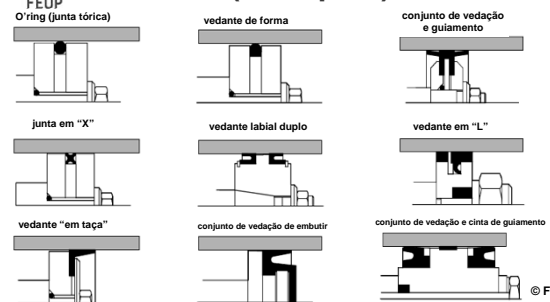


## Vedante de êmbolo Anel de vedação em “Z”

- Vedantes muito compactos
- Vedação nos dois sentidos
- Utilizados em cilindros de êmbolos de diâmetro reduzido

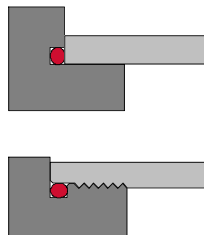


## Vedante de êmbolo (exemplos)



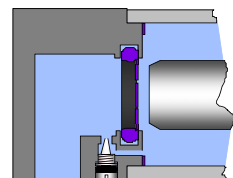
## Junta tórica (“O’ring”) para corpo do cilindro


- Utilização em situação estática, na ligação do corpo do cilindro com a cabeça



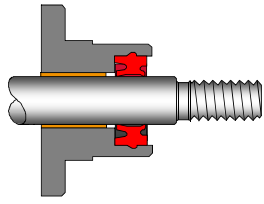
## Vedante do êmbolo em cilindro “com amortecimento”


- função de vedante e de válvula unidirecional:
  - Vedação na zona da face do vedante e na zona do diâmetro interior (na situação de amortecimento)
  - O ar pode mover-se livremente na zona do diâmetro exterior do vedante





**Vedante e raspador**

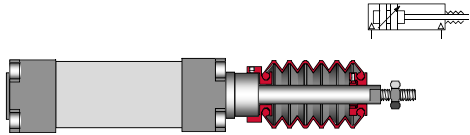
- Vedante com dupla função**
  - Vedação
  - Limpeza da haste
- Necessidade de vedantes especiais para ambientes agressivos**






Paulo Abreu ©


**Foles de proteção para hastes**

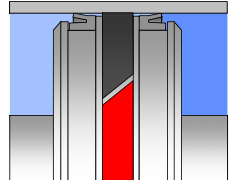
- Complemento de proteção da haste**
- Necessidade de dispor de espaço na haste para montagem**





Paulo Abreu ©


**Cinta de guiamento**

- A cinta de guiamento é uma banda aberta, a envolver o êmbolo, normalmente feita num material plástico duro**
- assegura o guiamento do êmbolo (não contacto entre as partes metálicas)**
- Minimiza a distorção dos vedantes, quando a haste fica sujeita a cargas radiais**




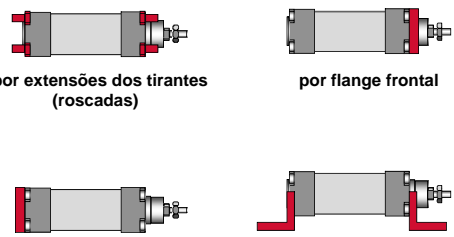

Paulo Abreu ©



**Configurações do extremo da haste de um cilindro**




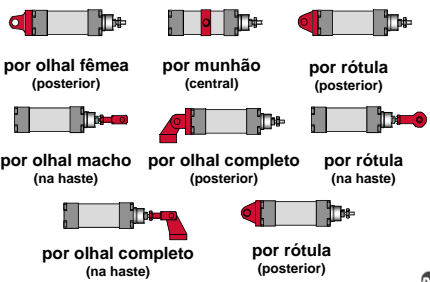

Paulo Abreu ©



**Fixação de cilindros – suporte fixos**




Paulo Abreu ©


**Fixação de cilindros – suportes articulados**




Paulo Abreu ©



## Seleção de cilindros

- **Características de performance**
  - Força teórica/força disponível
  - Velocidade de funcionamento
  - Curso disponível
- **Características físicas**
  - Tipo de cilindro (simples efeito, duplo efeito, cil. sem haste, ...)
  - Dimensões
  - Sistemas de fixação

Paulo Abreu ©



## Dimensionamento de cilindros

- **Força teórica**
  - Dependente da pressão de trabalho e da área do êmbolo
  - Forças diferentes para o movimento de avanço e recuo (diferentes áreas)
- **Força disponível**
  - Força teórica diminuída dos atritos e força da mola (cilindro de simples efeito)
  - **Forças resistivas devidas a :**
    - Perdas de carga nas válvulas e nas condutas de admissão às câmaras do cilindro
    - Perdas de carga devidas ao atrito nos vedantes (atrito estático e dinâmico)
    - Inércia do êmbolo e haste e inércia da carga
    - Necessidade de expulsão do ar na câmara ao escape
  - **Estas forças resistivas traduzem-se num "fator de carga"**
    - Valores típicos para fator de carga: 60% a 80%

Paulo Abreu ©



## Velocidade de cilindros

- **Velocidade dos cilindros**
  - A velocidade de trabalho não deve ser muito baixa, devido ao efeito do atrito que pode provocar "stick-slip"
  - Uma velocidade muito elevada, leva a um pico de consumo de ar exagerado e pode provocar problemas no cilindro no fim do movimento (impacto do êmbolo no topo do cilindro)
  - Existe assim uma gama de velocidades considerada como económica – valores típicos 0.1 a 1,5 m/s

Paulo Abreu ©



## Velocidade de cilindros

- **A velocidade do cilindro depende de:**
  - Força antagonista ao movimento
  - Pressão do ar
  - Comprimento da linha de alimentação entre a válvula de comando e o cilindro
  - Caudal admissível da válvula de comando
- **A regulação da velocidade do cilindro pode ser feita recorrendo a "estranguladores"**

Paulo Abreu ©



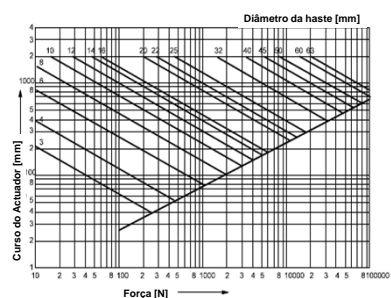
## Comprimento do curso

- **Existem medidas normalizadas para os cursos dos cilindros, em função do diâmetro do êmbolo de modo a garantir resistência a tensões de fadiga, encurvadura e atrito (ver diagrama de encurvadura).**
- **Regra geral , os cursos não devem exceder os 2 m ou 10 m para cilindros de haste não rotativa.**
- **Para um curso elevado, a carga mecânica sobre as cintas de guiamento no êmbolo e haste também pode ser demasiado elevada, pelo que por vezes torna-se necessário providenciar sistemas de guiamento externo.**

Paulo Abreu ©




## Diagrama de encurvadura

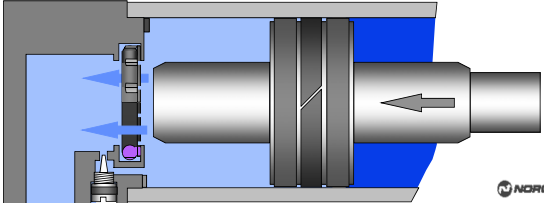



Paulo Abreu ©





**Sistema de amortecimento pneumático**

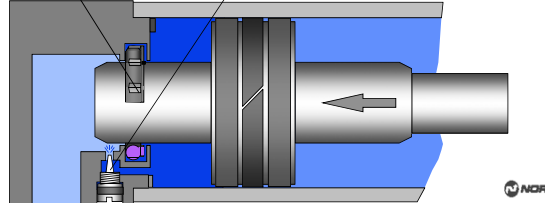
- O pistão move-se para a esquerda a uma dada velocidade
- O ar escapa-se através do centro do vedante





 Paulo Abreu ©


**Sistema de amortecimento pneumático**

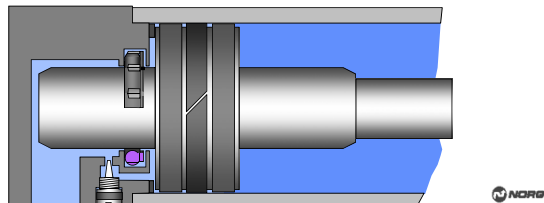
- A espiga ajusta-se ao vedante central, impedindo o ar de continuar a sair por esse caminho
- O ar apenas pode escapar através do estrangulador. A pressão aumenta, criando-se uma almofada de ar, que amortece o movimento do êmbolo





 Paulo Abreu ©


**Sistema de amortecimento pneumático**

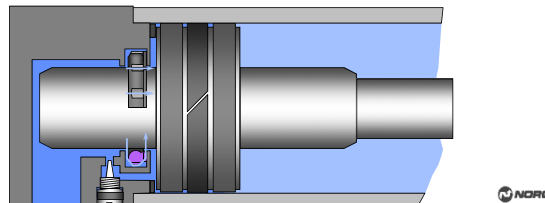
- O ajuste do estrangulador permite que o êmbolo acabe por encostar de uma forma suave ao disco de impacto





 Paulo Abreu ©


**Sistema de amortecimento pneumático**

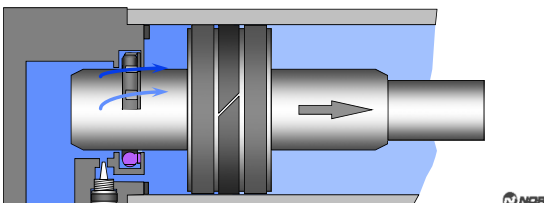
- A válvula é comutada para permitir o avanço do cilindro
- O vedante é empurrado para a direita, deixando de vedar, permitindo ao êmbolo iniciar o movimento para a direita





 Paulo Abreu ©


**Sistema de amortecimento pneumático**


- O êmbolo move-se então para a direita




 Paulo Abreu ©

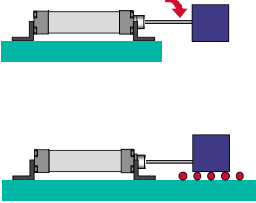

**Montagem de cilindros**

- Eliminar ou minimizar as cargas radiais aplicadas aos guiamentos do êmbolo e da haste do cilindro
  - Utilização de guiamentos externos para a carga e/ou haste do cilindro
  - Utilização de sistemas de fixação articulados no corpo do cilindro ou na extremidade da haste


 Paulo Abreu ©


**Exemplo 1**

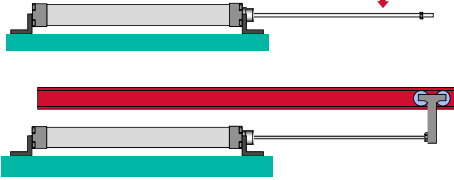
- Evitar ter uma carga suspensa pela haste do cilindro
- Sempre que possível suportar a carga através de guimentos




Paulo Abreu ©


**Exemplo 2**

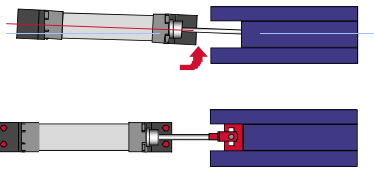
- O próprio peso de uma haste longa, pode criar um momento flector indesejado no guiamento da haste e êmbolo
- Se possível, suportar a haste com um guiamento exterior




Paulo Abreu ©


**Exemplo 3**

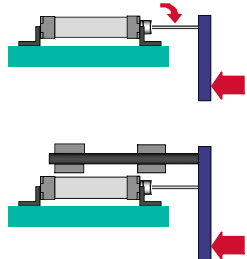
- Um desalinhamento do cilindro com a carga pode gerar um momento flector na haste e carga radial no guiamento
- A utilização de um olhal na ponta da haste resolve este problema




Paulo Abreu ©


**Exemplo 4**

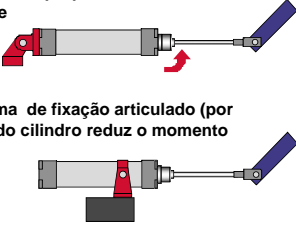
- Instalação de guimentos, chumaceiras, exteriores ao cilindro para minimizar efeitos de carga na haste e guimentos




Paulo Abreu ©


**Exemplo 5**

- O sistema de fixação articulado montado como mostra a figura, faz com que o peso do próprio cilindro crie um momento flector na haste
- A utilização de um sistema de fixação articulado (por munhão) sobre o corpo do cilindro reduz o momento flector aplicado à haste

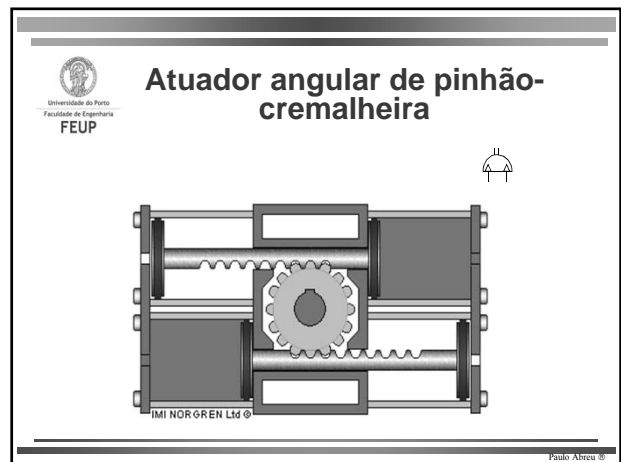
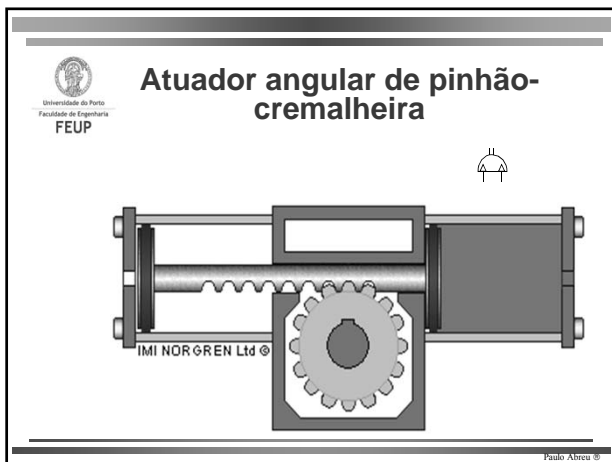
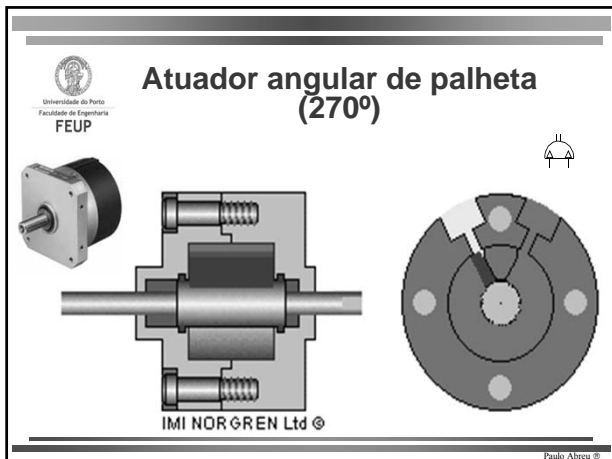


Paulo Abreu ©


**Atuadores Pneumáticos de Trabalho**

- **Atuadores angulares**
  - cilindros rotativos
    - Atuador de palheta ( até 10 Nm)
    - Atuador de pinhão-cremalheira (até 150 Nm)
  - motores
    - de pistões (até 5000 rpm, 1,5-20 KW)
    - de palhetas (3000-8500rpm, 0,1-17 KW)
    - turbo motores ( até 500 000 rpm)
- **Garras pneumáticas**

Paulo Abreu ©




**Motores pneumáticos**

- Tipos de motores pneumáticos
  - De êmbolos (pistão)
    - Radiais
    - Axiais
  - De palhetas
  - De engrenagens
  - Turbinas

**Motores pneumáticos**


- Motores de êmbolos (pistão)
  - A potência do motor é dependente da pressão de alimentação, nº de pistões, área do pistão, curso e velocidade dos pistões

© Copyright by Festo Didactic



**Motores pneumáticos**

- Motores de êmbolos (pistão)
  - Disponíveis com os dois sentidos de rotação
  - Velocidades de operação de 2000 a 4000 rpm
  - Potências de 1,5 a 20 KW
  - Binários de arranque elevados: 200 Nm ( a 6 bar)


© Copyright by Festo Didactic


**Motores pneumáticos**

- Motores de palhetas
  - Disponíveis com os dois sentidos de rotação
  - Velocidades de operação de 10000 a 20000 rpm
  - Potências de 75 W a 4 KW
  - Binários de arranque baixos
  - Construção muito compacta
  - Utilização em ferramentas pneumáticas


**Motores pneumáticos**

- Motores de engrenagens
  - Binário gerado pela pressão do ar a atuar sobre os dentes das engrenagens
  - Utilização de engrenagens helicoidais
  - Facilidade na reversibilidade de rotação do motor
  - Utilização em aplicações de potências elevadas (até 44 kW)
- Motores de turbina
  - Potências baixas
  - Elevadas velocidade de rotação (500 000 rpm)
  - Utilização em ferramentas de dentista



**Motores pneumáticos**




Características de motores pneumáticos


- Facilidade de regulação de
  - Velocidade (restritor de caudal)
  - Binário (limitação de pressão)
- Tamanho compacto
- Peso reduzido
- Inerentemente seguros a sobrecargas
- Gama alargada de velocidades e potências
- Manutenção reduzida
- Direcção de rotação facilmente reversível
- Seguros em ambientes explosivos


ordem de grandeza?

porque?


