



**e-Tec Brasil**  
*Escola Técnica Aberta do Brasil*

# **Comandos Pneumáticos e Hidráulicos**

*Sergio Adalberto Pavani*



**Santa Maria - RS**  
**2011**

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este Material Didático foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

**Comissão de Acompanhamento e Validação**  
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

**Coordenador Institucional**  
Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Professor-autor**  
Sergio Adalberto Pavani/CTISM

**Coordenação Técnica**  
Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

**Coordenação de Design**  
Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**  
Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM  
Francine Netto Martins Tadielo/CTISM  
Marcia Migliore Freo/CTISM

**Revisão Textual**  
Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM  
Vera da Silva Oliveira/CTISM

**Revisão Técnica**  
Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM  
Luciano Retzlaff/CTISM

**Diagramação e Ilustração**  
Gustavo Schwendler/CTISM  
Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM  
Marcel Santos Jacques/CTISM  
Máuren Fernandes Massia/CTISM  
Rafael Cavalli Viapiana/CTISM  
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Denise Barbosa dos Santos – CRB 10/1456  
Biblioteca Central – UFSM

**B697c Pavani, Sérgio Adalberto.**  
**Comandos pneumáticos e hidráulicos / Sérgio Adalberto Pavani. – 3. ed. – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria : Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.**  
**182 p.: il.**

**1. Engenharia mecânica. 2. Automação pneumática. 3. Compressores. 4. Fluidos. 5. Ar comprimido. 6. Hidráulica. 7. Manômetros. I. Título.**

**CDU 531.3  
621.5**

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geograficamente ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Janeiro de 2010

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)



# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Palavra do professor-autor</b> .....                               | <b>9</b>  |
| <b>Apresentação da disciplina</b> .....                               | <b>11</b> |
| <b>Projeto instrucional</b> .....                                     | <b>13</b> |
| <b>Aula 1 – Pneumática básica</b> .....                               | <b>15</b> |
| 1.1 Conceitos básicos.....  | 15        |
| 1.2 Desenvolvimento da técnica de ar comprimido.....                  | 16        |
| 1.3 Propriedades do ar comprimido.....                                | 17        |
| 1.4 Automação pneumática.....   | 18        |
| 1.5 Vantagens da implantação da automação pneumática.....             | 19        |
| 1.6 Limitações da pneumática.....                                     | 19        |
| 1.7 Propriedades físicas do ar.....                                   | 20        |
| 1.8 Atmosfera.....  | 21        |
| <b>Aula 2 – Compressores</b> .....                                    | <b>29</b> |
| 2.1 A importância das cores.....                                      | 29        |
| 2.2 Classificação e definição dos compressores.....                   | 30        |
| 2.3 Sistema de refrigeração dos compressores.....                     | 34        |
| 2.4 Critérios para a escolha de compressores.....                     | 37        |
| 2.5 Manutenção do compressor.....                                     | 38        |
| <b>Aula 3 – Distribuição e condicionamento do ar comprimido</b> ..... | <b>41</b> |
| 3.1 Contaminação do ar atmosférico.....                               | 41        |
| 3.2 Resfriador posterior ( <i>after coller</i> ).....                 | 42        |
| 3.3 Reservatório de ar comprimido.....                                | 43        |
| 3.4 Desumidificação do ar.....  | 45        |
| 3.5 Rede de distribuição.....   | 52        |
| 3.6 Unidade de condicionamento de ar comprimido.....                  | 60        |
| 3.7 Filtragem de ar.....  | 61        |
| 3.8 Regulagem de pressão.....   | 63        |
| 3.9 Manômetros.....   | 65        |

|   |            |
|---|------------|
| 3.10 Lubrificação.....  | 66         |
| <b>Aula 4 – Atuadores pneumáticos e válvulas direcionais.....</b>                       | <b>71</b>  |
| 4.1 Atuadores pneumáticos.....  | 71         |
| 4.2 Válvulas pneumáticas.....   | 78         |
| <b>Aula 5 – Circuitos pneumáticos.....</b>  | <b>101</b> |
| 5.1 Estrutura das máquinas.....   | 101        |
| 5.2 Representações dos movimentos dos cilindros.....                                    | 101        |
| 5.3 Circuitos pneumáticos.....  | 103        |
| 5.4 Exemplos de circuitos pneumáticos.....  | 109        |
| <b>Aula 6 – Circuitos eletropneumáticos.....</b>  | <b>119</b> |
| 6.1 Circuitos eletropneumáticos.....  | 119        |
| <b>Aula 7 – Circuitos pneumáticos e eletropneumáticos complexos.....</b>                | <b>127</b> |
| 7.1 Sistema pneumático complexo.....  | 127        |
| 7.2 Uso de simuladores eletrônicos para o desenvolvimento de circuitos pneumáticos..... | 132        |
| <b>Aula 8 – Hidráulica.....</b>   | <b>151</b> |
| 8.1 Conceitos básicos.....  | 151        |
| 8.2 Transmissão hidráulica de força e energia.....                                      | 154        |
| 8.3 Características dos fluidos hidráulicos.....  | 157        |
| 8.4 Fluidos, reservatórios e acessórios.....  | 158        |
| <b>Referências.....</b>   | <b>180</b> |
| <b>Currículo do professor-autor.....</b>  | <b>181</b> |



## Palavra do professor-autor

A automação industrial depende de várias tecnologias, entre elas a pneumática e a hidráulica, que são duas das principais formas de gerar o movimento das máquinas. A hidráulica e a pneumática estão presentes desde a mais simples forma de substituição do esforço muscular do trabalho, como os movimentos da cadeira de um dentista, até o posicionamento dos complexos movimentos de um carro de combate blindado, um grande avião comercial ou de uma máquina de embalagens.

Assim a hidráulica e a pneumática são uma parte da automação industrial, que deverá ser associada ao movimento gerado por motores elétricos, operando através dos movimentos gerados por um operador (controle manual) ou por um controlador de processos apoiado por sensores.

Podemos afirmar que neste binômio, a hidráulica é a parte caracterizada pela força, precisão de movimento e custos elevados, pois seus componentes possuem custos elevados, e a pneumática é caracterizada por velocidade, facilidade de instalação e custos relativamente baixos.

A parte mais importante da hidráulica e a pneumática são os movimentos retilíneos, obtidos pelos cilindros pneumáticos, que são transformados em movimento pendulares, semicirculares e até circulares com configurações especiais e acessórios.

O objetivo desta disciplina é proporcionar o conhecimento dos movimentos lineares e rotativos, associado ao uso de fluídos (o óleo no caso da hidráulica e o ar comprimido para a pneumática), as relações da física, que permitirão os comandos manuais e, a interligação com os comandos elétricos que quando associado aos controladores de processos e os programas que os controlam permitirão o controle de sistemas automatizados e como elemento de alta tecnologia, os robôs, talvez não com a forma humanóide dos filmes e dos caros robôs japoneses, mas os robôs industriais, prontos para realizar os serviços sem a presença do ser humano, tanto em serviços perigosos, serviços repetitivos e de alta precisão. Esta é uma das disciplinas aplicadas da automação industrial. Esta disciplina de hidráulica e a pneumática está dividida em oito capítulos, cujas temáticas se relacionam conforme o plano instrucional e mapa conceitual apresentado a seguir.

Prof. Sergio Adalberto Pavani



# Apresentação da disciplina

Os sistemas hidráulicos e pneumáticos exigem um conjunto de conhecimentos, que iniciam nos fundamentos da teoria sobre a constituição da atmosfera, necessário para entender o ar que respiramos, com todas as suas impurezas, para ser transformado em uma forma de energia. A pneumática é a primeira parte dos sistemas de trabalho fluido dinâmicos, que será completado com o estudo da hidráulica. O ar comprimido é um elemento de uso simples, utilizado para encher uma bola de futebol, para acionar a furadeira do dentista indo até o acionamento de máquinas complexas e de grande porte, com altas velocidades e baixos custos de implantação. Já a hidráulica, que estudaremos na segunda metade desta disciplina pode ser descrita como o meio de trabalho que garante precisão e força, sendo encontrada em todos os segmentos da indústria e dos transportes terrestres, navais e aéreos.



# Projeto instrucional

**Disciplina:** Comandos Pneumáticos e Hidráulicos (carga horária: 60h).

**Ementa:** Pneumática; eletropneumática; circuitos pneumáticos e eletropneumáticos complexos; hidráulica.

| AULA   | OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM  | MATERIAIS  | CARGA HORÁRIA (horas) |
|--|--|--|-----------------------|
| Aula 1 – Pneumática básica                               | Identificar os fundamentos da disciplina de hidráulica e pneumática, com foco na pneumática.<br>Exemplificar as vantagens e limitações da aplicação da pneumática.<br>Demonstrar algumas leis da física que influenciam a pneumática.  | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 07                    |
| Aula 2 – Compressores                                    | Conhecer os métodos de compressão do ar.<br>Reconhecer os diferentes tipos de compressores e suas características principais.  | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08                    |
| Aula 3 – Distribuição e condicionamento do ar comprimido | Compreender a necessidade de redução dos contaminantes do ar atmosférico.<br>Utilizar os métodos de distribuição do ar comprimido mais adequado a cada necessidade.<br>Reconhecer a necessidade da lubrificação e suas exigências.   | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 07                    |
| Aula 4 – Atuadores pneumáticos e válvulas direcionais    | Demonstrar os diversos tipos de atuadores pneumáticos mais comuns existentes.<br>Indicar as possibilidades de regulação de velocidade dos cilindros pneumáticos.<br>Demonstrar que a mudança da configuração de um cilindro pneumático potencializa a sua utilização.<br>Relacionar as principais válvulas pneumáticas.<br>Proporcionar ao educando exemplos de aplicação das válvulas pneumáticas.<br>Proporcionar o conhecimento dos fundamentos do estudo do vácuo.<br>Revisar conhecimentos de sistemas elétricos. | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08                    |

| AULA   | OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM  | MATERIAIS  | CARGA HORÁRIA (horas) |
|--|--|--|-----------------------|
| Aula 5 – Circuitos pneumáticos                               | Demonstrar a estrutura de operação e comando das máquinas.<br>Permitir ao aluno identificar as possibilidades de operar sistemas com comando elétrico ou puramente pneumáticos.<br>Preparar para aplicar as técnicas apresentadas.                             | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 07                    |
| Aula 6 – Circuitos eletropneumáticos                         | Demonstrar a estrutura de operação e comando eletropneumáticos.<br>Permitir ao aluno identificar as possibilidades de operar sistemas com comando elétrico.<br>Preparar para aplicar as técnicas apresentadas.   | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08                    |
| Aula 7 – Circuitos pneumáticos e eletropneumáticos complexos | Conhecer os sistemas pneumáticos e eletropneumáticos complexos.<br>Saber “montar” um circuito pneumático ou eletropneumático.<br>Conhecer o <i>software FluidSim</i> e saber como utilizá-lo para editar e/ou criar sistemas pneumáticos ou eletropneumáticos. | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 07                    |
| Aula 8 – Hidráulica  | Compreender os conceitos básicos da hidráulica.<br>Relacionar o atrito e a resistência com a circulação de fluidos.<br>Conhecer as bases dos sistemas hidráulicos.   | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> .<br>Apostila didática.<br>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08                    |

# Aula 1 – Pneumática básica

## Objetivos

Identificar os fundamentos da disciplina de hidráulica e pneumática, com foco na pneumática.

Exemplificar as vantagens e limitações da aplicação da pneumática.

Demonstrar algumas leis da física que influenciam a pneumática.

## 1.1 Conceitos básicos

O **ar comprimido** é uma das formas de energia mais antigas que o ser humano conhece. É utilizado para ampliar os seus recursos físicos. O reconhecimento da existência física do ar e sua utilização mais ou menos consciente para o trabalho, é comprovado há milhares de anos.

O primeiro ser humano que empregou o ar comprimido como meio auxiliar de trabalho, foi o grego **Ctesibius**. Há mais de 2000 anos, ele construiu uma catapulta a ar comprimido como transmissão de energia.

Dos antigos gregos provém a expressão “Pneuma” que significa fôlego, vento; filosoficamente, alma. Derivado da palavra “Pneuma”, surgiu entre outros o conceito de “PNEUMÁTICA”: a disciplina que estuda os movimentos dos gases e fenômenos dos gases.

A pneumática é também definida como a ciência aplicada do uso do ar comprimido e gases semelhantes como nitrogênio, que faz parte da composição do ar atmosférico na atuação de dispositivos que irão gerar movimentos alternativos, movimentos de vai-e-vem, rotativos e combinados.

O movimento mais comum da aplicação do ar comprimido com acionamento muscular o qual depende exclusivamente da vontade do operador, pode ser observado no mecanismo de abertura da porta de um ônibus. O motorista aciona um botão e a porta do ônibus abre ou fecha. O movimento será



Para saber mais sobre ar comprimido, acesse: [http://pt.wikipedia.org/wiki/ar\\_comprimido](http://pt.wikipedia.org/wiki/ar_comprimido)

Para saber mais sobre biografia de Ctesibius, acesse: [http://www.netsaber.com.br/biografias/ver\\_biografia\\_c\\_1741.html](http://www.netsaber.com.br/biografias/ver_biografia_c_1741.html)

invertido ao ser acionado o mesmo botão, acompanhado do ruído de escape de ar, uma das características dos sistemas pneumáticos.

Essa técnica pode ser observada em parques de diversão até em sofisticadas máquinas robotizadas.



O ar comprimido é utilizado desde os tempos primitivos, através da força dos pulmões. Com o uso de ossos ocos ou de bambus, o ar era soprado para “atiçar” as fogueiras para cozinhar ou fundir alguns metais. A limitação dos pulmões foi compensada com o uso dos primeiros foles feitos de bexigas de animais até serem construídos os primeiros foles verdadeiros.

A novas técnicas que permitiram a fabricação de canhões torneados, a partir do século XVIII propiciou a fabricação de compressores de ferro fundido e outros metais, que resultaram nas técnicas atuais.

## 1.2 Desenvolvimento da técnica de ar comprimido

O século XIX marca o início do estudo do comportamento e propriedades que envolvem a pneumática. Porém, somente após 1950 é que ela foi realmente introduzida no meio industrial. Antes disso, era utilizada na indústria de mineração, construção civil e indústria ferroviária (freios a ar comprimido).

O ar comprimido utilizado como forma de energia é obtido através de compressores e será conduzido até os atuadores (cilindros e motores pneumáticos).

O uso do ar comprimido de forma generalizada na indústria, começou com a necessidade cada vez maior da automatização e da racionalização dos processos de trabalho.

Atualmente, o ar comprimido como meio de trabalho, tornou-se indispensável, e podemos encontrá-lo em diversos segmentos, entre os quais:

- a) **Automotivo** – freios, acionamentos de portas de ônibus.
- b) **Indústria em geral** – movimento, prensamento, elevação, transformação e controle.
- c) **Transporte naval** – comando de válvulas, sinais sonoros.



- d) **Indústria química e petroquímica** – controle de fluidos, acionamentos em áreas classificadas.
- e) **Área médica/dentária** – máquinas para cirurgia, furadeiras dentárias, técnicas de vácuo.

#### Freio automotivo

É utilizado em ônibus e caminhões pesados. É reconhecido pelo “assobio” emitido após a parada destes veículos.



## 1.3 Propriedades do ar comprimido

Por suas propriedades, a aplicação do ar comprimido, difunde-se como elemento de energia e de trabalho.

Algumas propriedades positivas do ar comprimido são expostas no Quadro 1.1.

**Quadro 1.1: Propriedades positivas do ar comprimido (AC)**

| Propriedade               | Descrição  |
|---------------------------|--|
| Quantidade                | O ar, para ser comprimido, é encontrado em quantidades ilimitadas, praticamente em todos os lugares.   |
| Transporte                | O AC é facilmente transportável por tubulações, mesmo para distâncias grandes. Não há necessidade de preocupação com o retorno de ar.  |
| Armazenamento             | O AC pode ser armazenado em reservatórios para utilização posterior ou em emergências, quando os compressores se encontram desligados.   |
| Temperatura               | O trabalho realizado com AC é insensível às oscilações da temperatura. Isso garante também, em situações térmicas extremas, um funcionamento seguro.   |
| Segurança                 | Não existe o perigo de explosão ou incêndio. Portanto, é seguro contra explosão e eletrocussão, sendo indicado para aplicações especiais.  |
| Limpeza                   | O AC é limpo. O ar, que eventualmente escapa das tubulações e outros elementos inadequadamente vedados, não polui o ambiente. Esta é uma exigência nas indústrias alimentícias, têxteis, química, eletrônicas. |
| Construção de elementos   | Os elementos de trabalho são de construção simples e podem ser obtidos a custos vantajosos.  |
| Velocidade                | O AC é um meio de trabalho rápido, que permite alcançar altas velocidades de trabalho.   |
| Regulagem                 | As velocidades e forças de trabalho dos elementos a AC são reguláveis, sem escala. Para isso são exigidos elementos especiais denominados reguladoras de pressão e fluxo.                                      |
| Seguro contra sobrecargas | Elementos e ferramentas a AC são carregáveis até a parada total e, portanto, seguros contra sobrecargas.   |

Para limitar os campos de emprego da pneumática, necessitamos conhecer as propriedades negativas, pois o ar comprimido é uma forma de energia cara.

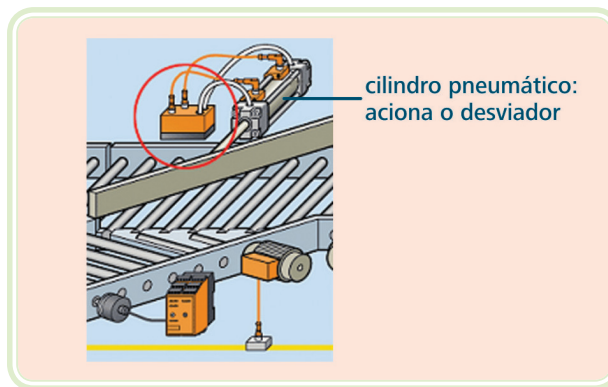
### Quadro 1.2: Propriedades negativas do ar comprimido (AC)

| Propriedade       | Descrição  |
|-------------------|--|
| Preparação        | O ar comprimido requer uma boa preparação. Impureza e umidade devem ser evitadas, pois provocam desgastes nos elementos pneumáticos, oxidação nas tubulações e projeção de óxidos.                             |
| Compressibilidade | Não é possível manter uniforme e constante as velocidades dos pistões mediante ar comprimido. Quando é exigível, recorre-se a dispositivos especiais.  |
| Forças            | O ar comprimido é econômico somente até determinada força, limitado pela pressão normal de trabalho de 700 kPa (7 bar), e pelo curso e velocidade (o limite está fixado entre 2000 e 3000 N (2000 a 3000 kPa). |
| Escape de ar      | O escape de ar é ruidoso. Mas, com o desenvolvimento de silenciadores, esse problema está solucionado.   |
| Custos            | O ar comprimido é uma fonte de energia muito cara. Porém, o alto custo de energia é compensado pelo custo baixo da instalação e pela rentabilidade do ciclo de trabalho.                                       |

## 1.4 Automação pneumática



Para saber mais sobre automação, acesse: <http://pt.wikipedia.org/wiki/automação>



**Figura 1.1: Dispositivo desviador acionado a ar comprimido**

Fonte: [http://www.ifm.com/lib/img/files/foerder\\_11\\_2/\\$file/foerder\\_11\\_2.gif](http://www.ifm.com/lib/img/files/foerder_11_2/$file/foerder_11_2.gif)

O foco do estudo da pneumática é automação. Com a aplicação de dispositivos pneumáticos e outros, reduz-se o esforço humano na execução de diversos trabalhos. Lembramos que a pneumática é um dos pilares da automação.

São necessários diversos elementos mecânicos para transformar a energia do ar comprimido em trabalho. O elemento mais simples é o cilindro pneumático cuja operação é semelhante à da bomba manual de encher bolas e pneus de bicicletas, porém ao entrar o ar, o êmbolo é empurrado e realiza o trabalho.

## 1.5 Vantagens da implantação da automação pneumática

- a) Incremento da produção com investimentos relativamente pequenos.
- b) Redução de custos operacionais. A rapidez nos movimentos pneumáticos e liberação de operários de operações repetitivas possibilitam o aumento do ritmo de trabalho, da produtividade e, portanto, um menor custo operacional.
- c) Robustez dos componentes pneumáticos. A robustez inerente aos controles pneumáticos torna-os relativamente insensíveis a vibrações e golpes, permitindo que ações mecânicas do próprio processo sirvam de sinal para as diversas sequências de operação. São de fácil manutenção.
- d) Facilidade de implantação. Pequenas modificações nas máquinas convencionais aliadas à disponibilidade de ar comprimido são os requisitos necessários para a implantação dos controles pneumáticos.
- e) Resistência a ambientes hostis. Poeira, atmosfera corrosiva, submersão em líquidos, raramente prejudicam os componentes pneumáticos, quando projetados para esta finalidade.
- f) Simplicidade de manipulação. Os controles pneumáticos não necessitam de operários altamente especializados para a sua manipulação.
- g) Segurança. Como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra possíveis acidentes, com pessoas e com o próprio equipamento, além de evitar problemas de explosão.
- h) Redução do número de acidentes. A fadiga é um dos principais fatores que favorecem acidentes. A implantação de controles pneumáticos reduz o seu número, liberação de operações repetitivas (LER).

## 1.6 Limitações da pneumática

- a) O ar comprimido necessita de uma boa preparação para realizar o trabalho proposto: remoção de impurezas, eliminação de umidade para evitar corrosão nos equipamentos, engates ou travamentos e maiores desgastes nas partes móveis dos sistemas.

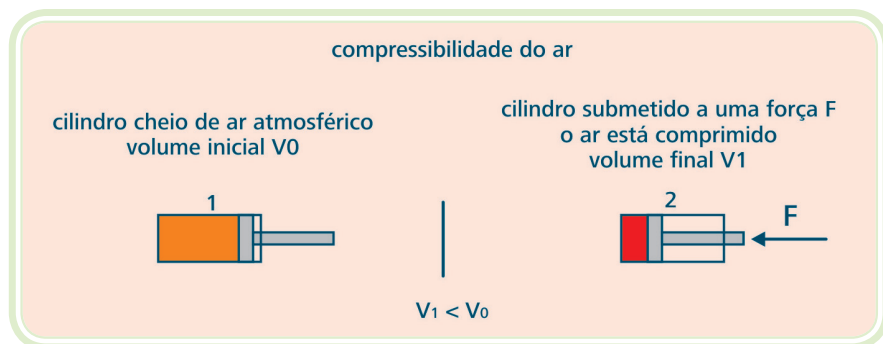
- b) Os componentes pneumáticos são normalmente projetados e utilizados a uma pressão máxima de 1723,6 kPa. Portanto, as forças envolvidas são pequenas se comparadas a outros sistemas. Assim, não é conveniente o uso de controles pneumáticos em operações de extrusão de metais. Provavelmente, o seu uso seja vantajoso para recolher ou transportar as barras extrudadas.
- c) Velocidades muito baixas são difíceis de serem obtidas com ar comprimido devido às suas propriedades físicas. Nesse caso, recorre-se a sistemas mistos hidráulicos e pneumáticos.
- d) O ar é um fluido altamente compressível, portanto, é difícil obterem-se paradas intermediárias e velocidades uniformes.

## 1.7 Propriedades físicas do ar

Apesar de insípido, inodoro e incolor, percebemos o ar através dos ventos, aviões e pássaros que nele flutuam e se movimentam; sentimos também o seu impacto sobre o nosso corpo. Concluímos que o ar tem existência real e concreta, ocupando lugar no espaço.

### 1.7.1 Compressibilidade

O ar, assim como todos os gases, tem de ocupar todo o volume de qualquer recipiente, adquirindo o seu formato, já que não tem forma própria. Assim, podemos encerrá-lo num recipiente com volume determinado e, posteriormente, provocar-lhe uma redução de volume, usando uma de suas propriedades – a compressibilidade.



**Figura 1.2: Compressibilidade e elasticidade do ar**

Fonte: CTISM

Podemos concluir que o ar atmosférico permite reduzir o seu volume quando sujeito à ação de uma força exterior.

### 1.7.2 Elasticidade

Propriedade que possibilita ao ar voltar ao seu volume inicial, uma vez extinto o efeito (força) responsável pela redução do volume.

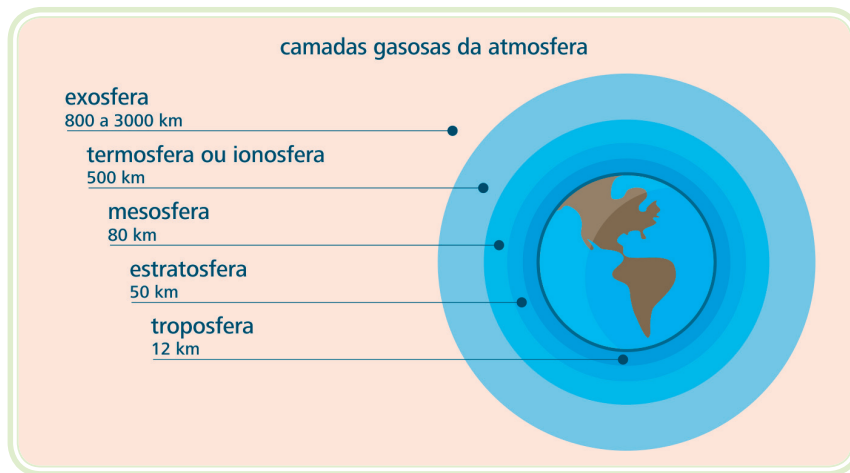
### 1.7.3 Difusibilidade

Propriedade do ar que lhe permite misturar-se homogeneamente com qualquer meio gasoso que não seja saturado.

### 1.7.4 Expansibilidade

Propriedade do ar que lhe possibilita ocupar totalmente o volume de qualquer recipiente, adquirindo o seu formato.

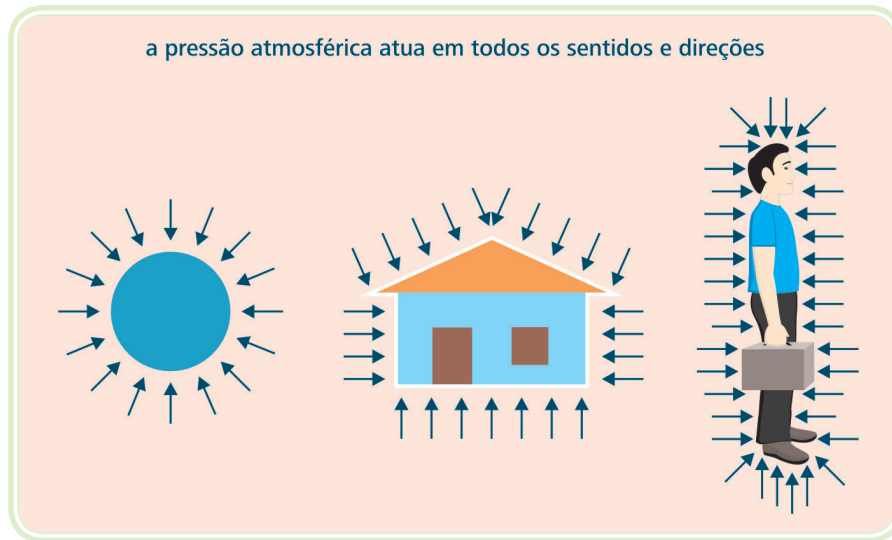
## 1.8 Atmosfera



**Figura 1.3: As camadas da atmosfera**

Fonte: CTISM

Atmosfera é a camada formada por gases, principalmente Oxigênio ( $O_2$ ) e Nitrogênio ( $N_2$ ), que envolve toda a superfície do planeta. Pelo fato de o ar ter peso, as camadas inferiores são comprimidas pelas camadas superiores. Assim, as camadas superiores são menos densas que as inferiores. Concluímos, portanto, que um volume de ar comprimido é mais pesado que o ar à pressão normal ou à pressão atmosférica.



**Figura 1.4: A atuação da pressão atmosférica**  
 Fonte: CTISM

Quando dizemos que um litro de ar pesa  $1,293 \times 10^{-3}$  kg ao nível do mar, significa que, em altitudes diferentes, o peso do ar tem valores diferentes.

### 1.8.1 Pressão atmosférica

Sabemos que o ar tem peso, portanto, vivemos sob esta carga. A atmosfera exerce sobre nós uma força equivalente ao seu peso, mas não o sentimos, pois ela atua em todos os sentidos e direções com a mesma intensidade.

A pressão atmosférica varia proporcionalmente à altitude considerada. Através da Tabela 1.1, esta variação pode ser observada.

| Tabela 1.1: Variação da pressão atmosférica em relação à altitude |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Altitude - m  | 0     | 100   | 200   | 300   | 400   |
| Pressão - kgf/cm <sup>2</sup>                                     | 1,033 | 1,021 | 1,008 | 0,996 | 0,985 |
| Altitude - m  | 500   | 600   | 700   | 800   | 900   |
| Pressão - kgf/cm <sup>2</sup>                                     | 0,973 | 0,960 | 0,948 | 0,936 | 0,925 |
| Altitude - m  | 1000  | 2000  | 3000  | 4000  | 5000  |
| Pressão - kgf/cm <sup>2</sup>                                     | 0,915 | 0,810 | 0,715 | 0,629 | 0,552 |
| Altitude - m  | 6000  | 7000  | 8000  | 9000  | 10000 |
| Pressão - kgf/cm <sup>2</sup>                                     | 0,481 | 0,419 | 0,363 | 0,313 | 0,270 |

São utilizadas diversas unidades de medida, conforme o país ou o tipo de ciência ou indústria. Na Tabela 1.2, estão algumas das relações utilizadas para a pressão:

**kgf/cm<sup>2</sup>** – quilograma força por centímetro quadrado.

**PSI** – abreviatura de *pounds per square inch* – libras por polegada quadrada.

**bar** – é um múltiplo da Bária: 1 bar = 100 bárias. Bária é a unidade de pressão no sistema c, g, s, e vale uma dyn/cm<sup>2</sup>.

**kPa** – O pascal (símbolo: Pa) é a unidade padrão de pressão e tensão no SI. Equivale a força de 1 N aplicada uniformemente sobre uma superfície de 1 m<sup>2</sup>. O plural no nome da unidade pascal é **pascals**. O nome desta unidade é uma homenagem a *Blaise Pascal*, eminente matemático, físico e filósofo francês.

**Torr = mm Hg** – também chamado *Torricelli*, é uma unidade de pressão antiga, que equivale a 133,322 Pa. Surgiu quando *Evangelista Torricelli* inventou o barômetro de mercúrio, em 1643 e tem caído em desuso com o aparecimento de tecnologia mais eficaz para a medição da pressão atmosférica e com a disseminação das unidades do sistema internacional de unidades.

**Torr = mm Hg** – É a unidade utilizada na medicina para indicar a pressão sanguínea. Quando ouvimos que a pressão está 12 x 7 (12 por 7), significa que é equivalente a 12 centímetros de coluna de mercúrio por 7 centímetros de coluna de mercúrio.



**Tabela 1.2: Relação entre unidades de pressão**

| kgf/cm <sup>2</sup> | PSI     | bar      | kPa = KN/m <sup>2</sup> | Torr = mm Hg |
|---------------------|---------|----------|-------------------------|--------------|
| 1                   | 14,223  | 0,98061  | 0,980602                | 7355185      |
| 0,07030             | 1       | 0,06894  | 6,894607                | 51,03752     |
| 1,01978             | 14,5045 | 1        | 0,01                    | 750,0615     |
| 0,01019             | 10,1978 | 0,01     | 1                       | 7,500615     |
| 0,00135             | 0,01933 | 0,001333 | 0,133322                | 1            |
| 0,1                 | 1,42233 | 0,098061 | 9,80602                 | 73,55185     |

## 1.8.2 Efeitos combinados entre as três variáveis físicas dos gases

As três variáveis que devem ser conhecidas no estudo dos gases são: pressão, temperatura e volume.

### 1.8.2.1 Lei geral dos gases perfeitos

As leis de *Boyle-Mariotte*, *Charles* e *Gay Lussac* referem-se às transformações de estado, nas quais uma das variáveis físicas permanece constante.



Para saber mais sobre Lei de *Boyle-Mariotte*, acesse:  
[http://www.infopedia.pt/\\$lei-de-boyle-mariotte](http://www.infopedia.pt/$lei-de-boyle-mariotte)

Lei dos gases ideais:  
[http://w3.ualg.pt/~jarod/a2006/fisica-geral-II/praticas/guias/leis\\_dos\\_gases\\_ideais.pdf](http://w3.ualg.pt/~jarod/a2006/fisica-geral-II/praticas/guias/leis_dos_gases_ideais.pdf)

Geralmente, a transformação de um estado para outro envolve um relacionamento entre todas. Assim, a relação generalizada é expressa pela equação:

$$P_1 \times \frac{V_1}{T_1} = P_2 \times \frac{V_2}{T_2}$$

De acordo com essa relação, são conhecidas as três variáveis do gás. Por isso, se qualquer uma das variáveis sofrer alteração, o efeito nas outras variáveis poderá ser previsto. Ver o Quadro 1.3, que relaciona o que acontece com a alteração de uma variável.



Quando você enche uma bola ou pneu com uma bomba manual temos:

**Volume** – permanece constante.

**Pressão** – aumenta, pois a bola ou pneu fica mais “dura”.

**Temperatura** – aumenta. Isto pode ser notado na base da bomba, que esquenta.

Quadro 1.3: As variáveis dos gases perfeitos

|                   |                 |                     |
|-------------------|-----------------|---------------------|
| Mesma temperatura | Volume diminui  | Pressão aumenta     |
| Mesmo volume      | Pressão aumenta | Temperatura aumenta |
|                   | Pressão diminui | Temperatura diminui |
| Mesma pressão     | Volume aumenta  | Temperatura aumenta |
|                   | Volume diminui  | Temperatura diminui |



Para saber mais sobre *Blaise Pascal*, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Blaise\\_Pascal](http://pt.wikipedia.org/wiki/Blaise_Pascal)

<http://www.mundodosfilosofos.com.br/pascal.htm>

### 1.8.3 Princípio de Pascal

Constata-se que o ar é muito compressível sob ação de pequenas forças. Quando contido em um recipiente fechado, o ar exerce uma pressão igual sobre as paredes, em todos os sentidos.



Podemos verificar isso facilmente, fazendo o uso de uma bola de futebol. Apalpando-a, observamos uma pressão uniformemente distribuída sobre a superfície.

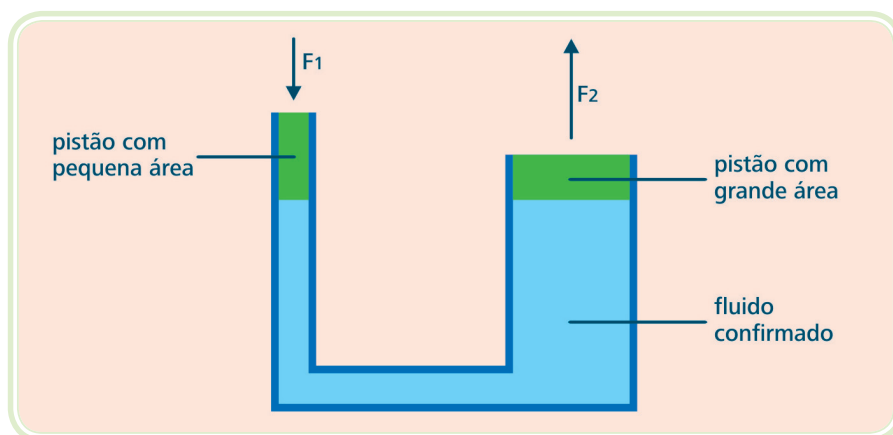


Figura 1.5: A bomba hidráulica

Fonte: CTISM

Por *Blaise Pascal*, temos:

- A pressão exercida em um líquido confinado em forma estática atua em todos os sentidos e direções com a mesma intensidade, exercendo forças iguais em áreas iguais.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{ou} \quad F = P \times A$$

**No SI:**

F = Newton (força)

P = Newton/m<sup>2</sup> (pressão)

A = m<sup>2</sup> (área)

Temos: 1 kgf = 9,8 N

**No MKS\*:**

F = kgf (força)

P = kgf/cm<sup>2</sup> (pressão)

A = cm<sup>2</sup> (área)

**Nota** – Pascal não faz menção ao fator atrito existente quando o líquido está em movimento, pois se baseia na forma estática e não nos líquidos em movimento.

## Resumo

Nessa aula aprendemos as leis básicas aplicadas à pneumática, suas aplicações, limitações e vantagens. As leis aplicadas à pneumática serão importantes nas próximas aulas, para compreender as aplicações e fenômenos que iremos estudar.



## Atividades de aprendizagem

1. Selecionar a única alternativa correta.

A introdução de forma mais generalizada da pneumática na indústria, começou com a necessidade cada vez maior, da \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_ dos processos de trabalho.

- a) automatização, racionalização
- b) coordenação, simplificação
- c) simplificação, ordenação
- d) organização, racionalização

2. Selecione a única alternativa correta.

Algumas das propriedades positivas do ar comprimido são:

- a) Quantidade disponível ilimitada, facilidade de transporte do ar comprimido, forças elevadas.
- b) Fácil armazenamento do ar comprimido, custo baixo de obtenção do ar comprimido, quantidade disponível ilimitada.
- c) O ar comprimido pode ser utilizado como obtido, o escape do ar comprimido é ruidoso, o ar comprimido pode ser utilizado em temperaturas que os sistemas eletrônicos não operam.
- d) O ar comprimido pode ser utilizado em temperaturas que os sistemas eletrônicos não operam, o ar comprimido é seguro, sistemas pneumáticos podem ser facilmente construídos.

3. A difusibilidade é a propriedade do ar que lhe permite misturar-se homogeneamente com qualquer meio gasoso que não seja saturado. Isto pode ser facilmente observado quando:
- a) Ligamos um compressor de ar.
  - b) Lançamos uma pedra para o ar.
  - c) Conseguimos observar um escapamento de ar, como um pneu de carro furado.
  - d) Abrimos um frasco de perfume.
4. A pressão atmosférica é decorrente da camada de gases que existe em volta do nosso planeta. Esta pressão resulta em uma força que é exercida:
- a) Em uma única direção e com a mesma intensidade.
  - b) Em todos os sentidos e direções com a mesma intensidade.
  - c) Somente no sentido vertical (de cima para baixo) e com intensidade fixa.
  - d) Em todos os sentidos e direções com a intensidade variável, dependendo do sentido de atuação.
5. A pressão correta em um pneu de automóvel é de 30psi. O dispositivo de encher pneus do posto de gasolina apresenta somente a escala em  $\text{kgf/cm}^2$ . Qual o valor mais provável a ser regulado no calibrador?



# Aula 2 – Compressores

## Objetivos

Conhecer os métodos de compressão do ar.

Reconhecer os diferentes tipos de compressores e suas características principais.

## 2.1 A importância das cores

Um circuito pneumático ou hidráulico pode ser facilmente interpretado quando trabalhamos com cores, identificando linhas e equipamentos, o que está ocorrendo com o mesmo ou qual a função que este desenvolverá.

As cores utilizadas pela **American National Standard Institute (ANSI)** são:

**Vermelho** – Pressão de alimentação, pressão normal do sistema. Ex.: compressor.

**Violeta** – Pressão do sistema de transformação de energia intensificada. Ex.: intensificador de pressão.

**Laranja** – Linha de comando, pilotagem ou a pressão básica reduzida. Ex.: pilotagem de uma válvula.

**Amarelo** – Restrição no controle de passagem do fluxo. Ex.: utilização de válvula de controle do fluxo.

**Azul** – Fluxo em descarga, escape ou retorno. Ex.: exaustão para a atmosfera.

**Branco** – Fluido inativo. Ex.: armazenagem.

**Verde** – Sucção ou linha da drenagem. Ex.: sucção do compressor.



## 2.2 Classificação e definição dos compressores

Compressores são máquinas destinadas a elevar a pressão de um certo volume de ar, admitido nas condições atmosféricas, até uma determinada pressão exigida para a execução de trabalhos com ar comprimido.

Classificações fundamentais para os princípios de trabalho:

- Deslocamento positivo;
- Deslocamento dinâmico.

### 2.2.1 Deslocamento positivo

Baseia-se fundamentalmente na redução de volume. O ar é admitido em uma câmara isolada do meio exterior, na qual o seu volume é gradualmente diminuído, processando-se a compressão.

Quando uma certa pressão é atingida, ocorre a abertura de válvulas de descarga ou, simplesmente, o ar é empurrado para o tubo de descarga. Além disso, o ar também pode ser empurrado para o tubo de descarga durante a contínua diminuição do volume da câmara de compressão. São representados pelos compressores alternativos de pistões e os compressores de parafusos assimétricos.

#### 2.2.1.1 Tipos de compressores alternativos

##### a) Compressor de um estágio

Este compressor pode ser de simples efeito (S.E) ou de duplo efeito (D.E). Comprime o ar até a pressão final de utilização em um único cilindro. O ar é resfriado somente por circulação, ou seja, pelas aletas laterais. É projetado, geralmente, para pressões de até 700 kPa, mas também pode ser empregado para pressões acima destas. No caso de ser aplicado um compressor de mais estágios, a economia de energia será maior devido à eficiência e ao rendimento.



**Figura 2.1: Compressor de um estágio simples efeito**

Fonte: Desconhecida

### **b) Compressor de dois estágios ou biestágio**

Para limitar a elevação de temperatura e melhorar a eficiência da compressão, esta é processada em estágios com ar resfriado. Este tipo de compressor possui uma câmara de baixa pressão e outra de alta pressão. Entre essas duas câmaras existe um resfriamento (inter-resfriador ou intercooler) feito por ar ou água, sendo a água mais eficiente.

O ar é admitido através de um filtro na entrada do cilindro de baixa pressão e é comprimido entre 350 e 500 kPa. Em seguida, passa por um inter-resfriador, no qual o calor é parcialmente absorvido pela água ou ar e parte da umidade existente no ar é condensada e eliminada. O ar é comprimido no primeiro estágio e é admitido no cilindro de alta pressão, sofrendo nova compressão e atingindo entre 750 e 880 kPa. Depois, o ar comprimido é conduzido para as outras fases de preparação.



**Figura 2.2: Compressor de dois estágios**

Fonte: <http://www.brasutil.com/AWFCatBus.aspx?Busca=Compressor>

**c) Compressor de múltiplos estágios ou poli-cilíndricos**

Este tipo de compressor tem vários cilindros e, entre eles, resfriadores intermediários. A compressão em múltiplos estágios aumenta a eficiência volumétrica, conforme a relação de compressor do primeiro estágio e a pressão aproximada das condições isotérmicas. Este tipo de compressor é utilizado quando são necessárias altas pressões; porém, para cada faixa de pressão, existe um número adequado de estágios, dependendo da aplicação pretendida.



**Figura 2.3: Compressor de processo de 3 estágios**

Fonte: [http://www.bombayharbor.com/Product/6992/Air\\_Compressor\\_1hp\\_To\\_60hp.html](http://www.bombayharbor.com/Product/6992/Air_Compressor_1hp_To_60hp.html)



#### d) Compressor de parafuso

Este compressor é dotado de uma carcaça na qual giram dois rotores helicoidais em sentidos opostos. Um dos rotores possui lóbulos convexos, o outro pressões côncavas. São denominados, respectivamente, rotor macho e fêmea.

Os rotores são sincronizados por meio de engrenagens. A partir da década de 1980, este tipo de compressor tem apresentado desenvolvimento e aplicação cada vez maior, devido à facilidade de sua instalação e custo de aquisição relativamente baixo para potências acima de 25 cv.

### 2.2.2 Deslocamento dinâmico

A elevação da pressão é obtida por meio da conversão de energia cinética em energia de pressão, durante a passagem do ar através do compressor. O ar admitido é colocado em contato com impulsores (rotor laminado) dotados de alta velocidade. Este ar é acelerado, atingindo velocidades elevadas e, conseqüentemente, os impulsores transmitem energia cinética ao ar. Posteriormente, seu escoamento é retardado por meio de difusores, obrigando a uma elevação de pressão.

**Difusor** – é uma espécie de duto que provoca diminuição na velocidade de escoamento de um fluido, causando aumento de pressão. As figuras abaixo são exemplos de compressores de deslocamento dinâmico.

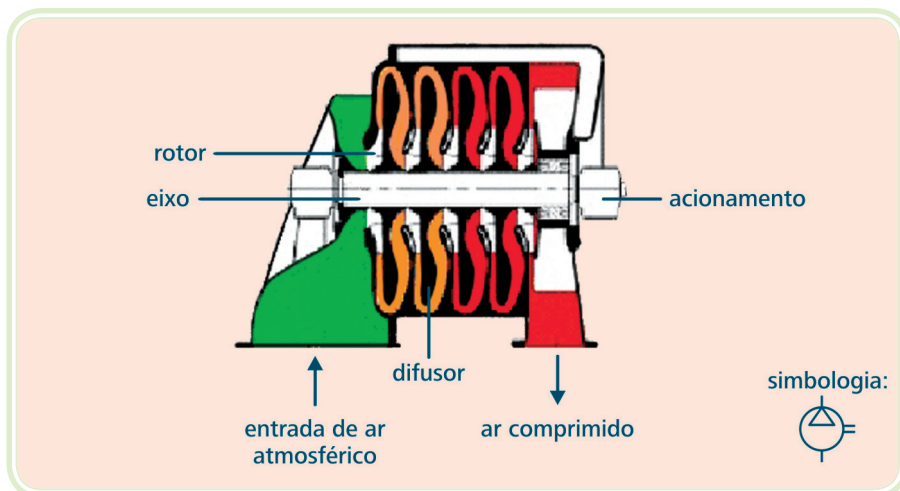
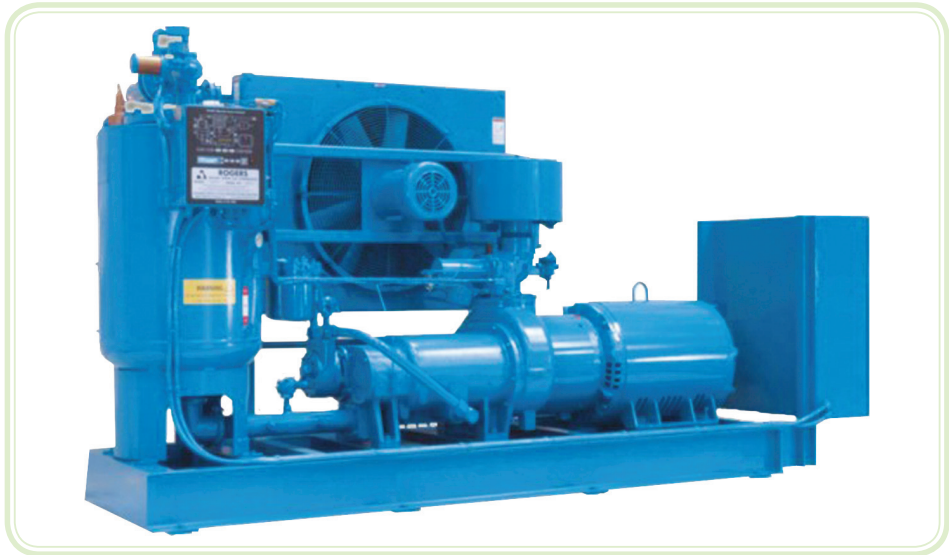


Figura 2.4: Difusor

Fonte: CTISM



**Figura 2.5: Compressor dinâmico**

Fonte: Desconhecida

## 2.3 Sistema de refrigeração dos compressores

Os sistemas de refrigeração de máquinas são utilizados para remover o calor gerado no processo de compressão e o calor gerado por atritos diversos. O resfriamento pode ser através de água ou por ar.

O sistema de refrigeração dos compressores de deslocamento positivo compreende duas etapas principais:

1. Resfriamento dos cilindros de compressão.

2. Resfriamento intermediário.

O resfriamento pode ser complementado por uma refrigeração posterior, ou seja, após o processo de compressão. O resfriamento intermediário remove o calor gerado entre os estágios de compressão, visando:

- Manter baixa a temperatura das válvulas, do óleo lubrificante e do ar que está sendo comprimido. Com a queda da temperatura do ar, a umidade é parcialmente condensada e pode ser removida.
- Aproximar as condições de compressão do processo isotérmico, embora esta dificilmente possa ser atingida devido a pequenas superfícies de troca de calor.

- Evitar deformações do compressor, devido às altas temperaturas.
- Aumentar a eficiência do compressor.

### **Resfriamento dos cilindros de compressão**

No processo de compressão do ar, boa parte da energia é convertida em calor. Os cilindros, nos compressores de deslocamento positivo, são os responsáveis pela compressão propriamente dita e, desta maneira, recebem esta carga térmica (calor).

A refrigeração dos cilindros é necessária para manter os componentes sem deformação e sem desgaste dos lubrificantes.



Um sistema de refrigeração ideal é aquele cuja temperatura de ar na saída do resfriador intermediário é igual à temperatura de admissão deste ar. O resfriamento pode ser realizado por meio de ar em circulação, ventilação forçada e água.

## **2.3.1 Refrigeração**

### **2.3.1.1 Resfriamento à água**

Normalmente, a refrigeração por água é empregada em máquinas de grande porte. Os blocos dos cilindros são dotados de paredes duplas entre as quais circula água. A superfície que exige melhor resfriamento é a dos cabeçotes, pois permanece em contato com o ar aquecido ao fim da compressão.

A água utilizada para refrigeração de máquinas deve ter baixa temperatura e pressão suficiente para evitar a formação de vapor. Quando em contato com partes superaquecidas, deve estar livre de impurezas e ser mole, isto é, conter baixo teor de sais de cálcio e magnésio.

Em compressores resfriados a água, deve ser previsto um sistema de proteção contra falta de água, baixa pressão, alta temperatura e possibilidades de entupimentos.

### **2.3.1.2 Resfriamento a ar**

É indicado para compressores de pequeno e médio porte, devido ao menor custo em relação ao sistema resfriado a água e, também, por ser de maior

facilidade operacional. Porém, compressores de grande porte também podem ser resfriados a ar, principalmente em instalações móveis ou onde não há disponibilidade de água para a refrigeração.



**Figura 2.6: Compressor resfriado a ar**

Fonte: Desconhecida

Nos sistemas resfriados a ar, deve ser observado que grande parte da potência consumida pelo compressor é transformada em calor. Desta maneira, compressores de grande potência não podem trabalhar em locais fechados ou com pouca circulação de ar.



**Circulação** – os cilindros e cabeçotes, geralmente, são aletados, a fim de proporcionar maior troca de calor, o que é feito por meio da circulação do ar ambiente e com auxílio de hélices nas polias da transmissão.



**Ventilação** – a refrigeração interna dos cabeçotes e do resfriador intermediário é realizada através de ventilação forçada, proporcionada por uma ventoinha, obrigando o ar a circular no interior do armário do compressor.

Para saber mais sobre torres ou piscinas de resfriamento, acesse:

<http://www.abraco.org.br/>

[http://www.demec.ufmg.br/](http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/trocador/torres.htm)

[disciplinas/ema003/trocador/](http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/trocador/torres.htm)

[torres.htm](http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/trocador/torres.htm)

## 2.4 Critérios para a escolha de compressores

Na especificação ou aquisição de compressores devem ser considerados diversos fatores, entre eles: volume de ar e pressão (que são os dois fatores principais na seleção de máquinas), acionamento e controle.

### 2.4.1 Volume de ar fornecido

É a quantidade de ar fornecida pelo compressor.

O volume fornecido é indicado em  $m^3/h$ ;  $m^3/min$ ; PCM.

### 2.4.2 Pressão

#### 2.4.2.1 Pressão de regime

É a pressão fornecida pelo compressor, bem como a pressão do reservatório e a pressão na rede de distribuição até o ponto de consumo.

#### 2.4.2.2 Pressão de trabalho

É a pressão necessária nos pontos de trabalho. Em sistemas pneumáticos comuns varia de 6 a 8 bar. Os elementos de trabalho estão construídos para esta faixa de pressão, que é praticamente considerada como pressão normalizada ou pressão econômica.

Para garantir um funcionamento confiável e preciso dos sistemas pneumáticos, é necessário que a pressão tenha um valor constante. Desta depende:

1. A velocidade dos cilindros e a rotação dos motores pneumáticos.
2. As forças desenvolvidas pelos elementos pneumáticos.
3. Os movimentos temporizados dos elementos de trabalho e comando.



### 2.4.3 Acionamento

Conforme as necessidades fabris, o acionamento dos compressores é feito por motor elétrico ou motores a explosão. Em instalações industriais, comerciais e domésticas são acionados, na maioria dos casos, com motor elétrico.

Tratando-se de um compressor móvel, emprega-se, para o acionamento, geralmente, o motor a explosão (gasolina ou óleo diesel). Em unidades industriais, que necessitam de ar comprimido em grandes volumes, podemos encontrar compressores acionados por turbinas a vapor com potências de 400 cv ou maiores.

## 2.4.4 Regulagem

Para combinar o volume fornecido com o consumo de ar, é necessária uma regulagem da pressão dos compressores, sendo normalmente estabelecida uma pressão máxima e mínima.

Existem diferentes tipos de regulagem:

- Regulagem de marcha em vazio;
- Regulagem de carga parcial;
- Regulagem intermitente.

Dentre as regulagens descritas acima a mais empregada é a regulagem intermitente.

### 2.4.4.1 Regulagem intermitente

Com esta regulagem, o compressor funciona em dois campos (carga máxima e parada total). Ao alcançar a pressão máxima  $P_{máx}$ , o motor acionador do compressor é desligado e, quando a pressão chega ao mínimo  $P_{mín}$ , o motor é ligado e o compressor trabalha normalmente.

A frequência de comutação pode ser regulada num pressostato e, para que os períodos de comando possam ser limitados a uma média aceitável, é necessário um grande reservatório de ar comprimido.

## 2.5 Manutenção do compressor

Esta é uma tarefa importante dentro do setor industrial. É imprescindível seguir as instruções recomendadas pelo fabricante que, melhor do que ninguém, conhece os pontos vitais de manutenção.

Devem ser consultados os manuais de fabricantes e montado um plano de manutenção periódico, verificando-se qual o melhor sistema de manutenção e controle da máquina.

## Resumo

Nesta aula estudamos os compressores, que possuem muitos tamanhos e modelos, aplicados conforme a necessidade do processo. Vimos também os sistemas de resfriamento dos compressores, a água e a ar, bem como sua forma de acionamento, regulagem e manutenção.

## Atividades de aprendizagem



1. As máquinas resfriadas a ar possuem cabeçotes aletados para:
  - a) Melhorar o aspecto.
  - b) Tornar o sistema de sucção mais eficiente.
  - c) Aumentar a capacidade de sucção.
  - d) Proporcionar maior troca de calor.
  
2. A grandeza que deve ser constante para que as variáveis abaixo não se alterem é:
  - A velocidade dos cilindros e rotação dos motores pneumáticos.
  - As forças desenvolvidas pelos elementos pneumáticos.
  - Os movimentos temporizados dos elementos de trabalho e comando.
  - a) Temperatura.
  - b) Vazão.
  - c) Volume.
  - d) Pressão.





# Aula 3 – Distribuição e condicionamento do ar comprimido

## Objetivos

Compreender a necessidade de redução dos contaminantes do ar atmosférico.

Utilizar os métodos de distribuição do ar comprimido mais adequado a cada necessidade.

Reconhecer a necessidade da lubrificação e suas exigências.

## 3.1 Contaminação do ar atmosférico

O ar atmosférico é uma mistura de gases, principalmente de Oxigênio e Nitrogênio, e contém contaminantes de três tipos básicos:

### 3.1.1 Água-óleo-poeira

As partículas de poeira, em geral abrasivas, e o óleo queimado no ambiente de lubrificação do compressor, são responsáveis por manchas nos produtos. A água é responsável por outra série de inconvenientes.

O compressor, ao admitir ar, aspira também os seus compostos e, ao comprimir, adiciona a esta mistura calor e óleo lubrificante.

Os gases sempre permanecem em seu estado nas temperaturas e pressões normais encontradas no emprego da pneumática. Componentes com água sofrerão condensação e ocasionarão problemas (ver Quadro 3.1).

Sabemos que a quantidade de água absorvida pelo ar está relacionada com a temperatura e volume. Quanto maior a temperatura maior é a quantidade de água que o ar atmosférico pode conter.



A contaminação por água e poeira é oriunda da própria atmosfera. O óleo é originado do processo de compressão da maioria dos compressores.

A presença desta água condensada nas linhas de ar (tubulações), causada pela diminuição de temperatura, terá como consequências:

#### Quadro 3.1: Consequências da água condensada em tubulações

- Oxidação da tubulação e componentes pneumáticos;
- Destruição da película lubrificante existente entre as duas superfícies em contato, acarretando desgaste prematuro e reduzindo a vida útil das peças, válvulas, cilindros;
- Prejudica a produção de peças;
- Arrasta partículas sólidas que prejudicarão o funcionamento dos componentes pneumáticos;
- Aumenta o índice de manutenção;
- Não é possível a aplicação em equipamentos de pulverização;
- Provoca golpes de aríete nas superfícies adjacentes.



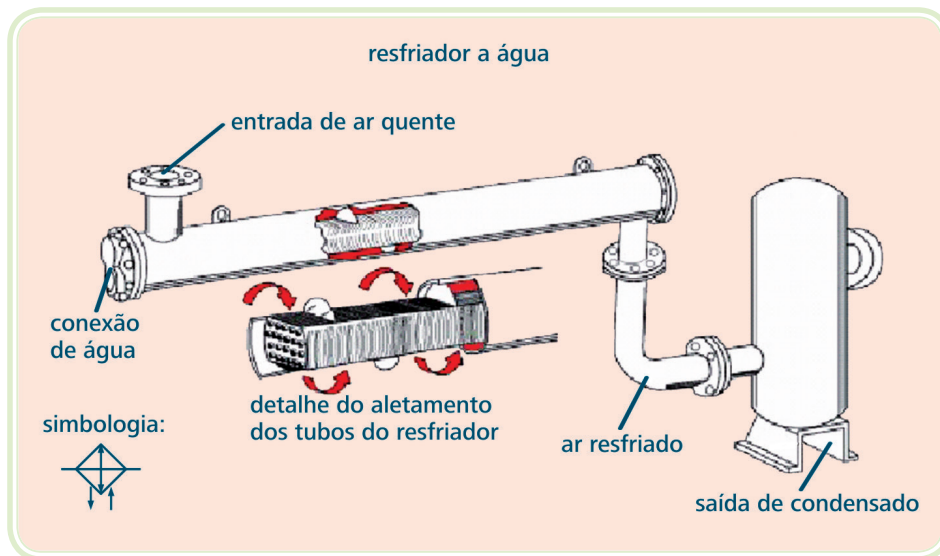
**Golpes de aríete** – são variações de pressão decorrentes de variações da vazão, causadas por alguma perturbação, voluntária ou involuntária, que se imponha ao fluxo de líquidos em condutos, tais como operações de abertura ou fechamento de válvulas.

Portanto, é importante que grande parte da água e resíduos de óleo sejam removidos do ar para evitar redução de capacidade e vida útil de todos os dispositivos e máquinas pneumáticas.

## 3.2 Resfriador posterior (*after coller*)

Para resolver de maneira eficaz o problema inicial da água nas instalações de ar comprimido o equipamento mais indicado é o resfriador posterior, localizado entre a descarga do compressor e o reservatório.

A maior temperatura do ar comprimido é na descarga do compressor.



**Figura 3.1: O resfriador posterior a água com separador de umidade**

Fonte: CTISM



**Figura 3.2: O resfriador posterior a ar com separador de umidade**

Fonte: Fluxotécnica

O resfriador posterior é simplesmente um trocador de calor utilizado para resfriar o ar comprimido. Como consequência deste resfriamento permite-se retirar cerca de 75% a 90% do vapor de água contido no ar, bem como vapores de óleo, além de evitar que a linha de distribuição sofra uma dilatação, causada pela alta temperatura de descarga do ar.

### 3.3 Reservatório de ar comprimido

Um sistema de ar comprimido é dotado de um ou mais reservatórios.

### 3.3.1 Funções do reservatório

#### Quadro 3.2: Funções do reservatório

- Armazenar o ar comprimido;
- Resfriar o ar auxilia a eliminação do condensado;
- Compensar as flutuações de pressão e demanda em todo o sistema de distribuição;
- Estabilizar o fluxo de ar comprimido;
- Controlar as marchas dos compressores.

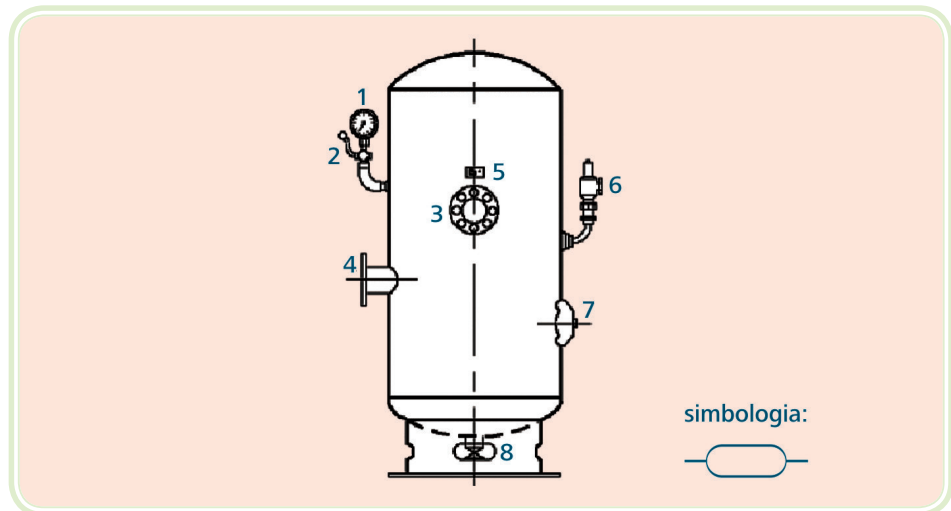
**Condensado** é o vapor de ar que ao ser resfriado sofre condensação. O condensado é então removido no separador centrífugo ou no reservatório de ar, adjacente ao compressor.

Os reservatórios são construídos no Brasil conforme a norma PNB-109 da ABNT.

Nenhum reservatório deve operar com uma pressão acima da Pressão Máxima de Trabalho Permitida (PMTP), exceto quando a válvula de segurança estiver dando passagem. Nesta condição, a pressão não deve ser excedida em mais de 6% do seu valor.

### 3.3.2 Localização do reservatório

Os reservatórios devem ser instalados de modo que todos drenos, conexões e aberturas de inspeção sejam facilmente acessíveis.



**Figura 3.3: Reservatório vertical, vista esquemática**

Fonte: CTISM



**Figura 3.4: Reservatório vertical**

Fonte: Aberko

#### Quadro 3.3: Elementos do reservatório

- |                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| • Manômetro - Indicador de pressão; | • Placa de identificação; |
| • Válvula de bloqueio do manômetro; | • Válvula de alívio;      |
| • Saída de ar do reservatório;      | • Boca de visita;         |
| • Entrada de ar do reservatório;    | • Dreno.                  |

Em nenhuma condição o reservatório deve ser enterrado ou instalado em local de difícil acesso. Deve ser instalado de preferência fora da casa de compressores, na sombra para facilitar a condensação da umidade e do óleo contidos no ar comprimido.

Deve possuir um dreno no ponto mais baixo para fazer a remoção do condensado acumulado, e deverá ser preferencialmente automático.

Os reservatórios deverão ainda possuir manômetro (indicador de pressão), válvulas de segurança, e deverão ser submetidos a uma prova de pressão hidrostática antes da utilização, quando sujeitos a acidentes ou modificações e também periodicamente.

### 3.4 Desumidificação do ar

É necessário eliminar ou reduzir ao máximo a umidade do ar comprimido, sendo difícil e onerosa a secagem completa.



Para saber mais sobre caldeiras e vasos de pressão, acesse: [www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_13.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_13.pdf)

Ar seco industrial não é aquele totalmente isento de água. É o ar que, após um processo de desidratação, flui com um conteúdo de umidade residual de tal ordem que possa ser utilizado sem inconvenientes.

A aquisição de um secador de ar comprimido pode figurar no orçamento de uma empresa como um alto investimento, podendo chegar a 25% do valor total de uma instalação de ar comprimido. Porém, é plenamente justificável este investimento, com a redução dos custos de manutenção do sistema, sendo evitado ou minimizado:

- a) Substituição periódica de tubulações;
- b) Substituição de componentes pneumáticos (filtros, válvulas, cilindros);
- c) Impossibilidade de utilização deste ar para operações de pulverização e pintura;
- d) Aumento de produtividade;
- e) Impossibilidade de utilização deste ar para operações de pulverização e pintura.

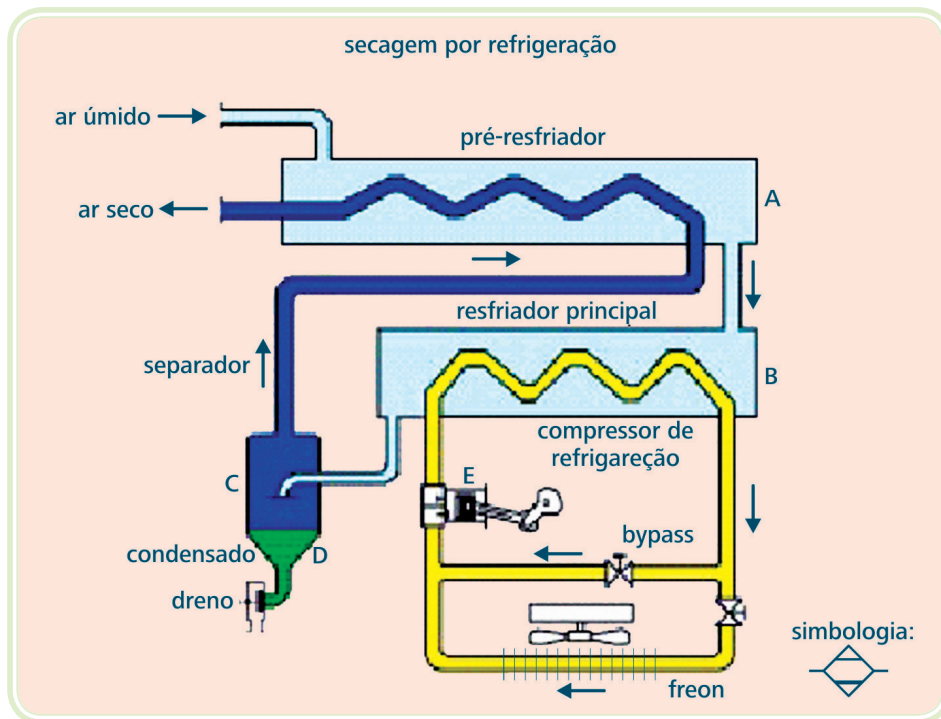
Os meios de secagem do ar comprimido mais comuns são:

- Secagem por refrigeração;
- Secagem por absorção;
- Secagem por adsorção.

### **3.4.1 Secagem por refrigeração**

O método de desumidificação do ar comprimido por refrigeração consiste em submeter o ar a uma temperatura suficientemente baixa, a fim de que a quantidade de água existente seja retirada em grande parte por condensação.

Além de remover a água, provoca no compartimento de resfriamento, uma emulsão com óleo lubrificante do compressor, auxiliando na remoção de certa quantidade deste óleo.



**Figura 3.5: Diagrama do secador por refrigeração**  
 Fonte: CTISM



**Figura 3.6: Secador por refrigeração**  
 Fonte: www.hbdh.com.br

### 3.4.1.1 Descrição do método

O ar comprimido entra em um pré-resfriador (trocador de calor ar-ar), sofrendo uma queda de temperatura causada pelo ar frio que sai do resfriador principal.

No resfriador principal o ar é resfriado ainda mais, em contato com o circuito frigorífico. Durante esta fase a umidade presente no ar comprimido (AC) forma pequenas gotas de líquido, chamadas de condensado, e que são eliminadas por um separador, onde o condensado é depositado e eliminado por um dreno para a atmosfera.

A temperatura do AC é mantida entre 0,65 e 3,21°C no resfriador principal por meio de um termostato que atua sobre o compressor de refrigeração. O AC seco volta ao trocador de calor inicial, causando um pré resfriamento no ar úmido de entrada, coletando parte do calor deste ar. O calor adquirido serve para recuperar sua energia e evitar o resfriamento por expansão, que ocasionaria a formação de gelo caso fosse lançado a uma temperatura baixa na rede de distribuição, devido à alta velocidade.



Para saber mais sobre cloreto de lítio, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/cloreto\\_de\\_lítio](http://pt.wikipedia.org/wiki/cloreto_de_lítio)

### 3.4.2 Secagem por absorção

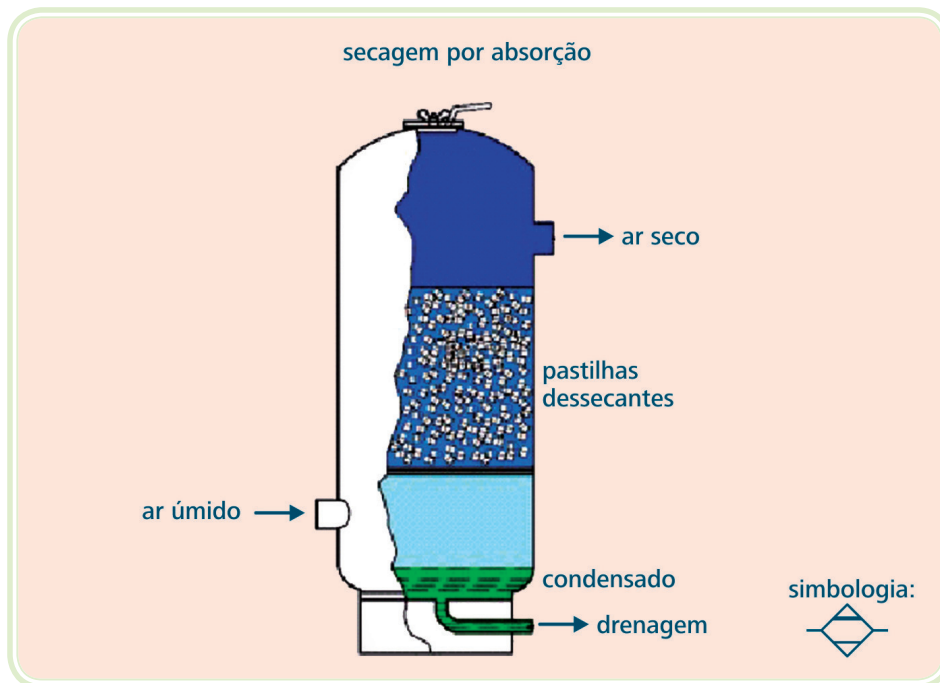
É o método que utiliza em um circuito uma substância sólida, líquida ou gasosa.

Este processo é também chamado de Processo Químico de Secagem, pois é conduzido no interior de um reservatório (tanque de pressão) através de uma massa higroscópica, insolúvel ou deliquescente que absorve a umidade do ar, processando-se uma reação química.

As substâncias higroscópicas são classificadas como insolúveis quando reagem quimicamente com o vapor de água, sem se liquefazerem. São deliquescentes quando, ao absorver o vapor de água, reagem e se tornam líquidas.

As principais substâncias utilizadas são: Cloreto de Cálcio, Cloreto de Lítio, *Dry-o-Lite*.





**Figura 3.7: Diagrama do secador por absorção**

Fonte: CTISM



**Figura 3.8: Secador por absorção**

Fonte: Metalplan

Com a conseqüente diluição das substâncias, é necessário uma reposição regular, caso contrário, o processo torna-se deficiente.

A umidade retirada e a substância diluída são depositadas na parte inferior do reservatório, junto a um dreno de onde são eliminados para a atmosfera.

### 3.4.3 Secagem por adsorção

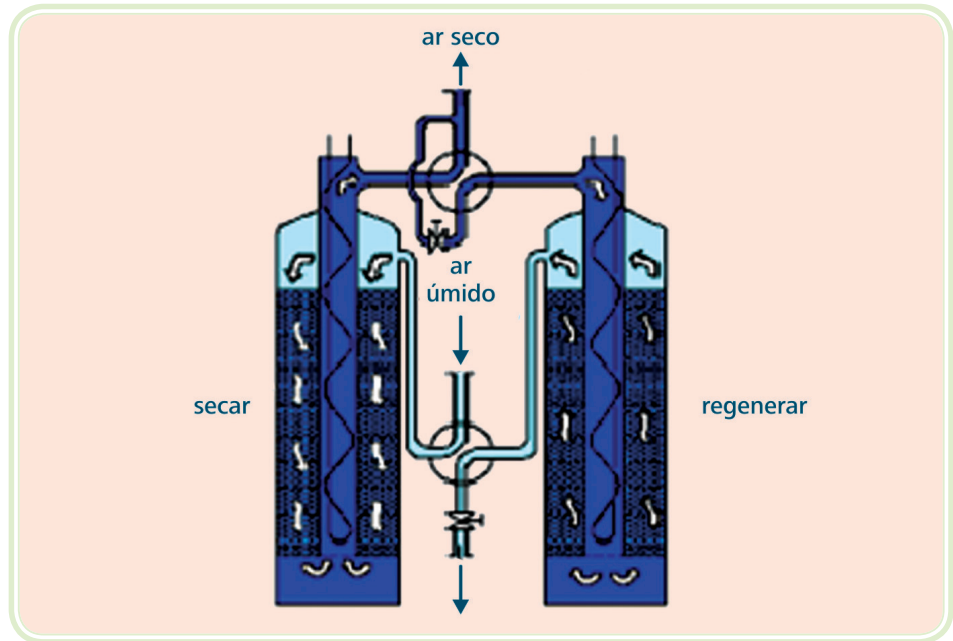


Figura 3.9: Secador por adsorção dupla torre

Fonte: CTISM

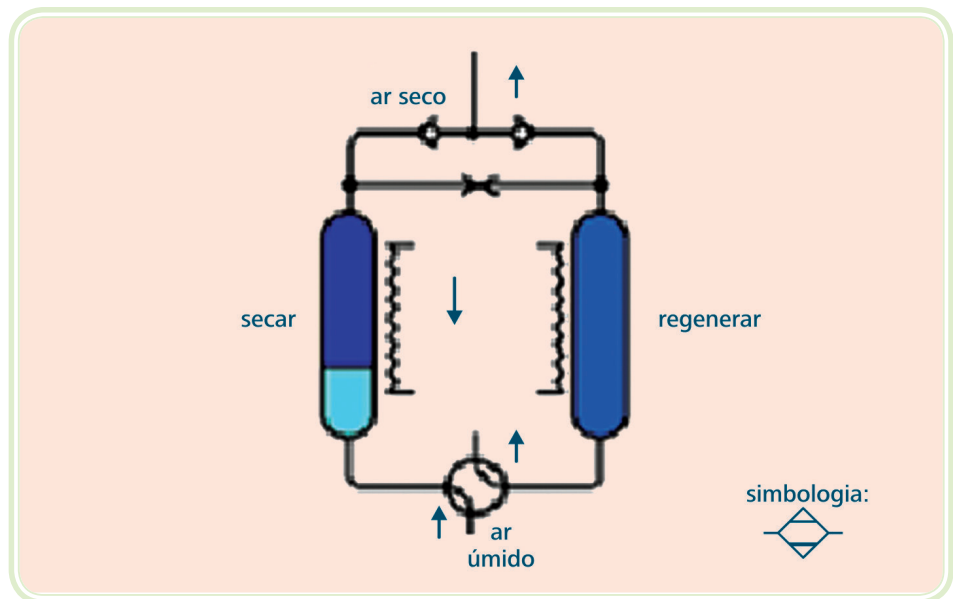


Figura 3.10: Diagrama do secador por adsorção dupla torre

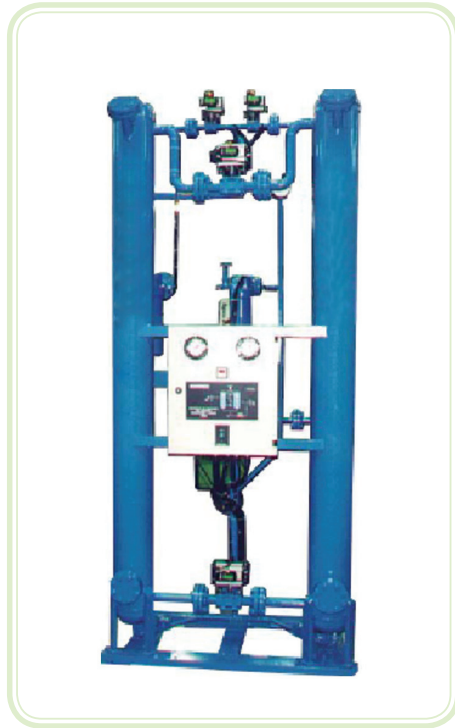
Fonte: CTISM



Para saber mais sobre silicagel, acesse:  
<http://www.softpost.com.br/silicagel.htm>

[http://pt.wikipedia.org/wiki/silica\\_gel](http://pt.wikipedia.org/wiki/silica_gel)

É semelhante ao processo de absorção, porém o processo de adsorção é regenerativo; a substância adsorvente, após estar saturada da umidade, permite a liberação de água quando submetida a um aquecimento regenerativo.



**Figura 3.11: Secador por adsorção dupla torre**

Fonte: Fargon

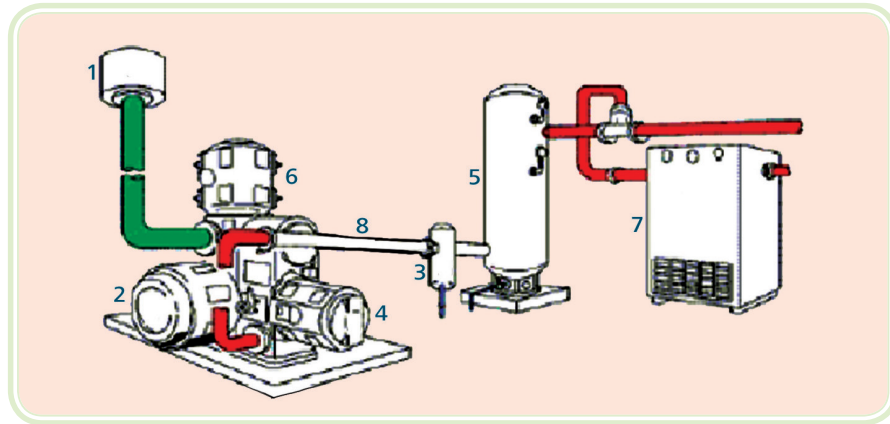
### **3.4.3.1 Processo de secagem por adsorção por torres duplas**

É o tipo mais comum. As torres são preenchidas com Óxido de Silício –  $\text{SiO}_2$  (Silicagel), Alumina Ativada ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Rede Molecular ( $\text{NaAlO}_2\text{SiO}_2$ ) ou ainda Sorbead.

Através de uma válvula direcional, o ar úmido é orientado para uma torre, onde haverá a secagem do ar. Na outra torre ocorrerá a regeneração da substância adsorvente, que poderá ser feita por injeção de ar quente, na maioria dos casos, por resistores e circulação de ar quente. Havendo o aquecimento da substância, provocaremos a evaporação do líquido adsorvido. Por meio de um fluxo de ar seco a água em forma de vapor é arrastada para a atmosfera.

Terminando um período de trabalho pré-estabelecido, ocorre a inversão das funções das torres, por controle manual ou automático. A torre que secava o ar passa a ser regenerada e a outra inicia a secagem.

Na saída de ar deve ser prevista a colocação de um filtro para eliminar poeira das substâncias, prejudicial para os componentes pneumáticos, bem como deve ser montado um filtro de carvão ativado antes da entrada do secador, para eliminar os resíduos de óleo. O óleo quando entra em contato com as substâncias de secagem causam sua impregnação, reduzindo consideravelmente o seu poder de retenção de umidade.



**Figura 3.12: Processamento do ar comprimido até a secagem: 1. filtro de admissão; 2. motor elétrico; 3. separador de condensado; 4. compressor; 5. reservatório; 6. resfriador intermediário; 7. secador (frigorífico); 8. resfriador posterior (à água)**

Fonte: CTISM

### 3.5 Rede de distribuição

Aplicar para cada máquina ou dispositivo automatizado um compressor próprio é possível ou exigível somente em casos esporádicos e isolados. Onde existem vários pontos de aplicação, o processo mais conveniente racional é efetuar a distribuição do ar comprimido, situando as tomadas nas proximidades dos utilizadores. A rede de distribuição de AC compreende todas as tubulações que saem do reservatório passando pelo secador e, que unidas, orientam o ar comprimido até os pontos individuais de utilização.

As redes de distribuição são normalmente formadas de tubos de aço carbono ou galvanizado, sendo hoje possível a montagem de redes de ar comprimido executadas em tubos e conexões de PVC especiais.

A rede possui duas funções básicas:

- Comunicar a fonte produtora com os equipamentos consumidores;
- Funcionar como um reservatório para atender as exigências locais.

Um sistema de distribuição perfeitamente executado deve apresentar os seguintes requisitos:

- a) Pequena perda de pressão entre o compressor e as partes de consumo, a fim de manter a pressão dentro de limites toleráveis, em conformidade com as exigências das aplicações;

- b) Não apresentar escape de ar, pois provoca perda de energia;
- c) Apresentar grande capacidade de realizar separação de condensado.

Ao serem efetuados o projeto e a instalação de uma planta qualquer de distribuição é necessário levar em consideração certos preceitos. O não cumprimento de certas bases é contraproducente e aumenta sensivelmente a necessidade de manutenção.

### 3.5.1 Lay-out da rede de distribuição

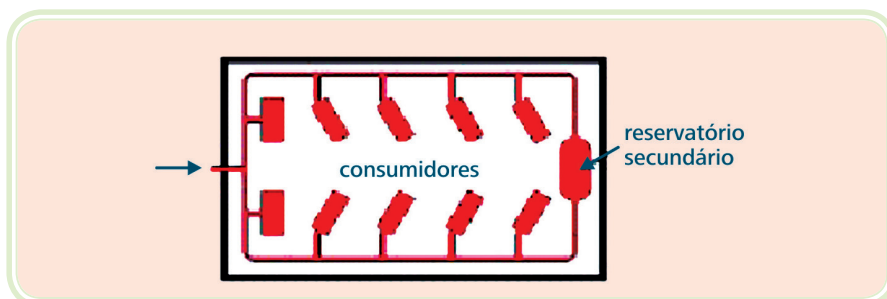
Apresenta a rede principal de distribuição, suas ramificações, todos os pontos de consumo, incluindo futuras ampliações. Indica qual a pressão destes pontos e a posição de válvulas de fechamento, moduladoras, conexões, curvaturas, separadores de condensado.

### 3.5.2 Formato da rede de distribuição

Em relação ao tipo de linha a ser executada, anel fechado ou circuito aberto, deve-se analisar as condições favoráveis e desfavoráveis de cada uma.

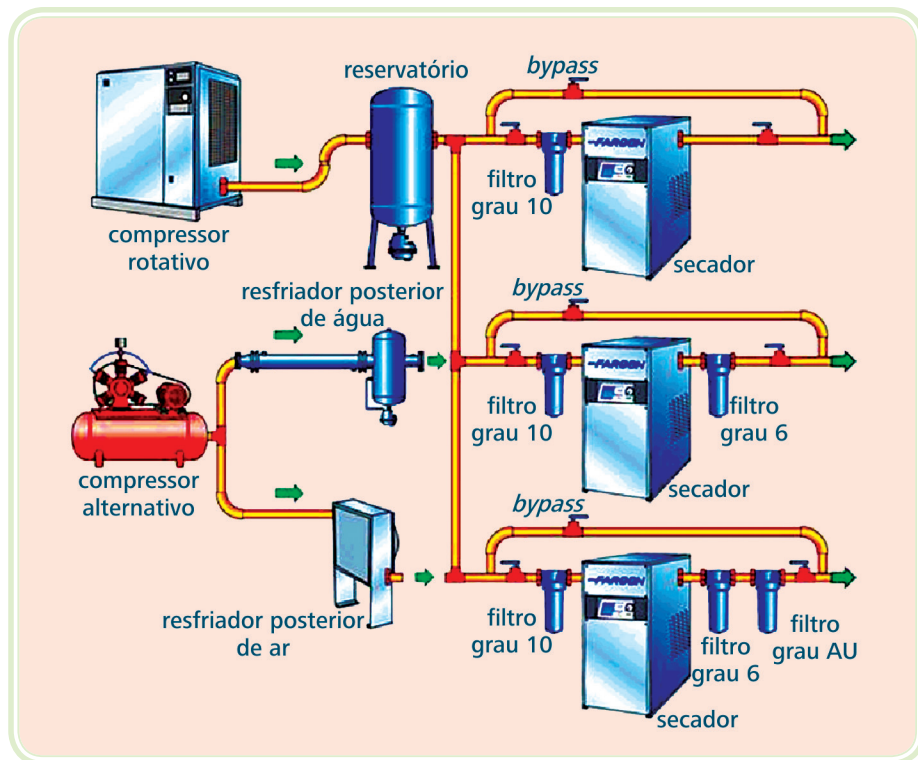
Geralmente a rede de distribuição é do tipo circuito fechado, formando um anel. Deste anel partem as ramificações para os diferentes pontos de consumo. O anel fechado auxilia na manutenção de uma pressão constante, além de proporcionar uma distribuição mais uniforme do ar comprimido para os consumos intermitentes, dificulta porém a separação da umidade, porque o fluxo não possui uma direção definida. Dependendo do local de consumo, circula em duas direções.

O circuito aberto é utilizado onde o transporte de materiais e peças é aéreo, para alimentação de pontos isolados, pontos distantes.



**Figura 3.13: Rede de ar comprimido com reservatório intermediário**

Fonte: CTISM



**Figura 3.14: Esquemas para distribuição do ar comprimido**

Fonte: Astema

### 3.5.3 Válvulas de bloqueio na linha de distribuição

Devem ser previstas na rede e distribuição, para permitir a divisão desta em seções, especialmente em casos de grandes redes, fazendo que as seções tornem-se isoladas para inspeção, modificações ou manutenção. Assim, evitamos que outras seções sejam simultaneamente atingidas.

### 3.5.4 Ligações entre os tubos

São realizadas por rosca, solda, flange, acoplamento rápido, devendo apresentar a mais perfeita vedação.

As ligações roscadas são comuns, devido ao baixo custo e facilidade de montagem e desmontagem. Para evitar vazamentos é necessário a utilização da fita veda rosca (teflon), devido às imperfeições existentes na confecção das roscas.

A união realizada por solda oferece menor possibilidade de vazamento, se comparada à união roscada, apesar de um custo inicial maior. As uniões soldadas devem estar cercadas de certos cuidados, as escamas de óxido devem ser retiradas do interior do tubo, o cordão de solda deve ser o mais uniforme possível.

Para tubos com diâmetro nominal (DN) até 2" – uniões roscadas ou com acessórios para solda de soquete.

Para tubos acima de 2" – uniões para solda de topo e acessórios com montagem entre flanges, principalmente válvulas e separadores. Para instalações provisórias podem ser utilizadas mangueiras com sistema de acoplamento rápido, porém normalmente o custo deste sistema é maior do que tubulações definitivas.