**Simbologia para atuadores angulares e motores**

- Atuador angular, de duplo efeito 
- Motor rotativo, com movimento de rotação unidirecional 
- Motor rotativo, com movimento de rotação bidirecional 


**Garras pneumáticas**



Dedos paralelos      Dedos angulares      Dedos radiais      Três dedos, angulares ou paralelos

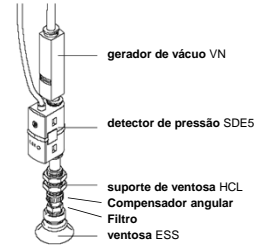
Garras Festo

## Sistemas de garras por ventosas (vácuo)



Válvula geradora de vácuo

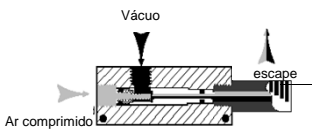
## Componentes típicos de um sistema de atuação por ventosa



FESTO

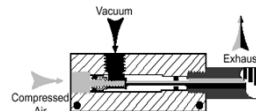
## Gerador de vácuo

- Princípio de funcionamento:
  - Criação de vácuo por efeito de venturi
- Problemas de
  - ruído, no escape do ar
  - consumos de ar parasitas
  - ejeção dos objetos
  - tempos de atuação



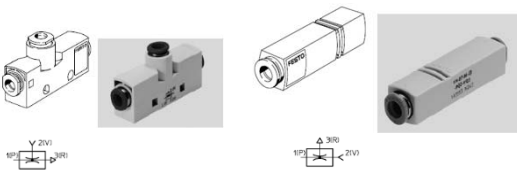
## Válvulas para ventosas

- Princípio de funcionamento:
  - Criação de vácuo por efeito de venturi
- Problema de ruído, no escape do ar (possibilidade de usar silenciadores)



## Gerador de vácuo

- Configurações físicas série VN, da FESTO

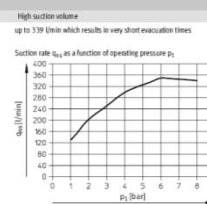
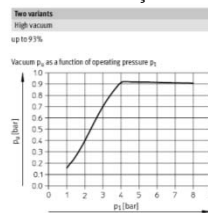


Configuração em "T"

Configuração em "linha"

## Gerador de vácuo

- Configurações possíveis série VN da FESTO
  - Geração de pressão de vácuo elevada
  - Geração de caudal de sucção elevado

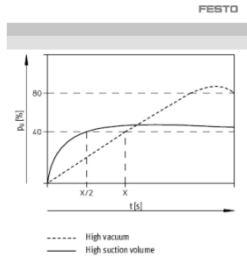


FESTO

## Gerador de vácuo

### Comparação de geradores de vácuo da série VN da FESTO

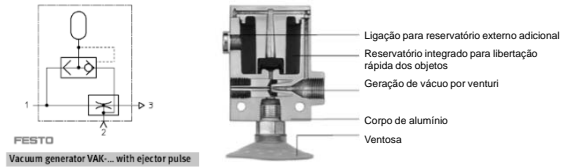
- Para atingir a mesma pressão de vácuo, o gerador de alta pressão necessita de um tempo mais longo do que o gerador de elevado caudal de sucção
- O gerador de elevado caudal de sucção permite ter caudais de sucção elevados mesmo a pressões de vácuo relativamente baixas



Paulo Abreu ©

## Gerador de vácuo com reservatório

- Reservatório armazena ar que é utilizado para criar um sopro para facilitar a expulsão do objeto, quando termina a alimentação de ar ao gerador de vácuo



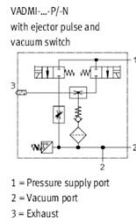
Vacuum generator VAK... with ejector pulse

Paulo Abreu ©

## Gerador de vácuo com comando elétrico integrado

### Vacuum generator VADMI...-P/-N with ejector pulse and vacuum switch

- 2 válvulas integradas operadas por solenoides para:
  - Comando on/off do vácuo
  - Gerador de sopro de expulsão
- Sensor de vácuo integrado
- Silenciador integrado
- Filtro de ar integrado

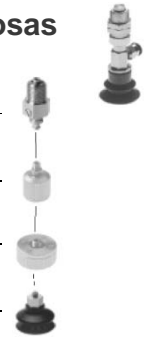


Paulo Abreu ©

## Sistema de Ventosas

### Constituintes

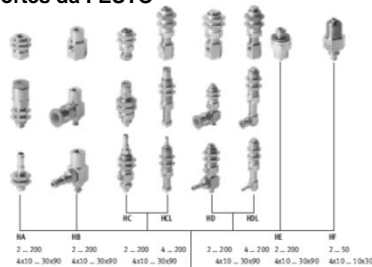
- Suporte \_\_\_\_\_
- Compensador angular \_\_\_\_\_
- Filtro \_\_\_\_\_
- Ventosa \_\_\_\_\_



Paulo Abreu ©

## Sistema de Ventosas

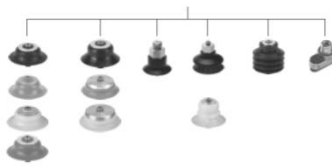
### Gama de suportes da FESTO



Paulo Abreu ©


## Sistema de Ventosas

### Gama de ventosas da FESTO




- Materiais da ventosa**
  - Borracha de nitrilo
  - Poliuretano
  - Poliuretano resistente ao calor
  - Silicone
  - Borracha de flúor
- Dimensão e forma da ventosa**
  - Circulares (Diâmetros de 2 a 200 mm)
  - Ovais
- Características funcionais**
  - Adequação a tipos de superfície de contacto
  - Adequação a porosidade dos materiais
  - Temperaturas

Paulo Abreu ©


**Exemplo de um Sistema de Ventosa**


Suction gripper ESG for suction cup  $\varnothing$  2 and 4 **FESTO**

Technical data  
 Function



Suction cup type:  
 ■ Standard, round

Temperature range  
 -30 ... +200 °C



General technical data - Suction cup					
Suction cup ID	Suction cup connection	Effective suction cup $\varnothing$ [mm]	Breakaway force at $\approx$ 7 bar [N]	Suction cup volume <sup>1)</sup> [cm <sup>3</sup> ]	Weight [g]
Standard, round					
2	3 <sup>1)</sup>	1.4	0.3	0.002	10
4	3 <sup>1)</sup>	3.3	0.4	0.006	10

1) Is plugged into or into the suction cup.  
 2) Volume to be measured.  
 3) Minimum air volume of the workpiece to be gripped.

Paulo Abreu ©


**Exemplo de um Sistema de Ventosa**

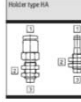
Suction gripper ESG for suction cup  $\varnothing$  2 and 4 **FESTO**

Material types - Suction cup					
Material	16	17	18	19	20
Clare hardness	50 x3	60 x3	50 x3	60 x3	50 x3
Material	Nitril rubber	Polysulfone	silicone	Fluoro rubber	Nitril rubber, antistatic
Colour	Fluo of copper, PTFE and silicone	Black	Blue	Transparent	Grey
Colour	Black	Blue	Transparent	Grey	Black with white dot


Ambient conditions - Suction cup					
Material	16	17	18	19	20
Medium temperature	PT	-10 ... +70	-20 ... +60	-10 ... +100	-10 ... +200
Conduction resistance	QBC <sup>2)</sup>	1	1	1	1

1) Connection resistance class 1 according to IEC standard IEC 60335.  
 2) Components requiring fire protection in isolation, transport and storage protection. Particulars will have priority in other surface requirements, e.g. in internal areas that are not visible or behind covers.

Suction cup holder size 1		
Public type 1A	Vacuum port [1]	Pin 1
Mounting thread [2]	G1/4	M6x0.5
Max. tightening torque [Nm]	3	2
Suction cup connection [3]	mm	3
Temperature range [°C]	0 ... +60	-10 ... +60
Materials	Steel, polycarbonate, white rubber	Steel
Weight	60	3



Paulo Abreu ©


**Detectors de pressão para ventosas**

Pressure switch SDE5 **FESTO**

**Características**


- Detector de pressão, programável, com saída digital, alimentação 24 V DC

**Utilização típica para detecção de objecto agarrado pela ventosa**


- Necessário programar dois níveis de pressão
  - Nível de pressão 1 correspondente a objecto agarrado
  - Nível de pressão 2 correspondente a objecto não agarrado
- A colocação em funcionamento do detector SDE5 no modo 1 calcula a média das pressões ensinadas.
- Se a pressão de vácuo detectada está abaixo do valor médio, considera-se que a peça foi agarrada, e a saída digital vai a 1
- Se a pressão de vácuo detectada está acima do valor médio, considera-se que a peça não foi agarrada, e a saída digital vai a 0

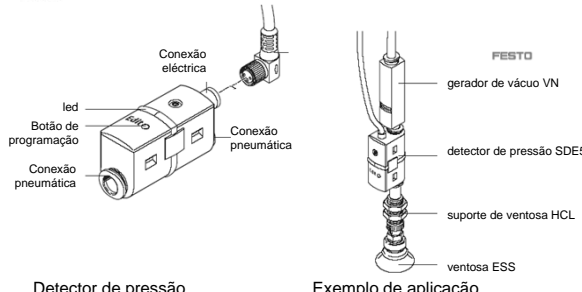
**Outras possíveis utilizações**

- Monitorização de pressão (pressão presente/ausente ou pressão em determinado intervalo)
- Deteção de objetos por monitorização de pressão



Paulo Abreu ©



**Detectors de pressão para ventosas**



Detector de pressão

Exemplo de aplicação

Paulo Abreu ©


**Elementos de comando pneumáticos**

**Válvulas pneumáticas**


elementos de comando, de regulação e de sinal em circuitos pneumáticos, cuja função básica é o condicionamento do fluxo de ar comprimido

Paulo Abreu ©


**Válvulas pneumáticas**




Paulo Abreu ©


**Válvulas pneumáticas**

**Caracterizadas por**


- Função**
  - válvulas direcionais
  - Válvulas fluxométricas
  - Válvulas de retenção
  - Válvulas manométricas
  - Válvulas de fecho
- Modo de operação**
  - mecânica, pneumática, elétrica
- Princípio de funcionamento:**
  - válvulas de sede (esfera, prato ou cone), válvulas de gaveta (linear ou rotativa)
- Tipo de instalação**
  - individual, em placa base,
- Tamanho**
  - dimensão das vias
- Estilo: ISO, Nugget, ...**

Paulo Abreu ©

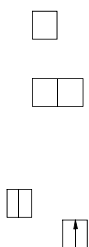

**Válvulas direcionais**

- As válvulas direcionais controlam a passagem de ar, permitindo o redireccionamento, a geração ou obturação de sinais pneumáticos
- A válvula é descrita por:
  - Nº de vias (orifícios)
  - Nº de posições
  - Método de atuação
  - Método de retorno de atuação
  - Tamanho da vias


Paulo Abreu ©


**Válvulas direcionais - simbologia (I)**

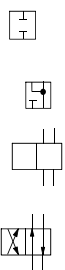
- As válvulas são representadas por um quadrado
- O número de quadrados unidos indica o número de posições de comando da válvula
  - a função e o modo de atuação são representados nos quadrados
- As linhas indicam as vias e as setas a direção do fluxo




Paulo Abreu ©














**Válvulas direcionais - simbologia (II)**

- As vias obturadas são indicadas por
- A união de vias dentro de uma válvula é indicada por um ponto
- As ligações ao exterior (entradas e saídas) são representadas por linhas
- As posições obtêm-se por deslocamento dos quadrados (sobreposição das ligações)












Paulo Abreu ©


**Válvulas- modos de atuação**

- Acionamento Manual**




- Acionamento Mecânico**




- Acionamento Elétrico**


- Acionamento Pneumático**



Paulo Abreu ©


**Simbologia para modos de atuação**

Acionamento manual genérico		Alavanca	
Botão "push"		Pedal	
Botão "pull"		Pedal duplo	
Botão "Push/pull"		Botão rotativo	

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Simbologia para modos de atuação

Haste		Pressão	
Mola		Pressão, com assistência pneumática	
Rolete		Pressão diferencial	
Rolete escamoteável		Encravamento com 3 posições	

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvulas - tamanho

- O tamanho de uma válvula refere-se à dimensão das vias principais da válvula
- Tipicamente, para válvulas com o mesmo princípio de funcionamento, quanto maior for o tamanho da válvula, maior é o caudal que pode ser controlado

Tamanho das vias

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvulas - identificação das vias

- Uma válvula é caracterizada por um par de números, por exemplo, 3/2. Isto indica que a válvula tem 3 vias e duas posições
- O símbolo da válvula mostra as suas posições possíveis
- A numeração dos orifícios está de acordo com a notação CETOP RP68P. Por exemplo:
  - quando a válvula é atuada no elemento atuador 12, o orifício 1 é ligado ao orifício 2
  - Quando regressa à sua posição de repouso, o orifício 1 fica obturado

CETOP Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques (<http://www.cetop.org/>)

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Simbologia para válvulas (I)

- Válvula de 2 vias, 2 posições, botão pressor, retorno por mola
- Válvula de 3 vias, 2 posições, botão pressor, retorno por mola
- Válvula de 3 vias, 2 posições, atuação por alavanca com encravamento

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Simbologia para válvulas (II)

- Válvula de 3 vias, 2 posições, de atuação pneumática diferencial
- Válvula de 5 vias, 2 posições, de atuação manual por botão pressor, retorno por mola
- Válvula 5 vias, 3 posições, de atuação pneumática, centragem por molas

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Simbologia para válvulas (III)

Todas as válvulas são mostradas nas posições de repouso (posição normal)

- Tipo 1. Saídas obturadas
- Tipo 2. Saídas ao escape
- Tipo 3. Saídas à pressão

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Aplicação de válvulas

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvulas direcionais

- Tipos de Válvulas direcionais
  - Entrada / sinalização
  - Processamento
  - Controlo

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvulas direcionais

- Válvulas direcionais:
  - Entrada / sinalização
  - Processamento
  - Controlo

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvulas direcionais

- Válvulas direcionais:
  - Entrada / sinalização
  - Processamento
  - Controlo

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvulas direcionais - princípio de construção

- Válvulas de sede
  - de sede esférica
  - de sede de prato
- Válvulas de gaveta
  - gaveta longitudinal
  - gaveta rotativa