**Figura 3.15: Tubulação de aço flangeada**

Fonte: Metalp



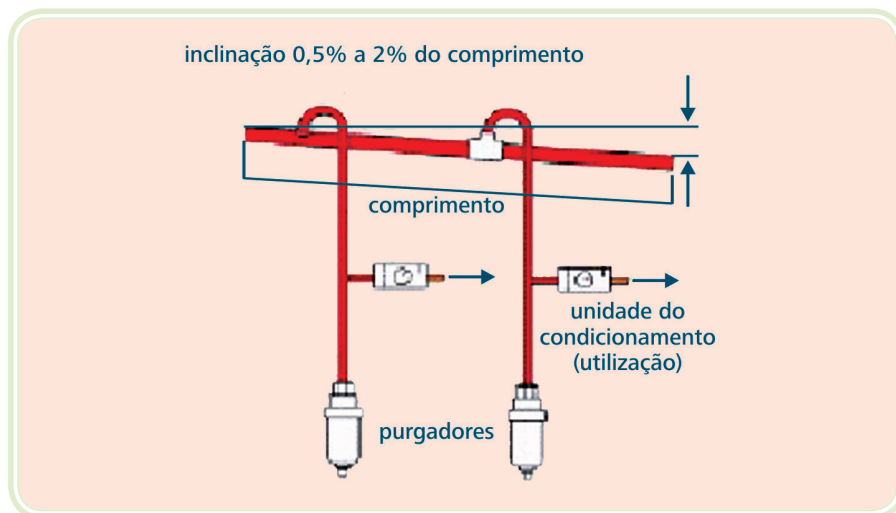
**Figura 3.16: Tubulação de PVC**

Fonte: Centralplast

### 3.5.5 Inclinação da rede de distribuição

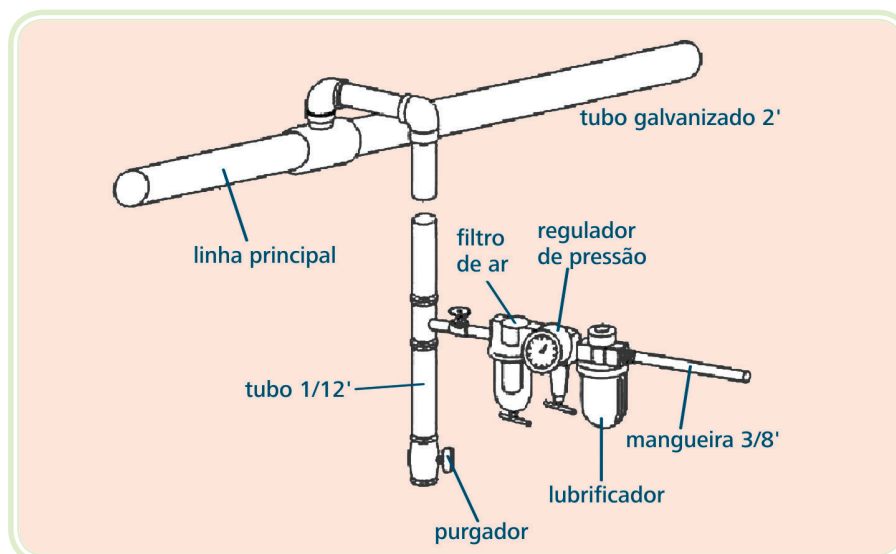
As tubulações devem possuir uma inclinação de 0,5 a 2%, no sentido de fluxo, para direcionar condensado e óxidos para um ponto de coleta, evitando a formação de bolsões de umidade.

Este ponto de coleta é denominado dreno, que são colocados nos pontos mais baixos da tubulação e devem ser preferencialmente automáticos. Se a rede é extensa, devem ser previstos pontos de coleta de condensado com drenos, a cada 20 ou 30 metros de tubulação.



**Figura 3.17: Inclinação da tubulação**

Fonte: CTISM



**Figura 3.18: Tomadas de ar comprimido**

Fonte: CTISM



### 3.5.6 Tomadas de ar comprimido

Devem ser feitas pela parte superior da tubulação principal, para evitar que trabalhem como coletores de condensado. Este tipo de montagem é chamado pescoço de cisne.

### 3.5.7 Vazamentos de ar comprimido

As quantidades de ar comprimido perdidas através de pequenos furos, acoplamentos com folgas, vedações defeituosas, mesmo em redes com boa manutenção, podem representar 10% ou mais de toda a energia consumida pelos compressores. Em redes velhas e sem manutenção pode atingir valores superiores a 25%.

A importância econômica desta contínua perda de ar comprimido torna-se mais evidente quando comparada com o consumo de um equipamento e a potência necessária para realizar a compressão.

É impossível eliminar por completo todos os vazamentos, porém estes devem ser reduzidos ao máximo com uma manutenção preventiva do sistema 3 a 5 vezes por ano, sendo verificadas juntas, engates, mangueiras, tubos, válvulas, aperto de conexões, eliminação de ramais de distribuição fora de uso.

**Tabela 3.1: Vazamento e perda de potência**

| Ø Furo |      | Perda de ar                  |                | Potência |     |
|--------|------|------------------------------|----------------|----------|-----|
| mm     | pol  | 588,36 kPa-m <sup>3</sup> /s | 85 PSI - c.f.m | cv       | kw  |
| 1      | 3/64 | 0,001                        | 2              | 0,4      | 0,3 |
| 3      | 1/8  | 0,1                          | 21             | 4,2      | 3,1 |
| 5      | 3/16 | 0,027                        | 57             | 11,2     | 8,3 |
| 10     | 3/8  | 0,105                        | 220            | 44       | 33  |

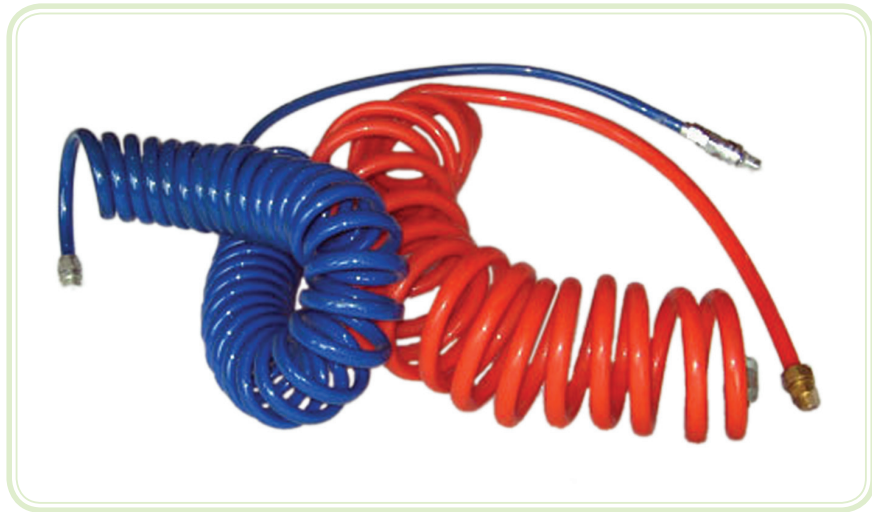
### 3.5.8 Tubos

Os tubos podem ser metálicos ou não metálicos:

**Metálicos** – tubos de latão, cobre, aço inoxidável e aço trefilado, até diâmetro de 1" usados em instalações especiais, possuindo montagens rígidas, estão presentes em locais onde a temperatura, pressão, agressão química ou física (abrasão ou choques) são constantes (indústrias bioquímicas). Os tubos de cobre e latão possuem grande flexibilidade.

**Não metálicos** – materiais sintéticos, que apresentam boas características químicas, mecânicas e flexibilidade. Podem ser obtidos em diversas cores, o que muito auxilia em montagens complexas, e em diâmetros externos que variam de 4 a 16 mm, assim como, medidas equivalentes em polegadas.

Tubos mais comuns são de polietileno, poliuretano, nylon e borracha com lona.



**Figura 3.19: Tubos não metálicos (mangueiras)**

Fonte: Arcel



**Figura 3.20: Tubo de cobre**

Fonte: Canalizadores 24

### 3.5.8.1 Os materiais dos tubos

Quando falamos em tubos de aço, encontramos diversos tipos de materiais. Algumas famílias de tubos são: Aços ao carbono, aços ligados, aços de alta liga, etc.

Veja abaixo os tubos de alta liga ao Cromo/Níquel, conhecidos como aços inoxidáveis:

**AISI 304** – liga com maior aplicação dentro dos aços inoxidáveis, encontra-se em equipamentos das indústrias de alimento, química, petroquímica, têxtil, farmacêutica, papel e celulose, alcooleira, etc.

**AISI 304L**: Idem ao AISI 304 porém com extra-baixo teor de C, aplicado a faixa de 450 a 900°C, evitando-se assim a corrosão intergranular.

**AISI 316**: Idem ao AISI 304 porém, devido a adição de Mo, esta liga se aplica em condições corrosivas mais severas.

**AISI 316Ti**: Idem ao AISI 304L, porém, utilizando-se o Ti como fator de proteção contra a corrosão intergranular.

**AISI 310S**: Aplicados em situações de alta temperatura como peças e componentes de fornos, de turbinas, aquecedores e recuperadores de calor.

**AISI 317**: Aplicado onde a liga AISI 316 não tem uma resistência à corrosão suficiente.

**AISI 446**: Tubos para aplicação em trabalhos acima de 700°C. Recuperadores de calor, proteção de termopares, sopradores de fuligem.

### 3.5.9 Conexões

**Para tubos metálicos**: podem ser para solda, rosca ou de cravação, com extremidades para roscas diversas.

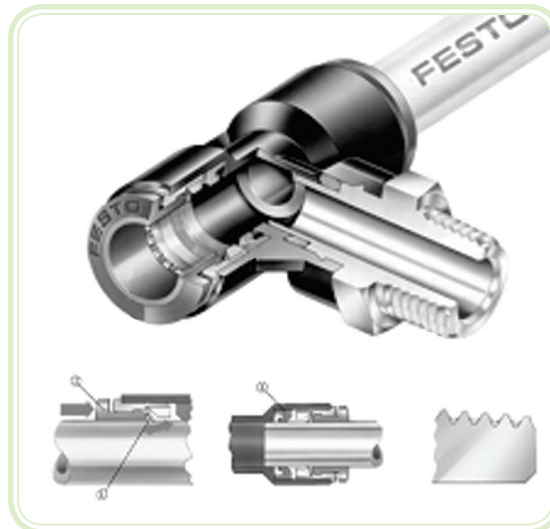
**Para tubos sintéticos**: os mais utilizados são do tipo de conexão rápida, que proporcionam reduzido tempo de montagem, fácil manutenção e grande durabilidade.

As conexões podem ser em material sintético, aço inoxidável, alumínio e ligas de cobre cromada.



**Figura 3.21: Conector com uma rosca e seis conectores rápidos (um está com a mangueira)**

Fonte: Festo



**Figura 3.22: Conector tipo T – rosca central e conector rápido para mangueira (um está com a mangueira)**

Fonte: Festo

### **3.6 Unidade de condicionamento de ar comprimido**

Após passar por todo o processo de produção, tratamento e distribuição, o ar comprimido deve sofrer um ultimo beneficiamento composto por filtragem, regulagem da pressão e introdução de uma certa quantidade de óleo para a lubrificação de todas as partes mecânicas dos compartimentos pneumáticos.

A unidade de condicionamento de ar é indispensável em qualquer tipo de sistema pneumático, ao mesmo tempo em que permite aos componentes trabalharem em condições favoráveis, prolonga a sua vida útil.

Isto tudo é superado quando se aplica nas instalações dos dispositivos, máquinas, etc, os componentes de tratamento preliminar do ar comprimido após a tomada de ar: filtro, válvula reguladora de pressão e lubrificador, que reunidos formam a unidade de condicionamento ou lubrefil.

### 3.6.1 Cuidados gerais para instalação de unidades de condicionamento de AC

- a) A pressão máxima de AC – 1050 kPa para copos de policarbonato e 1750 kPa para copos metálicos;
- b) Temperaturas máximas ambiente – copos de policarbonato -10,0°C a 53,0°C e copos metálicos -10,0°C a 75,0°C;
- c) Ligar a entrada de ar conforme as setas existentes gravada nos acessórios;
- d) Montar os equipamentos o mais próximo possível dos pontos de utilização;
- e) Copos metálicos podem ser limpos com solventes, copos de policarbonato não podem ser limpos com derivados de petróleo ou álcool, mas sim com água e sabão;
- f) Usar tecidos de algodão para a limpeza, nunca utilizar estopa.

## 3.7 Filtragem de ar

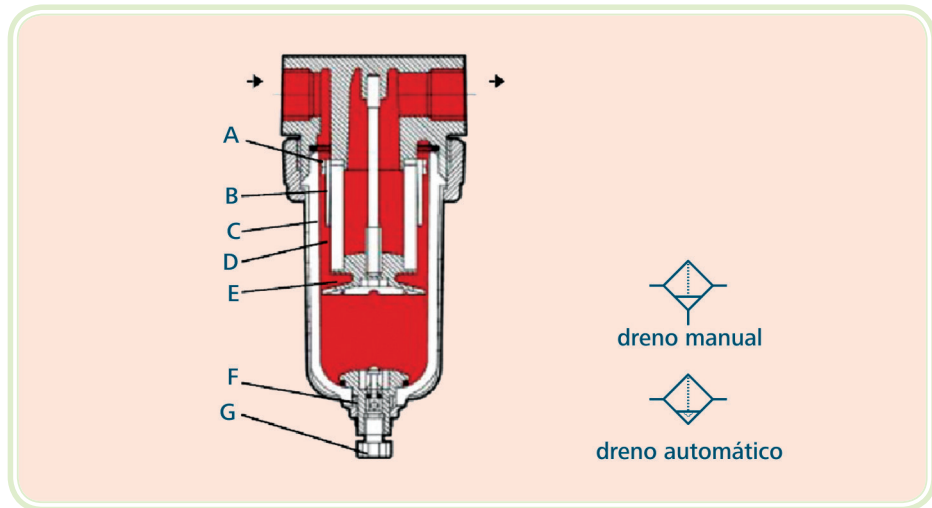
Os sistemas pneumáticos são abertos, o ar após ser utilizado é exaurido para a atmosfera. Este ar, por sua vez, está sujeito à contaminação e às impurezas procedentes da rede de distribuição.

A maioria destas impurezas é retida, como já observamos nos processos de preparação, mas partículas pequenas ficam suspensas e são arrastadas pelo fluxo de ar comprimido, agindo como abrasivo nas partes móveis dos elementos pneumáticos quando solicitada a sua utilização.

A filtragem do ar consiste na aplicação de dispositivos capazes de reter as impurezas suspensas no fluxo de ar. O filtro de ar atua de duas formas distintas:

- Pela ação da força centrífuga;

- Pela passagem do ar através de um elemento filtrante, de bronze sinterizado ou malha de nylon.



**Figura 3.23: Filtro em corte:** A. defletor superior; B. anteparo; C. copo (policarbonato); D. elemento filtrante; E. defletor inferior; F. dreno manual; G. manopla  
 Fonte: CTISM



**Figura 3.24: Filtro de ar**  
 Fonte: M. Shimizu

### 3.7.1 Funcionamento do filtro de ar

O ar comprimido quando atinge a entrada do filtro é guiado a um defletor, realizando movimentação circular descendente. Através da força centrífuga gerada e do resfriamento causado pela velocidade de circulação a água existente é condensada. As partículas sólidas mais densas são lançadas de encontro à parede do copo e depositam-se com a água no fundo do copo. O AC atinge um defletor esférico na parte inferior do copo, onde por contato superficial remove-se mais umidade, sendo lançado para cima e atravessa o elemento filtrante localizado na parte superior do copo.

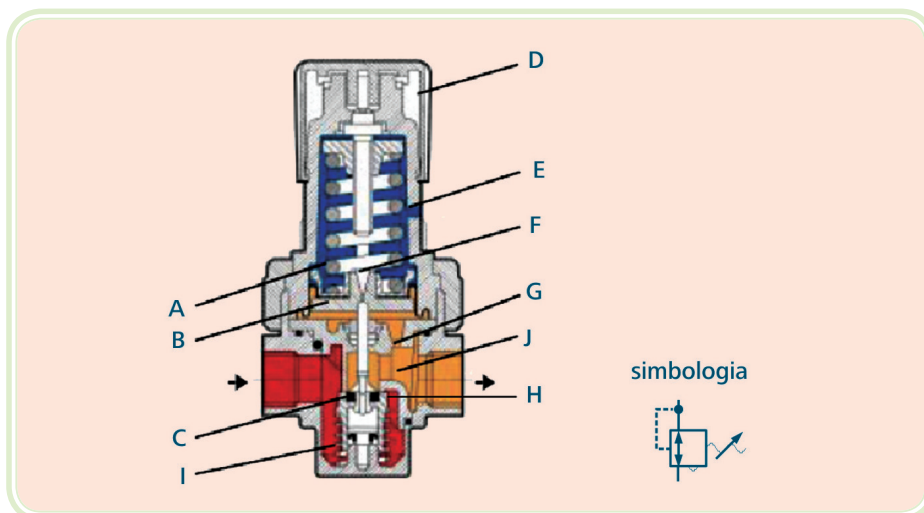
Os elementos filtrantes podem ser:

- Bronze – pode reter partículas de 3 a 120 micra;
- Malha de nylon – pode reter partículas de 30 micra.

### 3.7.2 Drenos dos filtros

Drenos são dispositivos fixados na parte inferior do copo, que servem para eliminar o condensado e impurezas acumulados. Podem ser manuais ou automáticos. Os filtros com drenos automáticos devem ser instalados em locais de difícil acesso e pontos de grande eliminação de condensado. Já os manuais devem ser postos em local de fácil acesso para a manutenção.

## 3.8 Regulagem de pressão



**Figura 3.25: Reguladora de pressão em corte: A. mola; B. diafragma; C. válvula de assento; D. manopla; E. orifício de exaustão; F. orifício de sangria; G. orifício de equilíbrio; H. passagem do fluxo de ar; I. amortecimento; J. conexão do manômetro**

Fonte: CTISM



**Figura 3.26: Reguladora de pressão**

Fonte: Sancoval



Uma reguladora de pressão NUNCA poderá regular a pressão secundária acima da pressão primária, pois o incremento de pressão através de um elemento estático significaria GANHO de energia, o que no atual estágio de tecnologia é impossível.

**Pressão primária** – é aquela que entra na reguladora.

**Pressão secundária** – é aquela que ocorre na saída da reguladora.

Os inconvenientes da oscilação da pressão são eliminados através da escolha de uma pressão de trabalho adequada e o uso de reguladores de pressão, que tem as funções de:

- Compensar automaticamente o volume de ar requerido pelos equipamentos pneumáticos;
- Manter constante a pressão de trabalho (pressão secundária ou de trabalho), independente das flutuações da pressão de entrada (pressão primária ou de rede), quando acima do valor regulado. A pressão primária deve estar sempre superior à pressão secundária, independente dos picos de consumo;



- Funcionar como válvula de segurança.

### 3.8.1 Tipos de reguladoras de pressão

Encontramos dois tipos fundamentais de reguladoras de pressão:

**Válvula reguladora de pressão com escape** – quando a pressão é regulada para uma pressão mais baixa, possui um orifício de escape (sangria) que permite a redução da pressão.

**Válvula reguladora de pressão sem escape** – quando a pressão é regulada para uma pressão mais baixa, esta somente reduzirá a pressão secundária se houver consumo de AC.

## 3.9 Manômetros

São instrumentos utilizados para medir e indicar a intensidade de pressão de fluidos.

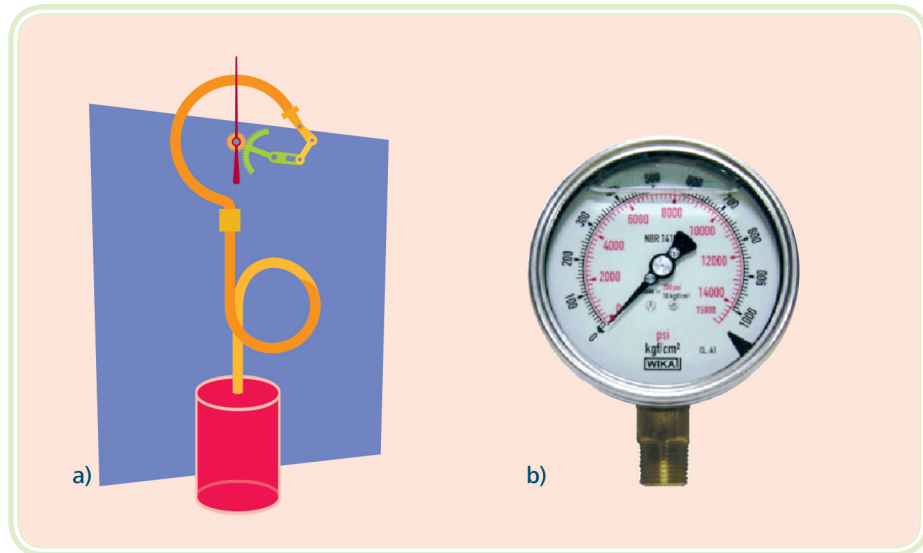
Nos circuitos pneumáticos e hidráulicos, os manômetros são utilizados para indicar o ajuste da intensidade de pressão nas válvulas, que podem influenciar a força ou o torque de conversores de energia.

**Observação** – normalmente trabalhamos com dois tipos de pressão:

Pressão absoluta: é a soma da pressão manométrica com a pressão atmosférica.

Pressão relativa: é a indicada nos manômetros, isenta da pressão atmosférica, geralmente utilizada nas escalas dos manômetros, indicadas em PSI, Bar, e outras unidades de pressão.





**Figura 3.27: (a) Manômetro de Bourdon em corte e (b) manômetro de Bourdon com dupla escala e cheio de glicerina**

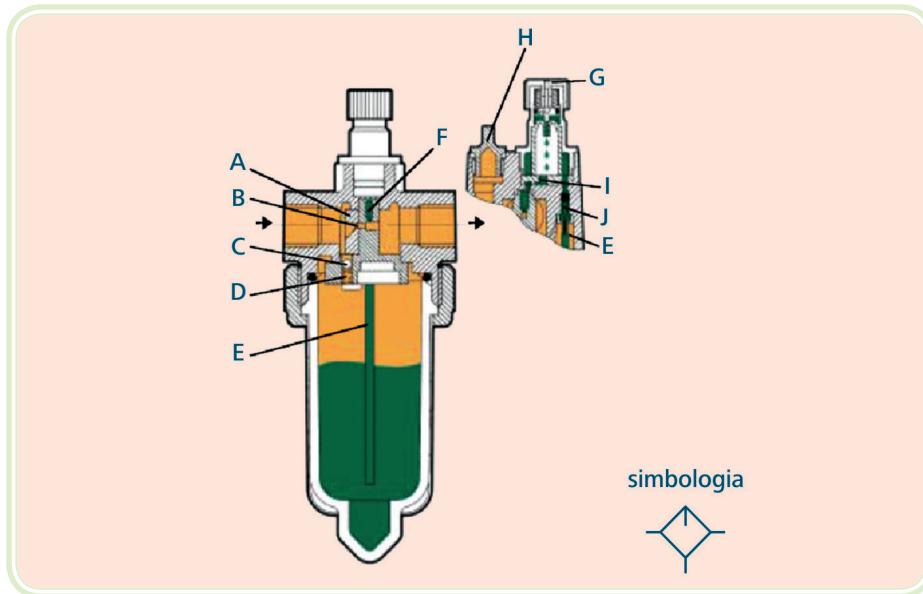
Fontes: (a) CTISM

(b) Lapcontrol

### 3.10 Lubrificação

Os equipamentos pneumáticos normais necessitam de lubrificação, sendo necessário permitir que um lubrificante adequado atinja todos os pontos de um sistema pneumático. Para que o lubrificante possa percorrer todos os tubos, partes de válvulas e cilindros distribuindo o óleo em todas as superfícies, este é distribuído através de lubrificadores especiais para sistemas pneumáticos.

Os lubrificadores proporcionam uma adequada distribuição do óleo através da regulagem de distribuição (através de um regulador – usar 2 a 3 gotas por minuto), e da geração de uma nevoa (pulverização) deste óleo.



**Figura 3.28: Lubrificador em corte: A. membrana e restrição; B. orifício Venturi; C. esfera; D. válvula de assento; E. tubo de sucção; F. orifício superior; G. válvula de regulagem; H. bujão de reposição do óleo; I. canal de comunicação; J. válvula de retenção**

Fonte: CTISM

## Resumo

Vimos nesta aula que o ar apresenta problemas de qualidade, sendo necessário remover a umidade, poeiras e o óleo (este resultante do processo de compressão), através dos secadores (frigoríficos, por absorção e adsorção). Além de obter um ar de boa qualidade, devemos propiciar uma distribuição adequada, com cuidados sobre os tubos e como construí-los, com inclinações e outros requisitos.

Mas não acaba aqui, pois no ponto de consumo, já próximo da máquina que utilizará o AC, é necessário aplicar o último estágio de preparação do ar comprimido, as unidades de conservação, compostas por filtros, reguladores e lubrificadores.



## Atividades de aprendizagem

1. O ar atmosférico é uma mistura de gases, principalmente de Oxigênio e Nitrogênio e contém contaminantes de três tipos básicos:

- a) Água, vapor e poeira.
- b) Água, óleo e poeira.
- c) Água, monóxido de carbono e poeira.
- d) Água, vapor e monóxido de carbono.

2. O resfriador posterior em compressores poderá eliminar:

- a) Pouca umidade (menor do que 10%).
- b) De 75 a 90% da umidade do ar.
- c) De 95 a 100% da umidade do ar.

3. Indicar a única resposta errada.

Os reservatórios são construídos no Brasil conforme a norma PNB-109 da ABNT, e devem atender os seguintes requisitos:

- a) Nenhum reservatório deve operar com uma pressão acima da PMTP, exceto quando a válvula de segurança estiver dando passagem.
- b) Devem possuir dreno no ponto mais baixo para remoção do condensado acumulado.
- c) Os reservatórios deverão possuir manômetro e válvulas de segurança.
- d) O reservatório deve ser enterrado, para facilitar a condensação da umidade e do óleo contidos no ar comprimido.

4. Indicar a única resposta correta.

Ar seco industrial é aquele:

- a) Que pode ser utilizado sem inconvenientes.
- b) Que é absolutamente isento de umidade.
- c) Que possui alta pureza.
- d) Que está isento de contaminantes.

5. Complete a lacuna.

O método de desumidificação do ar comprimido por \_\_\_\_\_, consiste em submeter o ar a uma temperatura suficientemente baixa, a fim de que a quantidade de água existente seja retirada em grande parte (por condensação). A capacidade do ar de reter umidade está relacionada com a temperatura, quando maior a temperatura, maior quantidade de água pode reter.

- a) secagem por absorção
- b) secagem por evaporação
- c) secagem por refrigeração
- d) secagem por adsorção



# Aula 4 – Atuadores pneumáticos e válvulas direcionais

## Objetivos

Demonstrar os diversos tipos de atuadores pneumáticos mais comuns existentes.

Indicar as possibilidades de regulação de velocidade dos cilindros pneumáticos.

Demonstrar que a mudança da configuração de um cilindro pneumático potencializa a sua utilização.

Relacionar as principais válvulas pneumáticas.

Proporcionar ao educando exemplos de aplicação das válvulas pneumáticas.

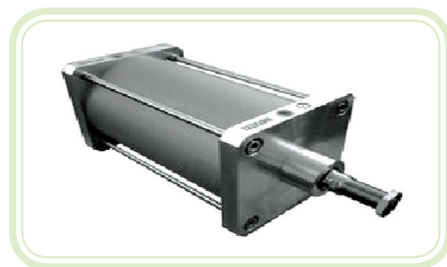
Proporcionar o conhecimento dos fundamentos do estudo do vácuo.

Revisar conhecimentos de sistemas elétricos.

## 4.1 Atuadores pneumáticos

São os elementos responsáveis pela execução do trabalho realizado pelo ar comprimido, dividindo-se em lineares e rotativos.

Os atuadores pneumáticos são conversores de energia, ou seja, dispositivos que convertem a energia contida no ar comprimido em trabalho.



**Figura 4.1: Cilindro pneumático**

Fonte: Air matic news

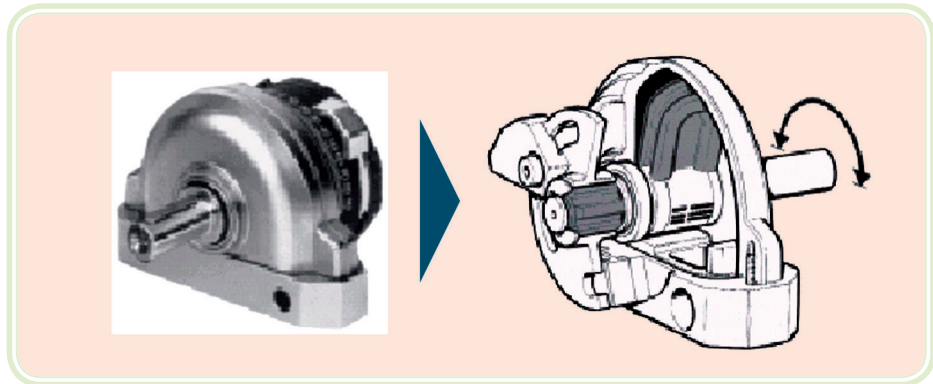
### 4.1.1 Atuadores lineares

São constituídos de componentes que convertem a energia pneumática em movimento linear ou angular.

São representados pelos cilindros pneumáticos. Dependendo da natureza dos movimentos, velocidade, força, curso, haverá um mais adequado para a função.

### 4.1.2 Atuadores rotativos

Convertem a energia pneumática em momento torsor contínuo ou limitado. São os motores pneumáticos e oscilantes.



**Figura 4.2: Oscilador pneumático**

Fonte: Geraquip



**Figura 4.3: Atuador pneumático**

Fonte: Geraquip



### 4.1.3 Tipos de cilindros pneumáticos

Podem ser classificados pelo tipo de efeito ou pelo tipo de construção.

#### 4.1.3.1 Cilindro simples efeito ou ação

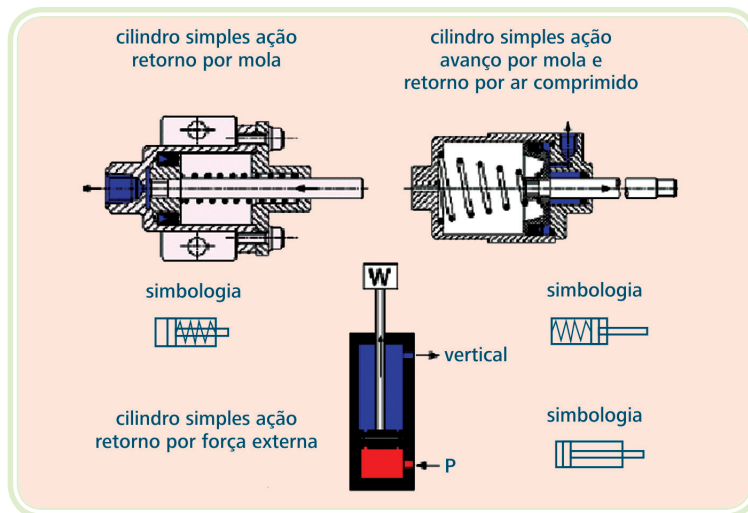


Figura 4.4: Cilindros simples ação

Fonte: CTISM

Possui esta denominação por utilizar ar comprimido para produzir trabalho em um único movimento, seja para avanço ou retorno. O retorno é feito por mola ou ação de uma força externa. Os cilindros com retorno por mola possuem curso limitado, máximo de 125 mm, para os maiores diâmetros.

#### 4.1.3.2 Cilindro duplo efeito ou dupla ação

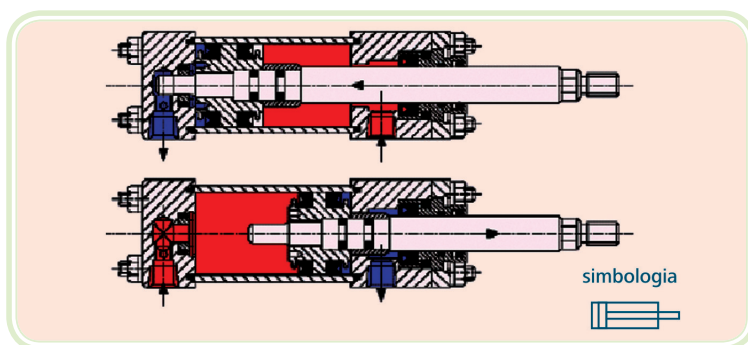


Figura 4.5: Cilindro dupla ação

Fonte: CTISM

Utiliza o ar comprimido para produzir trabalho em ambos os sentidos de movimento, sendo esta a sua principal característica. É o tipo de cilindro mais

utilizado na indústria. A força de avanço e retorno são diferentes, devido a presença da haste, que reduz a área no recuo do cilindro.

#### **4.1.3.3 Construções derivadas**

São opções de uso, baseados nos cilindros pneumáticos de dupla ação:

- Haste passante – oca ou com regulagem;
- Duplex contínuo (Tandem);
- Duplex geminado (múltiplas posições);
- Impacto;
- Tração por cabos;
- Embolo magnético sem haste.

##### **a) Cilindro de haste dupla ou passante**

Possui duas hastes unidas ao êmbolo. Enquanto uma das hastes realiza trabalho, a outra pode ser utilizada no comando de fins de curso ou outros dispositivos que não podem ser posicionados ao longo da haste oposta.

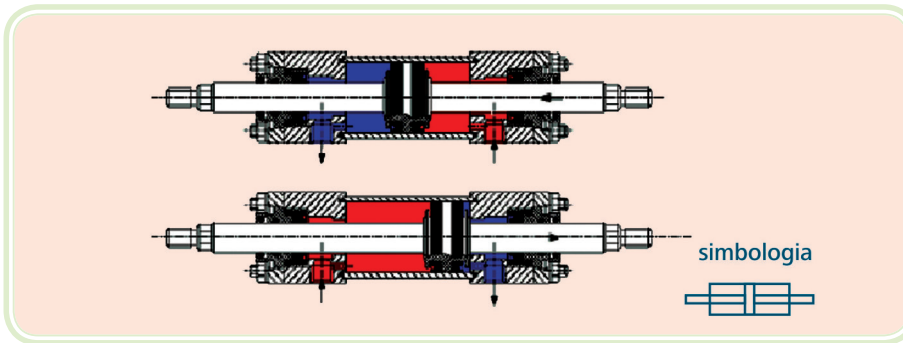
Na versão haste oca, é utilizado para a fixação de elemento de vácuo, eletroímãs e/ou para a passagem de fluidos, como por exemplo, ar comprimido para garras.

##### **b) Cilindro duplex ou tandem**

Dotado de dois êmbolos unidos por uma haste comum, separados entre si por meio de um cabeçote intermediário, possui entradas de ar independentes.

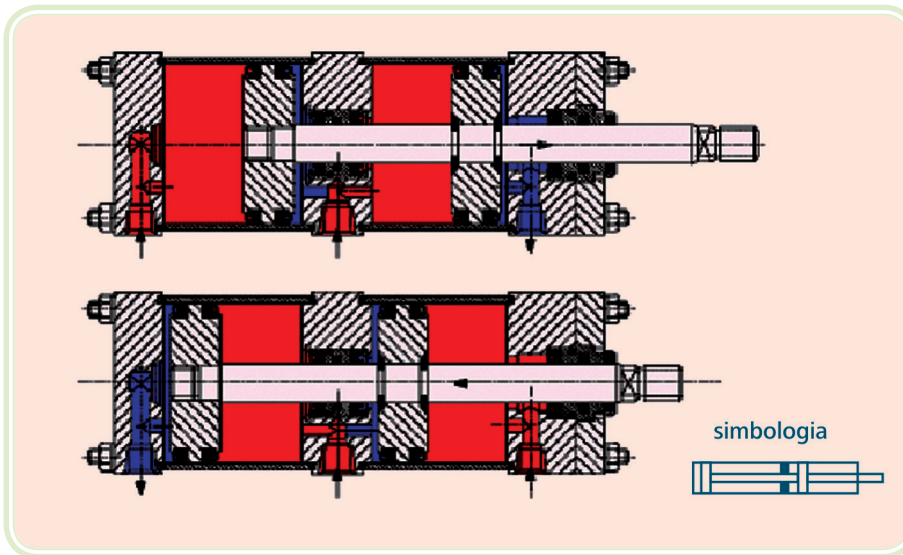
A força produzida pelo cilindro duplex é a somatória das forças individuais de cada êmbolo. Isto permite dispor de maior força, em área de montagem restrita, onde não é possível montar um cilindro de maior diâmetro, porém com um comprimento maior exigido.

É empregado em sistemas de sincronismo de movimento, sendo as câmaras intermediárias preenchidas com óleo.



**Figura 4.6: Cilindro dupla ação com haste passante**

Fonte: CTISM



**Figura 4.7: Cilindro duplex**

Fonte: CTISM

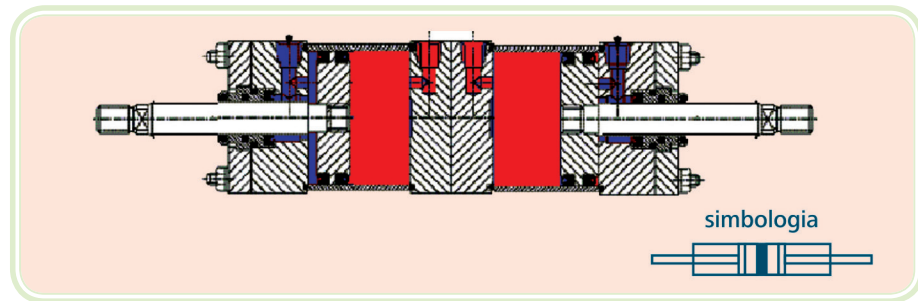
### c) Cilindro duplex geminado ou múltiplas posições

Consiste em dois cilindros de dupla ação, unidos entre si, normalmente através de flanges traseiras, possuindo cada cilindro entradas de AC independentes. Esta montagem possibilita a obtenção de 3 ou 4 posições distintas:

- 3 posições – obtida com o uso de dois cilindros com o mesmo curso.
- 4 posições – obtida com o uso de cilindros de cursos diferentes.

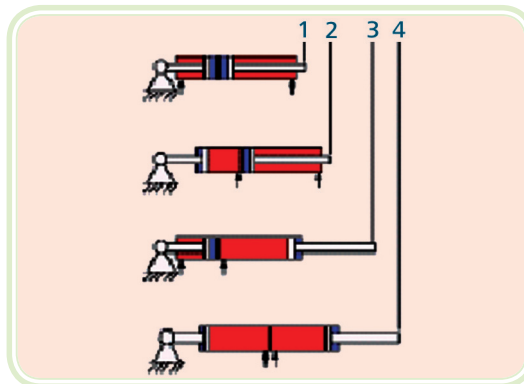
As posições são obtidas em função da combinação entre as entradas de AC e os cursos correspondentes.

É aplicado em circuitos de seleção, distribuição, posicionamento, comando de dosagem e transporte de peças para operações sucessivas.



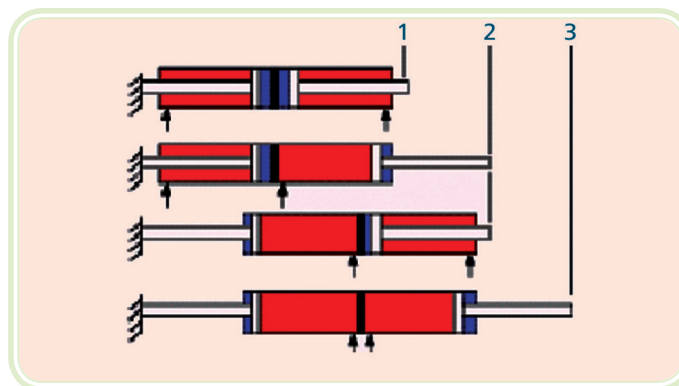
**Figura 4.8: Cilindro duplex geminado**

Fonte: CTISM



**Figura 4.9: Cilindro duplex geminado – tamanhos diferentes, 4 posições**

Fonte: CTISM



**Figura 4.10: Cilindro duplex geminado – tamanhos iguais, 3 posições**

Fonte: CTISM

#### **d) Cilindro telescópico ou de múltiplos estágios**

São empregados quando o espaço para sua instalação é limitado e necessita-se de um conjunto de vários cilindros embutidos um dentro do outro. O cilindro

de menor diâmetro limita a força do conjunto. Possui grande aplicação na hidráulica.

#### e) Cilindros normalizados

Proporcionam intercambialidade a nível mundial de equipamentos. Ex.: ISO 6431 e DIN 24335.

O uso de cilindros pneumáticos normalizados como os da norma ISO 6431, permite que ao existir um cilindro instalado, possa ser substituído por outro de qualquer fabricante.

Já os cilindros especiais somente poderão ser substituídos por outro do mesmo fabricante.



#### f) Cilindros especiais

Normalmente cilindros classe leve ou pesada, construídos conforme critérios do fabricante.

#### g) Cilindros especiais quanto à forma

Podem ser ovais (anti-giro), retangulares (fixadores).

#### Amortecimento

Projetado para controlar movimentos de grandes massas e desacelerar o pistão nos fins de curso, aumentando sua vida útil.

Pode ser pneumático, com ou sem regulagem e elástico. No amortecimento pneumático, o efeito é criado pelo aprisionamento de uma quantidade de ar no final do curso. Isto é feito quando um colar que envolve a haste começa a ser encaixada em uma guarnição, vedando a saída principal de ar e forçando-o por uma restrição fixa ou regulável, através do qual escoara uma vazão menor. Isto causa uma desaceleração gradativa na velocidade do pistão e absorve o choque. Elimina o efeito de chute em cargas não sujeitadas.



### 4.1.4 Controle da velocidade de deslocamento do cilindro pneumático

É necessário alterar as velocidades de deslocamento dos cilindros pneumáticos, acelerando ou reduzindo a sua velocidade natural, para tal, são utilizados dispositivos descritos abaixo, que serão detalhados mais a frente.

Em função da aplicação do cilindro pneumático pode-se desejar que a velocidade de deslocamento do cilindro seja máxima. Para isso devemos:

- Utilizar uma válvula de escape rápida, conectada através de um niple (portanto, o mais próximo possível do cabeçote do cilindro);
- Utilizar válvulas de maior capacidade;
- Utilizar tubos curtos e de maior diâmetro entre a válvula e o cilindro.

## 4.2 Válvulas pneumáticas

Os cilindros pneumáticos para desenvolverem as suas ações produtivas, devem ser alimentados ou descarregados convenientemente, no instante em que desejarmos, ou conforme o sistema programado.

Os elementos que servem para orientar os fluxos de ar, impor bloqueios, controlar sua intensidade de vazão ou pressão são denominados válvulas.

### 4.2.1 Classificação das válvulas

As válvulas pneumáticas podem ser classificadas como:

- Válvulas de controle direcional;
- Válvulas de bloqueio (anti-retorno);
- Válvulas de controle de fluxo;
- Válvulas de controle de pressão.

#### 4.2.1.1 Válvulas de controle direcional

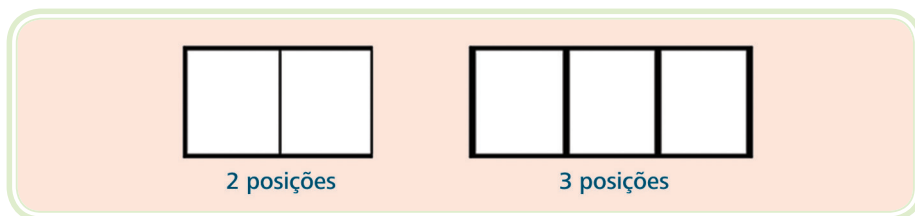
Tem por função orientar a direção que o fluxo de ar deve seguir, a fim de realizar um trabalho proposto.