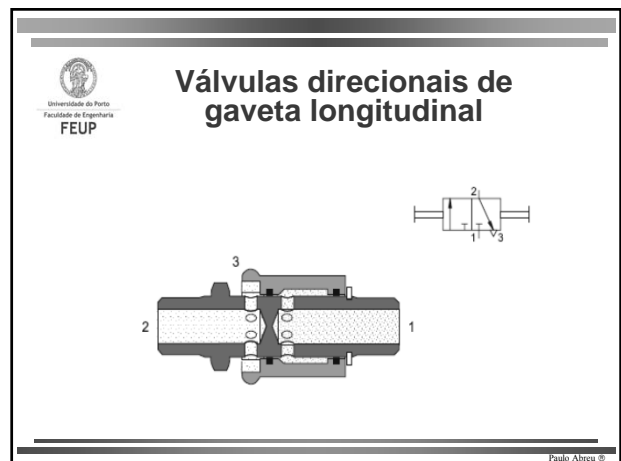
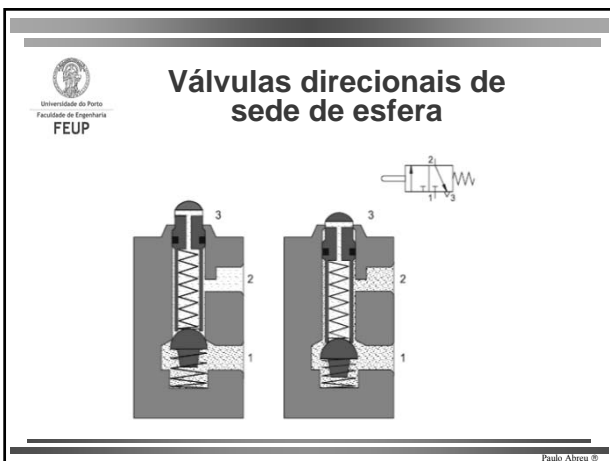
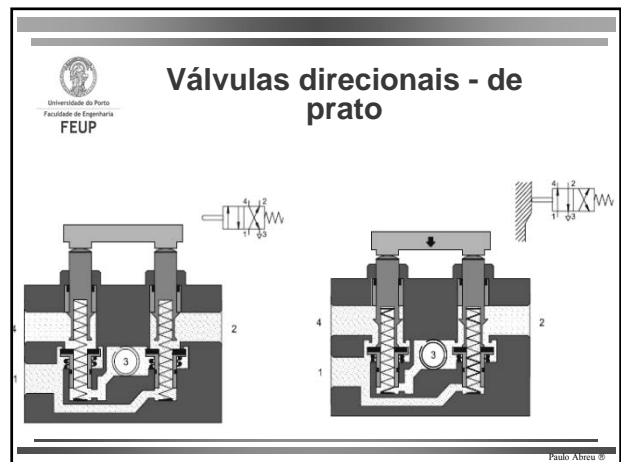
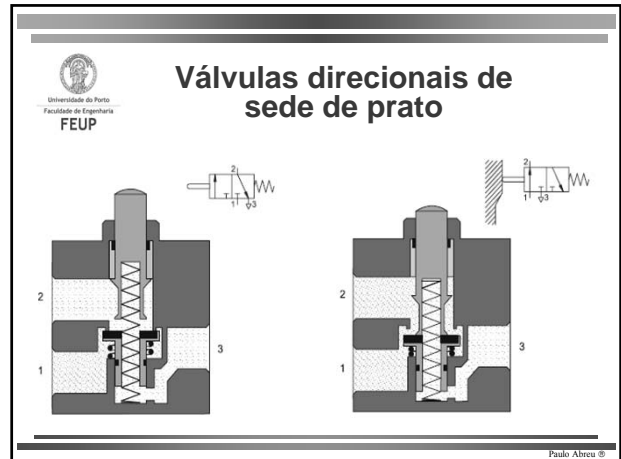
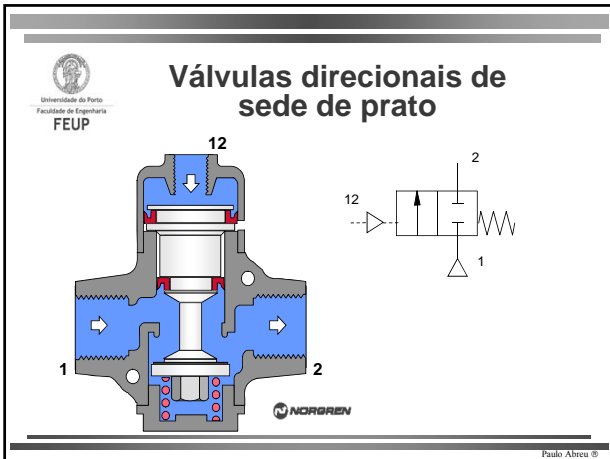
Paulo Abreu ©

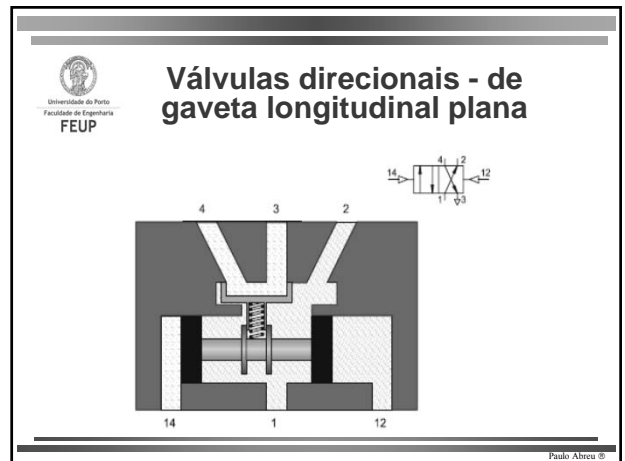
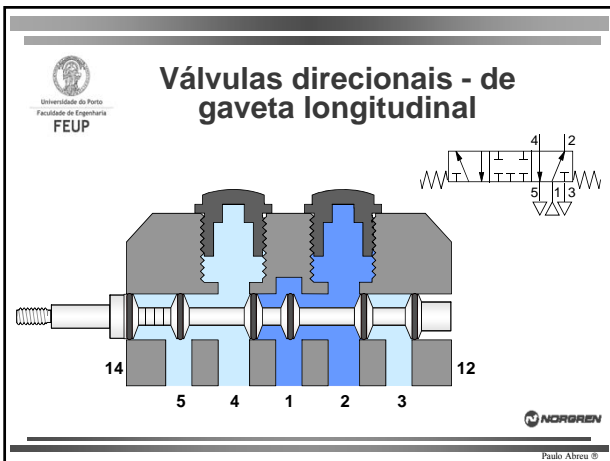
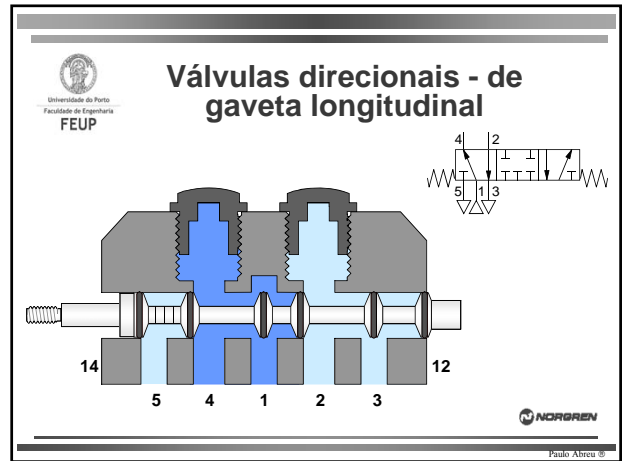
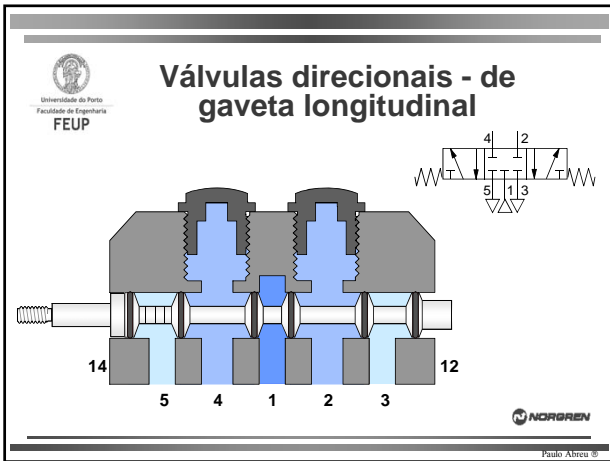
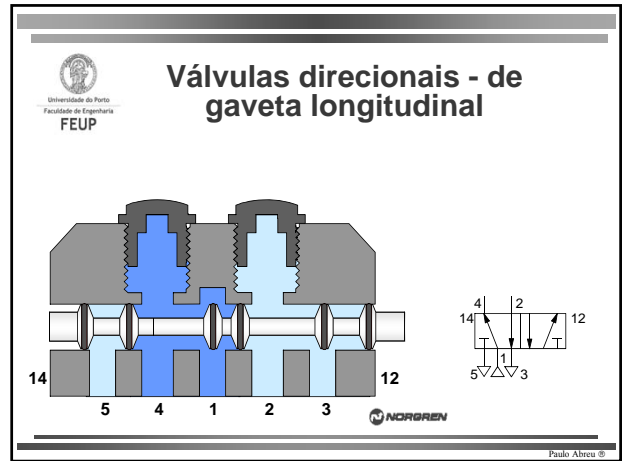
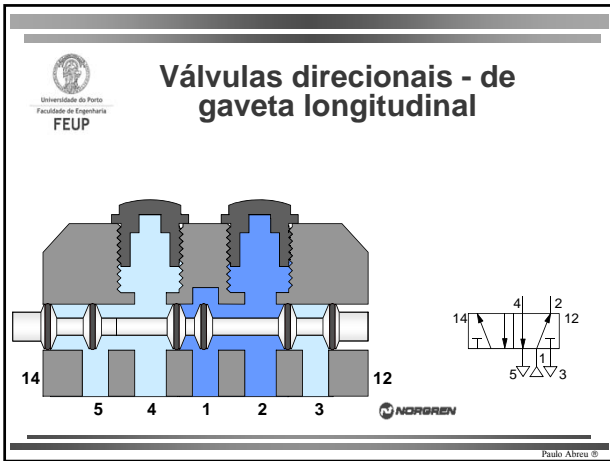
Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP


## Válvulas direcionais de sede de prato

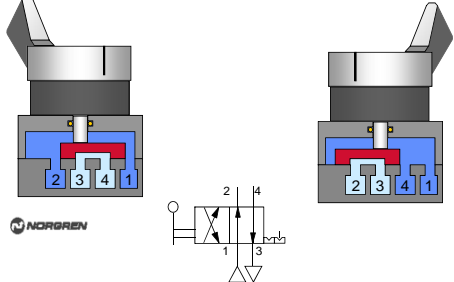
NORGREN


Paulo Abreu ©






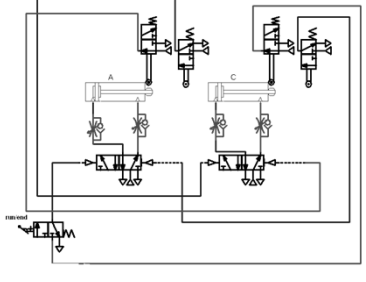

**Válvulas direcionais - de gaveta rotativa**






Paulo Abreu ©

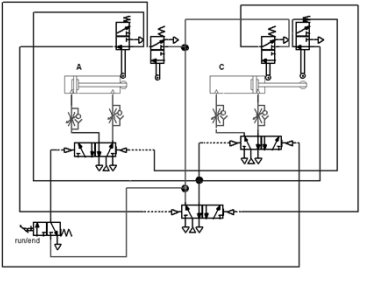

**Sequencia A+/C+/A-/ C-**



animação


Paulo Abreu ©








**Sequencia A+/C-/C+/A-**



animação


Paulo Abreu ©

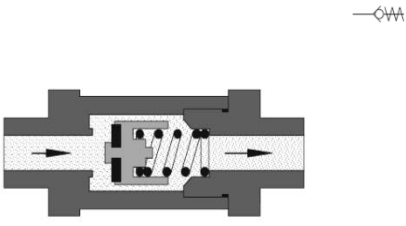

**Válvulas de retenção**

- As válvulas de retenção permitem controlar a passagem de ar apenas num só sentido
  - Válvula de retenção simples, sem e com mola
    - 
    - 
  - Válvula "ou"
    - 
  - Válvula "e"
    - 
    - 
  - Válvula de escape rápido
    - 


\* Nota: Símbolo atual, segundo ISO 1219

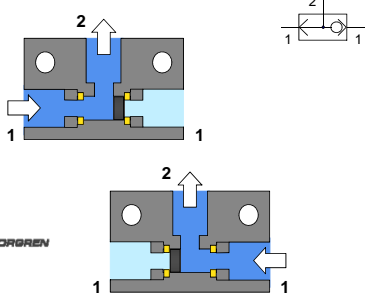
Paulo Abreu ©



**Válvula de retenção**




Paulo Abreu ©



**Válvula "ou"**





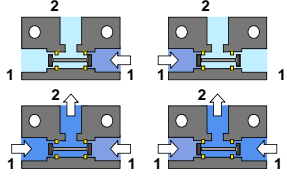


Paulo Abreu ©



**Válvula "e"**


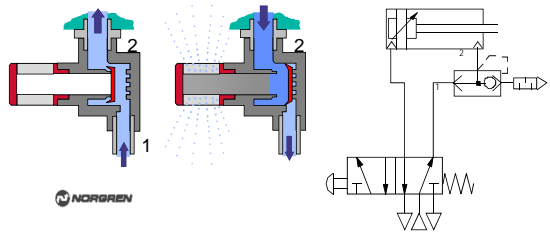

**ISO 1219-1 symbol**


**Popular old symbol**






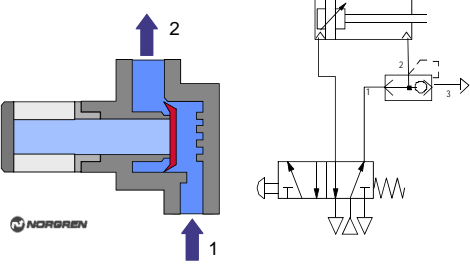
Paulo Abreu ©


**Válvula de escape rápido**





Paulo Abreu ©



**Válvula de escape rápido**





Paulo Abreu ©



**Válvulas fluxométricas**

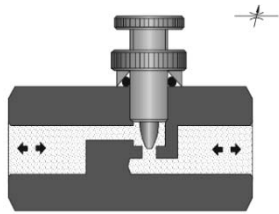
- As válvulas fluxométricas restringem a passagem de ar
- Devem ser posicionadas o mais perto possível do elemento de trabalho
- É comum acoplar uma válvula unidirecional, para permitir restringir o fluxo de ar num só sentido


 Válvula estranguladora de caudal



 Válvula estranguladora de caudal unidirecional

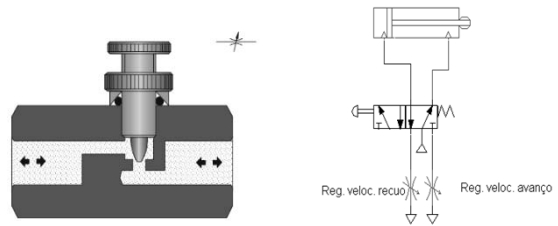
Paulo Abreu ©


**Válvula estranguladora de caudal**



Paulo Abreu ©


**Válvula estranguladora de caudal bidirecional**



Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvula estranguladora de caudal unidirecional

Reg. veloc. recuo      Reg. veloc. avanço

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Válvulas manométricas

- Válvulas limitadoras de pressão
  - (de pilotagem interna)
  - (de pilotagem externa)
- Válvulas reductoras de pressão (reguladora)
- Válvulas de sequência

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Exemplo de utilização de uma válvula de sequência

Sistema de prensagem de uma peça utilizando um cilindro pneumático

- O cilindro deverá avançar quando uma botoneira for atuada, mas apenas se a pressão de trabalho estiver disponível na rede. O recuo do cilindro dá-se por desatuação da botoneira

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Temporização pneumática (atraso ao ligar)

Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

## Temporização pneumática (atraso ao desligar)

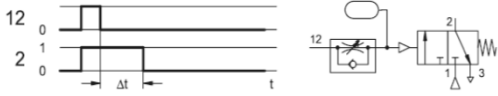
Paulo Abreu ©

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

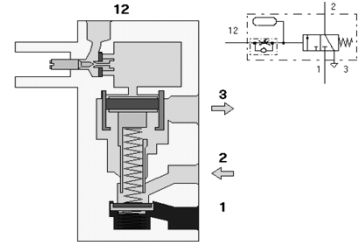
## Temporização pneumática (geração de impulso)