Para caracterizar uma válvula direcional, devemos conhecer: número de posições, número de vias, vazão, tipo de acionamento (comando), tipo de retorno e tipo construtivo da válvula.

### a) Número de posições

É a quantidade de manobras distintas que uma válvula direcional pode executar ou permanecer sob a ação do seu acionamento.

Conforme as normas CETOP (Comitê Europeu de Transmissão Óleo – Hidráulica e Pneumática) e ISO (Organização Internacional de Normalização), as válvulas direcionais são sempre representadas por um retângulo, dividido em quadrados.

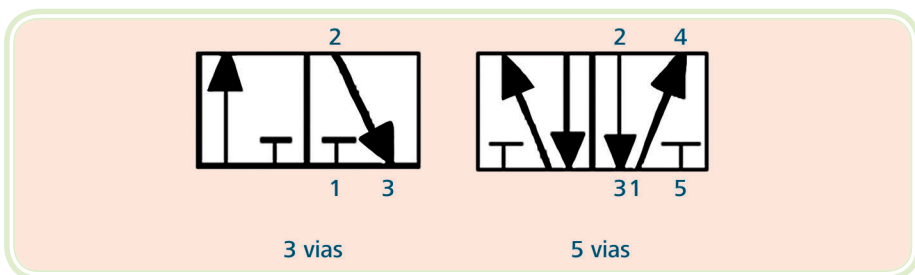


**Figura 4.11: Exemplos de representação de válvulas**

Fonte: CTISM

O número de quadrados representados na simbologia é igual ao número de posições da válvula, representando a quantidade de movimentos que executa através de acionamentos.

### b) Número de vias



**Figura 4.12: Exemplos de representação de válvulas**

Fonte: CTISM

É o número de conexões de trabalho que a válvula possui. São consideradas como vias: a conexão de entrada de pressão, as conexões de utilização e as conexões de escape.

Uma regra prática para a determinação do número de vias consiste em separar um dos quadros (posição) e verificar quantas vezes o(s) símbolo(s) interno(s) toca(m) os lados do quadrado, obtendo-se assim, o número de orifícios e em correspondência o número de vias.

Em 1976, o CETOP propôs um método universal de identificação dos orifícios das válvulas aos fabricantes de equipamentos pneumáticos. A finalidade da codificação é fazer com que o usuário tenha uma fácil instalação de componentes, relacionando as marcas dos orifícios no circuito, com as marcas contidas nas válvulas. O CETOP propõe identificação numérica.

| Quadro 4.1: Identificação dos orifícios das válvulas pneumáticas |                 |    |   |                |    |    |
|--|-----------------|----|---|----------------|----|----|
| Orifício   | Norma DIN 24300 |    |   | Norma ISO 1219 |    |    |
| Pressão  |                 | P  |   |                | 1  |    |
| Utilização   | AA              | BB | C | 2              | 4  | 6  |
| Escape   | RR              | SS | T | 3              | 5  | 7  |
| Pilotagem  | XX              | YY | Z | 10             | 12 | 14 |

## Significado dos orifícios das válvulas

### Pressão ou alimentação – (P) (1)

É o ponto de alimentação da válvula, onde está ligada com a rede AC ou unidade de conservação.

### Utilização – (A, B, C) (2, 4, 6)

São as conexões que interligam a válvula ao “consumidor”.

### Escape – (R, S, T) (EA, EB, EC) (3, 5, 7)

São as conexões que permitem escoar o volume de AC que deve ser eliminado.

### Pilotagem – (X, Y, Z) (10, 12, 14)

Orifício que ao ser influenciado pelo AC modifica a posição de um a válvula.

### c) Tipos de acionamentos ou comandos


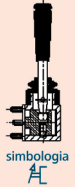

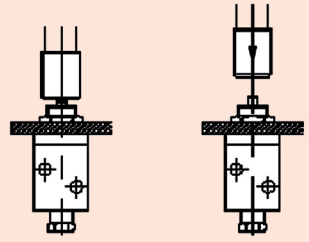
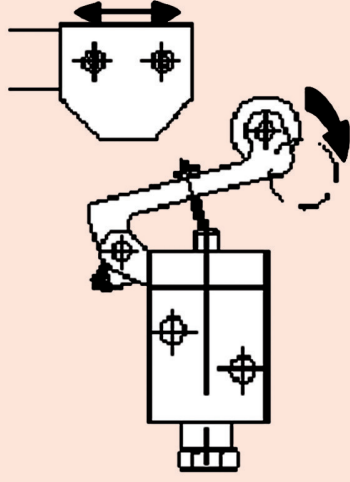
As válvulas exigem um agente externo ou interno que desloque suas partes internas de uma posição para outra, ou seja, um agente que altere as direções de fluxo e efetue os bloqueios liberando o escape.

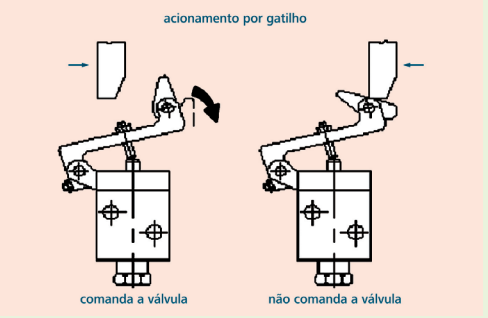
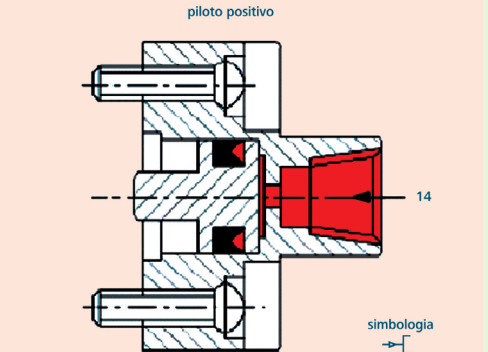
Os acionamentos podem ser: musculares, mecânicos, pneumáticos, elétricos, combinados ou normalizados.

São escolhidos conforme a necessidade da aplicação da válvula direcional.



## Quadro 4.2: Tipos de acionamentos

| Tipo de acionamento | Características   | Exemplos  |
|---------------------|---|---|
| Musculares          | Os atuadores musculares são aqueles acionados diretamente pelos pés ou mãos dos operadores;<br>Não é correto denominá-las de válvulas manuais.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>botão</p>  <p>simbologia</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>alavanca</p>  <p>simbologia</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>pedal</p>  <p>simbologia</p> </div> </div> |
| Por pino            | Quando um mecanismo móvel, dotado de movimento retilíneo, sem possibilidades de ultrapassar um limite e ao fim do movimento deve acionar uma válvula, este é o acionamento recomendado, que recebe um ataque frontal.   | <div style="text-align: center;"> <p>pino ou came</p>  </div>   |
| Por rolete          | Para movimento rotativo, retilíneo com ou sem avanço posterior, é aconselhável utilizar o acionamento por rolete, para evitar atritos inúteis e esforços danosos às partes da válvula;<br>O rolete quando posicionado no fim de curso, funciona como pino, mas recebe ataque lateral na maioria das vezes;<br>Em posição intermediária, receberá comando toda a vez que o mecanismo em movimento passar por cima, independente do sentido de movimento. | <div style="text-align: center;"> <p>rolete</p>  </div>  |

| Tipo de acionamento                                       | Características  | Exemplos  |
|---|--|---|
| Gatilho ou rolete escamoteável                            | <p>O posicionamento no final de curso, com leve afastamento, evita que permaneça constantemente acionado, como pino e o rolete;</p> <p>Permite o acionamento da válvula em um único sentido de movimento, emitindo um sinal pneumático breve;</p> <p>No sentido oposto ao de comando, o mecanismo causa a rotação do acionamento eliminando qualquer possibilidade de comandar a válvula;</p> <p>Sendo o sinal breve, não devendo percorrer longas distâncias.</p> |  <p>acionamento por gatilho</p> <p>comanda a válvula      não comanda a válvula</p> |
| Comando direto por aplicação de pressão (piloto positivo) | <p>Um impulso de pressão, proveniente de um comando externo, é aplicado diretamente sobre um pistão, acionando um a válvula.</p>   |  <p>piloto positivo</p> <p>14</p> <p>simbologia</p>                                |
| Mecânicos   | <p>Com a crescente introdução de sistemas automáticos, as válvulas acionadas por uma parte móvel da máquina adquirem grande importância;</p> <p>O comando da válvula é conseguido através de um contato mecânico sobre o acionamento, colocando ao longo de um movimento qualquer, para permitir o desenrolar de seqüências operacionais;</p> <p>Comumente as válvulas equipadas com este tipo de acionamento recebem o nome de VÁLVULA DE FIM DE CURSO.</p>       |   |
| Pneumáticos   | <p>As válvulas equipadas com este tipo de acionamento são comutadas pela ação do ar comprimido, proveniente de um sinal preparado pelo círculo e emitido por outra válvula.</p>  |   |

#### **d) Vazão das válvulas**

É o volume de fluido, fornecido pela válvula em uma unidade de tempo (l/min, m<sup>3</sup>/min). A vazão varia, mesmo entre válvulas de mesma bitola, e dependem principalmente do tipo construtivo. O Coeficiente de Vazão (CV) é o meio mais técnico de se obter a vazão de uma válvula.

#### **e) Tipo de comando de retorno das válvulas**

As válvulas requerem uma ação para efetuar mudança de posição e uma outra ação para voltarem ao estado (posição) inicial. Podem ser:

- Mecânicos;
- Elétricos;
- Combinados.

#### **Retornos mecânicos**

**Mola** – eliminada a ação sobre o acionamento, a mola (previamente comprimida) libera a energia armazenada pela compressão, efetuando o retorno da válvula à posição inicial.

**Trava** – mantém a válvula na posição de manobra. Uma ação faz retornar a válvula à posição inicial, sendo utilizada junto com acionamentos musculares.

#### **Retornos elétricos**

A operação das válvulas é efetuada por meio de sinais elétricos, provenientes de chaves fim de curso, pressostatos, temporizadores, etc.

São de grande utilização onde a rapidez dos sinais de comando é o fator importante, quando os circuitos são complicados e as distâncias são longas entre o local emissor e o receptor.

#### **Retornos combinados**

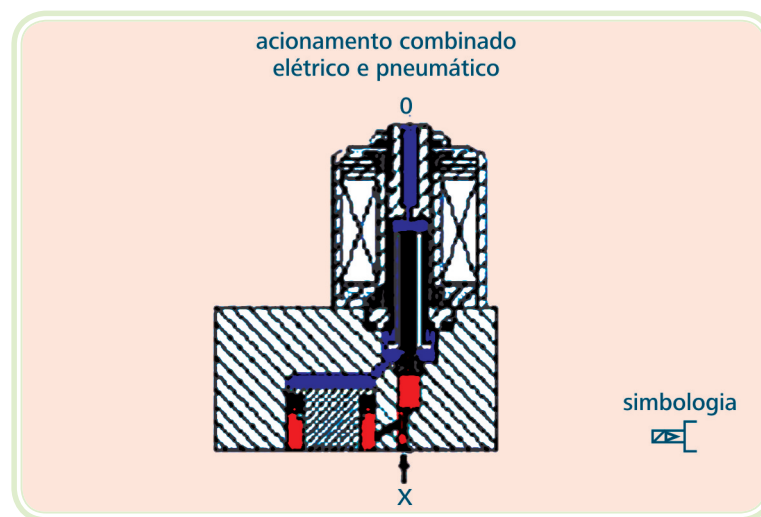
É comum a utilização da própria energia do ar comprimido para acionar as válvulas. Podemos comunicar o ar de alimentação da válvula a um acionamento auxiliar que permite a ação do ar sobre o comando de válvula. Os acionamentos tidos como combinados são classificados também como servo-piloto, comando prévio e indireto.

Isso se fundamenta na aplicação de um acionamento (pré-comando) que comanda a válvula principal, responsável pela execução da operação.

Quando é efetuada a alimentação da válvula principal, a que realizará o comando dos conversores de energia, pode-se emitir ou desviar um sinal através de um canal interno ou conexão externa, que ficará retido, direcionando-o para efetuar o acionamento da válvula principal, que posteriormente é colocada para exaustão.

As válvulas de pré-comando são geralmente elétricas (solenóides), pneumáticas (piloto), manuais (botão), mecânicas (came ou esfera).

A seguir, são mostrados alguns tipos de acionamentos combinados.



**Figura 4.13: Acionamento combinado elétrico e pneumático**

Fonte: CTISM

- **Solenóide e piloto interno** – quando o solenóide é energizado, o campo magnético criado desloca o induzido, liberando o piloto interno X, o qual realiza o acionamento da válvula.

O suprimento de ar comprimido para atuar a válvula é fornecido através de um canal que está ligado ao orifício número “1” da válvula.

- **Solenóide e piloto externo** – idêntico ao anterior, porém a pressão piloto é suprida externamente.

O fluido do piloto externo poderá ser diferente do fluido que passa pela válvula.

É utilizada quando o ar comprimido que alimenta o orifício número 1 é de baixa pressão (menor do que 2,5 Bar). A troca de posição da válvula pode ser efetuada através do botão para acionamento muscular.

- **Solenóide e piloto ou botão** – a válvula principal pode ser comandada por meio da eletricidade, a qual cria um campo magnético, causando o afastamento do induzido do assento e liberando a pressão X que aciona a válvula.

Pode ser acionada através do botão, o qual despressuriza a válvula internamente.

O acionamento por botão conjugado ao elétrico é de grande importância porque permite testar o circuito, sem necessidade de energizar o comando elétrico, permitindo continuidade de operação quando faltar energia elétrica.

#### f) Elementos necessários para identificação de uma válvula direcional

Para a identificação de uma válvula direcional de controle (VDC) é necessário especificar a sequência presente no Quadro 4.3:

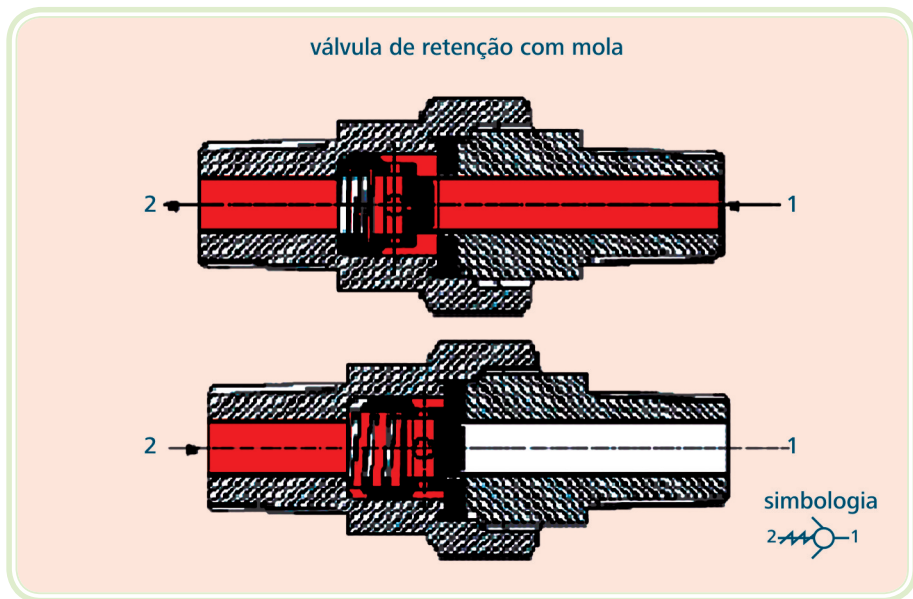
| Quadro 4.3: Sequência para identificação de uma válvula direcional |  |
|--|--|
| Sequência  | Característica   |
| 1  | Identificação genérica:<br>- Válvula direcional ou<br>- Válvula direcional de controle (VDC)   |
| 2  | - Identificar o número de vias e de posições, separados por uma /:<br>- Número de vias - 3/2 - Número de posições.   |
| 3  | Nas válvulas com 2 e 3 vias, com retorno por mola, deverá ser indicado que sua posição normal (não acionada) está aberta ou fechada.<br>NF – Normalmente Fechada – a válvula quando não acionada, impede a passagem de fluido.<br>NA – Normalmente Aberta – a válvula quando não acionada, permite a passagem de fluido. |
| 4  | O tipo de acionamento - ou acionamento principal.  |
| 5  | O tipo de retorno.   |
| 6  | O fluido que percorre a válvula e o piloto (servo válvula).  |
| 7  | Pressão de operação da válvula e do piloto.  |

| Sequência | Característica  |
|-----------|---|
| 8         | Bitola da conexão, tipo da conexão da válvula e do orifício de pilotagem (se houver)<br>Bitolas mais comuns: M5, 1/8", 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", e 1 1/2" NTP ou BSP.<br>As válvulas de 1/2" e acima são consideradas válvulas de grande porte.   |
| 9         | Nos acionamentos elétricos, é necessário indicar:<br>Tensão de operação: 12V, 24V, 48 V, 110V, 220V, tensões especiais.<br>Tipo de tensão: CC (DC) corrente contínua ou CA (AC) corrente alternada.<br>Frequência: somente para CA. 50 ou 60 Hz. No Brasil a frequência padrão é 60 Hz. Nos demais países do Mercosul a frequência normal é 50 Hz.<br>Potência máxima da solenóide: principalmente no uso de CLP's é dado em Watts.<br>Grau de proteção: indica o grau de resistência ao pó e umidade. Exemplo: IP 65.<br>Uso ou não de LED indicativo de operação. |
| 10        | Indicações especiais.<br>Temperatura de trabalho, exigências ou não de conexões canalizadas, capacidade da válvula, ou CV.  |

#### 4.2.1.2 Válvulas de bloqueio

Impedem o fluxo de AC em um sentido determinado, possibilitando livre fluxo no sentido oposto: retenção, escape rápido, isolamento (OU), simultaneidade (E).

##### a) Válvula de retenção



**Figura 4.14: Válvula de retenção**

Fonte: CTISM

Um obturador (cone, esfera ou disco) é mantido contra a sede, por força de uma mola ou pela força da gravidade.

Ocorrendo o fluxo no sentido favorável, o obturador é deslocado, permitindo a passagem do fluido.

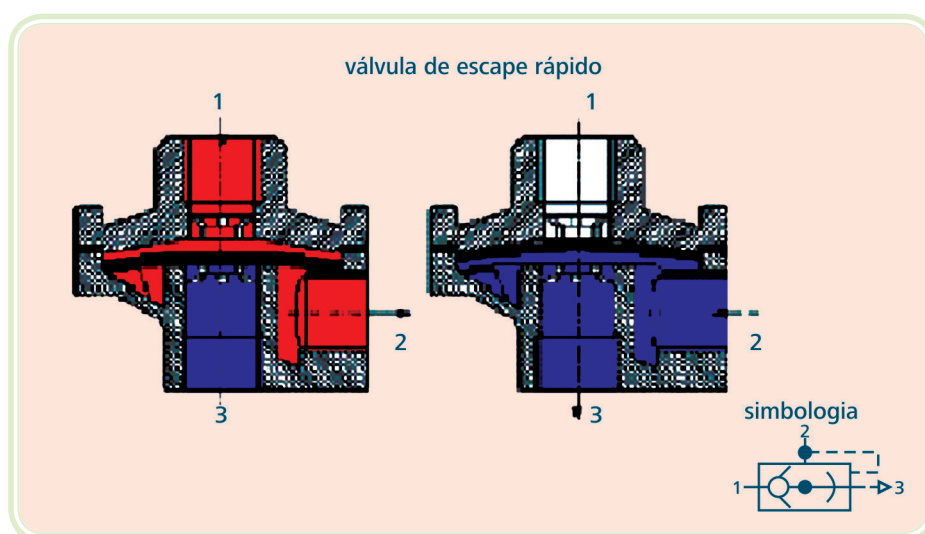
Invertendo-se o fluxo, o obturador desloca-se contra a sede e impede a passagem do fluido.

As válvulas de retenção são utilizadas quando se deseja impedir o fluxo de ar em um sentido.

### b) Válvula de escape rápido

É utilizada para aumentar a velocidade normal de deslocamento de um pistão.

Para que um pistão se desloque rapidamente é necessário que a câmara em enchimento supere a pressão da câmara em esvaziamento, e que o ar que escapa percorra tubulações secundárias e válvulas.



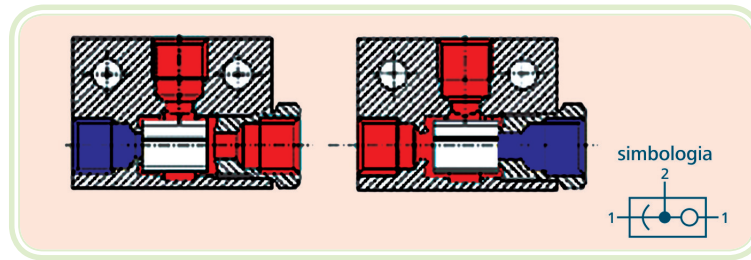
**Figura 4.15: Válvula de escape rápido**

Fonte: CTISM

A válvula de escape rápido descarrega o ar da câmara em exaustão diretamente na atmosfera, aumentando a velocidade de escape e acelerando o movimento do cilindro.

Os jatos de exaustão são ruidosos, devendo ser utilizado silenciadores de escape no orifício 3.

### c) Válvula de isolamento (OU)

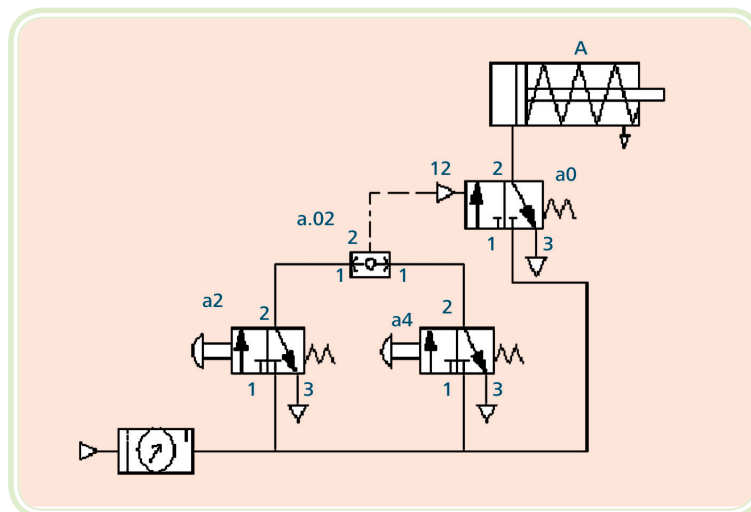


**Figura 4.16: Válvula de isolamento (OU)**

Fonte: CTISM

Dotada de três orifícios no corpo:

- Duas entradas de pressão;
- Um ponto de utilização.



**Figura 4.17: Elemento OU no circuito pneumático**

Fonte: CTISM

Enviando-se um sinal por uma das entradas, a entrada oposta é automaticamente vedada e o sinal emitido flui até o orifício de utilização.

Na coincidência de sinais nas entradas, prevalecerá o que primeiro atingir a válvula, no caso de pressões iguais.

No caso de pressões diferentes, a prioridade é da que tem maior valor.

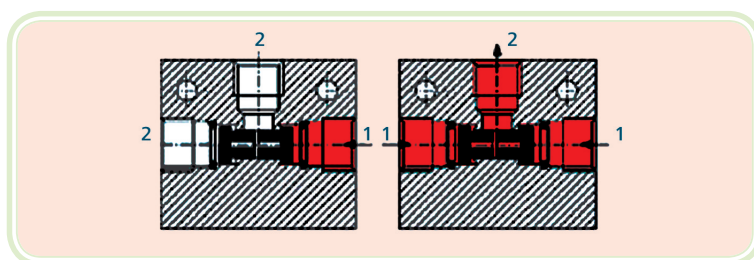


Utilizada quando é necessário enviar sinais a um ponto comum, de diferentes locais no circuito pneumático.

#### d) Válvula de simultaneidade (E)

Dotada de 3 orifícios no corpo:

- Duas entradas de pressão;
- Um ponto de utilização.



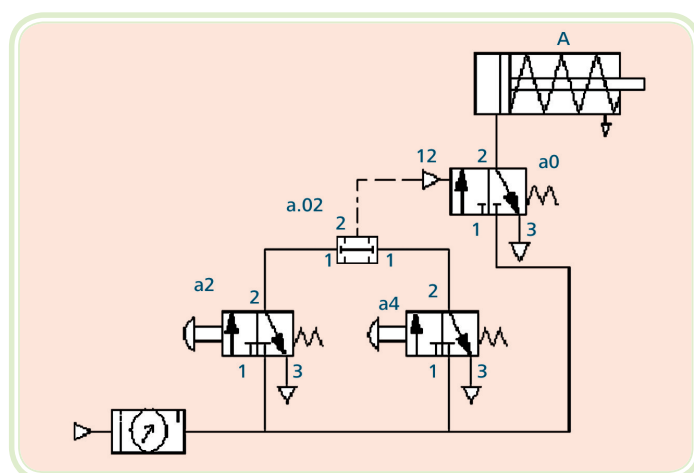
**Figura 4.18: Válvula de simultaneidade (E)**

Fonte: CTISM

O orifício de utilização será pressurizado quando existir pressão nas duas entradas de pressão.

Os sinais podem ter valores iguais ou diferentes, mas terão que existir dois sinais para que a válvula de simultaneidade permita a passagem do sinal.

São utilizadas em sistemas bimanuais de segurança e funções lógicas “E”.



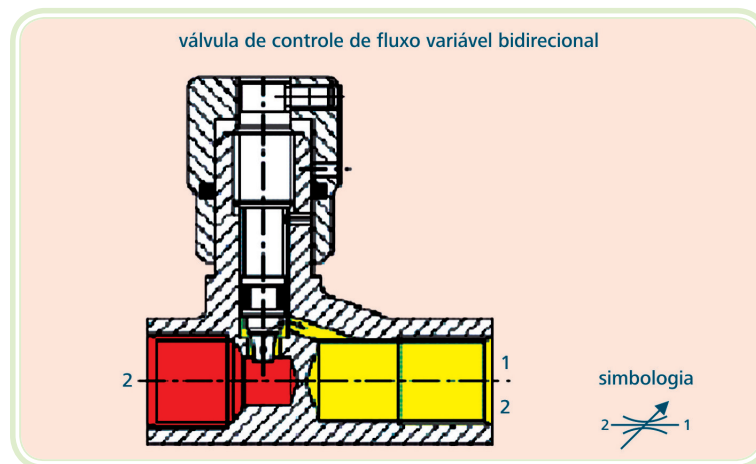
**Figura 4.19: Válvula E no circuito pneumático**

Fonte: CTISM

### 4.2.1.3 Válvulas de controle de fluxo

São utilizadas quando é necessário a diminuição da quantidade de ar que passa por uma tubulação (velocidade de cilindros ou condições de temporização). Podem ser fixas ou variáveis, unidirecionais ou bidirecionais.

#### a) Válvulas de controle de fluxo variável bidirecional

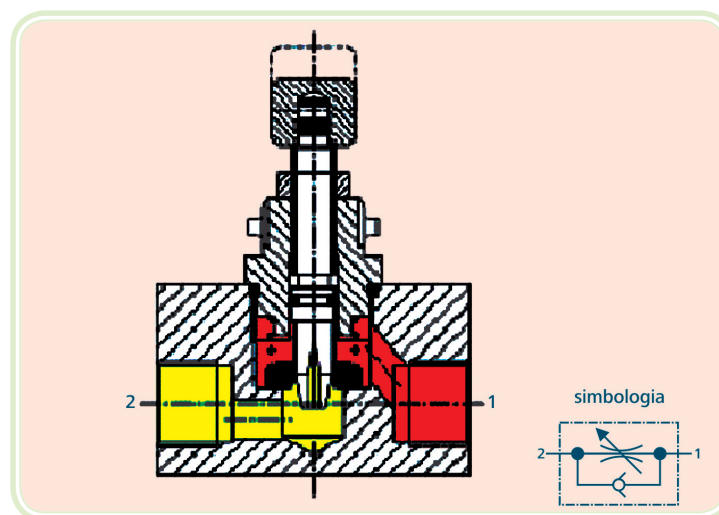


**Figura 4.20: Válvula de controle de fluxo variável bidirecional**

Fonte: CTISM

Observe a Figura 4.20, a quantidade de ar que entra por 1 ou 2 é controlada através do parafuso cônico, em relação à sua proximidade ou afastamento do assento. Consequentemente é permitido um maior ou menor fluxo de passagem.

#### b) Válvulas de controle de fluxo variável unidirecional



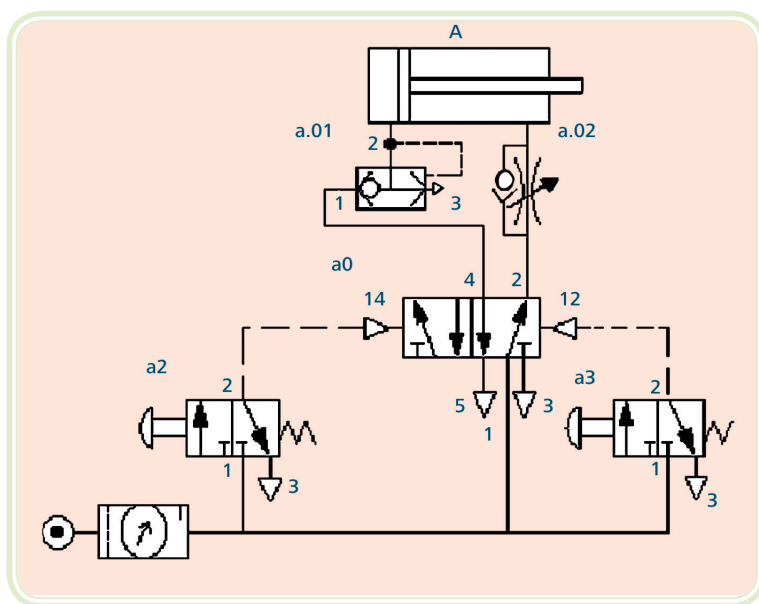
**Figura 4.21: Válvula de controle de fluxo variável unidirecional controlando o fluxo de 1 para 2**

Fonte: CTISM

Algumas normas classificam esta válvula no grupo de válvulas de bloqueio por ser híbrida, ou seja, num único corpo une uma válvula de retenção com ou sem mola e um dispositivo de controle de fluxo.

Possui duas condições distintas em relação ao fluxo de ar:

Fluxo controlado – em um sentido pré-fixado, o AC é bloqueado pela válvula de retenção, sendo obrigado a passar restringido pelo ajuste fixado no dispositivo de controle.



**Figura 4.22: Controle de Velocidade**

Fonte: CTISM

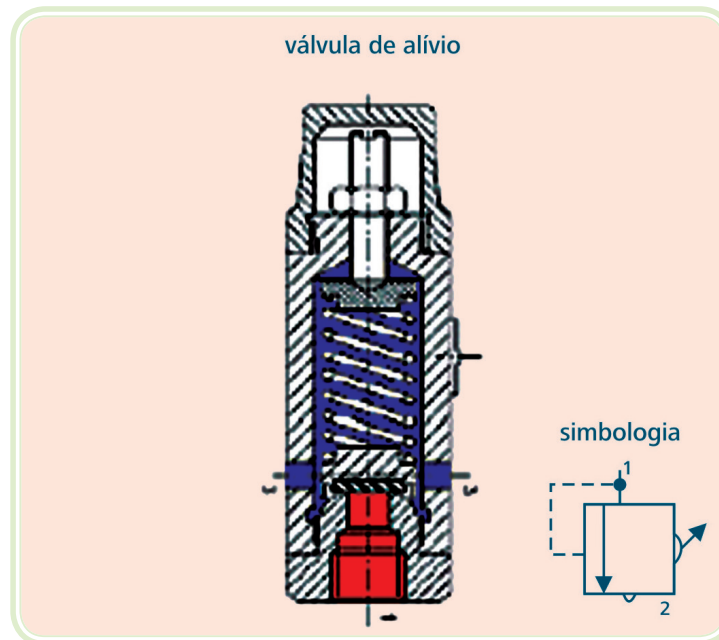
No sentido oposto, o AC possui livre vazão pela válvula de retenção, embora uma pequena quantidade passe através do dispositivo, favorecendo o fluxo.

Estando o dispositivo totalmente cerrado, passa a funcionar como válvula de retenção.

Para ajustes finos, o elemento de controle é dotado de uma rosca micrométrica.

#### **4.2.1.4 Válvulas de controle de pressão**

Tem por função influenciar a intensidade de pressão de um sistema. Também chamada de válvula de alívio ou de segurança.



**Figura 4.23: Válvula de pressão (alívio)**

Fonte: CTISM

Limita a pressão de um reservatório, compressor ou linha de pressão, evitando a sua elevação além de um ponto pré-determinado, ajustada através de mola calibrada que é comprimida por parafuso, transmitindo sua força sobre um êmbolo e mantendo-o contra a sede.

Ocorrendo um aumento de pressão no sistema, o êmbolo é deslocado de sua sede, sendo a mola comprimida e permitindo contato da parte pressurizada com a atmosfera, através de uma serie de orifícios por onde é expulsa um volume de ar, mantendo a pressão estável.

Com a redução da pressão, alcançando o valor da regulação, a mola recoloca novamente o êmbolo na posição inicial, vedando os orifícios de escape.

## Resumo

Neste capítulo estudamos os atuadores pneumáticos que são conversores de energia e se dividem em:

**Lineares** – convertem a energia pneumática em movimento linear;

**Rotativos** – convertem a energia pneumática em momento torçor.

Os atuadores pneumáticos possuem diferentes tipos de construção dependendo do movimento do atuador (simples efeito, dupla ação, haste dupla, ...).

Para aumentarmos a velocidade do cilindro pneumático podemos utilizar válvulas de escape rápido, ou válvulas de maior capacidade e ainda tubos curtos e de maior diâmetro entre a válvula e o cilindro.

Além de conhecermos os principais cilindros e válvulas utilizadas nos sistemas pneumáticos, que serão aplicadas nos circuitos de máquinas e dispositivos.

## Atividades de aprendizagem



1. Indicar a única resposta correta.

Cilindros de simples efeito ou ação são caracterizados por:

- a) Por utilizar ar comprimido para produzir trabalho em um único movimento, o retorno é feito por mola ou ação de uma força externa.
- b) Por utilizar ar comprimido para produzir trabalho no movimento de avanço.
- c) Por utilizar ar comprimido para produzir trabalho no movimento de retorno.
- d) Por utilizar ar comprimido para produzir trabalho em um único movimento, o retorno é feito somente por ação de uma força externa.

2. Indicar a única resposta errada.

Cilindros de duplo efeito ou ação são caracterizados por:

- a) Utiliza o ar comprimido para produzir trabalho em ambos os sentidos de movimento.
- b) Exige a presença de uma força externa para auxiliar o retorno do cilindro.
- c) É o tipo de cilindro mais utilizado na indústria.
- d) A força de avanço e retorno são diferentes.

3. Citar 4 construções derivadas dos cilindros dupla ação.

1. \_\_\_\_\_ 3. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_ 4. \_\_\_\_\_

4. A afirmativa abaixo é verdadeira ou falsa?

As possibilidades de amortecimento nos cilindros de dupla ação podem ser: dianteiro fixo, traseiro fixo, duplo amortecimento fixo, e as mesmas opções para amortecimento variável ou regulável.

a) Falsa

b) Verdadeira

5. Indicar a única resposta errada.

a) A força produzida pelo cilindro duplex contínuo é a somatória das forças individuais de cada êmbolo.

b) Com um cilindro duplex contínuo, permite dispor de maior força, em área de montagem restrita.

c) Os cilindros duplex contínuo possuem diâmetro excessivo.

d) Cilindro duplex contínuo permite montagem em área restrita, com comprimento maior exigido.

6. Indicar a única resposta errada.

Com cilindros duplex geminados podemos obter:

a) Até mais de 5 posições.

b) 3 posições – obtida com o uso de dois cilindros com o mesmo curso.

c) 4 posições – obtido com o uso de cilindros de cursos diferentes.

d) Todas as respostas estão erradas.

**7.** Complete as lacunas.

Cilindro telescópico ou de \_\_\_\_\_, são empregados quando o \_\_\_\_\_ para sua instalação é limitado e necessita-se de um grande \_\_\_\_\_. Basicamente, constitui-se de um conjunto de vários \_\_\_\_\_ um dentro do outro. O cilindro de \_\_\_\_\_ limita a força do conjunto. Possui grande aplicação na hidráulica.

- a)** múltiplos estágios, espaço, curso de trabalho, cilindros embutidos, maior diâmetro
- b)** múltiplos estágios, espaço, esforço (força estática), cilindros embutidos, maior diâmetro
- c)** múltiplos estágios, espaço, curso de trabalho, cilindros embutidos, menor diâmetro
- d)** simples estágio, espaço, curso de trabalho, cilindros embutidos, maior diâmetro

**8.** Para que possamos dimensionar um cilindro pneumático precisamos partir de algumas informações básicas:

I - A força que o cilindro deverá desenvolver

II - A pressão de trabalho do cilindro

III - O curso de trabalho

IV - O número de ciclos que o cilindro irá realizar por minuto

A resposta correta é:

- a)** Somente I, II e III.
- b)** Somente I, III e IV.
- c)** Somente II, III e IV.
- d)** Todas as respostas estão corretas.

9. Para caracterizar uma válvula direcional, devemos conhecer fundamentalmente:

I - Número de posições

II - Número de vias

III - Tipo de avanço

IV - Velocidade

V - Tipo de acionamento

A resposta correta é:

- a) Somente I, II, III e IV.
- b) Somente I, III, IV e V.
- c) Somente a I, II, III e V.
- d) Somente IV.

10. Complete as lacunas.

Número de posições: É a quantidade de \_\_\_\_\_ que uma \_\_\_\_\_ pode \_\_\_\_\_ ou permanecer sob a ação do seu \_\_\_\_\_.

- a) manobras distintas, válvula direcional, executar, acionamento
- b) tipos, válvula direcional, executar, acionamento
- c) manobras distintas, válvula direcional, terminar, comando
- d) tipos, válvula direcional, terminar, comando

11. A frase que apresenta uma incorreção é:

- a) Pressão ou alimentação – (P) (1), é o ponto de alimentação da válvula, onde está ligada com a rede de AC ou unidade de conservação.



- b)** Utilização- (A, B, C) (2, 4, 6), são as conexões que interligam a válvula ao “consumidor”.
- c)** Escape (A, B, C) (EA, EB, EC) (3, 5, 7), são as conexões que permitem escoar o volume de AC que deve ser eliminado.
- d)** Pilotagem (X, Y, Z) (10, 12, 14), orifício que ao ser influenciado pelo AC modifica a posição de uma válvula.

**12.** Os tipos de acionamentos ou comandos das válvulas direcionais podem ser:

- 1. \_\_\_\_\_
- 2. \_\_\_\_\_
- 3. \_\_\_\_\_
- 4. \_\_\_\_\_

**13.** Com a crescente introdução de sistemas automáticos, as válvulas acionadas por uma parte móvel da máquina adquirem grande importância. O comando da válvula é conseguido através de um contato mecânico sobre o acionamento, para permitir o desenrolar de sequências operacionais. Comumente recebem o nome de válvulas de fim de curso.

O tipo de acionamento que não é utilizado neste tipo de válvulas é:

- a)** Rolete.
- b)** Pilotagem.
- c)** Pino.
- d)** Gatilho.

**14.** Indicar a única resposta correta.

A válvula de gatilho permite:

- a)** O acionamento da válvula em um único sentido de movimento, emitindo um sinal pneumático breve.
- b)** O acionamento da válvula em um único sentido de movimento, emitindo um sinal pneumático muito longo.
- c)** O acionamento da válvula em dois sentidos.
- d)** O acionamento da válvula em dois sentidos de movimento, emitindo um sinal pneumático breve.

**15.** Nos acionamentos pneumáticos por diafragma o princípio de operação é semelhante ao piloto positivo, porém:

- a)** A grande vantagem está no tipo de comando; devido a grande área da membrana, pode trabalhar com baixas pressões.
- b)** A grande vantagem está na pressão de comando; devido a grande área da membrana, pode trabalhar com altas pressões.
- c)** A grande vantagem está no tipo de comando; devido a grande área da membrana, pode trabalhar com altas pressões.
- d)** A grande vantagem está na pressão de comando; devido a grande área da membrana, pode trabalhar com baixas pressões.

**16.** A válvula que permite acelerar o movimento de um cilindro pneumático é:

- a)** Válvula de escape rápido.
- b)** Válvula reguladora de vazão.
- c)** Válvula de retenção.
- d)** Válvula reguladora de vazão unidirecional.

**17.** A válvula que permite regular apenas um movimento de um cilindro pneumático é:

- a)** Válvula de escape rápido.
- b)** Válvula reguladora de vazão.
- c)** Válvula de retenção.
- d)** Válvula reguladora de vazão unidirecional.

# Aula 5 – Circuitos pneumáticos

## Objetivos

Demonstrar a estrutura de operação e comando das máquinas.

Permitir ao aluno identificar as possibilidades de operar sistemas com comando elétrico ou puramente pneumáticos.

Preparar para aplicar as técnicas apresentadas.

## 5.1 Estrutura das máquinas

Uma máquina é composta basicamente por duas partes bem definidas:

### 5.1.1 A parte operativa

Também chamada de parte de potência, formada pelo conjunto de elementos que realizam o processo de trabalho.

### 5.1.2 O comando

Também chamado de parte de comando, onde no qual são geradas as ordens que governam o conjunto de elementos da parte operativa. Esses conceitos já foram estudados em outras disciplinas do curso. Caso seja necessário, volte lá e faça uma revisão. A representação de circuitos pneumáticos pode ser realizada de diversas formas.

## 5.2 Representações dos movimentos dos cilindros

### 5.2.1 Representação com símbolos

Neste caso, os movimentos dos cilindros ou atuadores são representados com os símbolos:

(+) mais – representa o avanço da haste de um cilindro.

(-) menos – representa o recuo da haste de um cilindro.

**Quadro 5.1: Representação com símbolos**

| Exemplo | Fase 1                    | Fase 2                    | Fase 3                              | Fase 4                    |
|---------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| I       | A+<br>(cilindro A avança) | B+<br>(cilindro B avança) | A-<br>(cilindro A recua)            | B-<br>(cilindro B recua)  |
| II      | A+<br>(cilindro A avança) | B-<br>(cilindro B recua)  | A-<br>(cilindro A recua)            | B+<br>(cilindro B avança) |
| III     | A-<br>(cilindro A recua)  | B+<br>(cilindro B avança) | (A-B-)*<br>(cilindros A e B recuam) |                           |

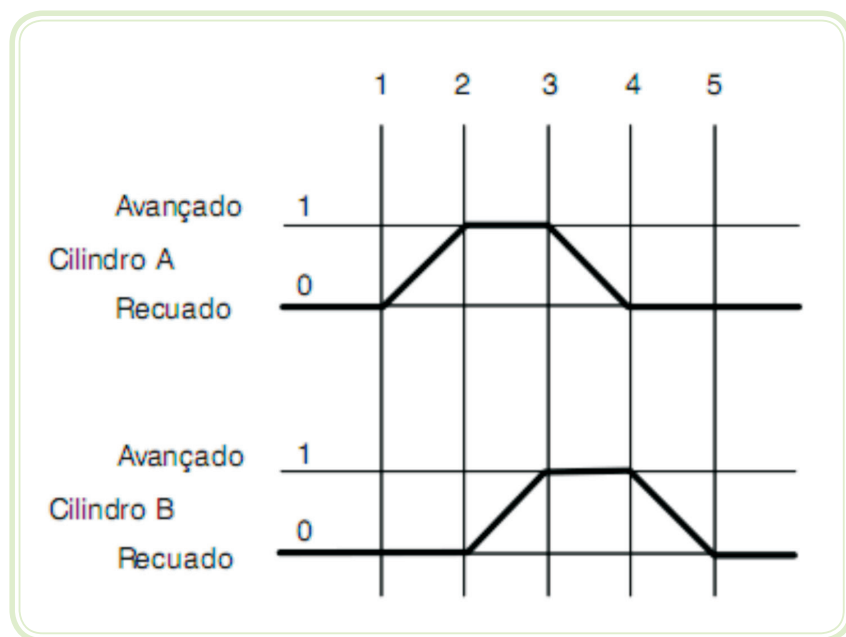
\* Ações simultâneas

## 5.2.2 Representação em forma de diagrama

### 5.2.2.1 Diagrama espaço-fase (trajeto-passo)

Neste diagrama são representadas todas as sequências das ações dos cilindros e dos sinais de comando. As representações são feitas através de eixos coordenados utilizando-se valores binários (0 - 1) para eixo vertical.

- Adota-se o valor 0 para indicar a posição de repouso do elemento – motor parado, cilindro com haste recuada, ausência de sinal.
- Adota-se o valor 1 para identificar o estado do elemento atuado – motor funcionando, cilindro com haste avançada, sinal atuado.



**Figura 5.1: Exemplos de diagrama da sequência A+ B+ A- B-**  
Fonte: CTISM

O outro eixo (horizontal) indica as fases ou passos em que se subdivide o ciclo de trabalho. Esses passos ou fases estão caracterizados pela modificação ou troca de estado de um elemento. Essas trocas são indicadas com linhas verticais auxiliares sobre o diagrama (linhas de fases).

### **5.2.2.2 Regras básicas da representação de diagramas**

Os atuadores são representados por linhas. As linhas horizontais representam o estado de repouso dos elementos, e as linhas inclinadas representam os movimentos dos mesmos. As linhas com diferentes inclinações indicam diferentes velocidades (avanço rápido ou lento e retorno rápido ou lento).

As partidas e paradas de motores são representadas com linhas verticais, desde o estado 0 a 1.

Quando existem vários elementos no sistema pneumático, os mesmos são representados individualmente, um abaixo do outro.

## **5.3 Circuitos pneumáticos**


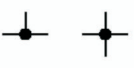
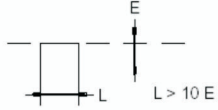
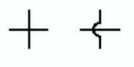
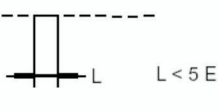

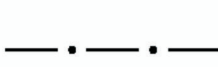


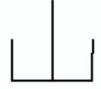

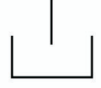

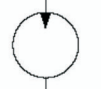

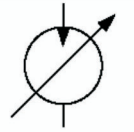

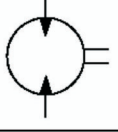

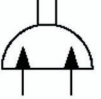
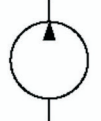
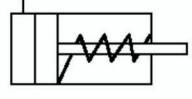
Um circuito pneumático é representado em forma gráfica, demonstrando a relação entre os componentes do comando, o que evidencia a operação do mesmo.

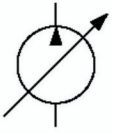
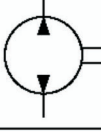

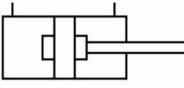
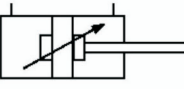
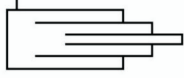

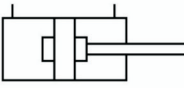
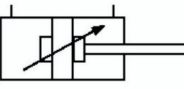
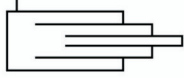
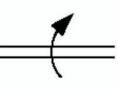
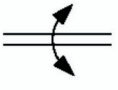
O circuito é considerado um elemento de grande valor de manutenção para o homem, pois é através desse que se inicia o processo para a detecção de falhas no sistema. É importante que o circuito pneumático seja projetado de forma clara, de modo que sua interpretação seja fácil e que possa ser entendido por todos. Por isso, deve-se representar o circuito com símbolos normalizados, respeitando certas regras quanto à disposição dos elementos.



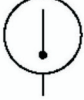
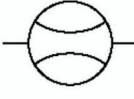


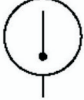
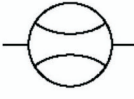




### **5.3.1 Simbologia dos elementos**

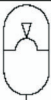

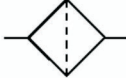

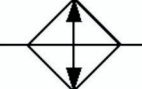
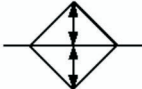
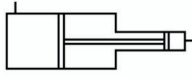


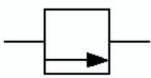
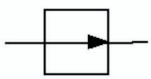

Os símbolos gráficos representados nos circuitos pneumáticos são normalizados por diversas normas. Exemplo: ISO 1219.




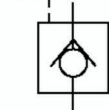
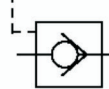




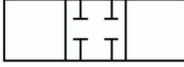

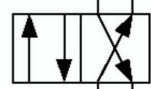
Quadro 5.2: Simbologia dos elementos pela norma DIN ISO1219-1, 03/96

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|    | Linha de pressão  |    | União de linhas                                |
|    | Linha piloto<br>$L > 10 E$  |    | Linhas cruzadas não conectadas                 |
|    | Linha de dreno<br>$L < 5 E$   |    | Direção de fluxo                               |
|    | Linha de contorno.<br>Delimita um conjunto de funções em um único corpo |    | Reservatório aberto à atmosfera                |
|    | Conector  |    | Linha terminando abaixo do nível de fluido     |
|  | Linha flexível  |  | Linha terminando acima do nível de fluido      |
|  | Linha sob carga   |  | Motor rotativo, deslocamento fixo              |
|  | Plugue ou conexão bloqueada   |  | Motor rotativo, deslocamento variável          |
|  | Restrição fixa  |  | Motor reversível, dois sentidos de fluxo       |
|  | Restrição variável  |  | Motor oscilante                                |
|  | Bomba simples, deslocamento fixo  |  | Cilindro de simples ação com retração por mola |

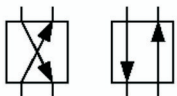
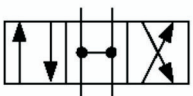

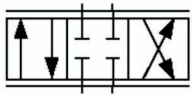

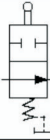
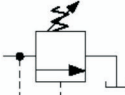

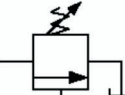
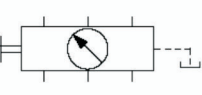
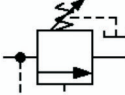
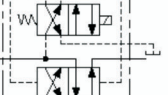
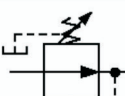
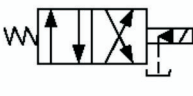
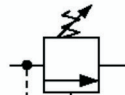

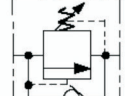
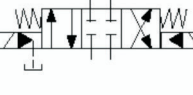
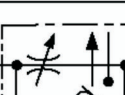

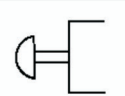
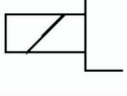

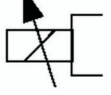
|   |   |
|---|---|
|    | Bomba simples, deslocamento variável            |
|    | Bomba reversível com dois sentidos de fluxo     |
|    | Cilindro com haste dupla                        |
|    | Cilindro com dois amortecedores fixos           |
|    | Cilindro com dois amortecedores reguláveis      |
|   | Cilindro telescópico                            |
|  | Cilindro com haste dupla                        |
|  | Cilindro com dois amortecedores fixos           |
|  | Cilindro com dois amortecedores reguláveis      |
|  | Cilindro telescópico                            |
|  | Eixo com rotação em único sentido               |
|  | Eixo com rotação nos dois sentidos (reversível) |

|   |  |
|---|--|
|    | Cilindro de ação simples com avanço por mola |
|    | Cilindro de dupla ação                       |
|    | Termômetro                                   |
|    | Rotâmetro (medidor de fluxo)                 |
|    | Motor elétrico                               |
|   | Acumulador por peso                          |
|  | Termômetro                                   |
|  | Rotâmetro (medidor de fluxo)                 |
|  | Motor elétrico                               |
|  | Acumulador por peso                          |
|  | Acumulador por mola                          |
|  | Acumulador por gás (genérico)                |

|   |   |
|---|---|
|    | Acumulador por gás com membrana   |
|    | Acumulador por gás com pistão   |
|    | Filtro  |
|    | Aquecedor na linha  |
|    | Regulador de temperatura sem representação das linhas de fluxo do meio refrigerante       |
|   | Regulador de temperatura (as setas indicam que o calor pode ser introduzido ou dissipado) |
|  | Intensificador de pressão   |
|  | Manômetro   |
|  | Componente básico de válvula  |
|  | Válvula de passagem única, normalmente fechada  |
|  | Válvula de passagem única, normalmente aberta   |
|  | Dois conexões bloqueadas  |

|   |  |
|---|--|
|    | Pressostato                                    |
|    | Válvula de retenção sem mola                   |
|    | Válvula de retenção com mola                   |
|    | Válvula de retenção pilotada para abrir        |
|    | Válvula de retenção pilotada para fechar       |
|   | Válvula de retenção dupla ou geminada          |
|  | Válvula agulha                                 |
|  | Acumulador por gás com bexiga                  |
|  | Quatro conexões bloqueadas                     |
|  | Passagem de fluxo bloqueada na posição central |
|  | Válvula direcional duas posições, três vias    |
|  | Válvula direcional duas posições, quatro vias  |



|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|    | Duas direções de fluxo   |    | Válvula direcional, três posições, quatro vias (centro aberto)  |
|    | Duas direções de fluxo interligados  |    | Válvula de posicionamento infinito (indicado por barras horizontais de centro fechado)  |
|    | Uma direção de fluxo em tandem e dois bloqueios  |    | Válvula desaceleradora normalmente aberta   |
|    | Válvula de segurança   |    | Válvula seletora de manômetro simples   |
|    | Válvula de descarga com dreno interno controlada remotamente                                 |    | Válvula seletora de manômetro com manômetro incorporado   |
|   | Válvula de sequência atuada diretamente e drenada externamente                               |   | Válvula de controle direcional 4/2 operada por pressão através de uma válvula piloto, comandada por solenóide, com retorno de mola    |
|  | Válvula redutora de pressão  |  | Válvula de controle direcional 4/2 (Simplificado)   |
|  | Válvula de contrabalanço   |  | Válvula de controle direcional 4/3 operada por pressão através de uma válvula piloto, comandada por solenóide com centragem por molas |
|  | Válvula de contrabalanço com retenção integral   |  | Válvula de controle direcional 4/3 (Simplificada)   |
|  | Válvula controladora de fluxo com compensação de pressão e temperatura com retenção integral |  | Por ação muscular (símbolo básico, sem indicação do modo de operação)   |
|  | Botão  |  | Solenóide com uma bobina  |
|  | Alavanca   |  | Solenóide com uma bobina operando proporcionalmente   |

|  |   |  |                                |
|--|---|--|--------------------------------|
|  | Pedal   |  | Piloto direto                  |
|  | Apalpador ou came   |  | Piloto indireto                |
|  | Mola  |  | Solenóide e piloto             |
|  | Rolete  |  | Solenóide ou piloto            |
|  | Rolete articulado ou gatilho (operando em um único sentido) |  | Solenóide e piloto ou mecânico |

### 5.3.2 Disposição dos elementos em um circuito pneumático

A disposição dos elementos em um circuito pneumático é realizada respeitando a sequência de comando (fluxo de sinais), no sentido vertical descendente, conforme o Quadro 5.3 abaixo.

**Quadro 5.3: Sequência de comando (fluxo de sinais)**

| Ordem | Blocos                  | Indicações   |
|-------|-------------------------|--|
| 1     | Acionamento de potência | Cilindros, atuadores rotantes, com seus elementos de regulação |
| 2     | Bloco de saída          | Válvulas direcionais   |
| 3     | Bloco de tratamento     | Válvulas auxiliares, seletoras temporizadores                  |
| 4     | Bloco de entrada        | Pulsadores, fim de curso, sensores                             |
| 5     | Bloco de energia        | Filtros, reguladores, lubrificadores, válvulas deslizes        |

A disposição indicada é respeitada na medida do possível, exceto em casos particulares em que, provavelmente, uma outra disposição resulta, de forma favorável, atendendo à realização, interpretação e leitura do circuito.

A posição de atuação dos finais de curso é indicada por um pequeno traço vertical ou um pequeno triângulo, na posição em que será atuado. O ele-

mento de comutação (válvula de fim de curso) é representado, conforme a disposição do bloco de entrada e na posição mais adequada ao circuito, com o fim de simplificar o traçado das linhas de conexão. Os elementos são representados na posição de repouso e prontos para dar início ao trabalho (partida). As linhas de condução de ar são desenhadas nas formas retas, horizontais e verticais. As tubulações de trabalho (pressão) são representadas com linhas contínuas e as de pilotagem com linhas tracejadas.

### 5.3.3 Denominação dos elementos no circuito

Existem duas formas para identificar os componentes de um circuito pneumático: literal e numérica.

Baseando-se nas combinações dessas duas formas, surgiu o método alfanumérico, o qual adotaremos, conforme a tabela abaixo.

| Quadro 5.4: Identificação alfanumérica dos elementos do circuito |   |
|--|---|
| A, B, C, D   | Letras maiúsculas para cilindros pneumáticos.   |
| A1, B1, C1   | Letras maiúsculas e número para válvulas direcionais dos cilindros pneumáticos. A letra corresponde ao cilindro.  |
| A2, A4, A6<br>B2, B4, B6<br>C2, C4, C6                           | Letra e número PAR para fim de curso, que realiza o avanço do cilindro.<br>A letra corresponde ao cilindro.   |
| A3, A5, A7<br>B3, B5, B7<br>C3, C5, C7                           | Letra e número ÍMPAR para fim de curso, que realiza o recuo do cilindro.<br>A letra corresponde ao cilindro.  |
| A02, B02, C02  | Letras maiúsculas e número identificam reguladores de fluxo.<br>A letra corresponde ao cilindro. O nº par identifica a regulagem da velocidade de avanço da haste.  |
| A03, B03, C03  | Letras maiúsculas e número identificam reguladores de fluxo.<br>A letra corresponde ao cilindro.<br>O nº ímpar identifica a regulagem da velocidade de recuo da haste, exceto o nº 1.                     |
| Z1, Z2, Z3   | Letras maiúsculas e número identificam FRL (Filtro-Regulador-Lubrificador), memórias auxiliares, temporizadores, válvulas deslizantes e todas as funções que não estejam ligadas ao cilindro diretamente. |

## 5.4 Exemplos de circuitos pneumáticos

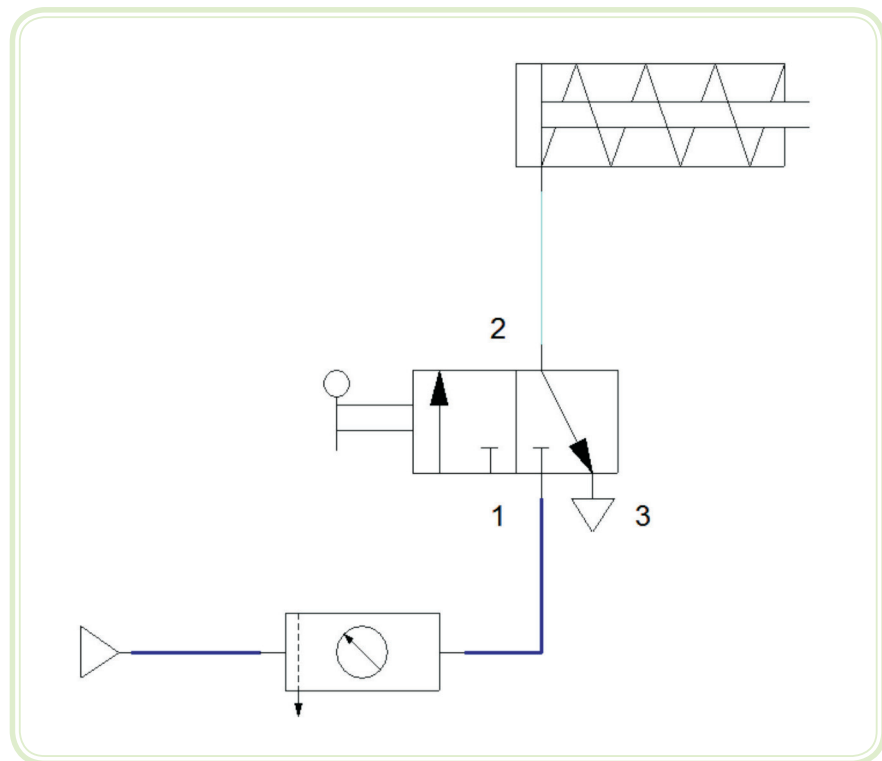
### 5.4.1 Circuito com cilindro simples ação

A Figura 5.2 mostra um circuito pneumático de acionamento de um cilindro de simples ação com retorno por mola. Neste circuito é utilizada uma válvula 3/2 (3 vias e 2 posições) com acionamento por alavanca.

Ao ser acionada, a válvula permite a passagem do ar, conectando a entrada "1" com a saída "2", fazendo com que o cilindro avance. Ao ser desacio-

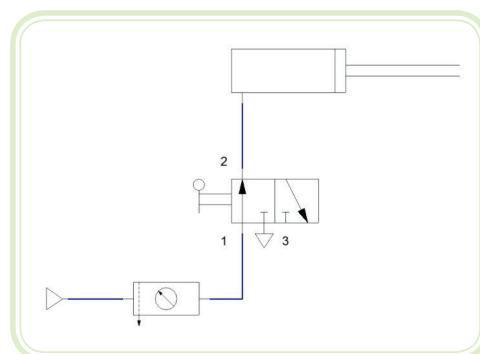
nada, a válvula impede a passagem do ar, bloqueando a entrada "1". A conexão de serviço "2" é então conectada ao escape "3", permitindo a saída do ar para a atmosfera e, com isso, o retorno do cilindro sob a ação de sua mola interna.

O circuito é chamado de ação direta, pois o comando atua diretamente sobre a válvula direcional do cilindro.



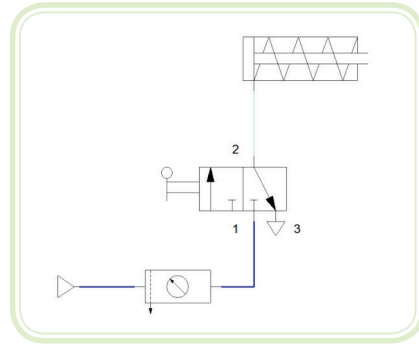
**Figura 5.2: Circuito com cilindro simples ação com retorno por mola e acionamento direto por alavanca com válvula 3 vias e 2 posições**

Fonte: CTISM



**Figura 5.3: Avanço**

Fonte: CTISM



**Figura 5.4: Retorno**

Fonte: CTISM

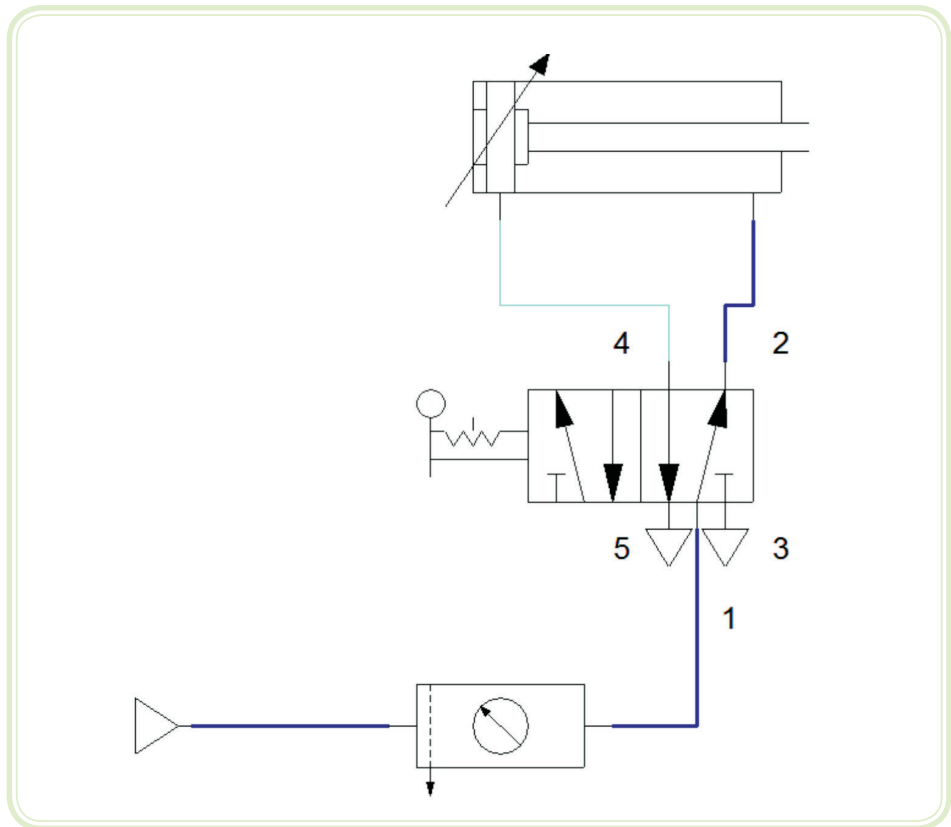
### 5.4.2 Circuito com cilindro dupla ação

A Figura 5.5 mostra um circuito pneumático de acionamento de um cilindro de dupla ação. Neste circuito é utilizada uma válvula 5/2 (5 vias e 2 posições) com acionamento por alavanca.

Ao ser acionada, a válvula conecta a entrada de pressão "1" com a saída de serviço "4", direcionando o ar comprimido para a parte traseira do cilindro, fazendo com que este avance. Porém, para ocorrer o avanço do cilindro, o ar que se encontra na parte dianteira do mesmo precisa ser liberado para a atmosfera, o que é feito através da conexão da saída de serviço "2" com a saída de escape "3".

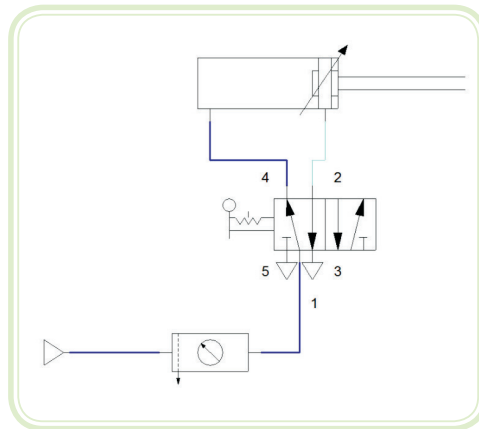
Ao ser desacionada, a válvula inverte as conexões, direcionando a pressão para a parte dianteira do cilindro, permitindo que o ar da parte traseira seja liberado para a atmosfera através da saída de escape "5".

O circuito é chamado de ação direta, pois o comando atua diretamente sobre a válvula direcional do cilindro.



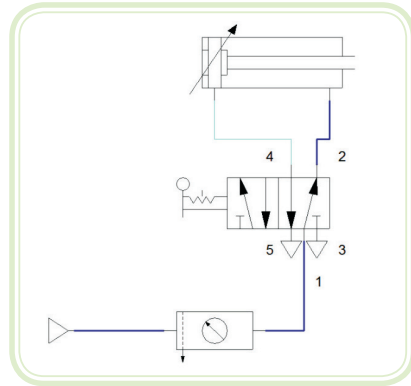
**Figura 5.5: Circuito com cilindro de dupla ação, com acionamento direto por alavanca com válvula 5 vias e 2 posições**

Fonte: CTISM



**Figura 5.6: Avanço**

Fonte: CTISM



**Figura 5.7: Retorno**

Fonte: CTISM

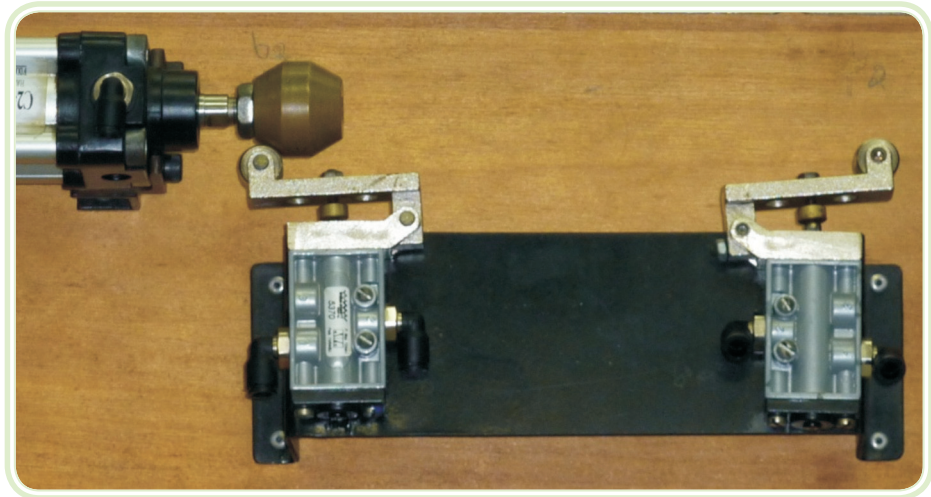
### 5.4.3 Circuito com cilindro de dupla ação com retorno automático

A Figura 5.9 mostra um circuito pneumático de acionamento de um cilindro de dupla ação, no qual a partida é feita por um botão e o retorno do cilindro é automático. Neste circuito é utilizado um sistema de acionamento indireto, ou seja, a válvula direcional 5/2 é acionada por piloto pneumático, controlado pelo ar comprimido vindo de válvulas de controle.

Ao ser acionada, a válvula “S0” envia o ar comprimido para o piloto pneumático da válvula “A1” (válvula direcional 5/2). Esse comando aciona a válvula, fazendo a mesma alterar a sua posição (o movimento de acionamento da válvula, ao invés de ser feito pela força do operador em uma alavanca, é feito pelo próprio ar comprimido).

O ar comprimido é então direcionado para a parte traseira do cilindro “A” (cilindro de dupla ação), de forma que a realize o avanço da haste, e o ar da parte dianteira é liberado para a atmosfera através da conexão de escape.

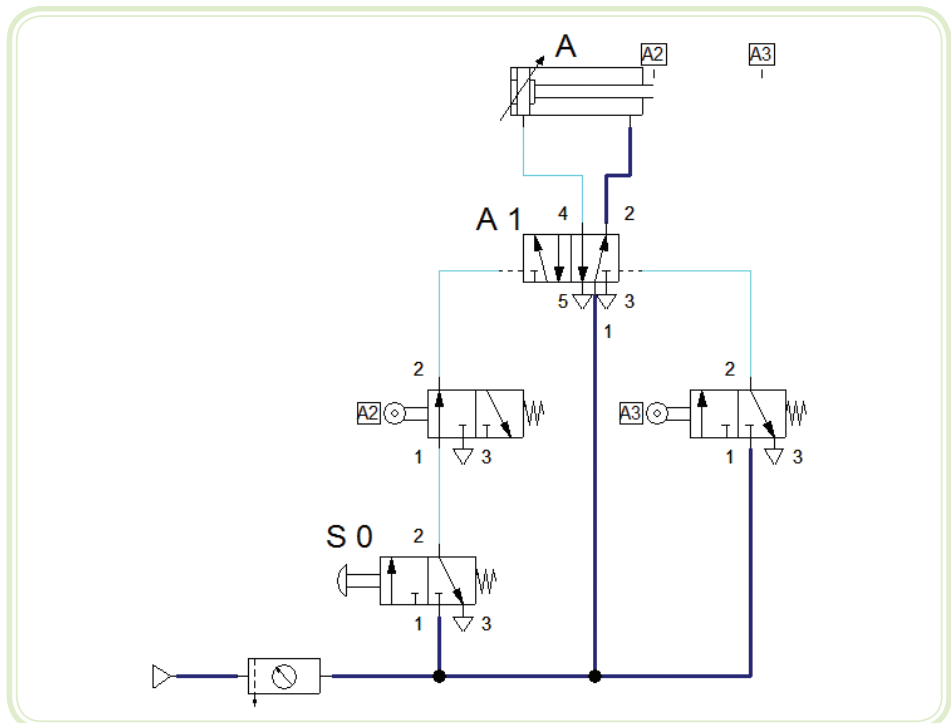
A válvula “A3” (3/2 de acionamento mecânico por rolete) está montada de forma que seja acionada pela própria haste do cilindro quando esta estiver totalmente estendida. Esse tipo de montagem chama-se válvula de fim de curso, conforme a Figura 5.8.



**Figura 5.8: Válvulas fim de curso pneumática**

Fonte: CTISM

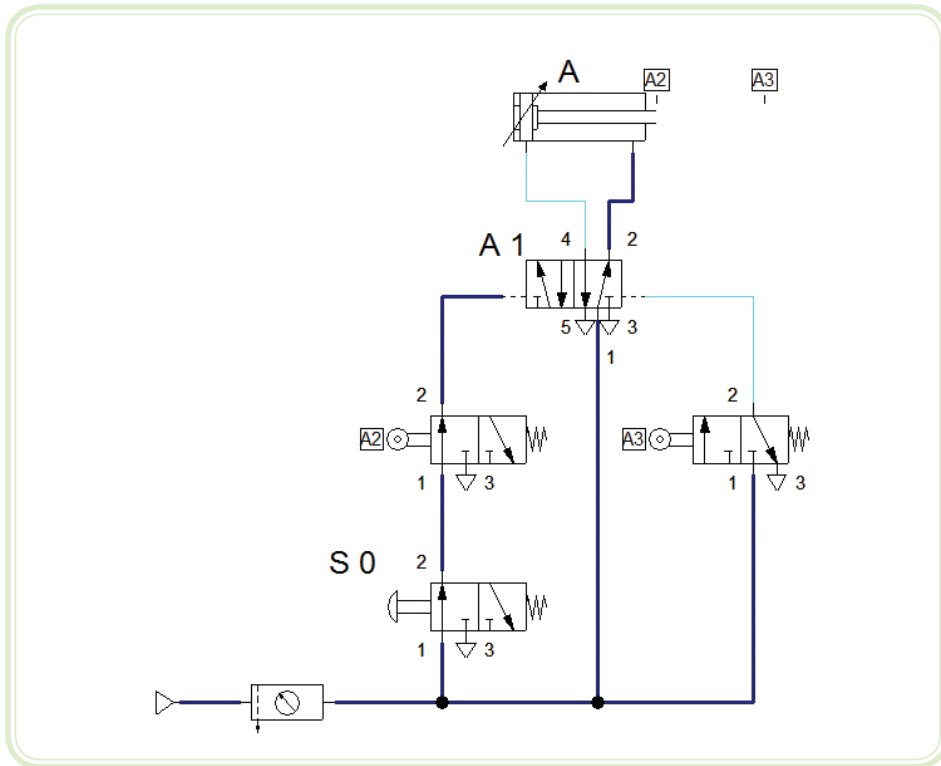
Quando o cilindro termina o avanço da haste, esta pressiona a válvula "A3", a qual envia pressão para a válvula "A1", alterando a sua posição para realizar o retorno do cilindro "A".



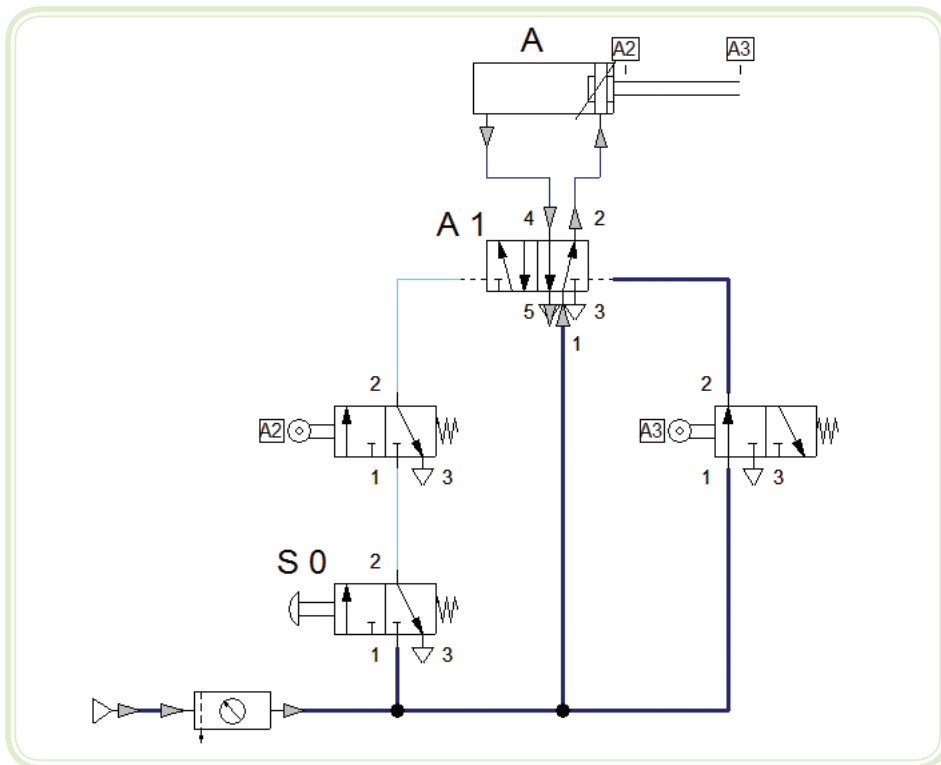
**Figura 5.9: Circuito com cilindro de dupla ação com retorno automático**

Fonte: CTISM

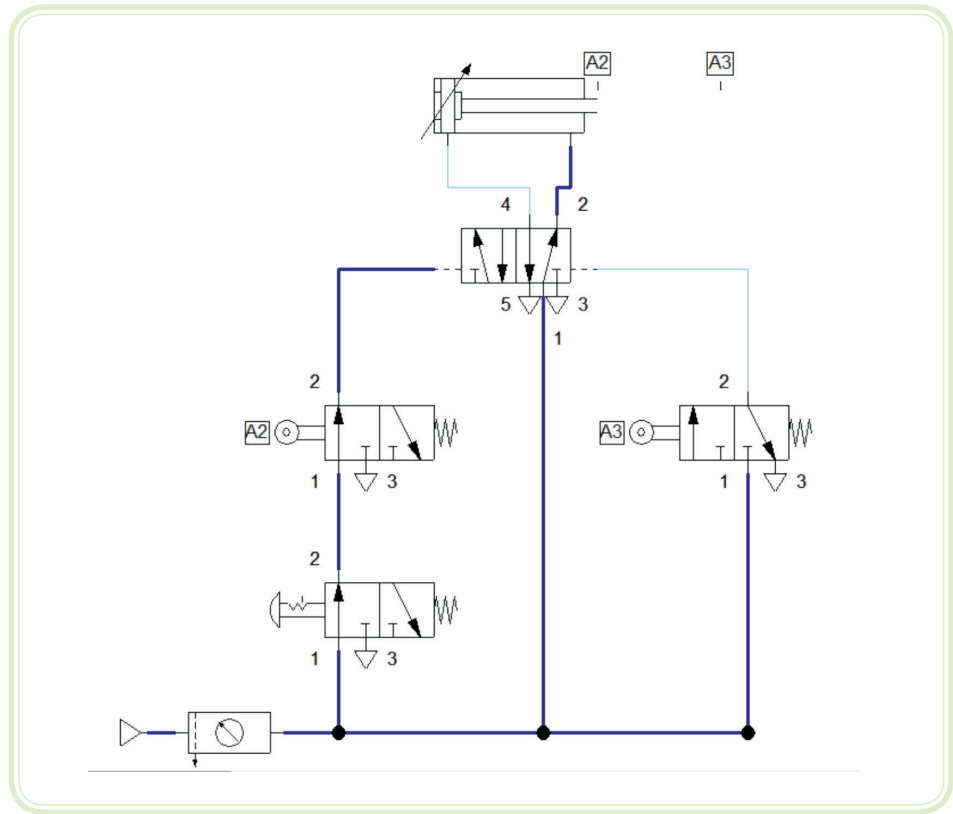




**Figura 5.10: Pré-acionamento (1-2)**  
 Fonte: CTISM



**Figura 5.11: Avanço (2-1)**  
 Fonte: CTISM



**Figura 5.12: Retorno**

Fonte: CTISM

## Resumo

Nessa aula iniciamos o contato com o projeto de sistemas pneumáticos. Estudamos as partes de uma máquina pneumática, a simbologia dos elementos do circuito e a representação dos circuitos em diagramas.



## Atividades de aprendizagem

1. Quais as principais partes que formam a estrutura de uma máquina pneumática e quais suas características principais?
2. O que é representado num diagrama espaço-fase?
3. Quais as regras básicas para traçar um diagrama?
4. Monte o seguinte diagrama espaço-fase com a seguinte sequência de uma máquina, expressa em forma abreviada de símbolos:

(A+) (B+) (C+) (A–B–C–)

I - (A+) um comando fará o cilindro A avançar até atingir um fim de curso.

II - (B+) a chave de fim de curso situada na posição de A avançado fará o cilindro B avançar até atingir um fim de curso.

III - (C+) a chave de fim de curso, situada na posição de B avançado, fará o cilindro C avançar até atingir um fim de curso.

IV - (A–B–C–) a chave de fim de curso, situada na posição de C avançado, fará os cilindros A, B e C recuarem até atingirem 3 fins de curso montados em série.



# Aula 6 – Circuitos eletropneumáticos

## Objetivos

Demonstrar a estrutura de operação e comando eletropneumáticos.

Permitir ao aluno identificar as possibilidades de operar sistemas com comando elétrico.

Preparar para aplicar as técnicas apresentadas.

## 6.1 Circuitos eletropneumáticos

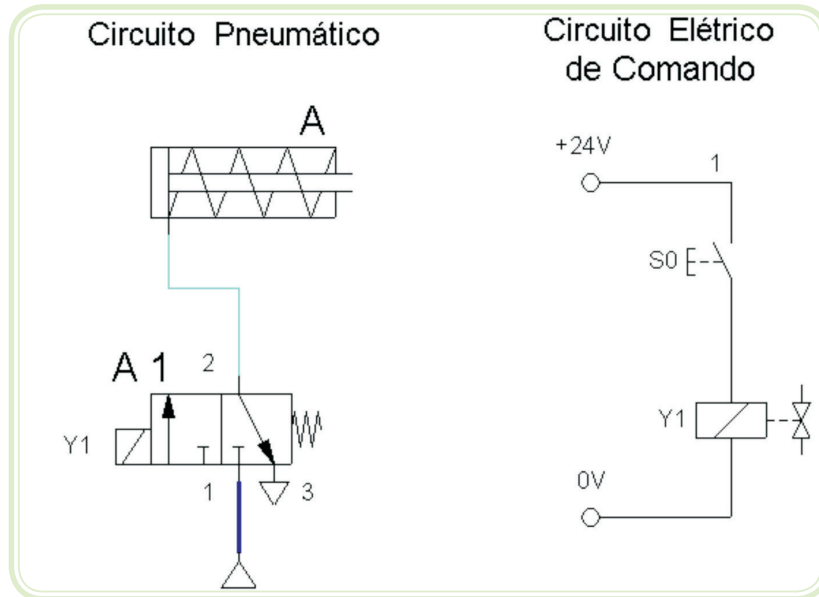
Os sistemas eletropneumáticos caracterizam-se por possuir um sistema de potência que utiliza pneumática, porém com um sistema de controle elétrico. Por este motivo, nestes casos, passaremos a ter dois circuitos para representar o sistema:

- a) **Circuito pneumático** – apresenta os atuadores, válvulas e todos os componentes pneumáticos do sistema;
- b) **Circuito elétrico de comando** – apresenta os componentes elétricos do sistema, que realizarão o controle do mesmo.

A interação entre o sistema elétrico e o sistema pneumático normalmente ocorre através do acionamento das válvulas, que passa a ser feito através de solenóides elétricos.

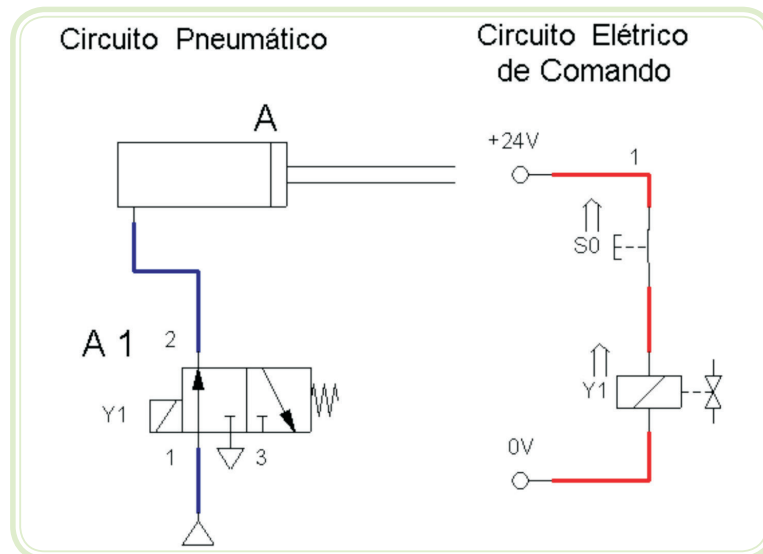
### 6.1.1 Circuito eletropneumático simples

A Figura 6.1 apresenta um circuito eletropneumático simples, o qual realiza o acionamento do cilindro “A” (cilindro pneumático de simples ação e retorno por mola) através de uma botoeira elétrica pulsante “S0”.



**Figura 6.1: Circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro simples ação**  
 Fonte: CTISM

O controle do cilindro é realizado pela válvula 3/2 "A1", que é atuada através do solenóide "Y1", tendo o seu retorno automático por mola. No circuito elétrico está representada a botoeira de controle, a qual, ao ser pressionada, energiza a solenóide "Y1". Como podemos ver na figura 6.2, ao ser energizado, este solenóide atua sobre a válvula "A1" realizando o direcionamento do ar de modo que o cilindro avance. Ao liberar a botoeira, a energia do solenóide é desligada e, portanto, a válvula retorna a sua posição inicial através de sua mola.



**Figura 6.2: Circuito eletropneumático acionado**  
 Fonte: CTISM

No sistema elétrico podemos também observar que é utilizada uma fonte de 24 VCC e, portanto, todos os componentes devem ser compatíveis com este tipo de alimentação.

### 6.1.2 Circuito eletropneumático com cilindro dupla ação

A Figura 6.3 mostra um circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro de dupla ação. Neste circuito é utilizada uma válvula 5/2 (5 vias e 2 posições), com acionamento por duplo solenóide. Nesse caso, o avanço e o recuo do cilindro são acionados por botões independentes "S0" e "S1" (pulsantes).