Paulo Abreu ©

## Temporização pneumática (extensão de impulso)

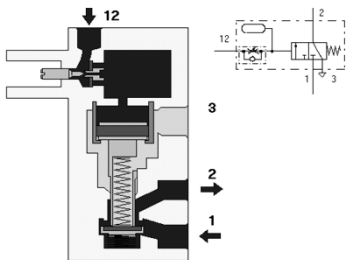


## Válvula de temporização [NF]



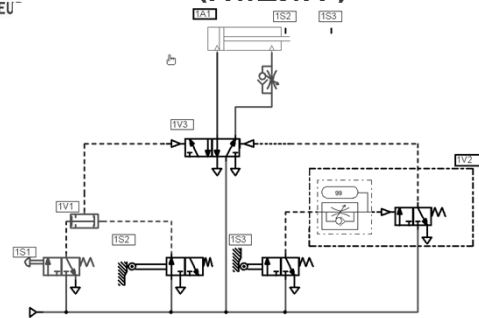
Válvula não atuada

## Válvula de temporização [NF]



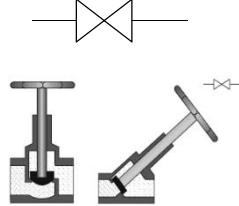
Válvula atuada

## Exemplo de circuito (A+/ $\Delta t$ /A-)



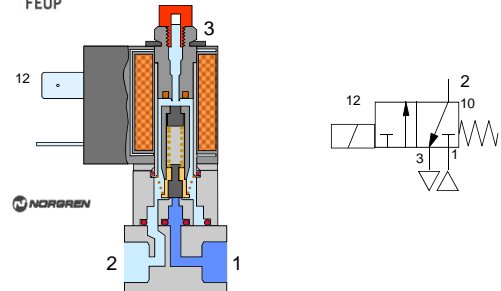
## Válvulas de fecho

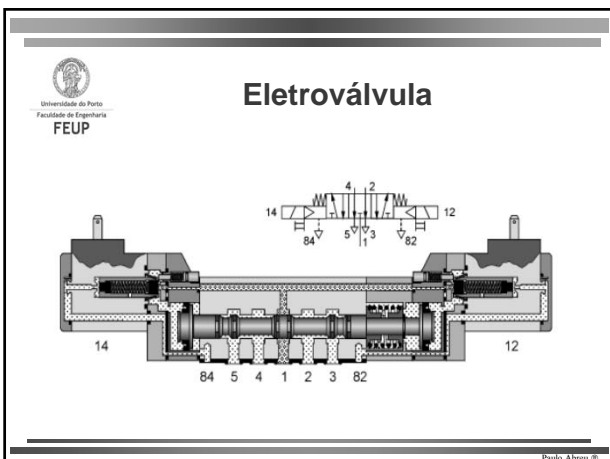
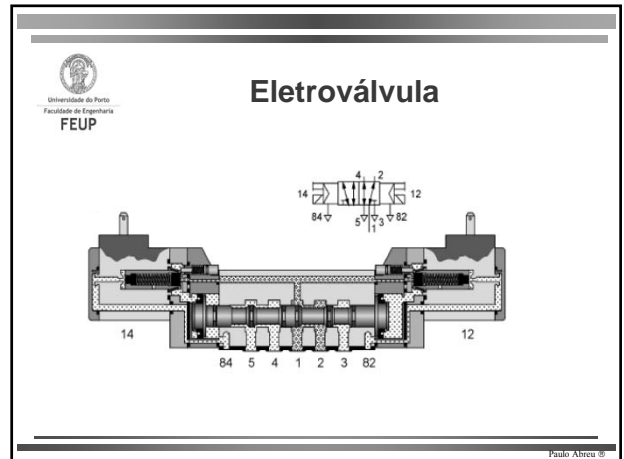
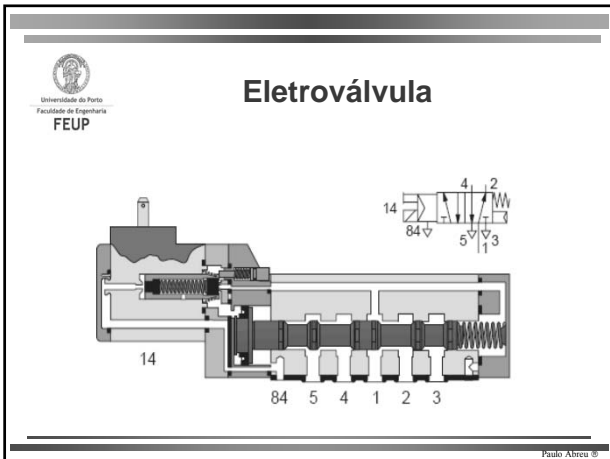
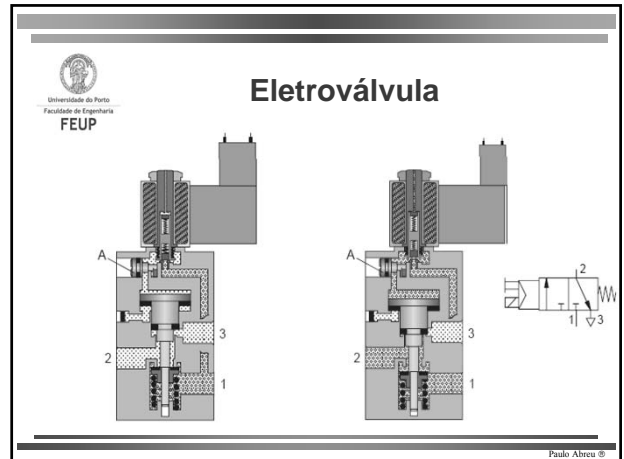
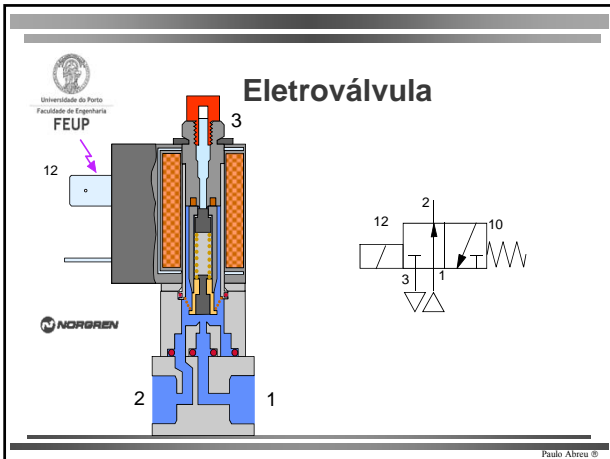
- Válvulas que abrem ou fecham a passagem de ar
  - Acionamento manual
  - Acionamento elétrico



Acionamento manual

## Eletroválvula



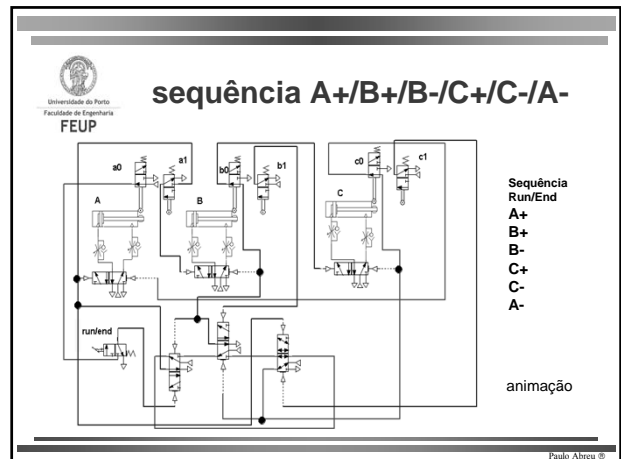
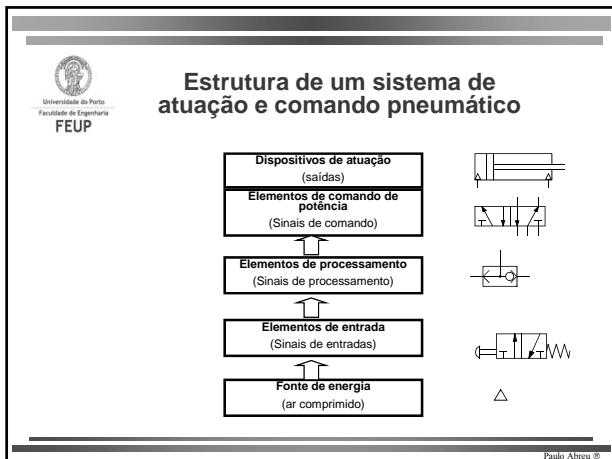


**Características de uma eletroválvula**

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

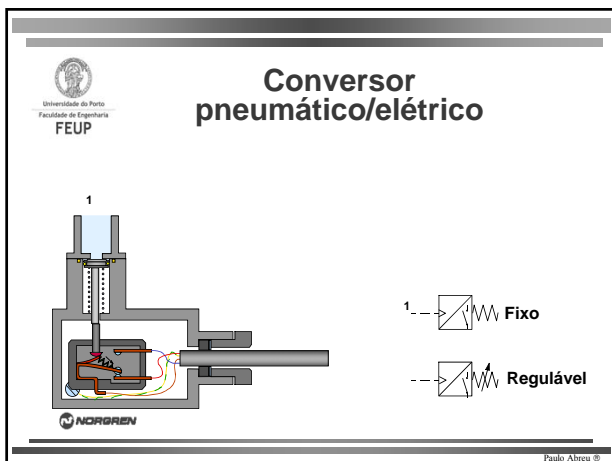
- **Aspetos Pneumáticos**
  - Tamanho das vias
  - Caudal
  - Gama de pressões
- **Aspetos de performance**
  - Tempo de comutação
  - Classe de proteção
- **Aspetos Elétricos**
  - Tensão
  - Consumo
- **Configuração mecânica**
  - Tipo de montagem

Paulo Abreu ©



- Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP
- ## Outros componentes pneumáticos
- Elementos sensores pneumáticos: pressostatos, vacuostatos, sensores de barreira de ar.
  - Unidades de construção especial: unidades hidropneumáticas, alimentadores de avanço.
- Paulo Abreu ©

- Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP
- ## Conversores
- Conversores:
    - função de deteção da presença de um sinal pneumático, sinalizando-o por emissão de um sinal elétrico na saída.
  - Características típicas
    - Não é necessário o ajuste do ponto de comutação.
    - Existência de modelos para monitorização de pressão ou vácuo.
  - Solução economicamente viável em aplicações onde a deteção da presença de ar ou vácuo se faz necessário.
- Paulo Abreu ©



- Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP
- ## Transmissor de Pressão
- Transmissor de Pressão:
    - Os transmissores eletrónicos de pressão geram um sinal elétrico analógico (corrente ou tensão) proporcional ao valor de pressão a que são submetidos.
  - Características típicas:
    - Diversidade de escalas de pressão de entrada e sinais analógicos correspondentes;
    - Grau de proteção IP65;
    - Precisão de +/- 0,5%;
  - São ideais para aplicações que requerem medição, monitorização e/ou controle apurado de processos.
- Paulo Abreu ©



## Transmissor de Pressão

### Tipos

- Faixa de pressão
- 0 ... 2,5 bar
- 0 ... 10 bar
- 0 ... 16 bar

### Saída analógica

- 5V/20mA: saída analógica 1 ... 5 V e 4 ... 20 mA
- 10V/20mA: saída analógica 0 ... 10 V e 0 ... 20 mA

- Tensão 12 ... 30 V c.c.

### Vantagens

- Transdutor de pressão piezo-resistivo
- Gera um sinal analógico de corrente e tensão proporcional ao valor de pressão a que é submetido

■ Transmissor de pressão  
SDE-2,5-10V/20MA  
19560, da Festo



Paulo Abreu ©



## Pressostatos / Vacuostatos

### ■ Pressostatos / Vacuostatos

- Conversor pneumático-elétrico que permite monitorização de:

- Sinais de pressão;
- Sinais de pressão diferencial;
- Sinais de vácuo.

### ■ Características típicas:

- Saída digital (comutação de contacto elétrico)
- Saída analógica (tensão ou corrente)
- Manómetro

Paulo Abreu ©



## Pressostato / Vacuostato

Pressure sensors SDE1, with display

FESTO



- Five pressure measuring ranges
- Measurement of relative or differential pressure
- Switch outputs PNP, NPN and with analogue current or voltage output
- LCD or illuminated LCD display
- Wide range of connection and mounting options

Paulo Abreu ©



## Sensores de deteção pneumáticos

- Sensores para deteção de objetos sem contacto direto e saída pneumática.

### ■ Princípio de Deteção

- Reflexão
- Barreira de ar (emissor/recetor)

### ■ Aplicações típicas:

- Contagem em geral;
- Controle de ferramentas de prensas e estamparias (espessuras, ruturas, duplicidades)
- Controle de borda;
- Ambientes especiais: sujos, ruidosos, risco de explosão, escuridão total

Paulo Abreu ©



## Sensor por reflexão de ar

- Micro-sensor por reflexão de ar  
RML-5  
7050 da Festo

O bico do sensor é alimentado por uma pressão de 0,1 a 0,2 bar na conexão P com ar comprimido filtrado e não lubrificado. Quando o fluxo de escape permanente do sensor é perturbado, ocorre um sinal na saída 2 com uma pressão de sinal superior a 0,5 mbar. Esse sinal de pressão pode ser amplificado até a pressão desejada com o uso de um amplificador de pressão adequado.



Paulo Abreu ©



## Sensor por barreira de ar

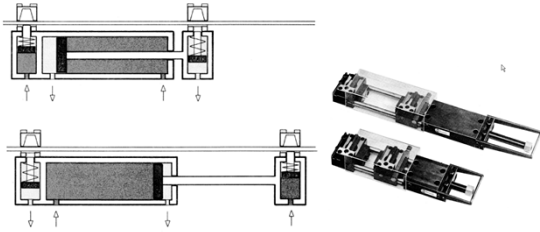
- Bico emissor SFL-100-S  
e  
Bico recetor SFL-100-F, da FESTO

Quando o objeto a ser detetado interrompe o jacto de ar entre o bico emissor e o recetor, a pressão do sinal no recetor cai.



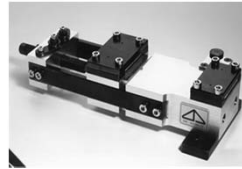
Paulo Abreu ©

## Alimentadores pneumáticos



Paulo Abreu ©

## Alimentadores pneumáticos



■ <http://www.deangelismaquinas.com.br/portugues/alimentador.htm>

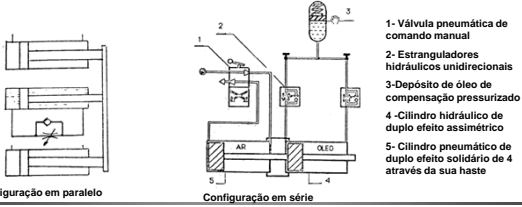
Características	Modelo DA50AP
Comprimento (mm)	260
Altura (mm)	55
Largura (mm)	75
Posição de Montagem	Horizontal
Ciclos /min	Até 300 p/min
Peso (Kg)	1.5 Kg
Curso (mm)	De 0 a 50 mm
Largura máxima da fita (mm)	40

Paulo Abreu ©

## Unidades hidropneumáticas

### Características:

- Utilização de um cilindro hidráulico para regulação da velocidade de avanço/recuo de um cilindro pneumático
- Acionamento puramente pneumático



Configuração em paralelo

Configuração em série

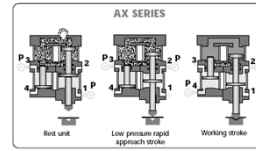
Paulo Abreu ©

## Unidades hidropneumáticas



Sistema constituído por um cilindro pneumático e um dispositivo hidráulico multiplicador de pressão, permitindo que o curso total seja subdividido em duas fases distintas:

- Movimento de aproximação rápido com forças disponíveis baixas
- Movimento de trabalho, com força amplificada pelo dispositivo hidráulico



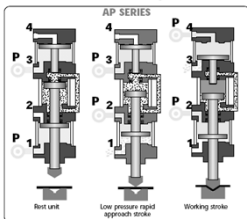
Alfamatic Power Cylinder

www.alfamatic.com

Paulo Abreu ©

## Unidades hidropneumáticas

### Alfamatic Power Cylinder



Sistema constituído por um cilindro pneumático e um dispositivo hidráulico multiplicador de pressão, permitindo que o curso total seja subdividido em duas fases distintas:

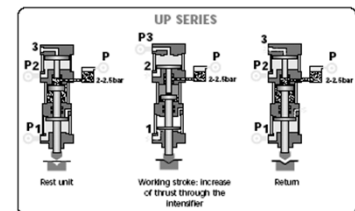
- Movimento de aproximação rápido com forças disponíveis baixas
- Movimento de trabalho, com força amplificada pelo dispositivo hidráulico



www.alfamatic.com

Paulo Abreu ©

## Unidades hidropneumáticas



Alfamatic Power Cylinder

www.alfamatic.com

Paulo Abreu ©



## Análise e síntese de circuitos pneumáticos (I)

### Funcionalidades típicas em circuitos pneumáticos

- Regulação de posição
- Regulação de força/binário
- Regulação de velocidade
- Temporizações
- Funcionamento ciclo a ciclo / funcionamento contínuo

Paulo Abreu ©



## Análise e síntese de circuitos pneumáticos (II)

### Funcionalidades típicas em circuitos pneumáticos

- Comando bimanual
- Comando de despressurização do atuador (atuador “livre”)
- Comando com memorizações
- Recurso a Fins de curso “virtuais”
- Arranque com pressurização controlada

Paulo Abreu ©



## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

### Regulação de posição num cilindro pneumático:

- Utilização das posições extremas de funcionamento de dum cilindro
- Utilização de esbarros mecânicos, mantendo o cilindro em carga
- Utilização de bloqueio da haste do cilindro (por outro cilindro)
- Recurso a servosistemas de posicionamento pneumático

Paulo Abreu ©



## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

### Regulação de força/binário

- Controlo da pressão de alimentação do atuador, por utilização de válvulas manométricas, reductoras de pressão. Possibilidade de comutação da pressão de trabalho.
- Escolha da dimensão do atuador (para a mesma pressão, cilindro de maior dimensão permite disponibilizar uma maior força)
- Utilização de atuadores distintos, operados a diferentes pressões. Por exemplo, no fecho de uma porta, ter um atuador de pequena dimensão, operado a baixa pressão, para limitar a força de fecho a um valor baixo, e uma vez a porta fechada, acionar um outro cilindro que permite manter a porta fechada, assegurando uma maior força de fecho.

Paulo Abreu ©



## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

### Regulação de velocidade

- Utilização de válvulas restritoras de caudal (para diminuição de velocidade)
- Utilização de válvulas de escape rápido (para aumento de velocidade)
- Influencia da dimensão da válvula, *raccords* (conectores) e comprimento da ligação entre válvula e atuador na velocidade de operação do atuador, bem como da carga a movimentar

Paulo Abreu ©



## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

### Temporizações

- Utilização de válvulas pneumáticas temporizadoras
- Utilização de relés temporizadores (em circuitos eletropneumáticos)
- Utilização de válvulas restritoras de caudal unidirecional em conjunto com reservatório de ar

Paulo Abreu ©

## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

Funcionamento ciclo a ciclo / funcionamento contínuo

- Utilização de válvulas monoestáveis/bi estáveis em conjugação com válvula "ou"

## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

Comando bimanual

- Utilização de válvula de comando bimanual
- Utilização de duas válvulas de comando e tirando partido do encravamento de válvula (dupla pilotagem)

## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

Comando de depressurização do atuador (atuador "livre")

- Utilização de válvulas de três posições, com centro ligado ao escape
- Utilização de válvula para corte de alimentação da válvula distribuidora do atuador;

## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

Comando com memorizações

- Utilização de válvulas biestáveis
- Utilização de memória pneumática
- Utilização de relés autoalimentados (em circuitos eletropneumáticos)

## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

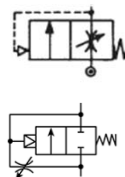
Recurso a Fins de curso "virtuais", para geração de um sinal correspondente à atuação de um fim de curso real

- Utilização de temporizações pneumáticas
- Utilização de relés temporizados (em circuitos eletropneumáticos)

## Análise e síntese de circuitos pneumáticos

Arranque com pressurização controlada

- Utilização de válvula de arranque "soft start"

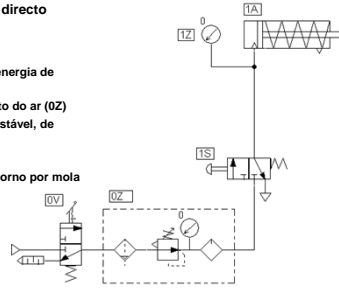


## Controlo de um cilindro de simples efeito (1)

Circuito de comando pneumático directo

**Notar:**

- Válvula de alimentação de energia de comando manual (0V)
- Unidade de condicionamento do ar (0Z)
- Válvula pneumática, monoestável, de accionamento manual (1S)
- Manómetro de pressão(1Z)
- Cilindro monoestável de retorno por mola (1A)

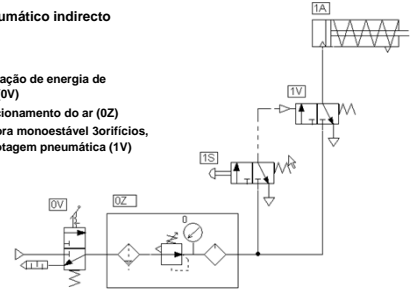


## Controlo de um cilindro de simples efeito (2)

Circuito de comando pneumático indirecto

**Notar:**

- Válvula de alimentação de energia de comando manual (0V)
- Unidade de condicionamento do ar (0Z)
- Válvula distribuidora monoestável 3orifícios, 2 posições, de pilotagem pneumática (1V)

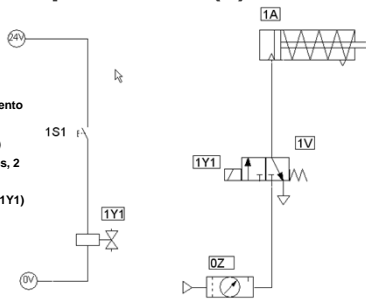


## Controlo de um cilindro de simples efeito (3)

Circuito eletropneumático

**Notar:**

- Unidade de condicionamento do ar (0Z)
- Válvula distribuidora (1V) monoestável de 3 orifícios, 2 posições, de comando eléctrico (por Solenoíde, 1Y1)
- Contacto eléctrico de accionamento manual, monoestável (1S1)

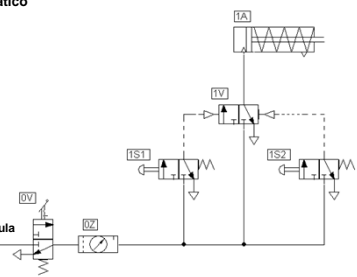


## Controlo de um cilindro de simples efeito (4)

Circuito de comando pneumático a partir de duas válvulas monoestáveis

**Notar:**

- Movimento de avanço por actuação de 1S1
- Movimento de retorno por actuação de 1S2
- Válvula distribuidora (1V) biestável de 3 orifícios, 2 posições, de pilotagem pneumática
- Memorização de ordem de avanço e de recuo pela válvula 1V

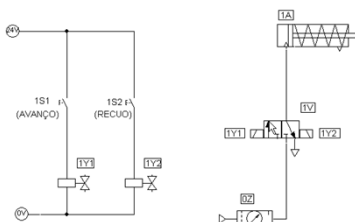


## Controlo de um cilindro de simples efeito (5)

Circuito eletropneumático

**Notar:**

- Unidade de condicionamento do ar (0Z)
- eletroválvula biestável (1V)
- Dois Contactos eléctricos de accionamento manual, monoestáveis (1S1 – avanço e 1S2 – recuo)
- Memorização de ordem de avanço e de recuo pela válvula 1V

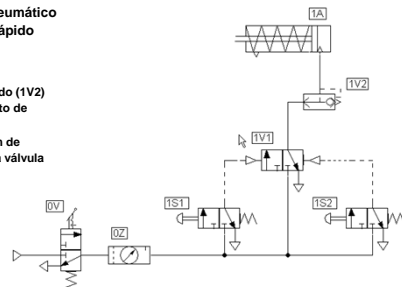


## Controlo de um cilindro de simples efeito (6)

Circuito de comando pneumático com válvula de escape rápido

**Notar:**

- Válvula de escape rápido (1V2) para permitir movimento de recuo rápido
- Memorização de ordem de avanço e de recuo pela válvula 1V1

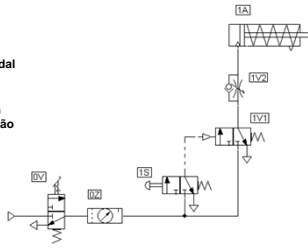


## Controlo de um cilindro de simples efeito (7)

Circuito de comando pneumático com regulação de velocidade

**Notar:**

- Válvula de estranguladora de caudal unidireccional (1V2) para regular velocidade de recuo do cilindro
- Unidade de tratamento de ar com apenas filtro e regulador de pressão (02)
- Comando do cilindro por válvula distribuidora monoestável (1V1)

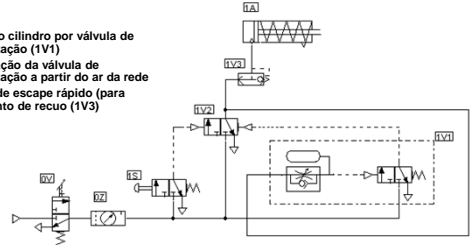


## Controlo de um cilindro de simples efeito (8)

Circuito de comando pneumático com válvula de temporização

**Notar:**

- Recuo do cilindro por válvula de temporização (1V1)
- Alimentação da válvula de temporização a partir do ar da rede
- Válvula de escape rápido (para movimento de recuo) (1V3)

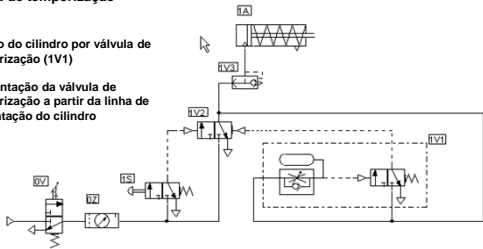


## Controlo de um cilindro de simples efeito (9)

Circuito de comando pneumático com válvula de temporização

**Notar:**

- Recuo do cilindro por válvula de temporização (1V1)
- Alimentação da válvula de temporização a partir da linha de alimentação do cilindro

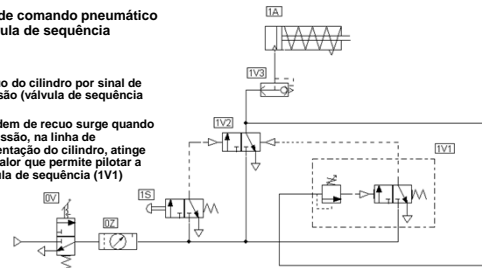


## Controlo de um cilindro de simples efeito (10)

Circuito de comando pneumático com válvula de sequência

**Notar:**

- Recuo do cilindro por sinal de pressão (válvula de sequência 1V1)
- A ordem de recuo surge quando a pressão, na linha de alimentação do cilindro, atinge um valor que permite pilotar a válvula de sequência (1V1)

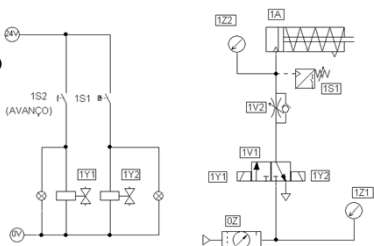


## Controlo de um cilindro de simples efeito (11)

Circuito eletropneumático com pressostato

**Notar:**

- Recuo do cilindro por sinal de pressão (pressostato 1S1)
- A ordem de recuo surge quando a pressão, na linha de alimentação do cilindro, atinge um valor que permite comutar o contacto eléctrico 1S1 do pressostato, alimentando o solenóide 1Y2 da válvula 1V1
- Memorização de ordem de avanço e de recuo pela válvula 1V1

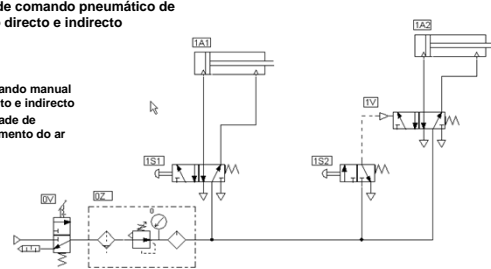



## Controlo de um cilindro de duplo efeito (1)

Circuito de comando pneumático de comando directo e indirecto

**Notar:**

- Comando manual directo e indirecto
- Unidade de tratamento do ar



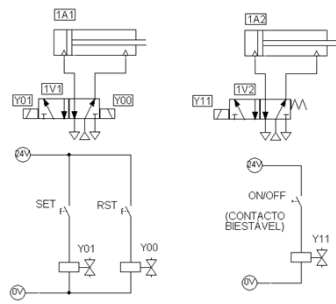

**Controlo de um cilindro de duplo efeito (2)**

Universidade do Porto  
 Faculdade de Engenharia  
 FEUP


**Circuito eletropneumático**

**Notar:**

- No comando por eletroválvula biestável, memorização das ordens de recuo e avanço feita no circuito de potência (pela válvula distribuidora 1V1)
- No comando por eletroválvula monoestável, memorização da ordem de recuo e avanço feita no circuito de comando (pelo contacto eléctrico ON/OFF)



Paulo Abreu ©

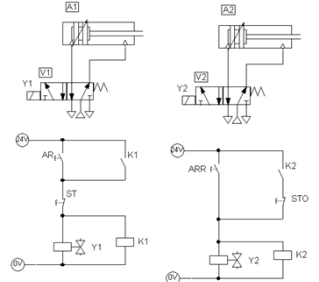

**Controlo de um cilindro de duplo efeito (3)**

Universidade do Porto  
 Faculdade de Engenharia  
 FEUP


**Circuito eletropneumático**

**Notar:**

- Comando por eletroválvula monoestável.
- Memorização da activação do solenóide da válvula (ordem de avanço) feita no circuito de comando, por relé auxiliar, com montagem de auto-alimentação
- Montagem de auto-alimentação com prioridade ao ligar e com prioridade ao desligar



Paulo Abreu ©

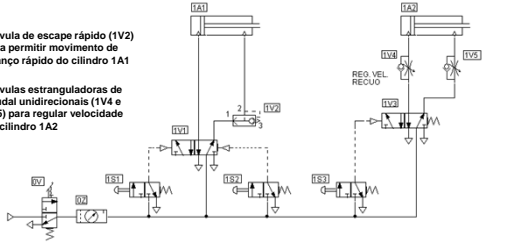

**Controlo de um cilindro de duplo efeito (4)**

Universidade do Porto  
 Faculdade de Engenharia  
 FEUP


**Circuito de comando pneumático com válvula de escape rápido e estrangulador**

**Notar:**

- Válvula de escape rápido (1V2) para permitir movimento de avanço rápido do cilindro 1A1
- Válvulas estranguladoras de caudal unidireccionais (1V4 e 1V5) para regular velocidade do cilindro 1A2



Paulo Abreu ©

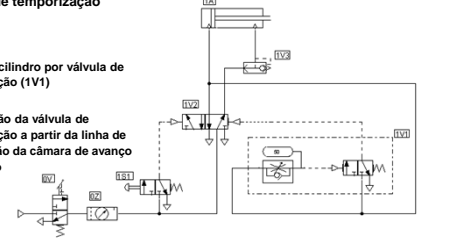

**Controlo de um cilindro de duplo efeito (5)**

Universidade do Porto  
 Faculdade de Engenharia  
 FEUP

**Circuito de comando pneumático com válvula de temporização**

**Notar:**

- Recuo do cilindro por válvula de temporização (1V1)
- Alimentação da válvula de temporização a partir da linha de alimentação da câmara de avanço do cilindro



Paulo Abreu ©

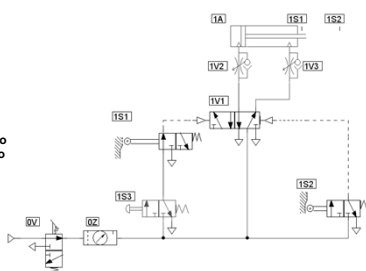

**Controlo de um cilindro de duplo efeito (6)**

Universidade do Porto  
 Faculdade de Engenharia  
 FEUP


**Movimento de vaivém de cilindro com fins de curso**

**Notar:**

- Funcionamento ciclo a ciclo por actuação em válvula monoestável (1S2)
- Recuo automático do cilindro por actuação do fim de curso (1S3)
- Ordem de avanço só tem efeito quando o cilindro se encontra recuado (válvula 1S7 actuada)



Paulo Abreu ©

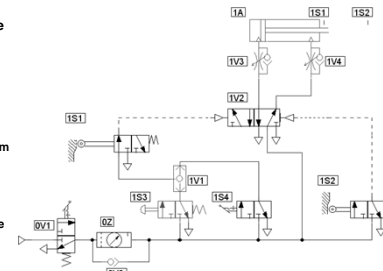

**Controlo de um cilindro de duplo efeito (7)**

Universidade do Porto  
 Faculdade de Engenharia  
 FEUP


**Movimento de vaivém de cilindro com possibilidade de funcionamento em contínuo**

**Notar:**

- Funcionamento ciclo a ciclo (1S3) ou em contínuo por actuação em válvula biestável (1S4)
- Válvula unidireccional 0V2 permite despressurizar a linha de alimentação do cilindro, quando é desligado o ar em 0V1



Paulo Abreu ©



**Controlo de um cilindro de duplo efeito (8)**

Movimento de vaivém de cilindro com paragem de emergência

■ Notar:
 

- Paragem de emergência por actuação em 1S5, deixando o cilindro livre
- Reinício por actuação em 1S6

Paulo Abreu ©



**Controlo de um cilindro de duplo efeito (9)**

Movimento de vaivém de cilindro

■ Notar:
 

- Paragem de emergência por actuação em 1S5
- Reinício por actuação em 1S6, forçando o cilindro a recuar

Paulo Abreu ©



**Controlo de um cilindro de duplo efeito (10)**

Movimento de vaivém de cilindro sem fins de curso

■ Notar:
 


- Fins de curso virtuais por utilização de válvulas de temporização

Paulo Abreu ©



**Problema 1**

■ Pretende-se projetar um sistema eletropneumático para implementação de movimento de vaivém de um cilindro de duplo efeito assimétrico. O sistema deverá permitir o controlo da velocidade do cilindro de modo a ser possível uma velocidade lenta no movimento de avanço e no recuo. Deverá prever duas botoneiras de comando, uma para movimento ciclo a ciclo e outra para ciclo contínuo.