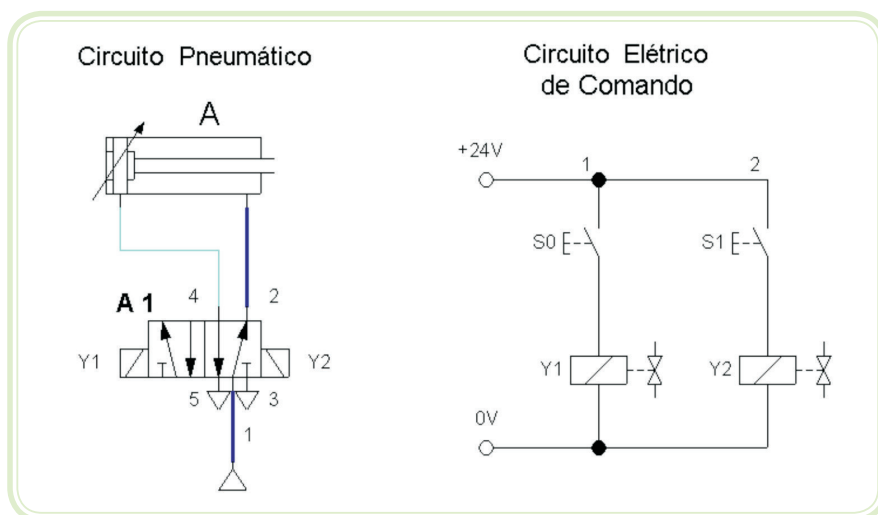


Figura 6.3: Circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro dupla ação  
Fonte: CTISM

Ao ser acionado, o botão "S0" energiza a solenóide "Y1". Esse solenóide atua sobre a válvula "A1" de modo a realizar o avanço do cilindro "A". O recuo do cilindro "A" ocorre ao ser pressionada a botoeira "S1", a qual energiza o solenóide "Y2" realizando a mudança de posição da válvula "A1".

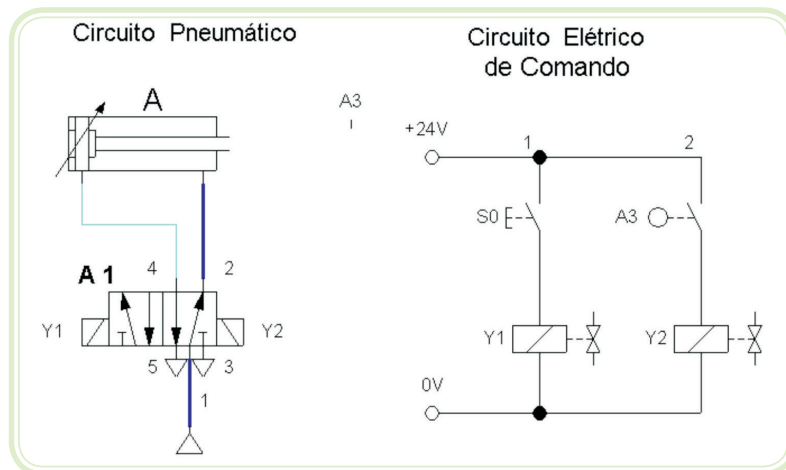
É importante notar que, após acionada a válvula direcional, "A1" mantém a sua posição, mesmo após ser desligada a energia do solenóide "Y1", pois não há nenhum mecanismo de retorno automático da mesma, como, por exemplo, uma mola.

Outro detalhe importante a ser levado em consideração é que, ao serem pressionadas as duas botoeiras simultaneamente, os comandos sobrepõem-se e, portanto, a válvula não irá atuar. Sendo assim, para que um solenóide atue é indispensável que o solenóide oposto esteja desligado.

### 6.1.3 Circuito eletropneumático com cilindro de dupla ação com retorno automático

A Figura 6.4 mostra um circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro de dupla ação "A", no qual a partida é feita por um botão "S0" e o retorno do cilindro é automático.

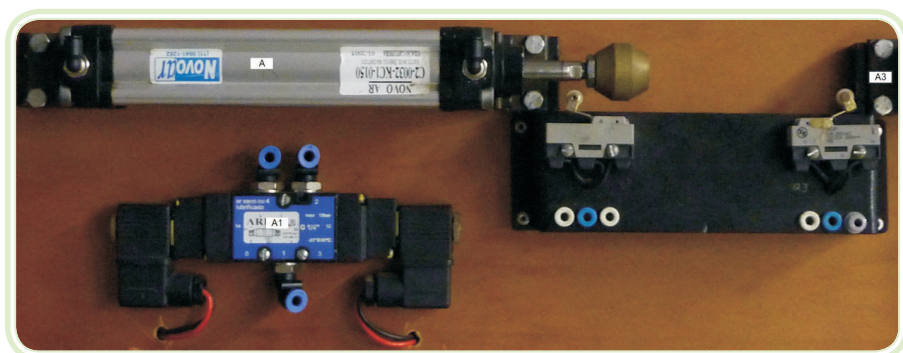
A seqüência de movimentos desse circuito pode ser representada como "A+A-", ou seja, "cilindro A avança, cilindro A recua".



**Figura 6.4: Circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro dupla ação com retorno automático**

Fonte: CTISM

Ao ser acionada, a botoeira "S0" energiza o solenóide "Y1", atuando sobre a válvula de controle direcional "A1" de modo a realizar o avanço do cilindro "A". Devemos notar que a chave "A3" é uma chave elétrica de acionamento por rolete, e que, neste caso, está montada de tal forma que será acionada pela própria haste do cilindro quando este estiver avançado. A esta montagem chamamos "CHAVE DE FIM DE CURSO", conforme a Figura 6.5:



**Figura 6.5: Cilindro dupla ação (A) com válvula direcional de 5 vias (A1) e acionamento por solenóide (A3)**

Fonte: CTISM



As chaves de fim de curso devem ter a sua posição informada no circuito pneumático, de forma que permitam o perfeito entendimento do sistema. Na Figura 6.5 podemos ver a chave de fim de curso "A3" representada no circuito pneumático na posição de "cilindro A avançado". Portanto, quando o cilindro completar o seu avanço, ele automaticamente ativará a chave "A3", e esta ativará a solenóide "Y2", provocando a mudança de posição da válvula e, portanto, o retorno imediato do cilindro.

### 6.1.4 Circuito eletropneumático com 2 cilindros e ciclo automático

Na Figura 6.6 temos representado o circuito eletropneumático de um sistema com 2 cilindros de dupla ação. Este circuito realiza o ciclo automático "A+ B+ A- B-", ou seja, o cilindro "A" avança, em seguida o cilindro "B" avança, cilindro "A" recua, cilindro "B" recua.

Este ciclo é conseguido através da utilização de um circuito de comando elétrico com chaves de fim de curso, as quais estão posicionadas de forma adequada no circuito pneumático.

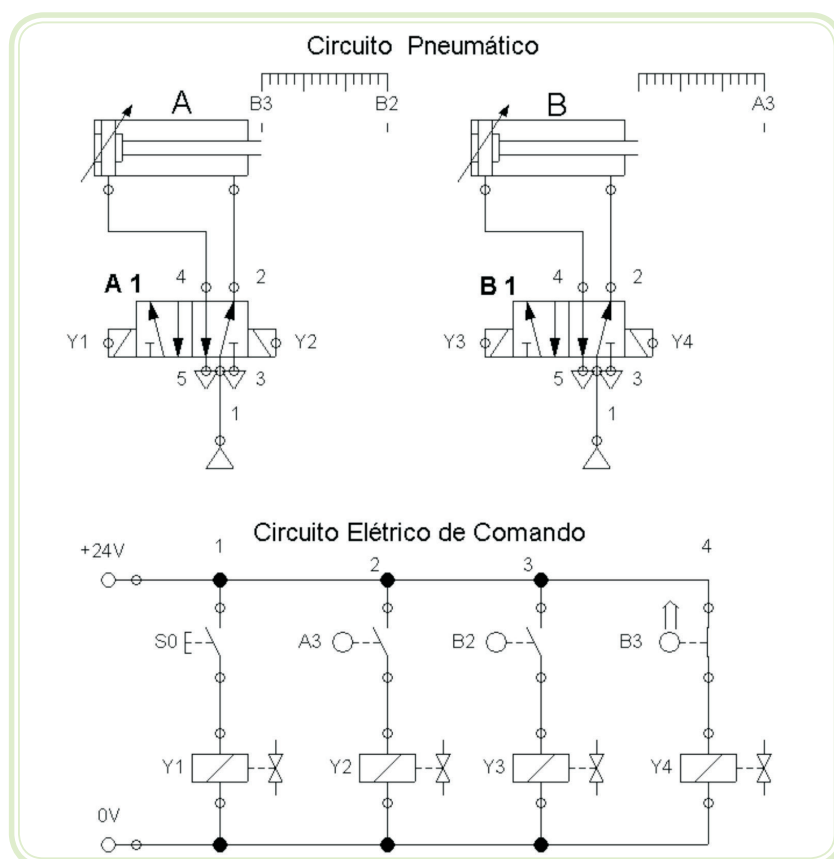


Figura 6.6: Circuito eletropneumático com dois cilindros e ciclo único automático

Fonte: CTISM

O início do ciclo é realizado manualmente através da botoeira "S0". Após iniciado o primeiro movimento os movimentos seguintes são realizados automaticamente pelo sistema. Analisando o sistema temos:

- Ao ser pressionada a botoeira "S0", a válvula "A1" altera sua posição, direcionando o Ar Comprimido para realizar o avanço do cilindro "A";
- Ao completar o avanço de sua haste, o cilindro aciona a chave de fim de curso "B2", a qual ativa o solenóide Y3, acionando o avanço do cilindro "B";
- Ao completar o avanço de sua haste, o cilindro "B" aciona a chave de fim de curso "A3", a qual ativa a solenóide "Y2", acionando o recuo do cilindro "A";
- Ao completar o recuo, o cilindro "A" aciona a chave de fim de curso "B3", acionando o solenóide "Y4", a qual ativa o recuo do cilindro "B";
- Não havendo uma chave no recuo do cilindro "B", o sistema fica parado aguardando um novo acionamento do botão "S0", o qual iniciará um novo ciclo.

Esse tipo de acionamento utilizado no circuito, no qual um botão aciona apenas um ciclo, chamamos de "acionamento de ciclo único". No caso de termos um botão que mantenha o circuito repetindo o ciclo indefinidamente, chamamos de "chave de ciclo contínuo".

Podemos perceber que, utilizando um circuito elétrico de comando e posicionando as chaves de fim de curso nas posições adequadas, conseguiremos controlar a sequência de movimentos para realizar os movimentos desejados automaticamente.

## Resumo

Nesta aula iniciamos o contato com o projeto de sistemas eletropneumáticos, pois esses são os de maior aplicação indústria

Vimos que os sistemas eletropneumáticos apresentam duas partes: a parte pneumática, que é a que vimos nas aulas anteriores, e a parte elétrica, que é a parte responsável pelo controle do sistema.

## Atividades de aprendizagem



1. O que caracteriza um sistema eletropneumático e quais seus componentes?
2. Como ocorre a interação entre sistema elétrico e pneumático?
3. O que caracteriza um sistema eletropneumático simples?
4. Qual a principal diferença entre um sistema eletropneumático simples e um que possui cilindro de dupla ação?
5. O que é um ciclo automático?



# Aula 7 – Circuitos pneumáticos e eletropneumáticos complexos

## Objetivos

Conhecer os sistemas pneumáticos e eletropneumáticos complexos.

Saber “montar” um circuito pneumático ou eletropneumático.

Conhecer o *software FluidSim* e saber como utilizá-lo para editar e/ou criar sistemas pneumáticos ou eletropneumáticos.

## 7.1 Sistema pneumático complexo

Um circuito pneumático é descrito normalmente através de seus requisitos básicos de funcionamento. Veja um exemplo:



Sequência – **A+ B– A– B+**

- Cilindro A é de dupla ação, cilindro B é de simples ação com retorno por mola;
- Controle do ciclo: chave de ciclo contínuo;
- Controle de velocidade no avanço do cilindro A;
- Condição de emergência: todos os cilindros recuados.

Esses requisitos são definidos a partir do sistema que deverá ser acionado, e deverão ser integralmente respeitados pelo sistema pneumático ou eletropneumático. Vejamos cada um dos requisitos:

### 7.1.1 Desenho inicial do sistema

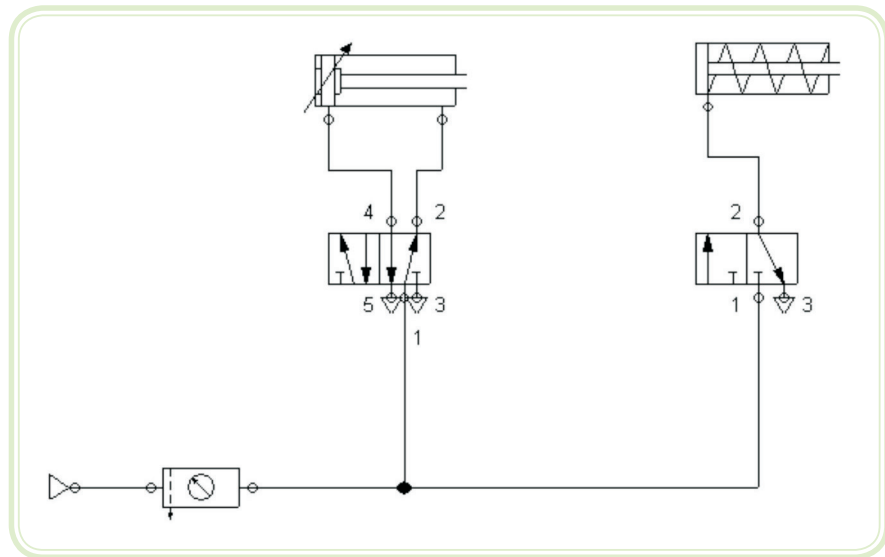
Devemos iniciar o desenho do sistema colocando os atuadores na parte superior. Nesse caso verificamos que teremos dois cilindros, identificados como A e B.

O cilindro A é um cilindro de dupla ação e, portanto, utilizaremos uma válvula direcional de 5 vias e 2 posições (ou uma 5/2) para o seu acionamento.

O cilindro B é um cilindro de simples ação, com retorno por mola. Portanto, usaremos uma válvula direcional 3/2. O tipo de acionamento destas válvulas dependerá da tecnologia que será escolhida para realizar o comando do sistema:

- a) **Sistema puramente pneumático** – as válvulas serão de acionamento por piloto pneumático;
- b) **Sistema eletropneumático** – as válvulas terão acionamento por solenóides.

Portanto, após esta primeira análise, chegamos ao circuito da Figura 7.1.



**Figura 7.1: Circuito de dois cilindros**

Fonte: CTISM

### 7.1.2 Sequência de movimentos

A sequência de movimentos é um dos principais requisitos do sistema. No caso temos:

**A + B – A – B +**

O que significa:

|    |                   |
|----|-------------------|
| A+ | Cilindro A avança |
| B– | Cilindro B recua  |
| A– | Cilindro A recua  |
| B+ | Cilindro B avança |

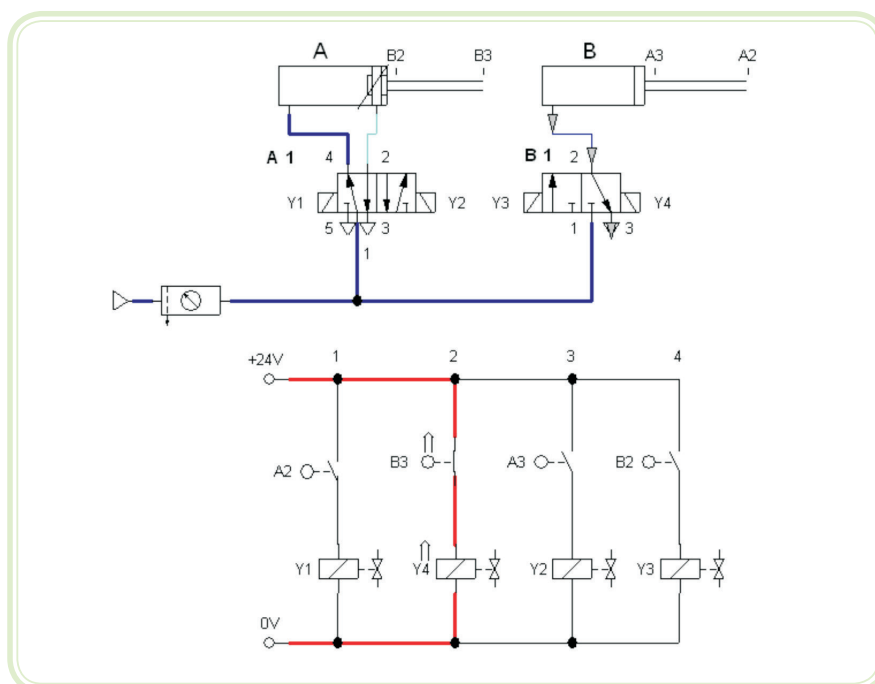
Essa sequência automática de movimentos é realizada através do posicionamento adequado das chaves (pneumáticas ou elétricas) para garantir que ao atingir o fim de curso de um movimento, o próprio cilindro ative o movimento seguinte.

O tipo de acionamento de fim de curso dependerá do tipo de tecnologia será utilizado para o comando do sistema:

- Pneumática pura – utilizamos válvulas pneumáticas;
- Eletropneumática – utilizamos chaves de fim de curso.

Após definir o tipo de tecnologia, deve-se definir a posição das válvulas fins de curso para que o circuito realize a sequência desejada. Ou seja, ao final de cada movimento deverá ser acionada a chave que dará início ao próximo. Em nosso exemplo, utilizando eletro-pneumática, teremos o circuito da Figura 7.2.

Podemos verificar no circuito que o cilindro A, após completar o seu avanço (movimento A+) atingirá a chave B3, a qual ligará a solenóide Y4. Isso causará o recuo do cilindro B (movimento B-). E assim sucessivamente, até que o ciclo se complete e reinicia automaticamente.



**Figura 7.2: Circuito eletropneumático**

Fonte: CTISM

### 7.1.3 Controle do ciclo

Para evitar que o ciclo continue indefinidamente, devemos colocar uma chave para bloqueá-lo. Esta chave chama-se “chave de ciclo contínuo”, pois ao estar acionada, o ciclo irá se repetir continuamente. Esta chave deverá ser posicionada de modo a bloquear o comando que aciona o primeiro movimento do ciclo, impedindo assim que ele se inicie. No nosso exemplo o primeiro movimento é A+; portanto devemos bloquear o comando da chave fim de curso A2, conforme vemos na Figura 7.3.

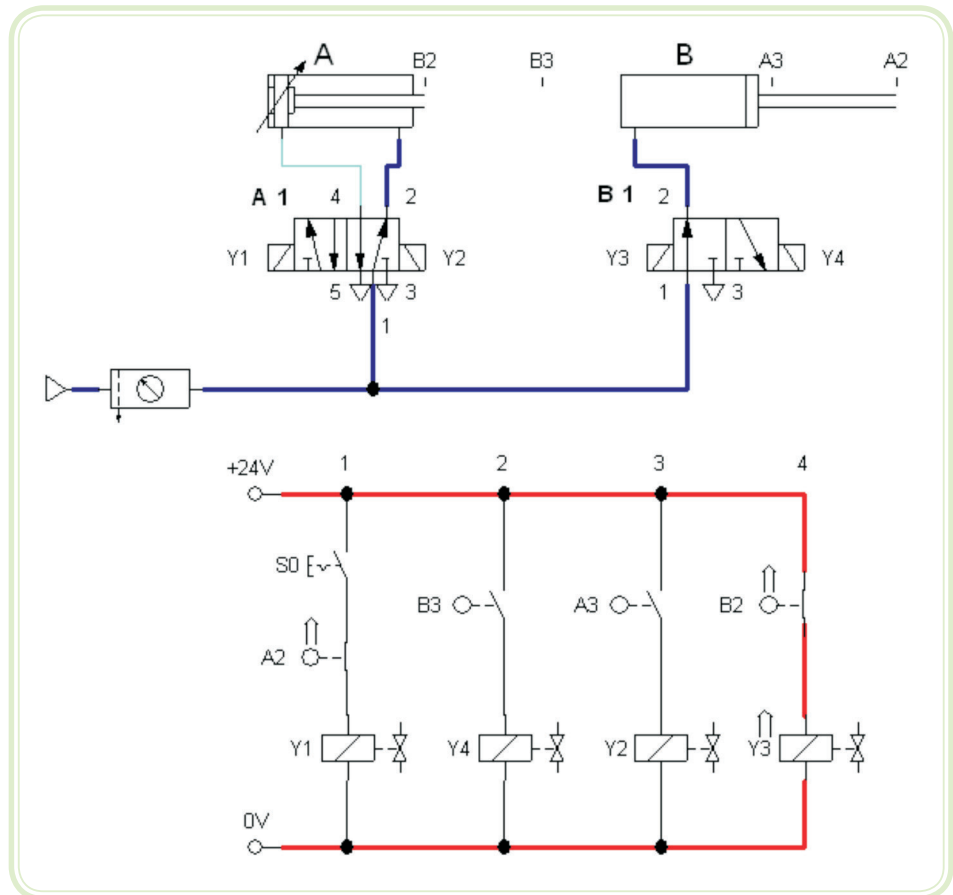


Figura 7.3: Ciclo contínuo

Fonte: CTISM

### 7.1.4 Controle de velocidade dos cilindros

A velocidade de acionamento dos atuadores pneumáticos é controlada através da vazão de ar que circula no circuito. Portanto, para controlarmos a velocidade de um cilindro, devemos utilizar válvulas controladoras de vazão, também chamadas controladoras de fluxo. Estas válvulas normalmente são unidirecionais, ou seja, controlam a vazão apenas em um sentido, deixando o ar passar livremente no sentido oposto.

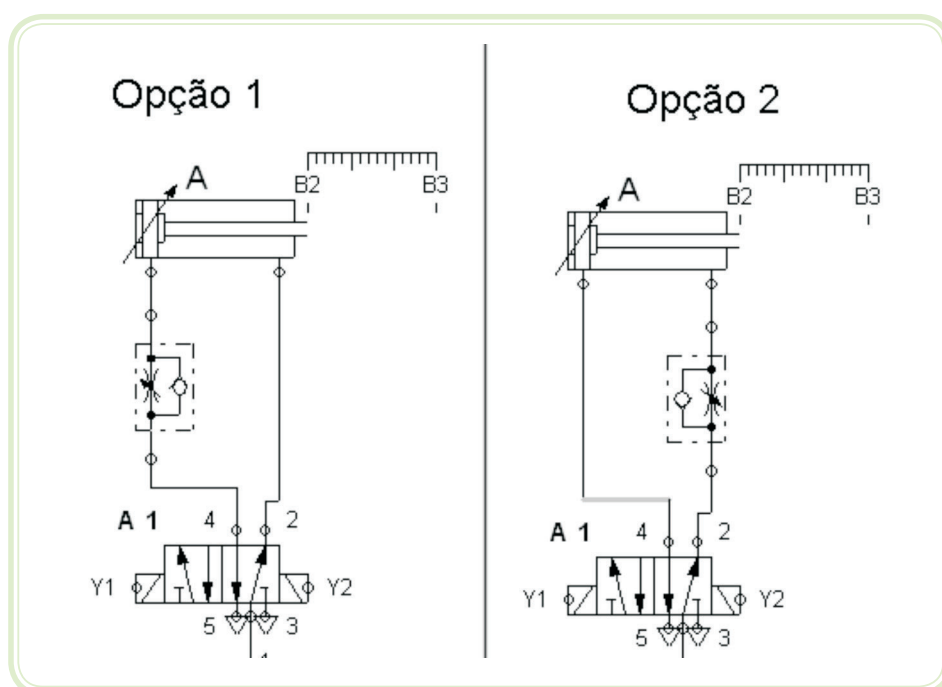


O princípio de funcionamento destas válvulas normalmente é por “estrangulamento”, ou seja, a válvula reduz a área de passagem de ar, assim como fazemos ao fechar com o dedo a saída de uma mangueira de jardim para controlar o volume de água que é liberada.

Em nosso exemplo é solicitado o controle de velocidade no avanço do cilindro A. Isso pode ser conseguido de duas formas, conforme vemos na Figura 7.4:

Opção 1 – controlando o ar na entrada do cilindro.

Opção 2 – controlando o ar na saída do cilindro, o que é normalmente mais eficiente.



**Figura 7.4: Controle do ar**

Fonte: CTISM

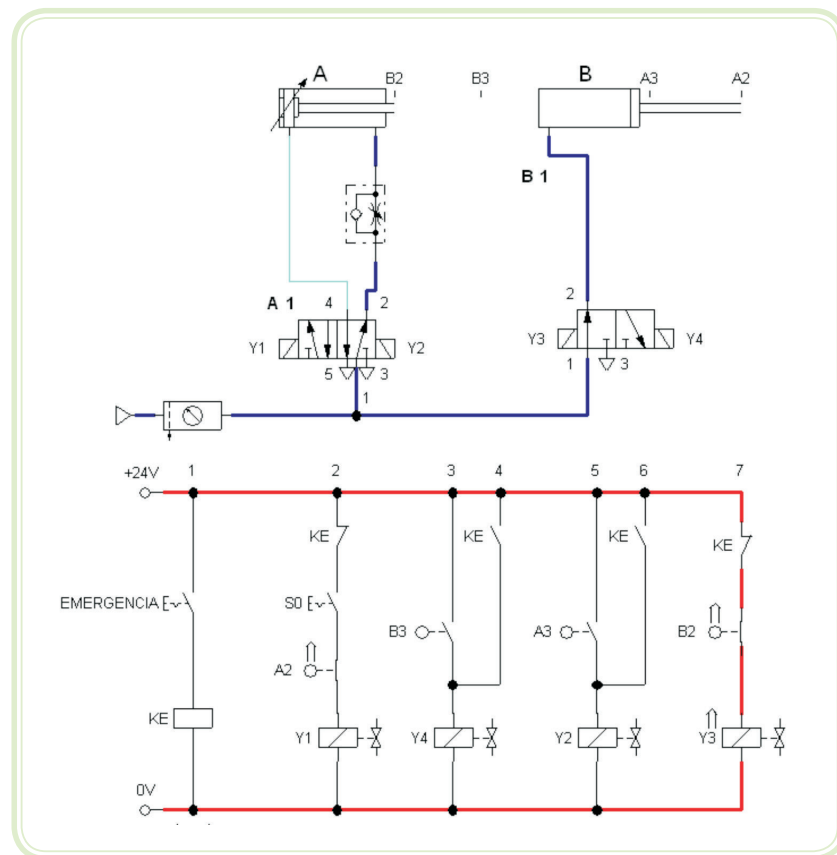
### 7.1.5 Circuito de emergência

É obrigatório, por norma, que todo o sistema possua um botão de parada de emergência, visível e de fácil acesso, que ao ser pressionado leve o sistema para uma condição que represente o menor risco possível ao operador.

Este sistema deverá ter o funcionamento independente do sistema principal e seu comando deverá se sobrepôr a qualquer outro comando do sistema.

No nosso caso, é solicitado um botão de emergência que ao ser pressionado recue imediatamente todos os cilindros. Isso é realizado utilizando-se uma contatora específica para a emergência. Serão utilizados os contatos NA e NF dessa contatora para energizar diretamente os solenóides que recuam os cilindros, no caso Y2 e Y4. Para garantir que não haja sobreposição de sinais, deve-se também cortar a energia das solenóides Y1 e Y3.

Na Figura 7.5 vemos o sistema completo, respeitando todos os requisitos iniciais, inclusive a emergência.



**Figura 7.5: Circuito completo**

Fonte: CTISM

## 7.2 Uso de simuladores eletrônicos para o desenvolvimento de circuitos pneumáticos

Para a simulação dos circuitos pneumáticos são utilizados vários *softwares*, sendo o *FluidSim* o mais utilizado. Apresentaremos a seguir, um tutorial de como utilizar o *FluidSim-P 3 Demo* (versão em inglês - USA).



Faça download de *FluidSim 3 Demo*, preferencialmente a versão em inglês (EUA), em [http://www.fluidsim.de/fluidsim/indexdemo3\\_e.htm](http://www.fluidsim.de/fluidsim/indexdemo3_e.htm)

## 7.2.1 Introdução à simulação e criação de circuitos

Elaboraremos um passo-a-passo, introduzindo as funções importantes do *FluidSim* para desenhar e simular diagramas de circuitos.

Inicialize o *FluidSim* através do menu Iniciar em *Program Files/Festo Didactic*.

Após alguns segundos, a tela principal do *FluidSim* aparecerá no seu monitor:

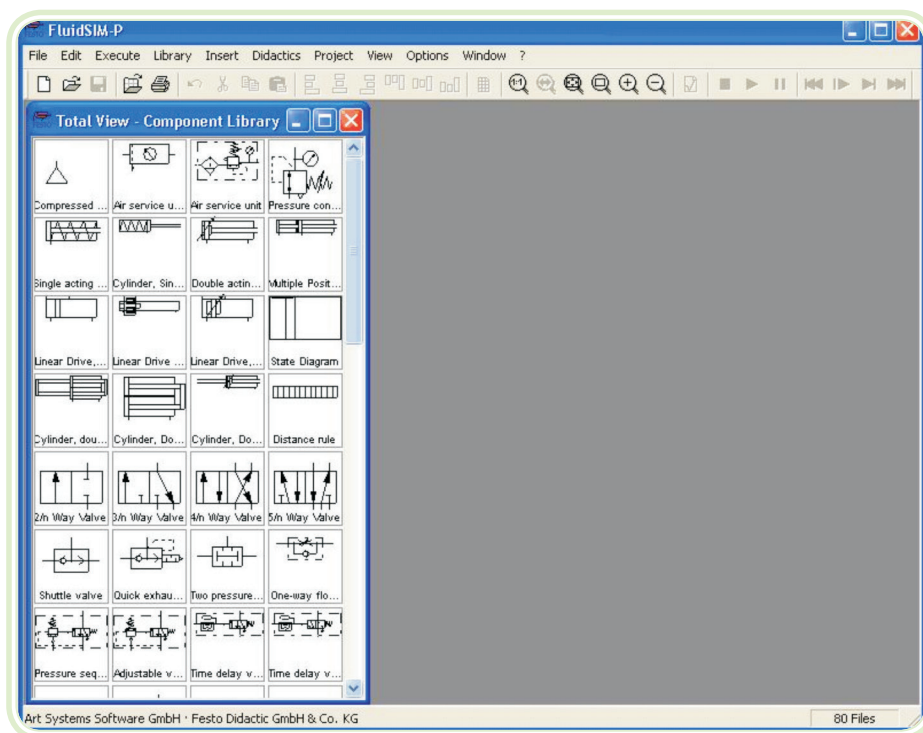
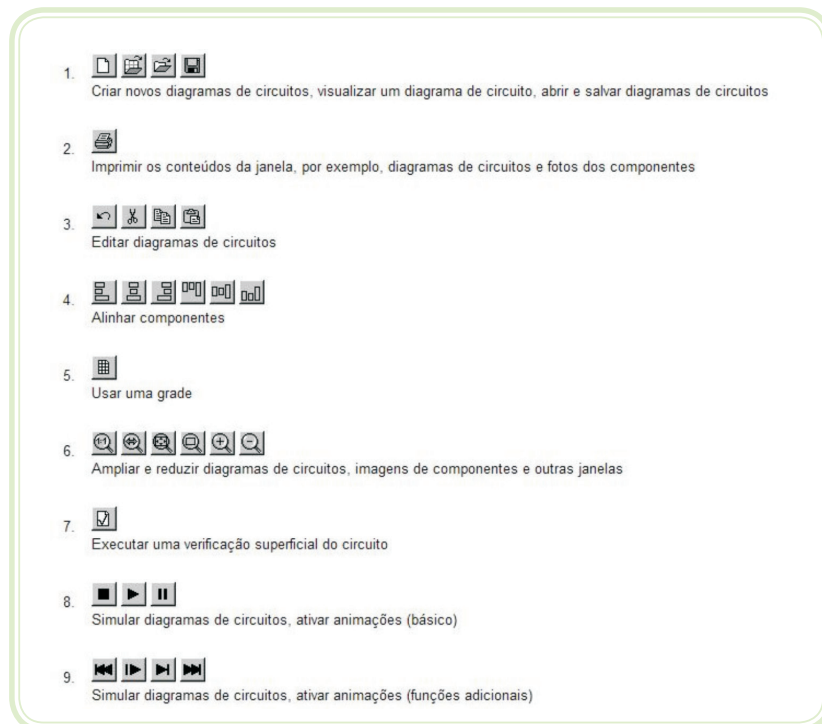


Figura 7.6: *FluidSim*, tela inicial

Fonte: *FluidSim* tutorial

À esquerda da tela você tem uma visão completa da biblioteca de componentes do *FluidSim*. Ela contém componentes pneumáticos e elétricos para a criação de novos diagramas de circuitos. Na barra de menus, na parte superior da janela, estão listadas todas as funções necessárias para a simulação e criação de diagramas de circuitos. A barra de ferramentas abaixo mostra as funções do menu utilizadas com mais frequência.

A barra de ferramentas contém nove grupos de funções. São eles:



**Figura 7. 7: Botões do FluidSim**

Fonte: FluidSim tutorial

Somente algumas das funções acima citadas poderão ser utilizadas com um determinado diagrama de circuitos. O FluidSim reconhece as funções de acordo com os conteúdos da janela, as funções dos componentes e o contexto (desenho do diagrama de circuito, animação, simulação do diagrama de circuitos, etc.), e desabilita na barra de ferramentas as operações que não podem ser utilizadas.

“Menus de contexto” estão disponíveis em vários programas Microsoft Windows®. Um menu de contexto aparece quando o usuário clica no botão direito do mouse dentro da janela do programa. No FluidSim, os menus de contexto aplicam-se aos conteúdos e situações da janela e contêm um subgrupo útil de funções da barra do menu principal.

Na parte inferior da janela há uma barra de status que fornece informações sobre os cálculos e atividades atuais durante a operação do FluidSim. No modo de edição, o FluidSim mostra a designação do componente que se encontra abaixo do cursor do mouse. Os botões, as barras de rolagem e a barra de menus do FluidSim operam do mesmo modo que na maioria dos programas que utilizam o sistema Microsoft Windows®.

## 7.2.2 Simular diagramas de circuitos existentes

Clique em  ou selecione visualizar circuito (*Circuit Preview*) no menu Arquivo (*File*).

Aparecerão janelas de visualização de conteúdo que contêm visões gerais dos diagramas de circuitos existentes:

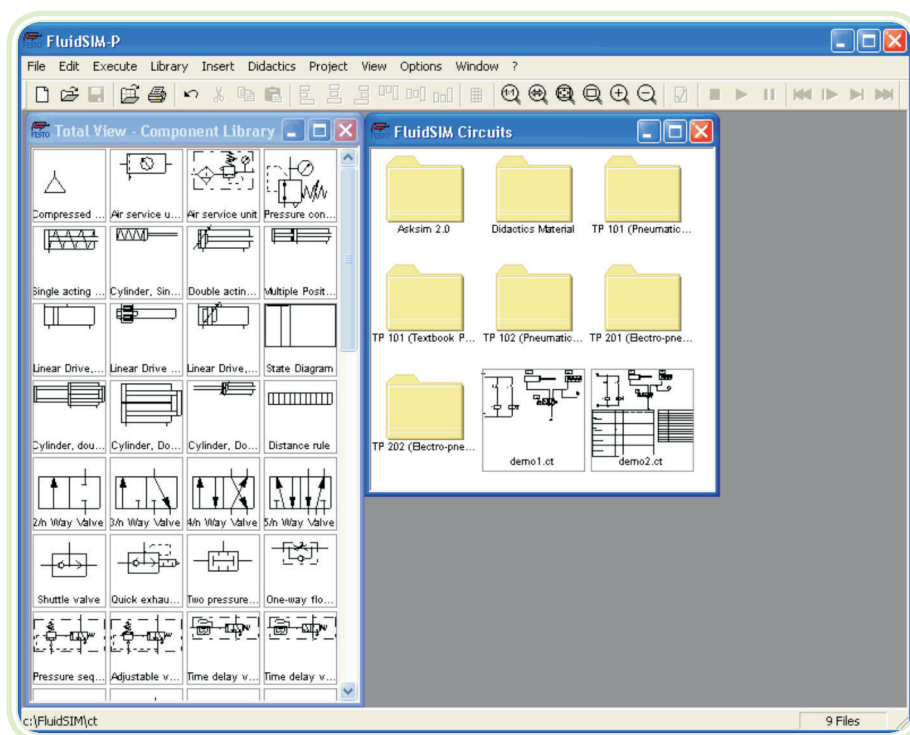


Figura 7.8: Abrindo arquivo no FluidSim


Fonte: FluidSim tutorial

Uma janela de visualização de conteúdo expõe os diagramas de circuitos de um diretório específico em ordem alfabética, juntos com uma representação em miniatura. O nome do diretório atual aparece na barra de título da janela de visualização de conteúdo; os arquivos que contêm os diagramas de circuitos do FluidSim têm a extensão .ct.

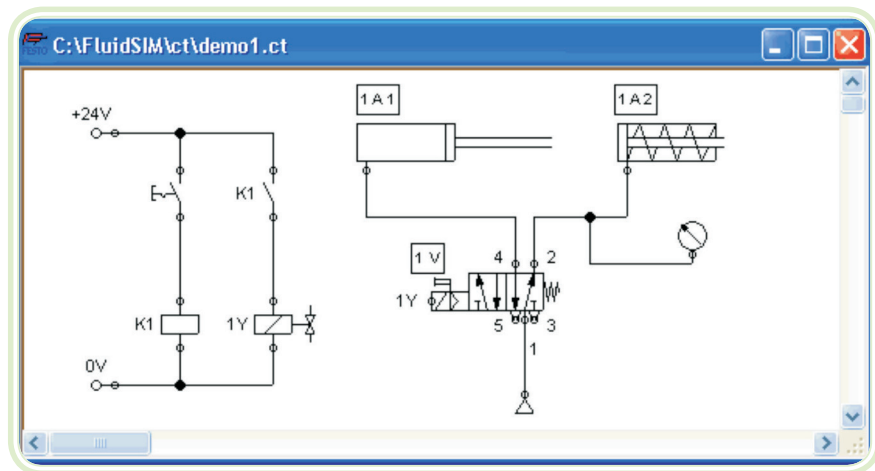
Clicando duas vezes no ícone de um diretório, é possível acessar ao respectivo subdiretório.

No subdiretório ct do fl\_sim\_p, é possível criar subdiretórios adicionais de instalação para diagramas. Esses subdiretórios são encontrados automaticamente pelo FluidSim e são criados ícones extras de diretórios para eles.

Abra o diagrama de circuitos demo1.ct clicando duas vezes na sua representação em miniatura.


Os diagramas de circuitos também podem ser abertos através da caixa de diálogo Seletor de Arquivos. Clicando em  ou selecionando Abrir (*Open*), no menu Arquivo (*File*), a caixa de diálogo Seletor de Arquivos aparecerá. Então é possível abrir um diagrama de circuitos clicando duas vezes no nome do arquivo em questão.


Em ambos os casos, o diagrama de circuitos abre e aparece uma nova janela:



**Figura 7.9: Circuito demo**

Fonte: *FluidSim* tutorial

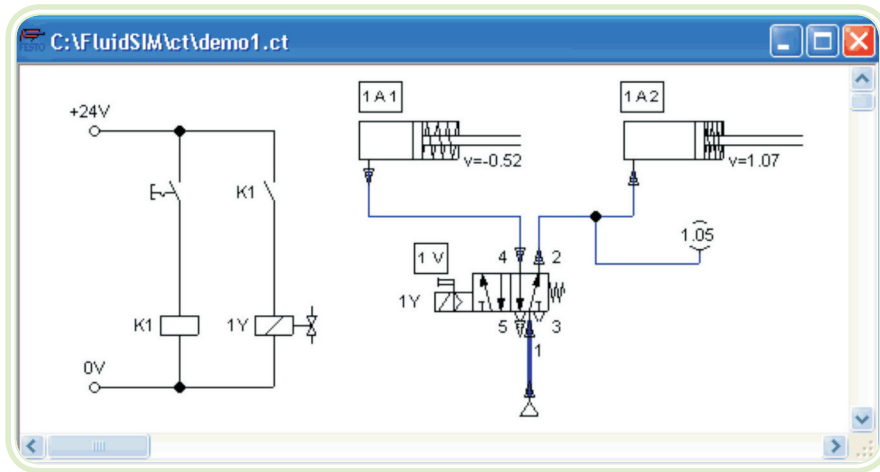
Clique em  ou em Executar - Iniciar (*Execut – Start*), ou pressione a tecla F9.

O *FluidSim* ativa o Modo de Simulação e começa a simular o diagrama de  circuitos. No Modo de Simulação, o cursor passa a ter a forma de uma mão.

Durante a simulação o *FluidSim* primeiro calcula todos os parâmetros elétricos. A etapa seguinte é a formulação do modelo de circuito pneumático e, partindo desse modelo, toda a distribuição de fluxo e vazão é calculada.

A formulação de modelos é uma tarefa complexa. Dependendo da complexidade do circuito e da capacidade do computador, uma simulação de circuito pode demorar um tempo considerável.

Assim que os resultados estiverem disponíveis, as linhas de conexão aparecerão coloridas e os cilindros avançados.





**Figura 7.10: Circuito demo com avanço do atuador**

Fonte: FluidSim tutorial

As cores das linhas de conexão têm o seguinte significado:


| Quadro 7.1: Cores das linhas elétricas e pneumáticas |                                       |
|--|---------------------------------------|
| Cor  | Significado                           |
| Azul escuro  | Linha pneumática pressurizada         |
| Azul claro   | Linha pneumática despressurizada      |
| Vermelho claro                                       | Linha elétrica, com corrente passando |

Você pode definir seu próprio esquema de cores e determinar valores em Opções – Simulação (*Options – Simulation*). As diferentes espessuras das linhas de conexão azul escuras correspondem à pressão em função da pressão máxima. O FluidSim diferencia duas espessuras de linha:

| Quadro 7.2: Espessura das linhas de conexão pneumática azul escuras                 |                                    |
|---|------------------------------------|
| Espessura   | Significado                        |
|  | Pressão menor que a pressão máxima |
|  | Pressão máxima                     |



Para comutar as válvulas e contatos manuais encontrados no diagrama de circuitos, basta clicar com o mouse sobre deles:


Leve o cursor até o lado esquerdo do contato.

O cursor transforma-se em uma mão com o dedo indicador apontando para baixo  e indica que o elemento pode ser comutado.

Clique no contato.

Ao clicar em um contato manual, seu comportamento real será simulado. Nesse exemplo o contato que foi clicado permanece fechado e os cálculos recomeçam automaticamente. Após o cálculo, os novos valores de pressão e vazão são indicados e os cilindros retornam à sua posição inicial.


Só é possível comutar um componente enquanto a simulação estiver rodando  ou quando a simulação estiver em pausa .

Clique em  ou em Executar - Interromper (*Execute – Stop*) para fazer o circuito atual passar do Modo de Simulação para o Modo de Edição.

Ao fazer com que um circuito passe do Modo de Simulação para o Modo de Edição, todos os componentes voltam automaticamente ao seu “status normal”. Ou seja, os contatos voltarão à sua posição original, as válvulas são comutadas para sua posição normal, os êmbolos dos cilindros voltam à posição anterior e todos os valores calculados são deletados.

### 7.2.3 Criar novos diagramas de circuitos

Esta seção contém uma introdução sobre como criar e simular diagramas de circuitos usando o *FluidSim*.

Crie uma área de desenho vazia clicando em  ou em Arquivo–Novo (*File–New*) para abrir uma nova janela:

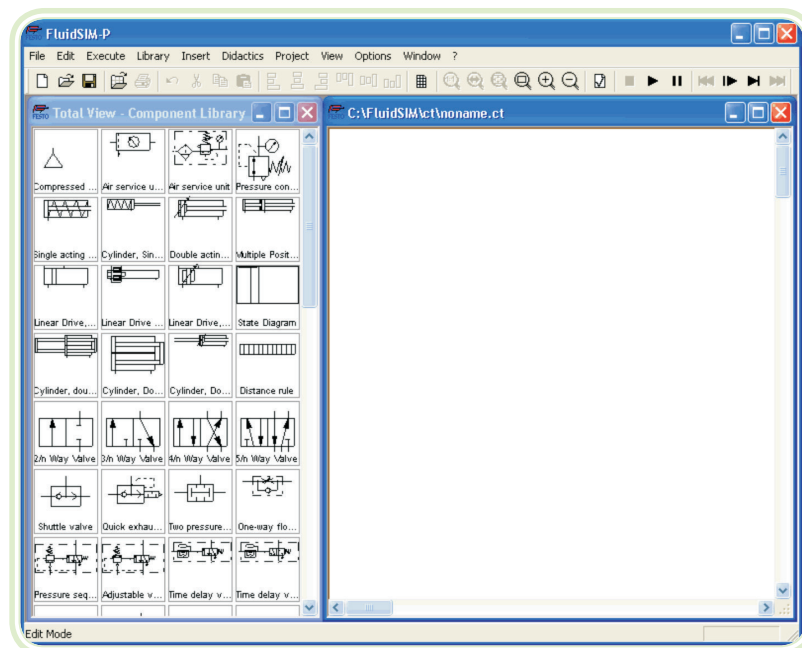


Figura 7.11: Novo FluidSim

Fonte: FluidSim tutorial




Só é possível criar ou modificar diagramas de circuitos no Modo de Edição. Quando no Modo de Edição, o cursor aparece da seguinte maneira.

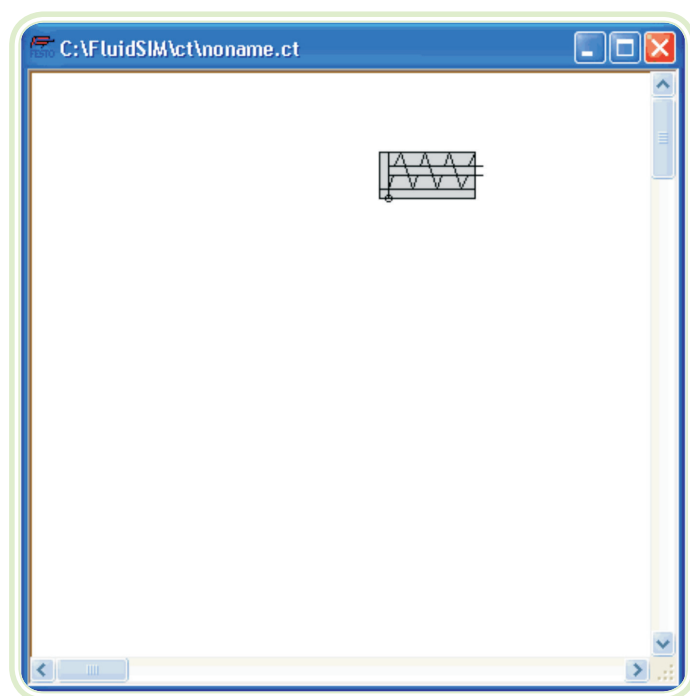
Toda e qualquer nova área de desenho aberta recebe automaticamente um nome, com o qual pode ser salva. Esse nome aparece na barra de título da nova janela.

Usando as barra de rolagento que se encontra à direita e na parte inferior da biblioteca de componentes, é possível visualizar os componentes. Com o *mouse*, é possível “arrastar” e “soltar” componentes da biblioteca de componentes na área de desenho:

Leve o cursor até um componente da biblioteca, mais especificamente, até o cilindro. Em seguida, pressione o botão esquerdo do *mouse*. Continue pressionando o botão enquanto move o cursor.

O cilindro está agora selecionado (em destaque) e o cursor transforma-se em uma cruz . O esboço do componente movimenta-se junto com o cursor.

Leve o cursor até a área de desenho e solte o botão do mouse. Agora o cilindro está posicionado na área de desenho:




**Figura 7.12: Novo atuador FluidSim**

Fonte: FluidSim tutorial

Desse modo, é possível “arrastar” cada componente da biblioteca de componentes e colocá-lo na posição desejada na área de desenho. É possível reagrupar os componentes que já estão na área de desenho usando o mesmo método.


Arraste o cilindro até o canto inferior direito.

Tente mover o cilindro para uma área não permitida; por exemplo, para fora da janela.

Quando fora de uma área permitida, o cursor transforma-se em um sinal de proibido;  não é possível soltar o componente.

Arraste um segundo cilindro até a área de desenho e observe que agora o segundo cilindro é que está selecionado.

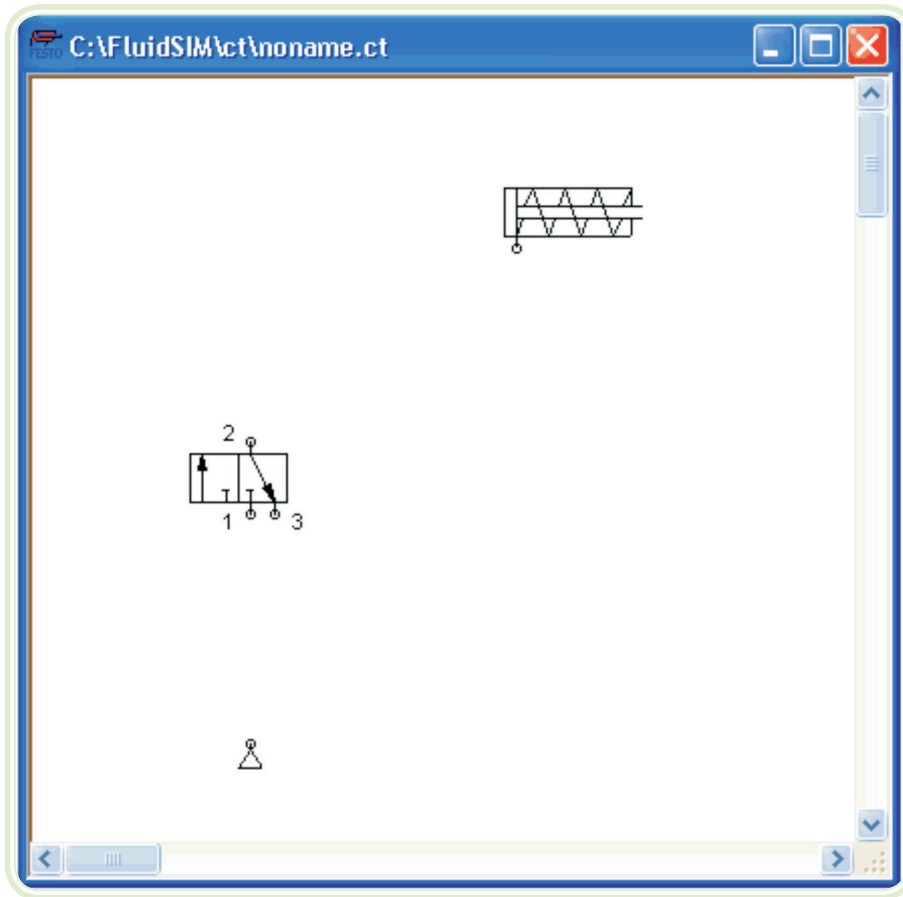
Selecione, ou seja, marque o primeiro cilindro clicando nele.

Delete o cilindro clicando em  (recortar) ou em Editar- Deletar (*Edit - Delete*) ou pressione a tecla Del.

Os comandos do menu Editar (*Edit*) só referem-se aos componentes selecionados.

Arraste uma válvula configurável de 3/n vias e uma alimentação de ar comprimido até a área de desenho.

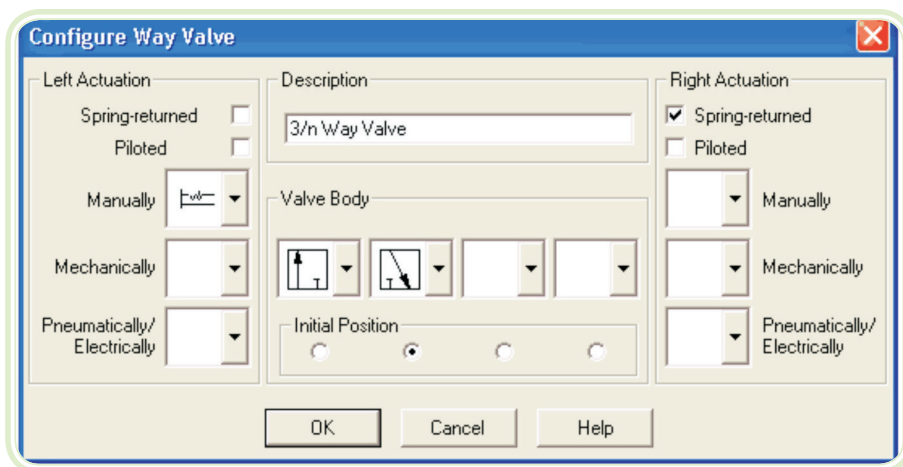
Organize os componentes da seguinte maneira:



**Figura 7.13: Criando válvula direcional**

Fonte: FluidSim tutorial

Clique duas vezes na válvula para atribuir um modo de operação a ela. Uma caixa de diálogo aparece:



**Figura 7.14: Caixa de edição**

Fonte: FluidSim tutorial

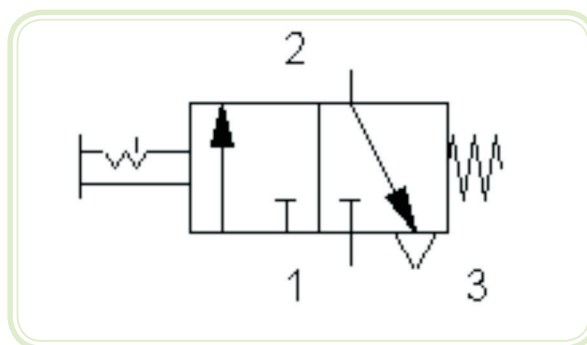
### Acionamento à esquerda/à direita

Os modos de acionamento da válvula podem ser definidos individualmente para os dois lados. O acionamento pode ser de um ou de mais desses tipos: “manual”, “mecânico” ou “pneumático/elétrico”. Para atribuir um modo de operação, clique na seta à direita da lista e selecione um símbolo. Se um tipo não precisar de um modo de operação, simplesmente escolha o símbolo em branco da lista. Além disso, é possível atribuir para cada lado da válvula os atributos “retorno por mola” e “pilotada”.

Escolha uma operação manual com encaixe no lado esquerdo da lista superior e selecione a opção “retorno por mola” no campo direito. Feche a caixa de diálogo via OK.

Uma vez que a conexão “3” da válvula serve de escape de ar, é preciso atribuir um escape para ela. Clique duas vezes na conexão “3”. Na caixa de diálogo que aparece escolha uma opção de escape clicando na seta à direita da lista e selecionando um símbolo. Selecione o terceiro símbolo (o escape simples) e feche a caixa de diálogo.


Agora a válvula deve ficar assim:






**Figura 7.15: Válvula direcional**

Fonte: FluidSim tutorial

Posicione o cursor em cima da conexão à esquerda do cilindro.

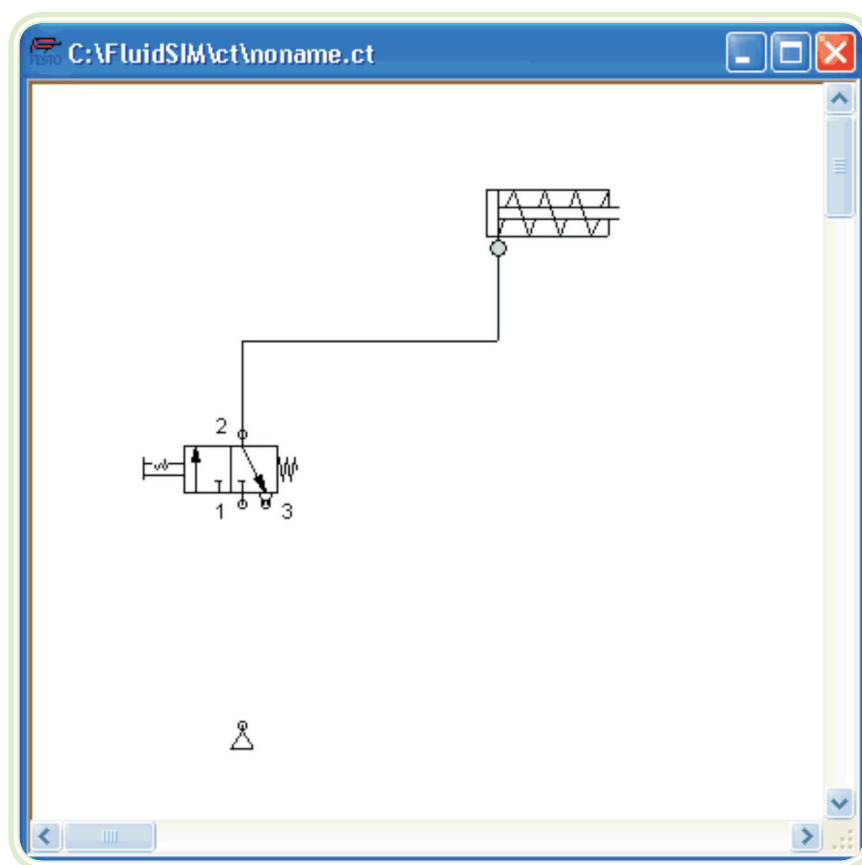
No Modo de Edição o cursor assume a forma de um alvo  quando estiver em cima de uma conexão.

Pressione o botão esquerdo do mouse com o cursor em cima da conexão do cilindro. Movimento o cursor e observe que ele se transforma em um alvo com setas .

Continue pressionando o botão e leve o cursor que tem formato de um alvo com setas  até a conexão superior. Observe que agora as setas do alvo apontam para dentro .


Solte o botão do mouse.


Imediatamente aparece uma linha entre as duas conexões selecionadas:



**Figura 7.16: Linha de união**

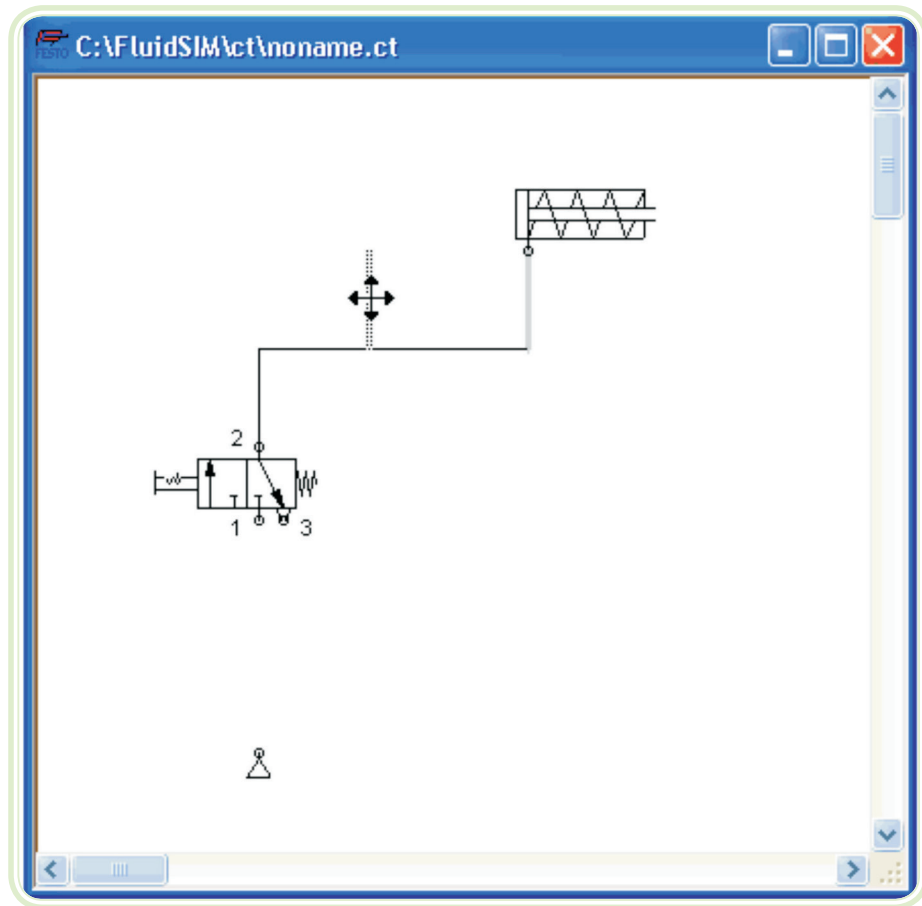
Fonte: *FluidSim* tutorial

O *FluidSim* desenha automaticamente uma linha entre as duas conexões selecionadas. O cursor do mouse transforma-se no sinal de proibido  se não for possível desenhar uma linha entre as duas conexões. Leve o cursor até uma linha.

No Modo de Edição, o cursor transforma-se em um cruzamento  quando estiver posicionado sobre uma linha.

Pressione o botão esquerdo do mouse e leve o símbolo de cruzamento para a esquerda. Solte o botão do mouse.

A linha é redesenhada:

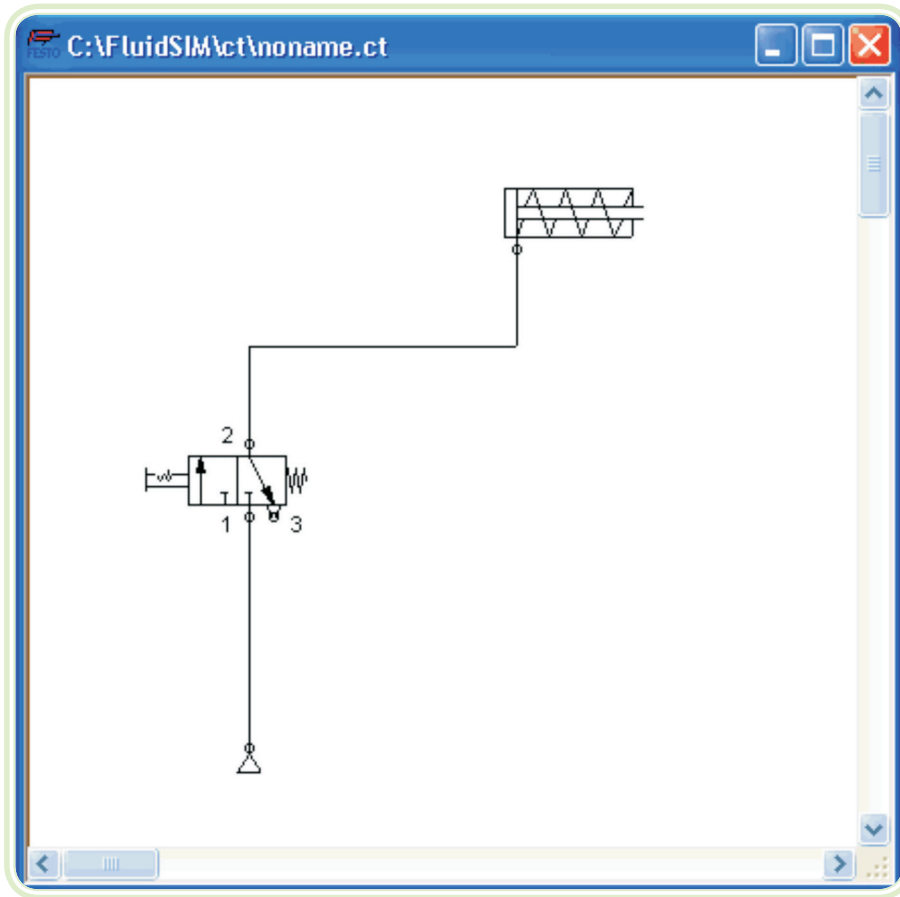


**Figura 7.17: Linha redesenhada**

Fonte: FluidSim tutorial


No Modo de Edição, os componentes e as linhas podem ser seleccionados, movidos ou deletados clicando em Editar – Deletar (*Edit – Delete*) ou pressionando a tecla *Del*. Conecte os demais componentes.

O diagrama de circuitos deve ser similar à seguinte figura:



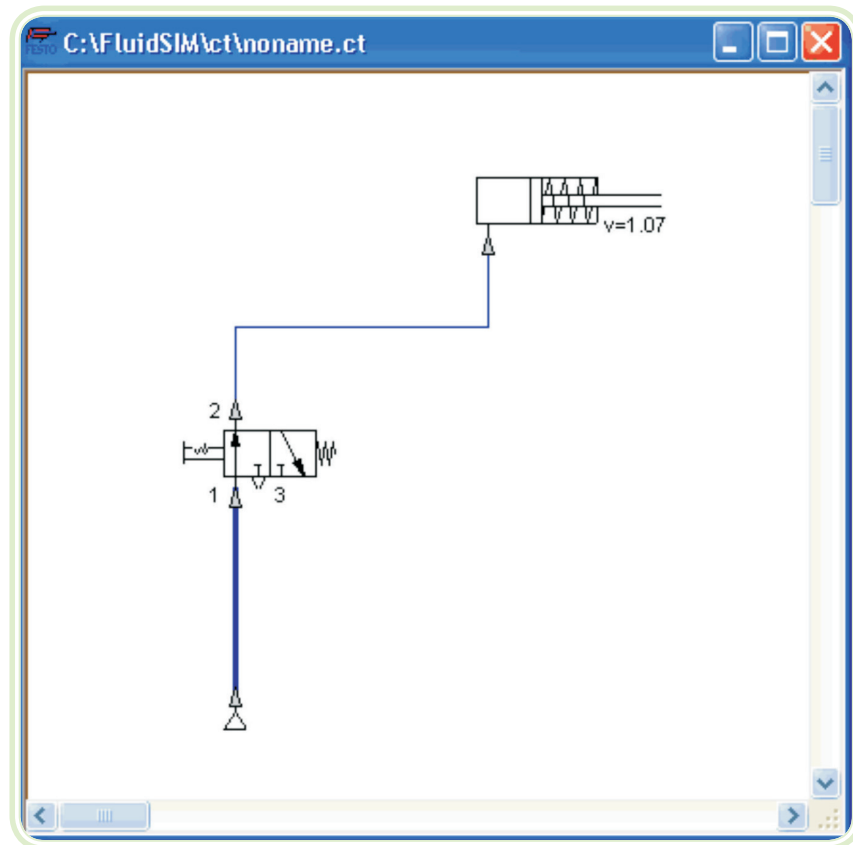
**Figura 7. 18: Linha final**

Fonte: FluidSim tutorial

Os desenhos e conexões do diagrama de circuitos estão prontos. Tente simular este circuito. Comece a simulação clicando em  (ou em Executar- Iniciar (*Execute – Start*) ou na tecla F9).

Leve o cursor até a válvula e clique com o dedo indicador  .

Durante a simulação todos os valores de pressão e vazão são calculados, todas as linhas são coloridas e o êmbolo do cilindro avança.



**Figura 7.19: Acionamento**

Fonte: *FluidSim* tutorial

Depois que o cilindro avançou, a pressão na linha de alimentação do cilindro deve obrigatoriamente aumentar. Essa situação é reconhecida pelo *FluidSim*, e os parâmetros são recalculados; a pressão na alimentação do ar comprimido aumenta até atingir a pressão de trabalho pré-determinada. Clique na válvula para que o cilindro possa recuar.

Em sistemas pneumáticos complexos as válvulas precisam ser operadas indiretamente. A seguir substituiremos a operação manual direta por uma operação pneumática indireta.

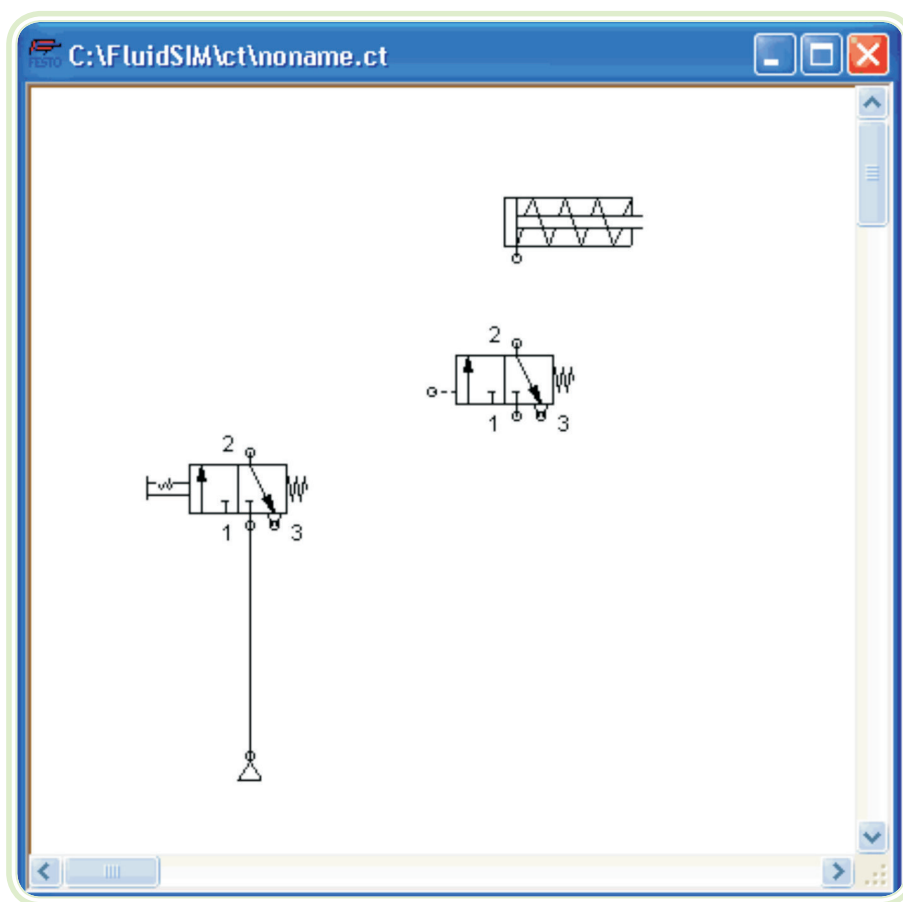
Ative o Modo de Edição clicando em  (ou em Executar – Interromper (*Execute – Stop*) ou na tecla F5).

Selecione e delete a linha que conecta o cilindro à válvula.

Arraste outra válvula de 3/n vias até a área de desenho e abra a caixa de diálogo para a configuração de válvulas clicando duas vezes nela ou através de Editar – Propriedades (*Edit – Properties*).



“Crie” uma válvula pneumática normalmente fechada e feche a caixa de diálogo. Depois, conecte um escape à conexão “3” e organize os componentes da seguinte maneira:





**Figura 7.20: Editando**

Fonte: *FluidSim* tutorial

Conecte a conexão de saída da nova válvula ao cilindro.

Desenhe uma linha ligando a conexão de saída da válvula de acionamento manual à conexão de comando da válvula de acionamento pneumático.

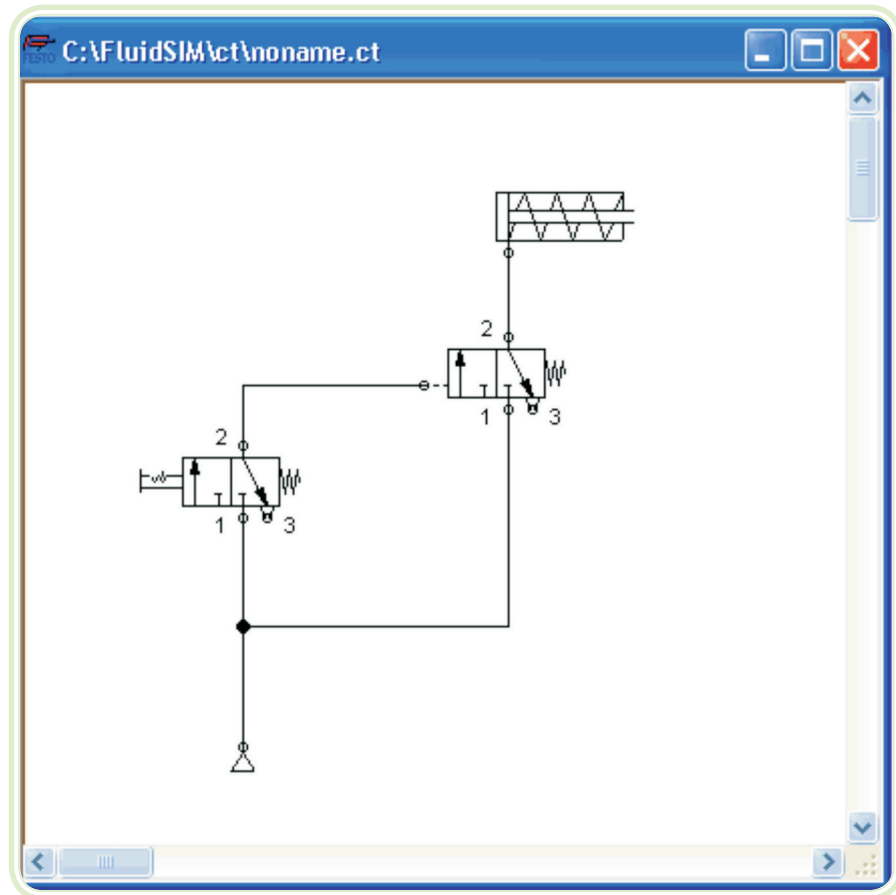
Na realidade, para conectar um componente a uma linha já existente, é preciso usar uma conexão em T. O *FluidSim* cria automaticamente uma conexão em T quando você desenha uma linha que liga uma conexão a uma linha existente.

Usando o cursor em forma de alvo com setas para fora,  desenhe uma linha entre a conexão de entrada da válvula de acionamento pneumático e a linha que une a alimentação de ar comprimido à válvula de acionamento manual. Observe que as setas estão voltadas para dentro .

Solte o botão do *mouse*. A conexão em T aparece na linha no ponto onde você soltou o botão do *mouse*.


Sempre que possível, desenhe a linha de modo que o diagrama da tubulação fique claro.


O diagrama de circuitos deve parecer com a seguinte figura:



**Figura 7.21: Novo circuito**

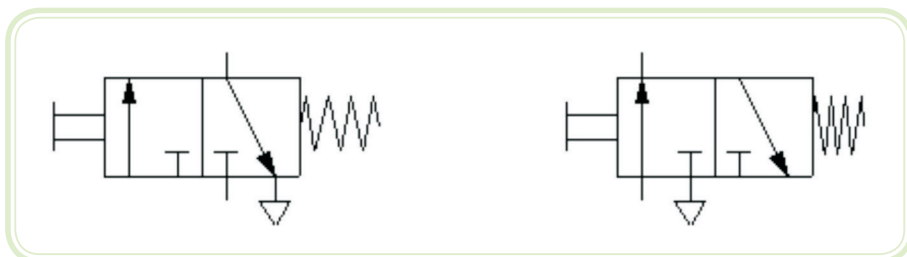
Fonte: *FluidSim* tutorial

Salve o circuito clicando em  ou em Arquivo – Salvar (*File – Save*). Se o título for novo, o FluidSim abre automaticamente a caixa de diálogo Seletor de Arquivos; então, é preciso nomear ao circuito.

Inicie a simulação clicando em ; depois clique na válvula de acionamento manual. Quando você clica em uma válvula, seu comportamento real é simulado. Neste caso a válvula que foi clicada comuta e, logo depois, os cálculos são refeitos. Como resultado, a válvula com acionamento pneumático comuta e o cilindro avança.

O *FluidSim* não apenas faz a animação de componentes de acionamento manual durante a comutação, mas também de quase todos os componentes com estados múltiplos.

A Figura seguinte mostra uma válvula de 3/2 vias na posição fechada e aberta:



**Figura 7.22: Válvula 3/2**

Fonte: *FluidSim* Tutorial

Componentes cujo status de comutação não possuem trava permanecem ativos enquanto o botão do mouse estiver sendo pressionado.

## Resumo

Nesta aula estudamos um exemplo de desenvolvimento de sistema pneumático completo, visando atender a uma série de requisitos necessários para a realização de uma tarefa de automação.

Aprendemos como representar e simular circuitos pneumáticos e eletropneumáticos com o uso do *software FluidSim*.

## Atividades de aprendizagem

1. Baixe e instale o *FluidSim*.
2. Abra os arquivos com extensão “.ct” que se encontram nas pastas circuitos pneumáticos da quinta semana e circuitos eletropneumáticos da sexta semana, localizados no moodle.
3. Tente representar e simular no *FluidSim* o circuito do exercício 4 da Aula 5.





# Aula 8 – Hidráulica

## Objetivos

Compreender os conceitos básicos da hidráulica.

Relacionar o atrito e a resistência com a circulação de fluidos.

Conhecer as bases dos sistemas hidráulicos.

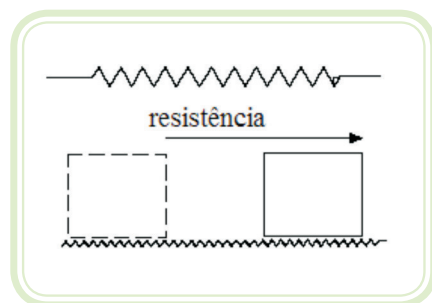
## 8.1 Conceitos básicos

Para compreendermos a hidráulica e suas aplicações, faz-se necessário o conhecimento básico de conceitos físicos:

**Força** – é qualquer influência capaz de produzir uma alteração no movimento de um corpo. Unidade: NEWTON (N).

**Resistência** – a força que pode parar ou retardar o movimento de um corpo. Exemplos de resistência: o atrito e a inércia.

**Atrito** – a resistência por atrito ocorre quando dois objetos entram em contato e suas superfícies movem-se uma contra a outra.



**Figura 8.1: Atrito como resistência**

Fonte: CTISM

**Energia** – uma força que pode causar o movimento de um corpo.



**Figura 8.2: A energia**

Fonte: CTISM

**Inércia** – é a relutância de um corpo a uma alteração no seu movimento. Um corpo em movimento exibe uma relutância para ser parado.

Exemplo – Uma bola de madeira e outra de chumbo de mesma massa movem-se na mesma velocidade. A bola de chumbo exibe uma inércia maior; assim, é mais difícil pará-la.

**Trabalho** – é o movimento de um objeto através de uma determinada distância. Temos como unidade para trabalho o JOULE.

### Newton x Metro (Nm)

A expressão que descreve o trabalho é:



Trabalho = força exercida x distância do movimento = joule

(Nm)

(N)

(m)

(J)

**Potência** – a unidade da potência é o N.m/s ou Watt (W), em homenagem a James Watt, o inventor da máquina a vapor, que comparou a quantidade de potência que a sua máquina poderia produzir com a potência produzida por um cavalo.

Por métodos experimentais, Watt descobriu que um cavalo poderia erguer 250 kgf à altura de 30,5 cm em um segundo.

A expressão que descreve a potência é:

$$745,7 \frac{\text{N m}}{\text{s}} \quad \text{ou} \quad \text{Força exercida x distância do movimento}$$
$$\text{HP} = \frac{(\text{N}) (\text{m})}{\text{Tempo (segundos)}} \times 745$$

**Pressão** – é a força exercida por unidade de superfície. Em hidráulica, a pressão é expressa em kgf/cm<sup>2</sup>, atm ou Bar.

A pressão também poderá ser expressa em psi (*pound per square inch*) que significa libra força por polegada quadrada, abrevia-se lbf/pol<sup>2</sup>.

**Lei de Pascal** – a pressão exercida em um ponto qualquer de um líquido estático é a mesma em todas as direções e exerce forças iguais em áreas iguais.

**Fatores de conversão de unidades de pressão** – recorde das aulas de pneumática, as relações entre PSI, mca, bar, etc.



Através da equação a seguir, poderemos selecionar o diâmetro de um cilindro (calculando a área) em função da força requerida para um processo.

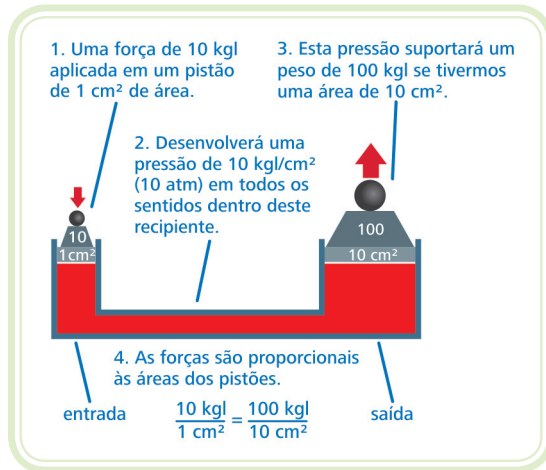
$$P = \frac{F}{A}$$

**Equivalência entre unidades de pressão** – a relação abaixo é uma memória rápida, para que possamos nos acostumar com algumas das diversas unidades.

$$1 \text{ atm} \cong 1 \text{ kgf/cm}^2 = 1 \text{ bar} \cong 14,5 \text{ psi}$$

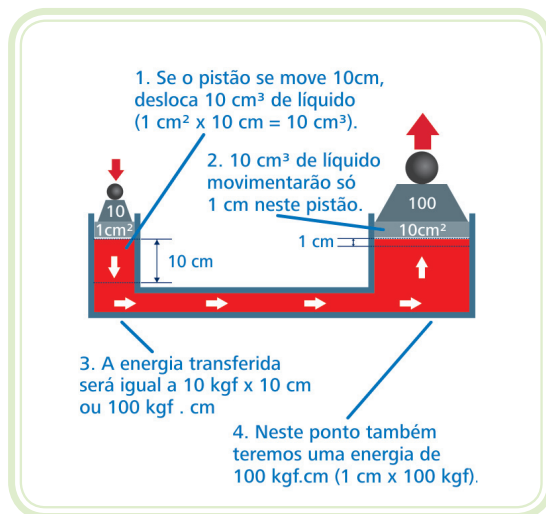
Conservação de Energia – relembrando o princípio enunciado por *Lavoisier*: “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”, podemos considerar:

Quando o pistão de área = 1 cm<sup>2</sup> se move 10 cm, desloca um volume de 10cm<sup>3</sup> para o pistão de área = 10 cm<sup>2</sup>. Conseqüentemente, o mesmo movimentará apenas 1 cm de curso.



**Figura 8.3: A multiplicação da força**

Fonte: CTISM



**Figura 8.4: A divisão do movimento**

Fonte: CTISM

## 8.2 Transmissão hidráulica de força e energia

**Líquido** – é uma substância constituída de moléculas. Ao contrário dos gases, nos líquidos as moléculas são atraídas umas às outras de forma compacta. Contudo, as moléculas não se atraem a ponto de adquirirem posições rígidas, como nos sólidos.

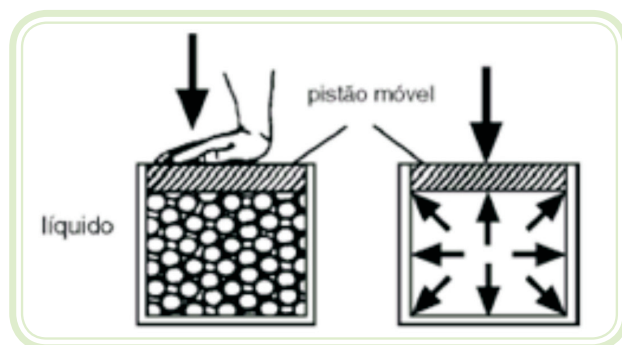
Os líquidos são relativamente incompressíveis. Com as moléculas em contato umas às outras, os líquidos exibem características de sólidos.

**Transmissão de força** – os quatro métodos de transmissão de energia são – mecânica, elétrica, hidráulica e pneumática. São capazes de transmitir tanto



forças estáticas (energia potencial) quanto a energia cinética. Quando uma força estática é transmitida em um líquido, essa transmissão ocorre de modo especial.

Se empurrarmos o tampão de um recipiente cheio de líquido, o líquido do recipiente transmitirá pressão sempre da mesma maneira, independentemente de como ela é gerada e da forma do mesmo.



**Figura 8.5: Transmissão da força através de um sólido e de um líquido**

Fonte: CTISM

**Manômetro** – é um aparelho que mede um diferencial de pressão. Dois tipos de manômetros são utilizados nos sistemas hidráulicos: o de *Bourdon* e o de núcleo móvel. Além desses, existem diversos tipos de manômetros, desde os mais simples, que utilizam uma mangueira no formato de U, até equipamentos piezoelétricos, ligados a dispositivos eletrônicos. Na figura a seguir detalhamos o manômetro de *Bourdon*.

**Manômetro de Bourdon** – consiste de uma escala calibrada em unidades de pressão e de um ponteiro ligado, através de um mecanismo, a um tubo oval, em forma de “C”. Esse tubo é ligado à pressão a ser medida.

### Tipos de manômetros



**Figura 8.6: Manômetro convencional**

Fonte: Gess

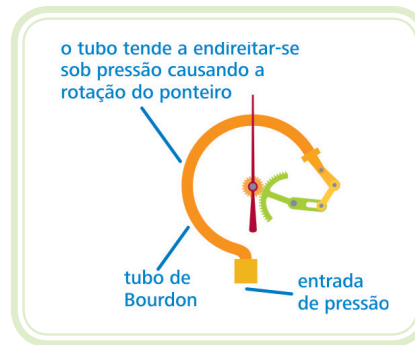


Para saber mais sobre os diferentes tipos de manômetros, acesse:  
[http://www.zurichpt.com.br/?pagina=conceito\\_pressao.php](http://www.zurichpt.com.br/?pagina=conceito_pressao.php)



**Figura 8.7: Manômetro digital**

Fonte: Tecnicasandinas



**Figura 8.8: Manômetro de Bourdon**

Fonte: CTISM

### Instrumentos para medição de pressão 1

Os manômetros podem ter vários elementos sensíveis, podendo ser utilizados também por transmissores e controladores para medir a pressão. Abaixo há diferentes tipos de manômetros:

Manômetro de membrana ou diafragma.

Manômetro tipo piezoelétrico.

Manômetro tipo capacitativo.

Manômetro tipo *strain gauge* – piezoresistivo.

## 8.3 Características dos fluidos hidráulicos

**Viscosidade** – é a propriedade que indica a maior ou menor dificuldade de o fluido escoar (BRUNETTI, 2008), ou seja, é a resistência que o fluido apresen-

ta ao escoamento. Um fluido com alto índice de viscosidade mudaria relativamente pouco com a temperatura. A maior parte dos sistemas hidráulicos industriais requer um fluido com um índice de viscosidade de 90 ou mais.

**O SSU** – Segundo *Saybolt Universal* é uma das medidas de viscosidade dos fluidos. O professor Saybolt aqueceu um líquido com volume predeterminado a uma dada temperatura e fez o líquido passar por uma abertura de tamanho também especificado. Ele cronometrou o fluxo (em segundos) até que o líquido enchesse um recipiente com capacidade de 60 mililitros. O resultado foi a medição da viscosidade em SSU ou 60 SSU.

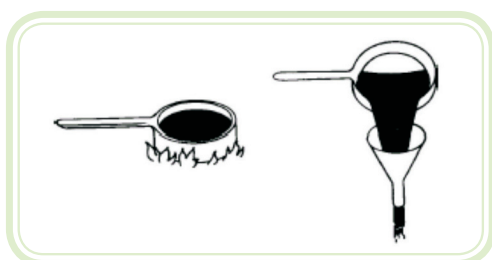
**Efeito da temperatura sobre a viscosidade** – uma garrafa de melado tirada da geladeira apresenta uma alta resistência ao escoamento. Tentar passar esse líquido por um funil constitui-se numa operação demorada. O aquecimento das moléculas do melado faz com que elas deslizem umas sobre as outras com maior facilidade.

Conforme aumenta a temperatura de um líquido, diminui a sua viscosidade.



**Figura 8.9: Os líquidos possuem diferentes viscosidades a temperatura ambiente**

Fonte: CTISM



**Figura 8.10: A temperatura modifica a viscosidade**

Fonte: CTISM

### 8.3.1 Aumento de velocidade gera calor

Para encher um recipiente de 20 litros em um minuto, o volume de fluido em um cano de grande diâmetro deve passar a uma velocidade de 300 cm/s. No tubo de pequeno diâmetro, o volume deve passar a uma velocidade de 600 cm/s para encher o recipiente. no tempo de um minuto. Em ambos os casos, a vazão é de 20 litros/minuto, mas as velocidades do fluido são diferentes.