Paulo Abreu ©


**Problema 1**

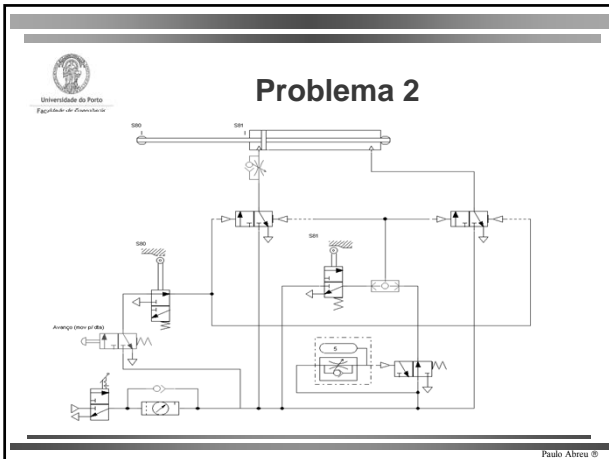
Paulo Abreu ©



**Problema 2 (prova de Jan. 2007)**

■ Considere que dispunha de um cilindro pneumático de duplo efeito simétrico e que pretendia implementar um simples circuito capaz de efetuar um movimento de vaivém. O movimento de avanço é dado pela atuação de uma válvula pneumática de acionamento manual. O recuo é feito automaticamente, logo que o cilindro atinja a posição de avanço.

- Apresente um circuito pneumático de comando tendo em consideração que por limitações de equipamento disponível não pode utilizar uma válvula 4/2 ou 5/2 para a alimentação do cilindro, dispondo apenas de válvulas 3/2 biestáveis.
- Represente as alterações ao circuito de modo a permitir a regulação da velocidade no movimento de recuo.

Paulo Abreu ©

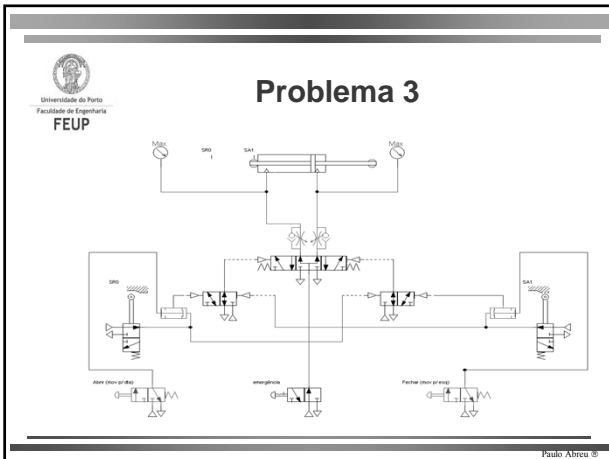




**Problema 3**  
**(prova de Fev. 2007)**

Um cilindro pneumático de haste dupla desloca uma porta de correr de um armazém. Apresente um circuito de comando exclusivamente pneumático que incorpore as seguintes funcionalidades:

- um botão (monoestável) para abrir e outro para fechar a porta "totalmente";
- um botão de emergência para paragem a "meio curso" permitindo que o cilindro fique "livre", isto é, com as duas câmaras despressurizadas;
- nas situações de porta "totalmente aberta" ou "totalmente fechada" (definidas por fins-de-curso) o cilindro fica "bloqueado" com pressão de ar nas duas câmaras.

Paulo Abreu ©



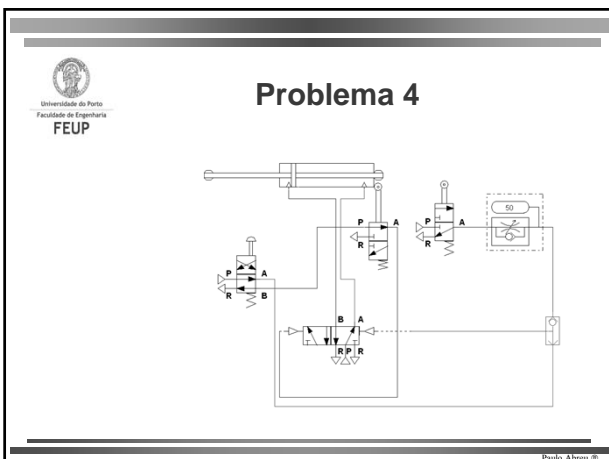

**Problema 4**  
**(Prova de Jan. 2008)**


■ Pretende-se projetar um circuito pneumático para comando de um cilindro de duplo efeito simétrico de acordo com a seguinte especificação de funcionamento:

- o cilindro deverá avançar somente enquanto se mantiver acionado um botão de comando (monoestável)
- o cilindro recuará imediatamente até ao início do seu curso se, durante o avanço, o botão deixar de ser acionado
- o recuo verificar-se-á totalmente mesmo que entretanto o botão volte a ser acionado;
- tendo atingido o curso máximo, o movimento de recuo far-se-á após um tempo ( $\Delta t$ ), mesmo que o botão de comando continue acionado.

Proponha uma solução de circuito exclusivamente pneumático.

Paulo Abreu ©

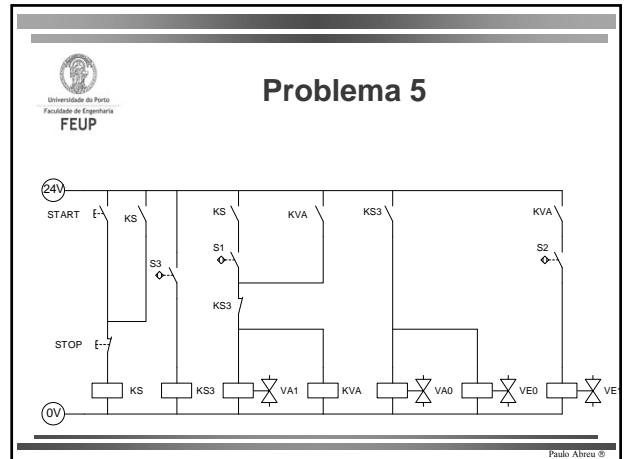
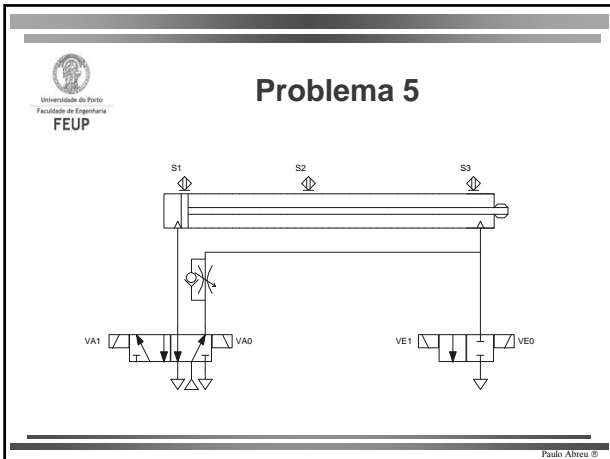



**Problema 5**  
**(Prova de Fev. 2008)**

Pretende-se projetar um sistema eletropneumático para implementação de movimentos contínuos de vaivém de um cilindro de duplo efeito assimétrico. O sistema deverá permitir o controlo da velocidade do cilindro de modo a ser possível uma velocidade lenta na primeira metade do movimento de avanço e uma velocidade rápida no restante curso de avanço. O recuo deverá ser realizado a uma só velocidade.

- Proponha uma solução para este problema, utilizando válvulas eletropneumáticas biestáveis.

Paulo Abreu ©



**Problema 6 (Prova de Jan. 2009)**

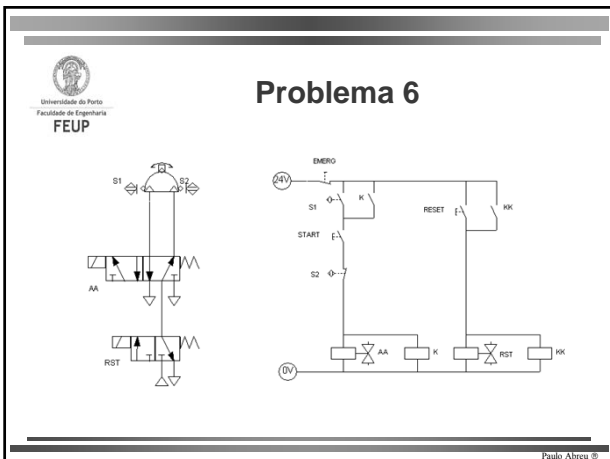
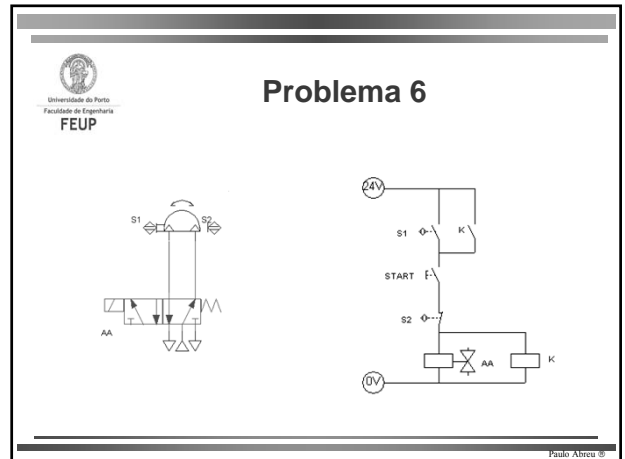
Pretende-se projetar um circuito eletropneumático para comando de um atuador angular de acordo com a seguinte especificação de funcionamento:

- o atuador só pode iniciar o seu movimento no sentido retrógrado (sentido A) quando se encontrar em S1; o movimento neste sentido só é executado enquanto se mantiver acionado um botão de comando (monoestável) [START];
- se, durante o movimento no sentido retrógrado, o botão deixar de ser atuado, o atuador inverte o seu sentido de movimento (regressa a S1).
- uma vez atingida a posição S2, o atuador dever-se-á mover no sentido direto (sentido B), mesmo que o botão de comando se mantenha atuado;

- (a) Proponha uma solução de circuito eletropneumático (circuito de potência + circuito de comando), sabendo que o atuador angular deve ser controlado a partir de uma eletroválvula monoestável.
- (b) Apresente as modificações necessárias aos circuitos de potência e de comando de modo a que, em caso de atuação numa botoneira de paragem de emergência, o atuador fique livre (câmaras despressurizadas). Após a remoção da condição de emergência, deverá ser possível reposicionar o atuador na posição S1, por atuação de botão "RESET".

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

Paulo Abreu ©



**Problema 7 (Prova de Fev. 2009)**

Considere o circuito representado ao lado.


a) Tendo-se verificado uma avaria na válvula 5/2, foi posta a hipótese de substituir por duas válvulas 3/2, monoestáveis, de acionamento pneumático, que existiam em armazém. Apresente uma solução que mantenha a mesma funcionalidade do circuito apresentado, utilizando as referidas válvulas 3/2.

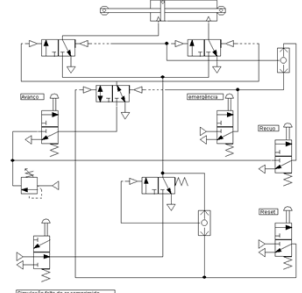
b) Modifique o circuito de modo a disponibilizar as seguintes novas funcionalidades:

- disponibilização de uma válvula de paragem de emergência que force o cilindro a retornar a posição esquerda. O reinício da operacionalidade do circuito só poderá ocorrer depois de atuada uma válvula de "reset";
- necessidade de a pressão da rede estar acima de um determinado valor (por ex. 6 bar) para que a actuação das botoneiras produzam efeito na movimentação do cilindro; em caso de falta de ar comprimido, o cilindro fique com ambas as câmaras despressurizadas.

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP


Paulo Abreu ©


**Problema 7**




Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

Paulo Abreu ©

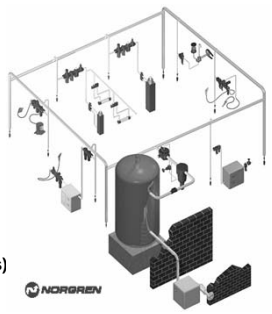


**ANEXOS**

Paulo Abreu ©



**Sistema Pneumático Típico**

- Ar
- Compressor
- Secador de ar
- Reservatório
- Rede de distribuição
- Preparação do ar (regulação)
- Controlo (válvulas)
- Atuadores (cilindros, motores)



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP


Paulo Abreu ©


**Preparação de ar comprimido**

- compressão do ar
- redução da temperatura do ar (que aumenta com a compressão)
- remoção de partículas sólidas que estejam presentes no ar ou que possam ser adicionadas durante o processo de compressão
- remoção da água e vapor de água presente no ar (secagem)
- a regulação da pressão do ar
- a adição de lubrificante ao ar comprimido, se necessário

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

Paulo Abreu ©


**Preparação de ar comprimido**

- Tipicamente, os sistemas pneumáticos são feitos para operar a 8-10 bar. Contudo, utilizar uma pressão mais baixa - 6 bar - releva-se mais económico e permite satisfazer a maioria das aplicações
- Há contudo de ter em consideração perdas de pressão devidas à rede de distribuição de artubagens, restrições, curvas, ... - que podem atingir os 0.1 a 0.7 bar
- Por estas razões, para operar com equipamento a 6 bar, o compressor deverá poder fornecer ar a 6,5 a 7 bar

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

Paulo Abreu ©


**Produção de ar comprimido**

- **Recurso a compressores**
  - Conversão de energia mecânica em energia pneumática
- **Tipos de compressores mais comuns:**
  - **Volumétricos:**
    - Compressor de êmbolo-pistão
    - Compressor de parafuso
  - **Dinâmicos**
    - Turbocompressor



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
FEUP

Paulo Abreu ©

## Características de um compressor

- Débito
- Pressão
- Tipo de Acionamento
  - elétrico
  - motor a explosão (gasolina, diesel)
- Lugar de montagem
- Reservatório
- Ruído
- Custo

## Débito de um compressor

- Unidades possíveis
  - Débito em ar livre (FAD *free air delivery*)
    - valores de referência : pressão absoluta de admissão: 1 bar  
temperatura ambiente 20°C
  - Débito em capacidade normal (*normal m³*)
    - valores de referência : pressão absoluta de admissão: 1.013 bar  
temperatura ambiente 0°C
- Conversão  
atendendo a que  $p_0 V_0 / T_0 = p_1 V_1 / T_1$   
 $V_1 = p_0 V_0 T_1 / (T_0 p_1)$   
e por tal,  
 $Q_1 = p_0 Q_0 T_1 / (T_0 p_1)$

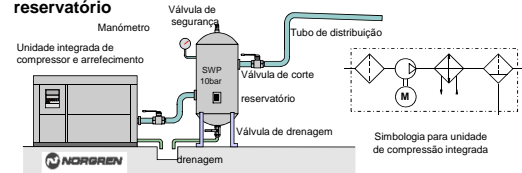
## Reservatório

- Funções
  - armazenar ar comprimido
  - aumentar o arrefecimento (recolha de água condensada)
  - nivelar as pressões ao longo da rede de distribuição
  - amortecer as pulsações resultantes do funcionamento alternativo do compressor
- Volume do reservatório depende de
  - débito do compressor
  - consumo de ar
  - tipo de regulação do compressor