### 8.3.2 Mudança na direção do fluido gera calor

Em uma linha de fluxo de fluido há geração de calor sempre que o fluido encontra uma curva na tubulação. O fator gerador do calor é o atrito provocado pelo choque das moléculas que se deparam com o obstáculo da curva. Dependendo do diâmetro do cano, um cotovelo de 90° pode gerar tanto calor quanto vários metros de cano.

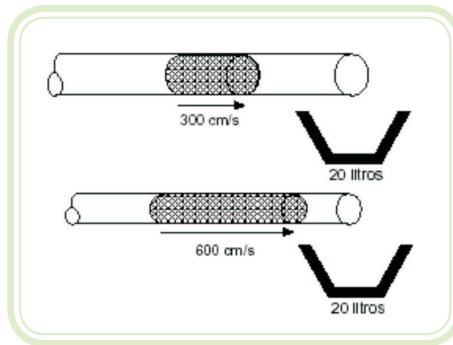


Figura 8.11: Velocidade gera calor

Fonte: CTISM

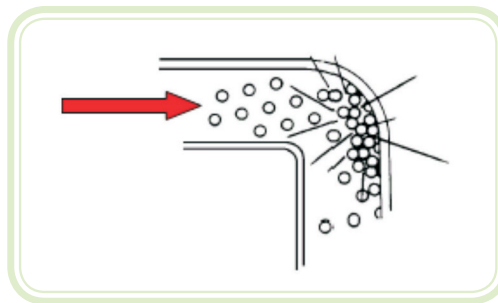


Figura 8.12: A mudança na direção do fluido gera calor

Fonte: CTISM

## 8.4 Fluidos, reservatórios e acessórios

### 8.4.1 Fluido hidráulico

O fluido hidráulico é o elemento vital de um sistema hidráulico industrial. Ele é um meio de transmissão de energia, um lubrificante, um vedador e um veículo de transferência de calor. O fluido hidráulico à base de petróleo é o mais comum.

**Fluido à base de petróleo** – esse fluido é mais do que um óleo comum. Os aditivos são ingredientes importantes na sua composição. Os aditivos dão ao óleo características que o tornam apropriado para uso em sistemas hidráulicos.

**Fluidos resistentes ao fogo** – uma característica inconveniente do fluido proveniente do petróleo é que ele é inflamável. Não é seguro usá-lo perto de superfícies quentes ou de chama. Por esta razão, foram desenvolvidos vários tipos de fluidos resistentes ao fogo.

**Emulsão de óleo em água** – consiste de uma mistura de óleo numa quantidade de água. A mistura pode variar em torno de 1% a 40% de óleo.

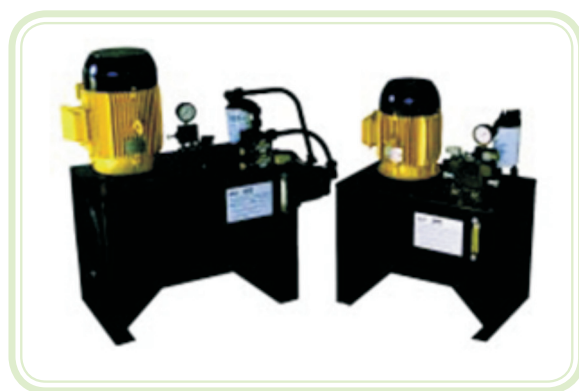
**Emulsão de água em óleo** – a mistura é geralmente de 40% de água e 60% de óleo.

**Fluido de água-glicol** – é uma solução de glicol (anticongelante) – 60% – e água.

### 8.4.2 Reservatórios hidráulicos

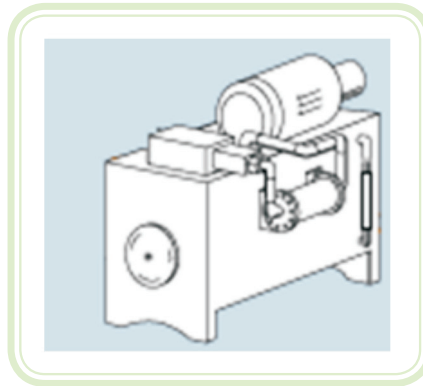
A função de um reservatório hidráulico é conter ou armazenar o fluido hidráulico de um sistema.

Os reservatórios podem ser de aço ou de materiais plásticos, contendo todas as conexões necessárias: linhas de sucção; retorno e drenos; indicador de nível de óleo; tampa para respiradouro e enchimento; tampa para limpeza.



**Figura 8.13: Unidade hidráulica industrial**

Fonte: Parker Hannifin



**Figura 8.14: Esquema de uma unidade hidráulica**

Fonte: CTISM

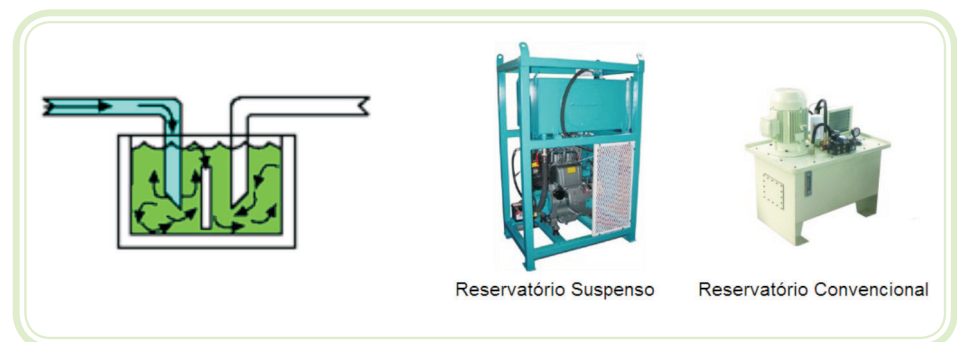
Quando o fluido retorna ao reservatório, uma placa defletora impede que este fluido vá diretamente à linha de sucção. Isto cria uma zona de repouso na qual as impurezas maiores sedimentam, o ar sobe à superfície do fluido e dá condições para que o calor do fluido, seja dissipado para as paredes do reservatório. Todas as linhas de retorno devem estar localizadas abaixo do nível do fluido e no lado do defletor oposto à linha de sucção.

#### 8.4.2.1 Tipos de reservatórios

Os reservatórios industriais têm uma variedade de estilos, dentre os quais estão os reservatórios em forma de L, os reservatórios suspensos e os reservatórios convencionais.

Os reservatórios convencionais são os mais comumente usados dentre os reservatórios hidráulicos industriais.

Os reservatórios em forma de L e os suspensos permitem à bomba uma altura manométrica positiva do fluido.



Reservatório Suspenso

Reservatório Convencional

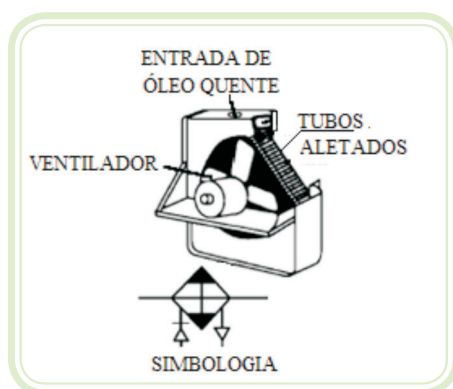
**Figura 8.15: Separação de gases e impurezas no reservatório da unidade hidráulica**

Fonte: CTISM

### 8.4.3 Resfriadores de óleo hidráulicos

Todos os sistemas hidráulicos aquecem. Se o reservatório não for suficiente para manter o fluido à temperatura normal, há um superaquecimento. Para evitar isso, são utilizados resfriadores ou trocadores de calor (os modelos mais comuns são água-óleo e ar-óleo).

**Resfriadores a ar** – em máquinas que operam em regime severo, o resfriador a ar pode ser equipado com ventilador independente. Nos resfriadores a ar, o fluido é bombeado através de tubos aletados. Para dissipar o calor, o ar é soprado sobre os tubos e aletas por um ventilador. Os resfriadores a ar são geralmente usados em locais onde a água não está disponível facilmente.



**Figura 8.16: Funcionamento de um resfriador a ar**

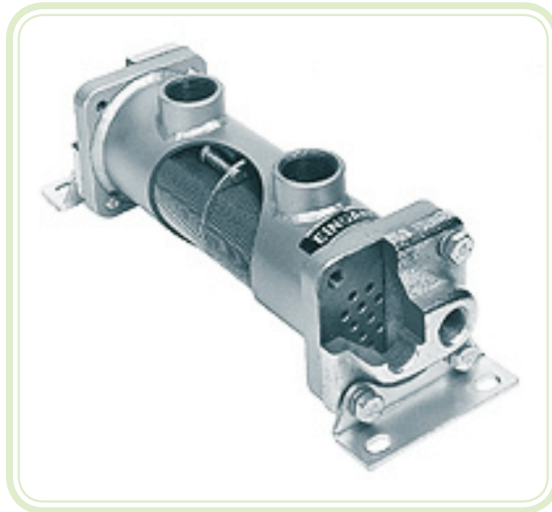
Fonte: CTISM



**Figura 8.17: Resfriador a ar**

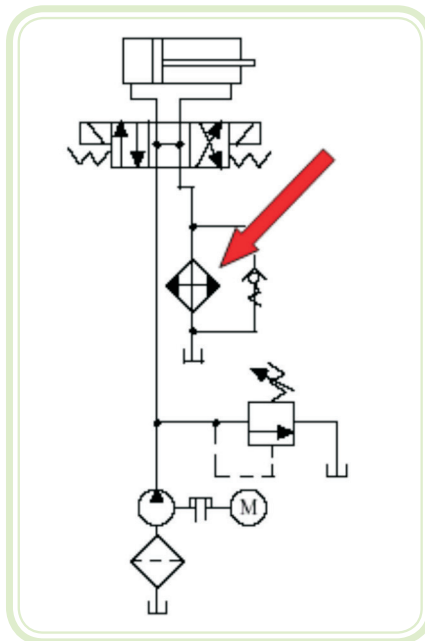
Fonte: CTISM

**Resfriadores a água** – o resfriador a água consiste basicamente de um feixe de tubos encaixados num invólucro metálico. Neste resfriador, o fluido do sistema hidráulico é geralmente bombeado através do invólucro e sobre os tubos que são refrigerados com água fria.



**Figura 8.18: Resfriador a água tipo tubular**

Fonte: CTISM



**Figura 8.19: Resfriador de óleo no retorno do óleo para o reservatório**

Fonte: CTISM

**Resfriadores no circuito** – os resfriadores geralmente operam à baixa pressão ( $10,5 \text{ kgf/cm}^2$ ). Isso requer que eles sejam posicionados em linha de retorno ou dreno do sistema. Se isso não for possível, o resfriador pode ser instalado em sistema de circulação.

Para garantir que um aumento momentâneo de pressão na linha não os danifique, os resfriadores são geralmente ligados ao sistema em paralelo com uma válvula de retenção de  $4,5 \text{ kgf/cm}^2$  de pressão de abertura.



### 8.4.4 Filtros hidráulicos

A contaminação causa problemas nos sistemas hidráulicos porque interfere no fluido, que tem quatro funções:

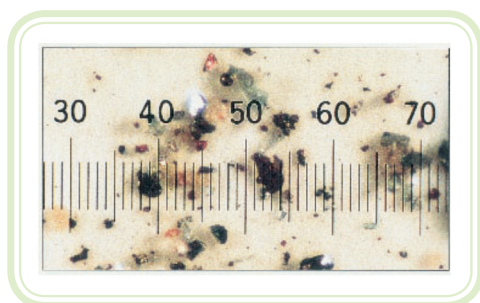
1. Transmitir energia;
2. Lubrificar peças internas que estão em movimento;
3. Transferir calor;
4. Vedar folgas entre peças em movimento.

**A escala micrométrica** – um micron é igual a um milionésimo de um metro. Um único micron é invisível a olho nu. Um simples grão de sal refinado mede 100 microns. O diâmetro médio de um fio de cabelo humano mede 70 micra.



**Figura 8.20:** Não conseguimos ver os contaminantes do óleo com a vista desarmada

Fonte: CTISM



**Figura 8.21:** A escala micrométrica

Fonte: CTISM

**Limite de visibilidade** – o limite de visibilidade para o olho é de 40 microns. Isto significa que, embora uma amostra de fluido hidráulico pareça estar limpa, ela não está necessariamente limpa. Muito da contaminação prejudicial em um sistema hidráulico está abaixo de 40 microns.

**Elementos filtrantes** – a função de um filtro é remover impurezas do fluido hidráulico.

Isso é feito forçando o fluxo do fluido a passar por um elemento filtrante que retém a contaminação. Os elementos filtrantes são divididos em tipos de acordo com a profundidade e a superfície.



**Figura 8.22: Elementos filtrantes**

Fonte: [http://www.hengst.de/conpresso/\\_data/Filtro\\_de\\_oleo.jpg](http://www.hengst.de/conpresso/_data/Filtro_de_oleo.jpg)

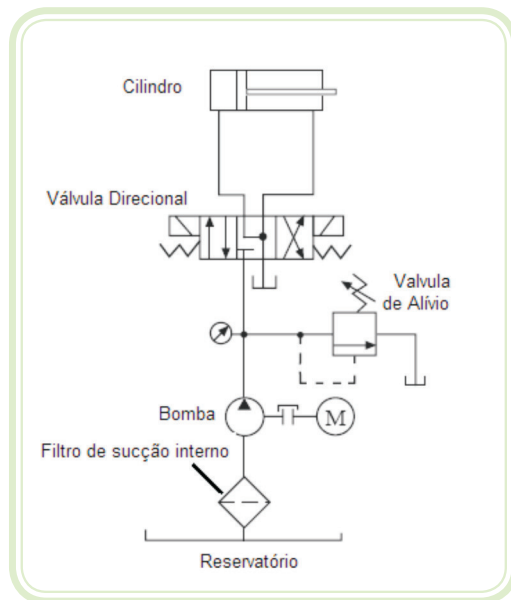
Os elementos filtrantes são de diversas configurações. Na figura anterior podemos observar um elemento filtrante bastante utilizado, do tipo utilizado em diversas máquinas, inclusive em motores de automóveis.

#### **8.4.4.1 Tipo de filtragem pela posição no sistema**

O filtro é a proteção para o componente hidráulico. Seria ideal que cada componente do sistema fosse equipado com o seu próprio filtro, mas isso não é economicamente viável na maioria dos casos. Podem ser de sucção (interno e externo), de pressão, de retorno e *off-line*.

**a) Filtros de sucção** – existem 2 tipos de filtro de sucção – **Filtros de sucção interno e externo**.

**Filtros de sucção interno** – são os mais simples e mais utilizados. Têm a forma cilíndrica com tela metálica com malha de 74 a 150 microns, não possuem carcaça e são instalados dentro do reservatório, abaixo, no nível do fluido. Apesar de serem chamados de filtro, impedem apenas a passagem de grandes partículas (na língua inglesa são chamados de "*strainer*", que significa peneira).

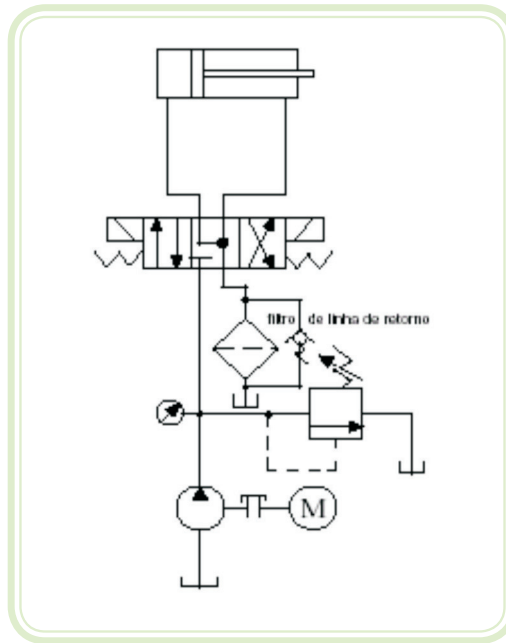


**Figura 8.23: Diagrama hidráulico com filtro interno, instalado na sucção de óleo**

Fonte: CTISM

**Filtro de sucção externo** – pelo fato de possuírem carcaça, estes filtros são instalados diretamente na linha de sucção, fora do reservatório. Existem modelos que são instalados no topo ou na lateral dos reservatórios. Estes filtros possuem malha de filtragem de 3 a 238 microns.

- b) Filtro de pressão** – um filtro de pressão é posicionado no circuito, entre a bomba e um componente do sistema. A malha de filtragem dos filtros de pressão é de 3 a 40 microns. Um filtro de pressão pode também ser posicionado entre os componentes do sistema.
- c) Filtro de linha de retorno** – está posicionado no circuito próximo do reservatório. A dimensão habitualmente encontrada nos filtros de retorno é de 5 a 40 microns.



**Figura 8.24: Filtro de óleo instalado no retorno**

Fonte: CTISM

**d) Filtragem *off-line*** – também conhecido como recirculação ou filtração auxiliar, este sistema é totalmente independente de um sistema hidráulico principal de uma máquina. A filtração *off-line* consiste de uma bomba, filtro, motor elétrico e os sistemas de conexões, instalados como um subsistema separado das linhas de trabalho ou incluído em um de resfriamento. O fluido é bombeado para fora do reservatório de óleo hidráulico, através do filtro, e retorna para o reservatório em um ciclo contínuo.

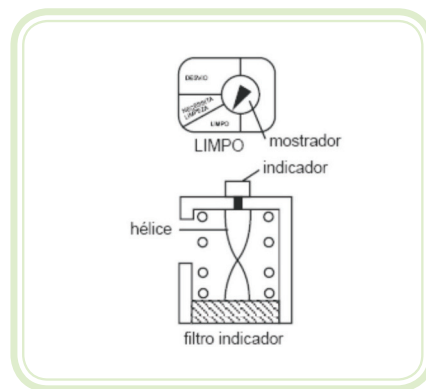
Com este efeito “polidor”, a filtração *off-line* é capaz de manter um fluido em um nível constante de contaminação, pois o filtro da linha de retorno não fornece proteção específica aos componentes. Grandes sistemas *off-line* poderão conter, além dos filtros de diversas malhas, também centrífugas, que removem sólidos e água não emulsionada do óleo.

**Válvula de desvio (“Bypass”) do filtro** – se a manutenção do filtro não for feita, o diferencial de pressão através do elemento filtrante aumentará. Este diferencial de pressão, no lado de sucção do filtro, poderá provocar cavitação na bomba ou a destruição do filtro. Uma válvula limitadora de pressão de ação direta ou simples é usada para limitar o diferencial de pressão através do filtro de fluxo pleno. Este tipo de válvula limitadora de pressão é geralmente chamado de válvula de *bypass* e consiste de um pistão móvel, da carcaça e de uma mola.



**Figura 8.25: Filtro de pressão em corte**

Fonte: CTISM

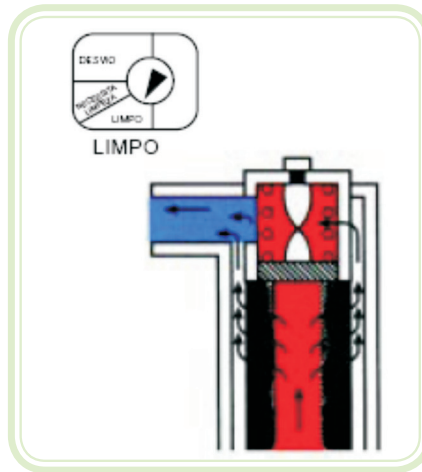


**Figura 8.26: Mecanismo indicador de obstrução de um filtro**

Fonte: CTISM

As válvulas de *bypass* operam com a diferença da pressão. Na Figura 8.27, o fluido contaminado que vem para dentro do filtro pode ser observado na parte inferior do pistão. A pressão do fluido, depois que ele passou através do elemento filtrante, é sentida no outro lado do pistão, no qual a mola está agindo.

À medida que o elemento filtrante é obstruído pela contaminação, cresce a pressão requerida para empurrar o fluido através do elemento. Quando o diferencial de pressão através do elemento filtrante, bem como através do pistão, é suficientemente grande para vencer a força da mola, o pistão mover-se-á e o fluido passará em volta do elemento.

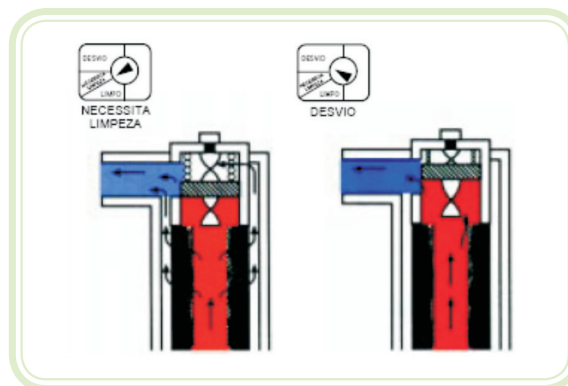


**Figura 8.27: Filtro com indicador – limpo**

Fonte: CTISM

A válvula *bypass* é um mecanismo à prova de falhas. Num filtro de sucção, a *bypass* limita o diferencial de pressão máxima sobre o filtro se ele não estiver limpo. Isso protege a bomba. Se um filtro de linha de retorno ou de pressão não estiver limpo, a *bypass* limitará o diferencial de pressão máxima, de modo que a sujeira não seja empurrada através do elemento. Dessa maneira, a *bypass* protege o filtro.

O elemento decisivo, portanto, para o desempenho do filtro, está centrado na limpeza do elemento filtrante. Para auxiliar, neste particular, um filtro é equipado com um indicador.



**Figura 8.28: Outras posições do filtro com indicador**

Fonte: CTISM

**Indicador de filtro** – um indicador de filtro mostra a condição de um elemento filtrante. Ele indica quando o elemento está limpo, quando precisa ser trocado ou se está sendo utilizado o desvio. Um tipo comum de indicador de filtro consiste de uma hélice e de um indicador e mostrador interligados.

### 8.4.5 Mangueiras dos sistemas hidráulicos

As linhas flexíveis para condução de fluidos são necessárias na maior parte das instalações em que a compensação de movimento e absorção de vibrações se fazem presentes.

Um exemplo típico de linhas flexíveis são as mangueiras, cuja aplicação visa atender a três propostas básicas:

1. Conduzir fluidos líquidos ou gases;
2. Absorver vibrações;
3. Partes das mangueiras.

As mangueiras são compostas por três partes construtivas: tubo interno ou alma, reforço ou carcaça e cobertura ou capa.

**Tubo interno ou alma de mangueira** – deve ser construído com material flexível e de baixa porosidade, ser compatível e termicamente estável com o fluido a ser conduzido.

**Reforço ou carcaça** – considerado como elemento de força de uma mangueira, o reforço é quem determina a capacidade de suportar pressões. Sua disposição sobre o tubo interno pode ser na forma trançada ou espiralada.

**Cobertura ou capa** – disposta sobre o reforço da mangueira, a cobertura tem por finalidade proteger o reforço contra eventuais agentes externos que provoquem a abrasão ou danificação do reforço.

#### 8.4.5.1 Classificação das mangueiras

A Sociedade dos Engenheiros Automotivos Americanos (SAE) tem a dianteira na elaboração de normas construtivas para mangueiras, que permitem ao usuário enquadrar o produto escolhido dentro dos seguintes parâmetros de aplicação:

- Capacidade de pressão dinâmica e estática de trabalho;
- Temperatura mínima e máxima de trabalho;

- Compatibilidade química com o fluido a ser conduzido, resistência ao meio ambiente de trabalho contra a ação do ozônio (O<sub>3</sub>), raios ultravioleta, calor irradiante, chama viva, etc.;
- Vida útil das mangueiras em condições dinâmicas de trabalho (*impulse-test*);
- Raio mínimo de curvatura.

#### 8.4.5.2 Determinação do diâmetro interno da mangueira em função da vazão do circuito

O gráfico da Figura 8.29 foi desenhado para auxiliar na escolha correta do diâmetro interno da mangueira.

##### Exercício

Determine o diâmetro interno apropriado para uma mangueira aplicada em uma linha de pressão com vazão de 16 GPM.

##### Solução

Localize na coluna da esquerda a vazão de 16 GPM e na coluna da direita a velocidade de 20 pés por segundo. Em seguida, trace uma linha unindo os dois pontos localizados e encontre na coluna central o diâmetro de 0,625 pol = 5/8".

Para linhas de sucção e retorno, proceda da mesma forma utilizando a velocidade recomendada para as mesmas.

O gráfico da Figura 8.29 foi construído baseado na seguinte equação:

$$D = \frac{Q \times 0.4081}{V}$$

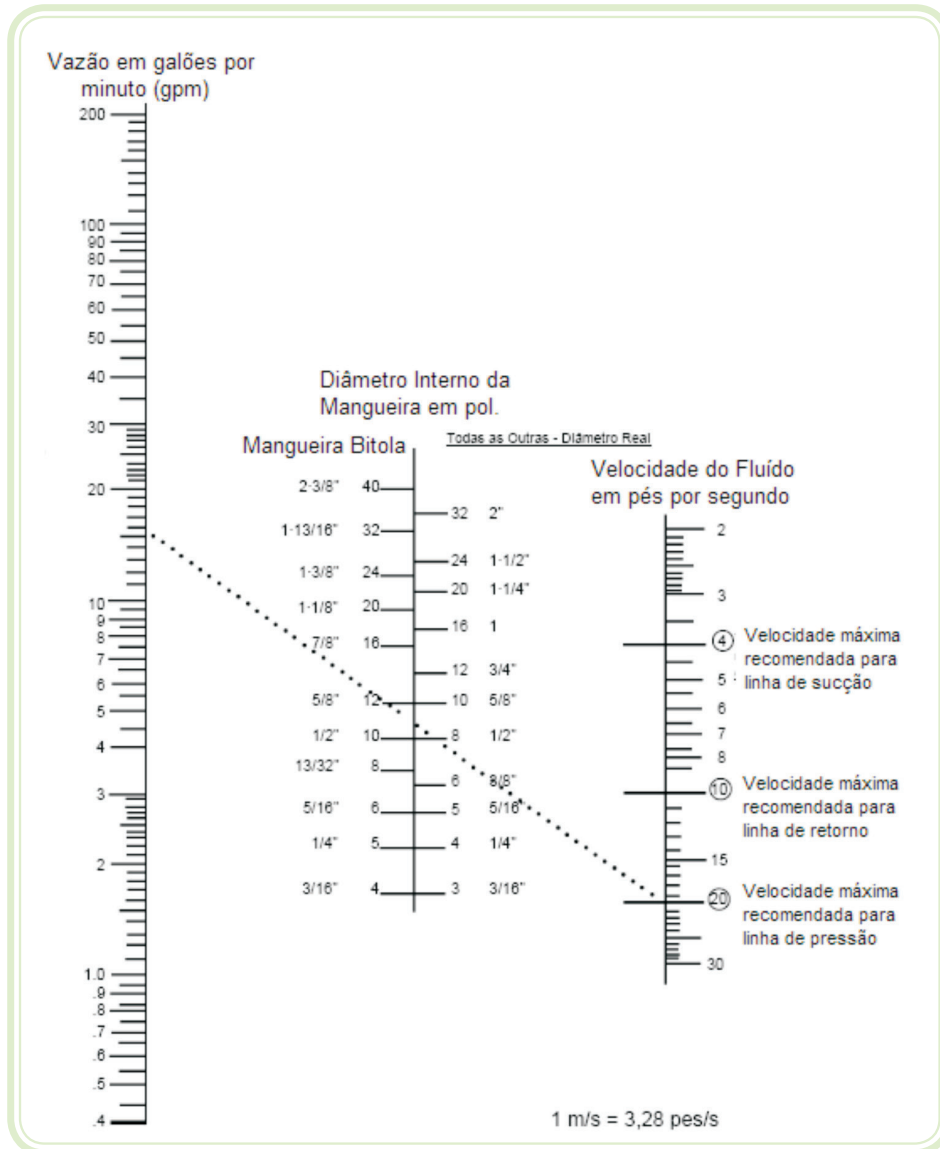
Onde:

Q = Vazão em galões por minuto (GPM).

D = Velocidade do fluido em pés por segundo.

V = Diâmetro da mangueira em polegadas.





**Figura 8.29: Gráfico para dimensionamento de mangueiras hidráulicas**

Fonte: CTISM

### 8.4.6 Bombas hidráulicas

São bombas de deslocamento positivo que fornecem determinada quantidade de fluido a cada rotação ou ciclo. Como nas bombas de deslocamento positivo, a vazão de saída do fluido independe da pressão, exceto pela influência de perdas e vazamentos internos. Por isso, são utilizadas para em equipamento industrial, em maquinaria de construção e aviação. As bombas hidrostáticas produzem fluxos de forma pulsátil, porém sem variação de pressão no sistema.

#### 8.4.6.1 Especificação de bombas

As bombas são, geralmente, especificadas pela capacidade de pressão máxima de operação e pelo seu deslocamento, em litros por minuto, em uma determinada rotação (rpm).

**Faixa de pressão de uma bomba** – é determinada pelo fabricante, baseada na vida útil da bomba.

**Observação** – se uma bomba for operada com pressões superiores às estipuladas pelo fabricante, sua vida útil será reduzida.

**Deslocamento** – é o volume de líquido transferido durante uma rotação. Pode ser expresso em centímetros cúbicos por rotação.

**Cavitação** – é a evaporação de óleo a baixa pressão na linha de sucção das bombas. Tem como consequência interferir na lubrificação e destruir a superfície dos metais.

No lado de sucção da bomba, as bolhas formam-se por todo o líquido. Conforme essas bolhas são expostas à alta pressão na saída da bomba, as paredes das bolhas rompem-se e geram toneladas de força por centímetro quadrado. O desprendimento da energia gerada pelo colapso das bolhas desgasta as superfícies do metal. Se a cavitação continuar, a vida da bomba será bastante reduzida e os cavacos desta migrarão para as outras áreas do sistema, prejudicando os outros componentes.

**Indicação de cavitação** – a melhor indicação de que a cavitação está ocorrendo é o ruído. O colapso simultâneo das bolhas causa vibrações de alta amplitude, que são transmitidas por todo o sistema e provocam ruídos estridentes gerados na bomba.

Durante a cavitação, ocorre também uma diminuição na vazão da bomba, porque as câmaras da bomba não ficam completamente cheias de líquido e a pressão do sistema se desequilibra.

**Causa da formação da cavitação** – as cavidades formam-se no interior do líquido porque este evapora (evaporação esta provocada pela alta temperatura do óleo hidráulico) e porque alcança uma pressão atmosférica absoluta muito baixa no bocal de sucção da bomba, devido à obstrução parcial ou nível do óleo muito baixo.

**Ar em suspensão** – o fluido hidráulico, ao nível do mar, é constituído de 10% de ar. O ar está em suspensão no líquido. Ele não pode ser visto e, aparentemente, não acrescenta volume ao líquido.

A capacidade de qualquer fluido hidráulico ou líquido de conter ar dissolvido diminui quando a pressão, que age sobre o mesmo, cresce. Por exemplo: se um recipiente com fluido hidráulico que tenha sido exposto à atmosfera fosse colocado numa câmara de vácuo, o ar dissolvido borbulharia para fora da solução.

As bombas hidráulicas mais comuns são: engrenagens, palhetas e pistões.

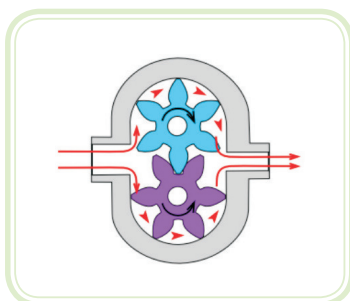
### 8.4.7 Bombas de engrenagem

Consistem basicamente de uma carcaça, com orifícios de entrada e de saída, e de um mecanismo de bombeamento composto de duas engrenagens. Uma das engrenagens, a engrenagem motora, é ligada a um eixo que é conectado a um elemento acionador principal. A outra engrenagem é a engrenagem movida.



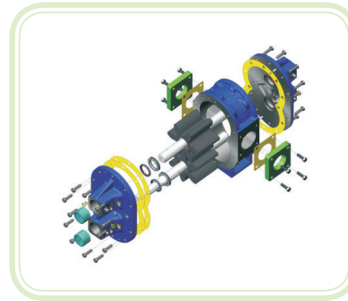
**Figura 8.31: Bomba de engrenagem**

Fonte: Emerald seed and supply



**Figura 8.32: Funcionamento de uma bomba de engrenagem**

Fonte: CTISM

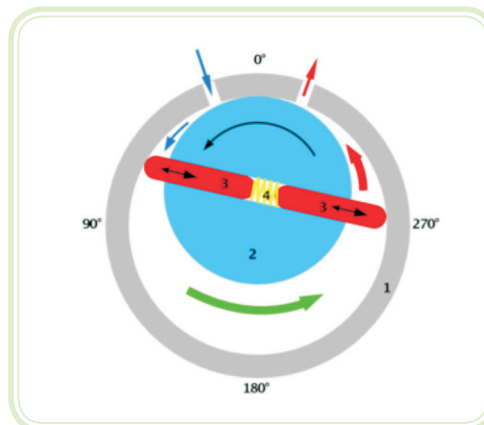


**Figura 8.33: Bomba de engrenagem, figura explodida**  
Fonte: Desconhecida

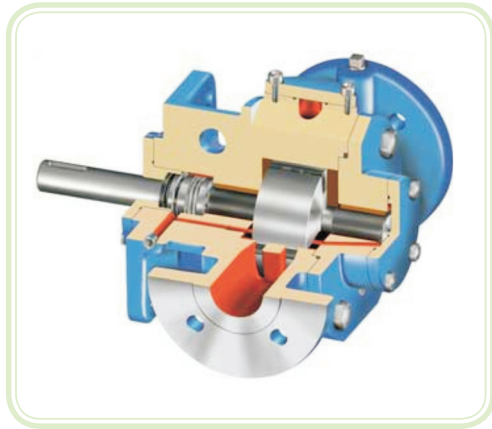
**Como funciona a bomba de engrenagem** – no lado da entrada, os dentes das engrenagens desengrenam, o fluido entra na bomba, sendo conduzido pelo espaço existente entre os dentes e a carcaça para o lado da saída onde os dentes das engrenagens engrenam e forçam o fluido para fora do sistema.

#### 8.4.8 Bombas de palheta

Produzem uma ação de bombeamento fazendo com que as palhetas acompanhem o contorno de um anel ou carcaça. O mecanismo de bombeamento de uma bomba de palheta consiste de rotor, palhetas, anel e uma placa de orifício com aberturas de entrada e saída.



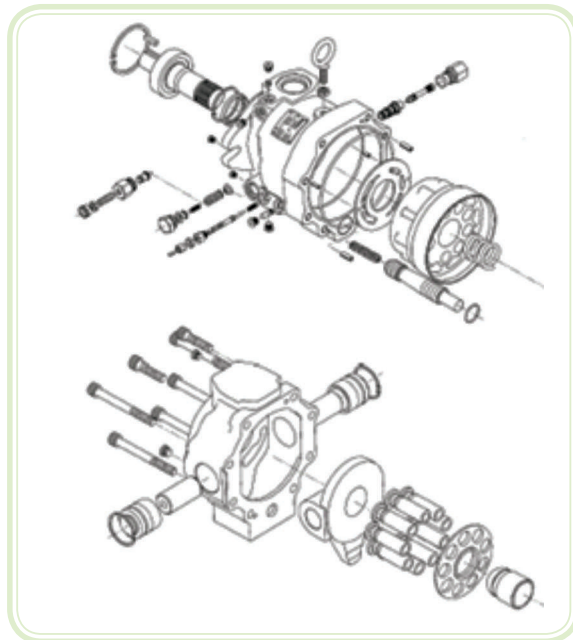
**Figura 8.34: Bomba de palheta**  
Fonte: [http://www.search.com/reference/Rotary\\_vane\\_pump](http://www.search.com/reference/Rotary_vane_pump)



**Figura 8.35: Funcionamento interno da bomba de palheta**  
Fonte: Tetralon

### 8.4.9 Bombas de pistão

Geram uma ação de bombeamento, fazendo com que os pistões se alterem dentro de um tambor cilíndrico. O mecanismo de bombeamento de uma bomba de pistão consiste basicamente de um tambor de cilindro, pistões com sapatas, placa de deslizamento, sapata, mola de sapata e placa de orifício.



**Figura 8.36: Bomba de pistão, figura explodida**  
Fonte: CTISM

## Resumo

Nesta aula estudamos os circuitos hidráulicos, vimos as principais diferenças entre sistemas pneumáticos e hidráulicos.

O sistema hidráulico apresenta equipamentos muito semelhantes ao sistema pneumático, mas como o hidráulico utiliza líquido (óleo) ao invés do ar, precisa de bomba para a sua circulação. Como o óleo é diferente do AC, necessita de filtros mais especializados bem como mangueiras mais resistentes.



## Atividades de aprendizagem

1. O termo HIDRÁULICA derivou-se da raiz grega HIDRO que tem o significado de água, ou seja, HIDRÁULICA é:
  - a) O estudo das características e uso dos fluidos derivados de petróleo.
  - b) O estudo do uso da água para todos os fins.
  - c) O estudo do uso da água para fins industriais.
  - d) O estudo das características e uso dos fluidos.
  - e) O uso do óleo hidráulico.
2. São exemplos de energia potencial:
  - a) Uma pilha ou uma bateria não conectada a um circuito, uma garrafa cheia de oxigênio gasoso, um fósforo acesso.
  - b) Uma pilha ou uma bateria conectada a um circuito, uma garrafa cheia de oxigênio gasoso, um fósforo acesso.
  - c) Uma pilha ou uma bateria conectada a um circuito, uma garrafa cheia de oxigênio gasoso, um reservatório cheio d'água.
  - d) Uma pilha ou uma bateria não conectada a um circuito, uma garrafa cheia de oxigênio gasoso, um reservatório cheio d'água.

**3.** Relacionar a primeira coluna com a segunda.

(A) Unidade para trabalho ( ) Newton.metro por segundo

(B) Unidade de potência ( ) Newton.metro

(C) Pressão ( ) Bar

( ) É a medida da intensidade de uma força

**4.** Quando é aplicada uma força de 100 kgf sobre um pistão de uma prensa hidráulica de 2 cm<sup>2</sup>, que está comunicado com um outro pistão com 5 cm<sup>2</sup>, teremos uma força resultante de:

**a)** 50 kgf

**d)** 200 kgf

**b)** 100 kgf

**e)** 250 kgf

**c)** 150 kgf

**5.** Manômetro é o instrumento que:

**a)** Mede a distância percorrida pelo cilindro hidráulico.

**b)** Mede a pressão absoluta.

**c)** Mede um diferencial de pressão.

**d)** Mede a pressão relativa.

**e)** Possui escala exclusivamente em Bar e PSI.

**6.** Marcar a resposta correta.

O óleo de uma central hidráulica foi alterado de 50 para 500 SSU. A influência da troca sobre a bomba será:

**a)** Nenhuma.

- b)** Talvez seja necessário aumentar a potência.
- c)** Talvez seja necessário diminuir a potência.
- d)** Somente as bombas de pistão são afetadas pela alteração da viscosidade.

**7.** O fluido hidráulico mais comum é:

- a)** Água mineralizada artificialmente.
- b)** Sintético.
- c)** À base de emulsão óleo-água.
- d)** À base de emulsão água-óleo.
- e)** À base de petróleo.

**8.** Marcar a resposta que está ERRADA.

As funções mais comuns do reservatório hidráulico são:

- a)** Conter ou armazenar o óleo.
- b)** Resfriar o óleo.
- c)** Suportar a pressão do retorno do óleo hidráulico.
- d)** Separar impurezas.
- e)** Des aerar óleo.

**9.** A finalidade do resfriamento do óleo é manter o fluido em condições ideais de uso. Dos métodos abaixo de resfriamento, o que seria mais eficiente quando a central está montada em um ambiente fechado é:

- a)** Resfriamento dimensionado para dissipação de calor somente pelas paredes do reservatório.



- b)** Resfriamento dimensionado para dissipação de calor pelas paredes do reservatório e através de um trocador de calor ar-ar instalado no ambiente.
- c)** Resfriamento dimensionado para dissipação de calor através de um trocador de calor ar-água instalado no ambiente.
- d)** Resfriamento dimensionado para dissipação de calor através de um trocador de calor ar-ar instalado no ambiente.

**10.** As bombas hidráulicas são genericamente classificadas como:

- a)** De engrenagens
- b)** Centrífugas
- c)** De pistão
- d)** Deslocamento positivo.

## Referências

BOLLMANN, A. **Fundamentos de Automação Industrial Pneumática**. São Paulo: ABHP, 1997.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2ª ed. revisada. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2008.

Festo Industrial. **Catálogos, Manuais e Simuladores Eletrônicos de Sistemas Pneumáticos Freeload**. Disponível em: <[www.festo.com.br](http://www.festo.com.br)>.

**Manuais de Programação de CLP's**. Disponível em: <[www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br)>.

**Manuais de Programação de CLP's**. Disponível em: <[www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)>.

**Manuais de Programação de CLP's, Sensores, Chaves**. Disponível em: <[www.rockwellautomation.com.br](http://www.rockwellautomation.com.br)>.

Parker Hannifin. **Catálogos, Polígrafos e Manuais**. Disponível em: <[www.parker.com.br](http://www.parker.com.br)>

Parker Hannifin. **Manual de Eletropneumática**. Disponível em: <[www.parker.com.br](http://www.parker.com.br)>.

Parker Hannifin. **Manual de Hidráulica Industrial**. Disponível em: <[www.parker.com.br](http://www.parker.com.br)>.

Parker Hannifin. **Manual de Pneumática**. Disponível em: <[www.parker.com.br](http://www.parker.com.br)>.

## Currículo do professor-autor

Professor do CTISM – Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, atuando em diversas áreas, com foco em automação e pneumática, é formado em Engenharia de Operações - Modalidade Mecânica - pela PUC/RS (1980), Mestrado em Engenharia de Produção pela UFSM (2005) e Doutorando pela UFRGS (início em 2009). Acumulou experiência profissional de mais de 25 anos na área industrial, antes de ingressar na carreira docente. Iniciou as suas atividades profissionais na área de projeto naval (máquinas e tubulações) ainda como técnico, em 1975.



Em 1979 assumiu as funções de projetista no Grupo Gerdau, na área de utilidades (gases, águas, combustíveis, corrosivos, vapor, etc), participando como líder de projetos das unidades de Sapucaia do Sul e Porto Alegre, iniciando suas atividades relacionadas diretamente com automação industrial. Após 4 anos foi transferido para a área de Utilidades como Supervisor, com os serviços de projeto, operação, manutenção e otimização de um setor com área de 3 km<sup>2</sup> e mais de 15.000 CV instalado em compressores, bombas, torres de refrigeração e caldeiras.

Em 1990 trabalhou nas áreas de estudo de projetos e detalhamento de projetos na COPESUL e REFAP.

Em 1992, assume a produção da Globo Inox, dedicando-se a construção da Primeira Queijaria Automática do Brasil, com tecnologia alemã e, volta-se integralmente aos projetos especiais, orientação de fabricação, montagem e posta em marcha da maior queijaria automática da América Latina (60.000 kg de queijo prato por dia). A fábrica opera com mais de 1000 cilindros pneumáticos, formando um sistema controlado por CLP's com mais de 800 pontos de entradas e saídas digitais, complementado por mais 10 queijarias especiais em todo o Brasil, sistemas de medição de leite eletroeletrônicos e outros.

Em 1995, ingressa no CTISM, na área de produção mecânica e em 1998, fixa-se na área de automação-hidráulica e pneumática, participando da constituição do maior laboratório didático do Brasil dedicado à pneumática.

Professor Sergio Adalberto Pavani