## Instalação de uma unidade de compressão de ar

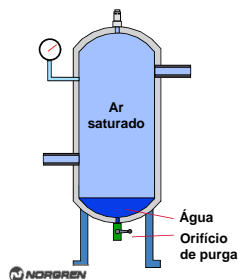
Instalação típica de uma unidade de compressão de média dimensão

- compressor integrando filtro de entrada de ar, acionamento elétrico, *after cooler*, e sistema de drenagem de água
- reservatório




## Ar comprimido e água

- Quando o ar é comprimido, o vapor de água presente no ar, pode condensar, criando-se água, para além da humidade que continua a existir no ar

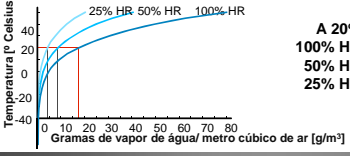


## Humidade do Ar

- Humidade: quantidade de vapor de água em suspensão no ar: a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter depende da temperatura e da pressão a que o ar se encontra
- Terminologia utilizada:
  - Humidade absoluta: quantidade efetiva de vapor de água contida no ar
  - Humidade de saturação: quantidade máxima de vapor de água que pode estar presente no ar (a uma dada temperatura e pressão) (ver curva de saturação – diagrama de ponto de degelo "Dew point")
  - Humidade relativa: relação entre a humidade absoluta e humidade de saturação



**Humidade Relativa do Ar**

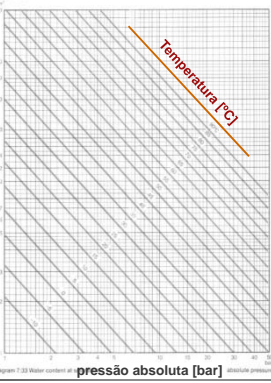
- A quantidade de vapor de água presente na atmosfera é medida pela humidade relativa %HR.
- Humidade relativa =  $m/m'$   
 $m$  - massa de vapor de água que existe num dado volume de ar  
 $m'$  - massa de vapor de água que existiria no mesmo volume de ar se o ar estivesse saturado de humidade à temperatura e pressão a que se encontra



**A 20° Celsius e a 1 bar**  
 100% HR = 17.4 g/m<sup>3</sup>  
 50% HR = 8.7 g/m<sup>3</sup>  
 25% HR = 4.35 g/m<sup>3</sup>


Paulo Abreu ©





**Conteúdo de água [g/m<sup>3</sup>] em ar saturado, em função da pressão absoluta e temperatura**

Paulo Abreu ©



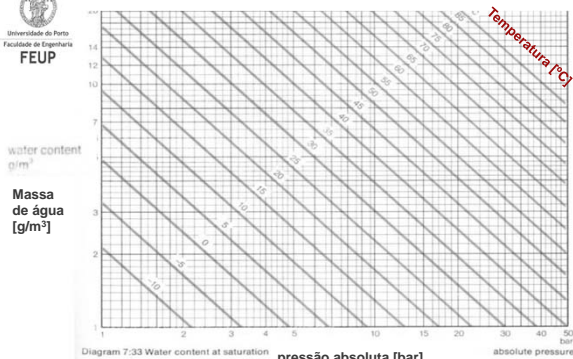



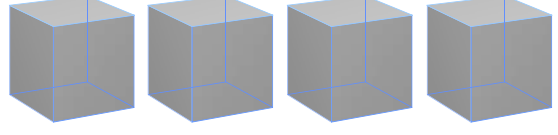
Diagram 7:33 Water content at saturation

Paulo Abreu ©




### Água contida no ar comprimido

- A figura abaixo apresenta 4 cubos, cada qual representando um metro cúbico de ar atmosférico, à temperatura de 20°C. Cada um destes volumes apresenta uma humidade relativa de 50% HR. Assim, cada um destes cubos contém 8.7g de vapor de água (a quantidade máxima de água possível em cada um é de 17.4g)

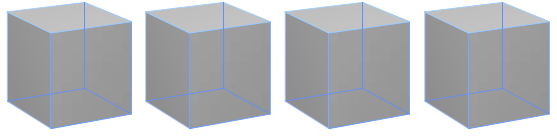


Paulo Abreu ©




### Água contida no ar comprimido

- Quando o compressor comprime estes quatro volumes de ar de modo a se obter apenas um volume de 1 metro cúbico de ar, significa que a quantidade de água contida neste novo volume é de 4 x 8.7 g. Como o ar apenas pode conter uma humidade relativa de 100%, significa que parte desta massa de água teve que condensar.

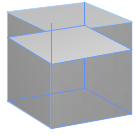


Paulo Abreu ©



### Água contida no ar comprimido

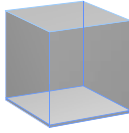
- Quando o compressor comprime estes quatro volumes de ar de modo a se obter apenas um volume de 1 metro cúbico de ar, significa que a quantidade de água contida neste novo volume é de 4 x 8.7 g. Como o ar apenas pode conter uma humidade relativa de 100%, significa que parte desta massa de água teve que condensar.



Paulo Abreu ©

## Água contida no ar comprimido

- Partindo de 4 metros cúbicos de ar a 50%HR e à pressão atmosférica (1 bar) e comprimindo-os de modo a ocuparem um metro cúbico, chega-se a uma pressão manométrica de 3 bar
- Este ar inicial possui  $4 \times 17.4 \times 0.5 = 34.8$  g de água
- Como à pressão de 3 bar (4 bar absoluta) e a 20 °C, o ar pode conter 4.4 g / m<sup>3</sup>, significa que o ar comprimido está saturado (humidade relativa de 100%) e que condensaram 30.4 g de água!

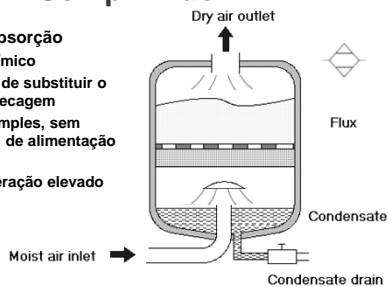


## Secagem de Ar Comprimido

- Métodos de secagem**
  - Secagem por absorção**
    - processo químico
  - Secagem por adsorção**
    - processo físico
  - Secagem por arrefecimento (processo mais utilizado)**
    - por arrefecimento do ar, consegue-se a condensação da humidade presente no ar

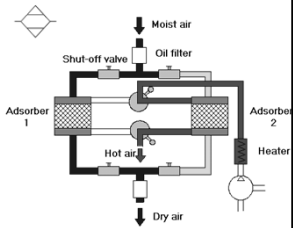
## Secagem de Ar Comprimido

- Secagem por absorção**
  - processo químico
  - necessidade de substituir o material de secagem
  - instalação simples, sem necessidade de alimentação elétrica
  - custo de operação elevado



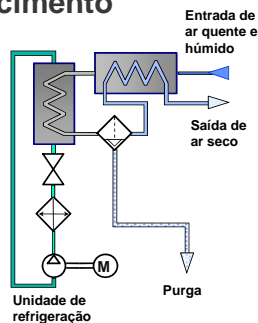
## Secagem de Ar Comprimido

- Secagem por adsorção**
  - processo físico
  - o ar comprimido passa através de um permutador contendo material (100% óxido de silício) que retém a humidade presente no ar; quando o permutador fica saturado, comuta-se para um outro permutador, e pelo primeiro, é soprado ar quente, que absorverá a humidade do meio secador



## Secagem de Ar por Arrefecimento

- O ar húmido e quente entra no primeiro permutador de calor, aonde é arrefecido pelo ar de saída.
- De seguida, entra no segundo permutador, aonde é refrigerado.
- A água condensada é removida e drenada.
- O ar seco e refrigerado é aquecido no primeiro permutador pelo ar húmido e quente de entrada.



## Qualidade do Ar

- Especificada em função do nível de contaminação do ar em termos de:
  - partículas sólidas- dimensão e quantidade
  - água
  - Óleo
- Norma ISO 8573-1 ar define classes de qualidade para ar comprimido de uso geral
- Cada classe de qualidade de ar é representada por três números, de acordo com a tabela do acetato seguinte.
  - Exemplo: ar de qualidade 1.7.1, possui partículas sólidas de dimensão 0.1 µm max. e concentração 0.1 mg/m<sup>3</sup> max.; água não especificada; óleo 0.01 mg/m<sup>3</sup> max.

## Qualidade do Ar

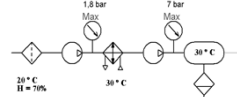
ISO 8573-1

Class	Particle size		Water		Oil
	max. in $\mu\text{m}$	max. in $\text{mg}/\text{m}^3$	Pressure dew point in $^{\circ}\text{C}$	Water $\text{mg}/\text{m}^3$	Residual oil content in $\text{mg}/\text{m}^3$
1	0,1	0,1	-70	3	0,01
2	1	1	-40	120	0,1
3	5	5	-20	880	1
4	15	8	3	6.000	5
5	40	10	7	7.800	25
6	-	-	10	9.400	-
7	-	-	-	-	-

Pressure dew point is the temperature to which compressed air must be cooled before water vapour in the air starts to condense into water particles

## Exercício

Um compressor do tipo ZR-3B da Atlas Copco debita 0,250 m<sup>3</sup>/s de ar livre. O ar comprimido é arrefecido num arrefecedor intermédio do compressor (intercooler), com circulação de água até uma temperatura de 30 °C. A pressão intermédia no arrefecedor é de 1,8 bar (relativos). A saída do compressor é colocado um reservatório de ar que mantém uma temperatura da ordem dos 30 °C.



Sendo 7 bar a pressão à saída do compressor, e as condições de aspiração  $T = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $H_r = 70\%$ , determinar:

- O caudal de água depositado no arrefecedor intermédio.
  - O caudal de água depositado no reservatório.
  - A frequência mínima com que deve ser purgado o reservatório para eliminação dos condensados.
- Obs.: O compressor funciona em contínuo; a válvula de descarga automática impede a subida da pressão quando há (ligeiras) descidas do consumo e assim dispensa a paragem do motor de acionamento. Nestes casos a prática recomenda que o volume do reservatório seja 6 vezes o C.a.l. (por segundo). O volume de água no reservatório deve ser inferior a 15 % do volume do reservatório.

## Exercício

- Qual a potência de um motor elétrico necessária para o acionamento de um compressor de parafuso com as seguintes características:

- pressão de utilização entre 7 e 10 bar;
- débito de ar livre 450 l/min;
- rendimento global do compressor 18%.

## Exercício

- Potência [W] = Pressão [N/m<sup>2</sup>] x caudal [m<sup>3</sup>/s]

$$Q_{a1} = Q_{ps} \times \left( \frac{P_a + P_{atm}}{P_{atm}} \right)$$

$$Q_{ps} = Q_{a1} \times \left( \frac{P_{atm}}{P_a + P_{atm}} \right)$$

$$Q_{ps} = 450 [\text{l}/\text{min}] \times \left( \frac{1 [\text{bar}]}{1 [\text{bar}] + 1 [\text{bar}]} \right) = 41 [\text{l}/\text{min}] = \frac{41 \times 10^{-3}}{60} [\text{m}^3/\text{s}] = 6.8 \times 10^{-4} [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$P[W] = p [N/m^2] \times Q [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$P_{pneumatica} [W] = 10 \times 10^5 [N/m^2] \times 6.8 \times 10^{-4} [\text{m}^3/\text{s}] = 680 [W]$$

$$P_{elétrica} = P_{pneumatica} / \eta_{compressor}$$

$$P_{elétrica} [W] = 680 [W] / 18\% = 3780 [W]$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 [\text{Pa}] = 10^5 [\text{N}/\text{m}^2]$$

## Distribuição de ar comprimido

### Rede de ar comprimido

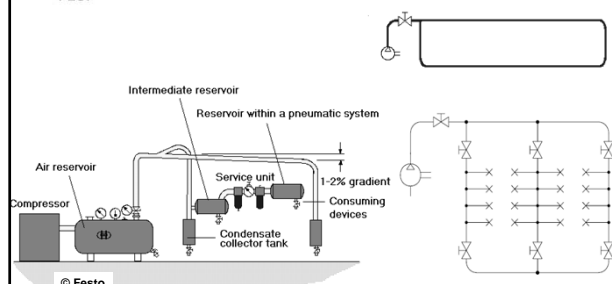
- minimizar quedas de pressão
- minimizar fugas
- permitir separação de produtos condensáveis

### Características típicas

- Rede em anel
- Tubos de purga
- Montagem dos tubos com inclinação
- Pontos de ligação à rede principal de modo a minimizar a passagem de água
- Passadores para permitir isolar parcialmente a rede, para manutenção
- Unidades de FRL antes de cada aplicação



## Rede de distribuição de ar comprimido



## Rede de distribuição de ar comprimido

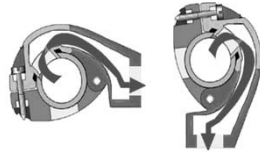
Pontos de ligação à rede principal de modo a minimizar a passagem de água



Solução errada!



Solução genérica



Solução LEGRIS  
(www.transair.legris.com)

## Rede de distribuição de ar comprimido

**Materiais dos tubos de uma rede de distribuição de ar**

- Aço galvanizado
- PVC, plástico
- Aço inoxidável
- Alumínio

**Sistemas de ligação entre tubos**

- Soldadura
- Colagem
- Roscagem
- Engates rápidos

**Atenção a problemas de:**

- Corrosão metálica / química
- Variação dimensional com a temperatura
- Sistemas de fixação

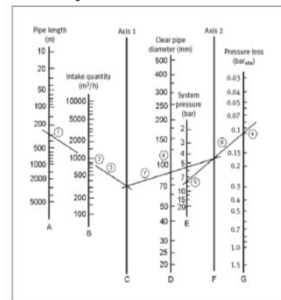
## Rede de distribuição de ar comprimido

**Cálculo dos diâmetros dos tubos da rede:**  
uso de ábacos

Ter em consideração:

- Comprimento da rede
- Nº e tipo de acessórios da rede (curvas, válvulas, joelhos,...), traduzidos em comprimento equivalente de rede
- Débito do compressor (ou consumo de ar previsto)
- Pressão de trabalho
- Queda de pressão máxima admissível (valor típico 0,1 bar)
- Futura necessidade de ampliação da rede e de aumento de consumo de ar
- Disponibilidade de diâmetros de tubos dos fornecedores (exemplo: LEGRIS fornece tubos de diam. 16,5, 25, 40, 63, 76 e 100 mm)

## Ábaco para determinação do diâmetro dos tubos de uma rede de ar comprimido



Hesse  
Compressed Air  
as an Energy Carrier  
Blue Digest on Automation  
2002 by Festo AG & Co.

## Gama de cilindros da FESTO

Cilindros segundo ISO 6432  
Tipo DSNU



- diâmetros 8 ... 63 mm
- cursos 10 ... 500 mm
- cursos especiais
- cilindros de dimensões normalizadas em "stock"

Cilindros para indústria alimentar  
Tipo CRHD



- diâmetros 32 ... 100 mm
- cursos 10 ... 500 mm
- com corpo em aço inoxidável
- raspador da haste em PUR
- aprovado para indústria alimentar massa lubrificante (de acordo com USDA-H1) e raspador da haste (de acordo com FDA)

## Gama de cilindros da FESTO

Cilindros segundo ISO 6431  
Tipo DNC



- Diâmetros 32 ... 125 mm
- Cursos 1 ... 2,000 mm
- com amortecimento de fim de curso ajustável (PPV)

Cilindros segundo ISO 6431  
Tipo DNCB



- Embolo com movimento muito suave e maior capacidade de absorção de energia
- compatível com acessórios e elementos de montagem da série DNC
- Diâmetros 32 ... 100 mm
- Cursos 2 ... 2,000 mm
- novo sistema de ajuste de precisão do amortecimento, com escala


**Gama de cilindros da FESTO**  
 FEUP

**Conjunto cilindro/válvula combinado**  
 Tipo DNCV



- orifícios de ligação de acordo com ISO 6431
- otimização do comprimento de guiamento do cilindro normalizado
- diâmetros 32 ... 63 mm
- cursos de 70 ... 500 mm


**Cilindros para indústria alimentar**  
 Tipo CDN




Com arestas boleadas. De acordo com ISO 6431/VDMA 24562. De limpeza fácil e detetores de proximidade integrados.

- Diâmetros 32 ... 100 mm
- cursos 10 ... 500 mm
- grande resistência à corrosão
- Raspador da haste em PUR
- aprovado para indústria alimentar massa lubrificante (de acordo com USDA-H1) e raspador da haste (de acordo com FDA)
- opção: parafusos com flange em aço inoxidável

Paulo Abreu ©



**Gama de cilindros da FESTO**  
 FEUP

**Cilindros compactos de acordo com ISO 21287**  
 Tipo ADN




- diâmetros 12 ... 125 mm
- cursos até 500 mm
- Larga variedade de variantes e tamanhos - para além dos normalizados
- Elementos de montagem para todas as necessidades
- Possibilidade de montagem de sensores em qualquer de 3 faces
- Suporte informático de dados e elementos de CAD para fácil e rigoroso apoio à conceção em engenharia

**Cilindros de aperto (lineares e com rotação)**  
 Type CLR




- guiamentos integrados
- diâmetros 12 ... 63 mm
- cursos de aperto 10 ... 50 mm
- ângulo de rotação 90°
- ambiente limpo Classe 7

Paulo Abreu ©



**Gama de cilindros da FESTO**  
 FEUP

**Cilindros compactos de pequeno curso**  
 Tipo ADVC



- rasgos para inserção de detetores de proximidade SM...-8/SM...-10
- diâmetros 4 ... 100 mm
- cursos 2.5 ... 25 mm
- configuração de furação de acordo com ISO 6431 para interligação com cilindros de diâmetros 32 ... 100 mm

**Cilindros "sem haste"**  
 Tipo DGC-18 a DGC-40



- atuador com guiamento e de espaço reduzido
- diâmetros 18 ... 40 mm
- cursos 10 ... 5,000 mm
- todas as interfaces funcionais acessíveis de um lado
- dispositivos de montagem otimizados e rigorosos
- amortecimento elétrico ou hidráulico em alternativa

Paulo Abreu ©


**Gama de cilindros da FESTO**  
 FEUP

**Atuadores sem haste pequenos**  
 Tipo DGC-8 e DGC-12



- todas as interfaces funcionais acessíveis de um lado
- elementos de montagem otimizados
- interfaces de montagem rigorosas
- cursos 1 ... 1,900 mm
- amortecimento elétrico ou hidráulico em alternativa
- 2ª carruagem opcional

**Mesas deslizantes**  
 Tipo SLT, SLS, SLF



- diâmetros: SLT: 6 ... 25 mm  
SLS/SLF: 6 ... 16 mm
- cursos 10 ... 200 mm
- vida aprox. de 20 milhões de ciclos devido a guia em "U" interna

Paulo Abreu ©


**Gama de cilindros da FESTO**  
 FEUP

**Cilindro com guiamento integrado**  
 Tipo DFP



- diâmetros 10 ... 80 mm
- cursos 25 ... 500 mm
- guias de esferas circulantes
- grande resistência a esforços de torção

**Unidade de guiamento**  
 Tipo DFC



- diâmetros 4, 6, 10 mm
- cursos 5 ... 30 mm
- com guias planas ou com esferas recirculantes

Paulo Abreu ©


**Gama de cilindros da FESTO**  
 FEUP

**Cilindro geminado**  
 Tipo DPZC



- diâmetros 6, 10, 16 mm
- cursos 10 ... 100 mm
- com guias planas ou com esferas recirculantes

**Atuador guiado**  
 Tipo DFM



- diâmetros 12 ... 100 mm
- cursos 10 ... 200 mm
- com guias planas ou com esferas recirculantes

Paulo Abreu ©



## Gama de cilindros da FESTO

### Atuador guiado modular Tipo DFM-B



- amortecimento pneumático de fim de curso ajustável ou amortecedores externos
- rigor de posicionamento nos extremos (melhor que 0.05 mm)
- 2 chumaceiras por haste de guia
- diâmetros 12 ... 63 mm
- cursos até 400 mm
- com guias planas ou com esferas recirculantes

### Cilindro batente Tipo STA



- batente de comportamento suave, sem vibração ou ruído para cargas até 300 kg. Atuação simples por válvula.
- diâmetros 20 ... 80 mm
- cursos 15 ... 40 mm
- de simples ou duplo efeito

Paulo Abreu ©



## Gama de atuadores da FESTO

### Músculo pneumático Tipo MAS



- Tubo flexível, reforçado com fibras
- Capacidade de exercer forças de tração 10 vezes superiores a um cilindro de diâmetro similar
- Diâmetros de 10, 20 e 40 mm
- Comprimentos nominais de 30 ... 9000 mm
- Sem comportamento de "stick-slip"
- Baixo peso,
- Hermeticamente selado

### Cilindro de aperto Tipo EV



- Diâmetros de 40 ... 63 mm
- Cursos de 3 ... 5 mm
- Cilindro de simples efeito
- Hermeticamente selado

Paulo Abreu ©



## Gama de atuadores da FESTO

### Cilindros de fole Tipo EB/EBS



- Diâmetros de 145 ... 250 mm
- Cursos de 60 ... 185 mm
- Cilindros de simples ou duplo fole

Paulo Abreu ©



## Gama de atuadores da FESTO

### Atuador angular Tipo DSM



- Atuação por palheta
- Diâmetro pistão 6 ... 40 mm
- Ângulo de rotação 0° to 270°
- Frequência de operação até 4 Hz

### Atuador angular Tipo DRQD



- Rotação por sistema de pinhão-cremalheira
- Possibilidade de posicionamento intermédio, amortecimento de curso, incorporação de sensores
- Ligações pneumáticas integradas
- Diâmetros de pistão 6 ... 50 mm
- Binário 0.15 ... 50 Nm
- Ângulo de rotação 90°, 180°, 360° ou outro valor configurável

Paulo Abreu ©



## Gama de atuadores da FESTO

### Garra rotativa Tipo HGDS



- Combinação de garra com movimento de rotação, numa só unidade
- Opção de amortecimento de impacto
- Utilização de rolamentos de esferas
- 3 tamanhos de diâmetros 12/16/20 mm
- Ângulo de rotação de 210°, com possibilidade de ajuste em qualquer posição
- Sensores para movimentos da garra e de rotação standard (SM10)
- Força de aperto por dedo 30 ... 85 N

### Unidade de rotação e translação integrada Tipo DSL



- Unidade com 2 graus de liberdade, podendo ser atuados individualmente ou em simultâneo
- Movimento de rotação ajustável, até 270°
- Diâmetros 16 ... 40
- Cursos 25 ... 160 mm
- Guiamento com esferas recirculantes
- Binário 1.25 ... 20 Nm

Paulo Abreu ©



## Gama de válvulas da Festo

### Válvula Universais Tipo CPE



- Válvulas individuais tipo CPE, poupança de espaço de montagem, baixo peso, adequadas para montagem próximo ou mesmo no atuador
- Largura 10 ... 24 mm
- Caudais até 3000 l/min
- Tensão de alimentação 24 V DC, 110 V AC, 230 V AC

### Micro/Mini/Midi



- Baixo consumo.
- Largura 10, 15, 18 mm
- Caudais 80, 200, 500 l/min
- Atuação direta ou indireta
- Pré-montagem do conector elétrico
- Disponibilidade de terminais de válvulas

Paulo Abreu ©



## Gama de válvulas da Festo

Válvulas standard ISO 5599/1,  
VDMA 24 563, NAMUR



### VDMA:

- Caudais 500 ... 1000 l/min
- Ligação elétrica central e standard

### ISO:

- Caudais 1200, 2300, 4500, 6000 l/min
- Ligação elétrica central M12 e standard

Válvulas Universal  
Tiger 2000



- Gama extensa com válvulas 5/2- e 5/3
- Caudais até 2000 l/min
- Solenoides de baixo consumo (tipo V)
- Gama alargada de tensões de alimentação para solenoides
- Montagem frontal ou lateral

Paulo Abreu ©



## Gama de válvulas da Festo

Válvulas universais  
Tiger Classic



- Tempos de resposta curtos
- Montagem em rail do tipo PAL ou PRS.
- Caudais até 7500 l/min
- Válvulas 3/2 e 5/2
- Tensões 12 ... 48 V DC, 24 ... 240 V AC

Válvulas de rápida comutação  
Tipo MH..2/MH..3/MH..4



- Disponíveis com conectores de ligação rápida pré-montados
- Largura 10, 14, 18 mm
- Caudais nominais de 100 ... 400 l/min
- Tensão 5/12/24 V DC
- Tempos de comutação de 4, 3 ou 2 ms
- Gama de pressões -0.9 ... 8 bar
- Classe de proteção IP40/IP65

Paulo Abreu ©



## Gama de válvulas da Festo

Válvulas individuais de fácil limpeza  
Tipo CDSV



- Desenhadas para a indústria alimentar
- Fáceis de limpar e resistentes a maioria de produtos de limpeza agressivos
- Válvulas: 5/2-, 5/2- duplo solenoide, 5/3-, 2 x 3/2-, com classe de proteção IP65 e IP67
- Caudal nominal máximo de 650 l/min
- Gama de pressões -0.9 ... 10 bar
- Consumos de 1.5 W por solenoide (com LED)

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas modular  
Tipo MPA1/MPA2



- Modularidade e flexibilidade total: podem ser facilmente reconfigurados e expandidos
- Manutenção fácil: possibilidade de troca rápida de válvulas e módulos de eletrónica
- Detecção rápida de avarias: leds em cada válvula e mensagem de diagnóstico via fieldbus.
- Gama alargada de válvulas: 5/2-, 5/3-, 2 x 3/2-, 2 x 2/2- e1 x 3/2- com alimentação de ar externa
- Sistema económico: ativação de válvulas em série, podendo acomodar um nº elevado de válvulas: até 32 posições de válvulas e 64 solenoides

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas compacto tipo CPV/CPA  
CPV: compacto em montagem fixa  
CPA: modular e compacto



- Integração direta com interfaces de barramentos standards
- Larguras 10, 14, 18 mm
- Caudais 400, 800 e 1,600 l/min
- Compatíveis com diversos tipos de válvulas e com funções adicionais
- Opção de terminal modular eletrónico do tipo CPX

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas MIDI/MAXI,  
tipo 03



- Estrutura modular e flexível
- Classe de proteção IP65
- Caudais de 500 l/1 e 250 l/min
- Módulos digitais e analógicos de I/O
- Compatíveis com protocolos de comunicação por barramento
- Sistema de controlo integrado da Festo ou da Allen Bradley
- Opção de terminal eletrónico do tipo CPX

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da FESTO

Terminal de válvulas do tipo Tiger



- Terminal de válvulas convencional
- Robustez elevada
- Caudais de 750, 1000, 1300 e 1600 l/min
- Ligações G1/8: 26 mm, G1/4: 32 mm
- Número de válvulas 4 a 16

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas do tipo MICRO/MINI/MIDI-E



- Terminais muito compactos
- Caudais
  - MICRO: 45 ... 80 l/min,
  - MINI: 130 ... 190 l/min,
  - MIDI: 500 l/min
- Largura
  - MICRO: 10 mm;
  - MINI: 16 mm;
  - MIDI: 18 mm

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas  
Tipo CPA-SC



Características

- Terminal modular para válvulas para a indústria de eletrónica e mecatrónica. Terminal pode ser montado diretamente na instalação. Formato "inteligente, fluxo de ar otimizador.
- Válvulas: 5/2-de duplo solenoide, 5/3-, 2 x 3/2-, 5/3-, 2 x 2/2-, 1 x 3/2- com fornecimento externo de ar
- Largura de válvulas 10 mm
- Gama de pressões -0.9 ... 10 bar
- Caudais nominais de 150 l/min
- Ligações Fieldbus e DeviceNet
- Classe de Proteção IP40

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de Válvulas  
Tipo MH1..



- Tamanho muito reduzido, muito rápido e versátil. Compatível com válvulas miniatura MH1, para comando de atuadores de pequenas dimensões, ou para servirem de válvulas piloto para válvulas de processo. Estado de comutação sinalizado por LEDs. Podem ser montados diretamente em placas de circuito impresso
- Largura de válvulas 10 mm
- Gama de pressões -0.9 ... 8 bar
- Caudais nominais de 10 a 14 l/min
- Tensão de alimentação 5/12/24 V DC
- Tempos de comutação de 8, 5 ou 4 ms , Classe de Proteção IP40

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas do tipo CDVI



- Sistema modular
- Fácil de limpar e resistente a corrosão, para uso em indústria alimentar
- Válvulas: 2 x 3/2-, 5/2-, 5/2- duplo solenoide, 5/3
- Caudais 300 ... 650 l/min
- Nº de válvulas 4 ... 12 , Nº de solenoides 8 ... 24
- Ligação por ficha de pinos, fieldbus e DeviceNET
- Classe de proteção IP65/IP67

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas tipo CPV-SC



- Formato reduzido
- Capacidade para 16 válvulas de 10 mm
- Válvulas : 5/2-, 5/2- duplo solenoide , 5/3-, 2 x 3/2-, 5/3-, 2 x 2/2-, 1 x 3/2- com alimentação de ar externa
- Gama de pressões -0.9 ... 7 bar
- Caudal 170 l/min
- Ligação Fieldbus e DeviceNet
- Classe de proteção IP40

Paulo Abreu ©



## Terminal de válvulas da Festo

Terminal de válvulas do tipo  
MH2../MH3../MH4..



- Elevada velocidade de comutação
- Montagem rápida de válvulas
- Compatíveis com sistemas de dosagem precisa ou funções de ejeção
- Largura 10, 14, 18 mm
- Caudais 100 ... 400 l/min
- Tensão de alimentação 5/12/24 V DC
- Tempos de comutação de 4, 3 ou 2 ms
- Gama de pressões -0.9 ... 8 bar
- Classe de proteção IP40/IP65

Paulo Abreu ©



## Características de eletroválvulas da Festo

Valve type	Pilot controlled spring-return 5/2-way valve	Pilot controlled spring-return 5/2-way valve with auxiliary pilot air	Pilot controlled spring-return 5/2-way valve
Port arrangement	Sub-base valve	Sub-base valve with auxiliary pilot air	Individual valve
Graphical symbol			
Nominal size	4.0 mm	4.0 mm	14.0 mm
Nominal flow rate	500 l/min	500 l/min	2000 l/min
Pressure range	2.5 to 8 bar	0.9 to 8 bar (auxiliary pilot air: 2.5 to 8 bar)	2.5 to 10 bar
Response times - On/off	20/30 ms	20/30 ms	30/55 ms

Paulo Abreu ©



## Características de solenoides de válvulas Festo

Coil type	DC voltage	AC voltage
Voltages	Normal	12, 24, 42, 48 V
	Special	On request
Voltage fluctuation	max. ± 10 %	Max. ± 10 %
Frequency fluctuation	—	Max. ± 5 % at nominal voltage
Power consumption for normal voltages	4.1 W at 12 V 4.5 W at 24 V	Pickup: 7.5 VA Hold: 6 VA
Power factor	—	0.7
Duty cycle	100 %	100 %
Degree of protection	IP 65	IP 65
Cable conduit fitting	PG9	PG9
Ambient temperature	5 to + 40 °C	5 to + 40 °C
Medium temperature	10 to + 60 °C	10 to + 60 °C
Average pickup time	10 ms	10 ms

Paulo Abreu ©



## Bibliografia e Fontes de Informação

### BIBLIOGRAFIA

- Introdução à pneumática  
H. Meixner, R. Kobler  
Festo 7301 Berkheim
- Atlas Copco – Manual  
Atlas Copco, 1982
- Pneumatics,  
Peter Crosier, Frank Ebel, ©  
Copyright by Festo Didactic, 2002
- 99 Examples of Pneumatic  
Applications  
Stefan Hesse, Blue Digest on  
Automation © 2000 by Festo AG &  
Co.
- Compressed Air as an Energy  
Carrier  
Stefan Hesse, Blue Digest on  
Automation  
2002 Festo

### Fontes de Informação na Net

- Fabricantes de equipamento  
pneumático  
<http://www.festo.com>  
<http://www.norgren.com>  
<http://www.parker.com/>  
<http://www.smc-pneumatics.ca>  
<http://www.piab.com>  
<http://www.boschrexroth.com/pneumatics-catalog>

### Catálogos de Equipamento diverso

- <http://rswww.com/>
- <http://www.farnell.com/>

Paulo Abreu ©