

Introdução à Pneumática

Prof. Fernando Passold

2022/1

Sumário

1 Introdução	3
1.1 Características	3
1.1.1 Vantagens	3
1.1.2 Desvantagens	4
1.2 Rentabilidade de Equipamentos a Ar Comprimido	4
1.2.1 Trabalho com ar comprimido	6
1.2.2 O papel das fugas de ar comprimido	6
1.3 Fundamentos Básicos de Física	7
1.3.1 Grandezas físicas e algumas relações	8
1.3.2 Pressão	8
1.3.3 Propriedades do Ar	9
1.3.4 Lei de Boyle-Mariotte (temperatura constante)	10
1.3.5 Lei de Gay-Lussac (pressão constante)	10
1.3.6 Equação geral dos gases	10
2 Produção do Ar Comprimido	11
2.1 Introdução	11
2.2 Tipos de Compressores	11
2.2.1 Resumo	11
2.3 Critérios para Escolha de Compressores	11
2.3.1 Volume de ar fornecido	11
2.3.2 Pressão	11
2.3.3 Acionamento	13
2.3.4 Regulagem	13
2.4 Refrigeração	15
2.5 Local de montagem	16
2.6 Dimensionamento do Reservatório de Ar Comprimido	16
3 Distribuição do Ar Comprimido	19
3.1 Dimensionamento da Rede Condutora	19
3.2 Montagem da Rede de Distribuição	24

Listas de Figuras

1.1	Exemplo de aplicação de processo pneumático.	6
1.2	Diagrama de escape de ar.	7
1.3	Conceito de pressões relativas x absoluta.	9
2.1	Diagrama de volume e pressão fornecido por diferentes tipos de compressores.	12
2.2	Acionamento de compressores.	13
2.3	Acionamentos de compressores.	13
2.4	Regulagem por descarga.	14
2.5	Regulagem por fechamento.	14
2.6	Regulagem por garras.	15
2.7	Regulagem intermitente.	15
2.8	Refrigeração em compressores.	16
2.9	Reservatório de ar comprimido.	16
2.10	Diagrama para determinação de volume do reservatório de ar comprimido.	18
3.1	Monograma para determinação do diâmetro de tubos.	20
3.2	Monograma (diâmetro de tubo).	21
3.3	Monograma para determinação do "comprimento equivalente".	23
3.4	Monograma para determinação do "comprimento equivalente".	24

Lista de Tabelas

1.1	Grandezas básicas físicas.	8
1.2	Grandezas derivadas	8
2.1	Tipos de regulagem em compressores.	13

Tópicos Previstos

1. Introdução

- 1.1. A Técnica do Ar Comprimido
- 1.2. Características do Ar Comprimido
- 1.3. Rentabilidade de Equipamentos a Ar Comprimido
- 1.4. Fundamentos Básicos de Física

2. Produção do Ar Comprimido

- 2.1. Instalação de Produção
- 2.2. Tipos de Compressores
- 2.3. Critérios para Escolha de Compressores

3. Distribuição do Ar Comprimido

- 3.1. Dimensionamento da Rede Condutora
- 3.2. Montagem da Rede de Distribuição de Ar Comprimido
- 3.3. Material da Tubulação
- 3.4. Conexões para Tubulações

4. Preparação do Ar Comprimido

- 4.1. Impurezas
- 4.2. Filtros de Ar Comprimido
- 4.3. Regulador de Pressão
- 4.4. Lubrificador de Ar Comprimido
- 4.5. Unidade de Conservação

5. Elementos Pneumáticos de Trabalho

- 5.1. Elementos de Função Retilínea (Cilindro)
- 5.2. Tipos de Fixação
- 5.3. Construção do Cilindro
- 5.4. Cálculos dos Cilindros
- 5.5. Elementos Pneumáticos de Trabalho de Ação Rotativa

6. Unidades de Construção Especial

- 6.1. Cilindro com Bloco de Comando Pneumático Incorporado
- 6.2. Sistemas Hidropneumáticos
- 6.3. Alimentador de Avanço Compassado
- 6.4. Mesa Giratória
- 6.5. Dispositivo de Fixação por Pinças

6.6. Mesa de Almofada de Ar

7. Válvulas

7.1. Generalidades

7.2. Válvulas Direcionais

7.2.1. Simbologia

7.2.2. Tipos de Açãoamento

7.2.3. Características Construtivas

7.2.4. Cálculos de Vazão em Válvulas

7.3. Outras Válvulas

7.3.1. Válvulas de Bloqueio

7.3.2. Válvulas de Retenção

7.3.3. Válvula Alternadora (Função Lógica "Or")

7.3.4. Válvula de Dupla Pressão (Função Lógica "And")

7.3.5. Válvula Reguladora de Fluxo

7.3.6. Válvula de Escape

7.3.7. Válvulas Reguladoras de Pressão

7.3.8. Válvula de Sequência

7.3.9. Válvulas de Fluxo (Vazão)

7.3.10. Válvulas de Fechamento

7.3.11. Válvula Retardadora (Temporizador)

7.4. Equipamentos para Comandos Programados

8. Exemplos Práticos

8.1. Exemplo 1) Distribuidor de Caixas

8.2. Exemplo 2) Açãoamento de um Registro de Dosagem

8.3. Exemplo 3) Comando de Caçamba de Fundição

8.4. Exemplo 4) Distribuidor de Esferas (Alimentador Vertical)

8.5. Exemplo 5) Colagem de Peças de Material Plástico

8.6. Exemplo 6) Prensa Pneumática

8.7. Exemplo 7) Controle de Tampas de Fechamento para Latas

9. Construção de Esquemas de Comando

9.1. Sequência de Movimentos

9.2. Diagrama de Trajeto e Passo

9.3. Diagrama de Trajeto de Tempo

9.4. Diagrama de Comando

9.5. Exemplos

10. Eletropneumática

10.1. Introdução

10.2. Conversão Pneumática Elétrica de Sinais

10.3. Conceitos Iniciais

10.4. Elementos

10.5. Esquemas Elétricos

10.6. Exemplos

Capítulo 1

Introdução

O ar comprimido é provavelmente uma das mais antigas formas de transmissão de energia que o homem conhece, empregada e aproveitadas para ampliar sua capacidade física.

O reconhecimento da existência física do ar, bem como a sua utilização maior ou menos consciente para o trabalho, são comprovados há milhares de anos.

O primeiro homem que com certeza, sabemos ter-se interessado pela pneumática, isto é, o emprego do ar comprimido como meio auxiliar de trabalho, foi o grego Ktsibios. Há mais de 2 mil anos, ele construiu uma catapulta a ar comprimido. Um dos primeiros livros sobre o emprego do ar comprimido como transmissão de energia, data do 1º século D.C. e descreve equipamentos que foram acionados com ar aquecido.

Dos antigos gregos provém a expressão “*pneuma*” que significa fôlego, vento e, filosoficamente, alma.

Derivado da palavra “*pneuma*”, surgiu, entre outros, o conceito de “pneumática”: a área do conhecimento que trata do movimento e fenômenos dos gases.

Embora a base da pneumática seja um dos mais velhos conhecimentos da humanidade, foi preciso aguardar o século XIX para que o estudo de seu comportamento e características se tornasse sistemático. Porém, pode-se dizer que somente após 1950 é que esta área foi realmente introduzida à nível industrial.

Antes já existiam alguns campos de aplicação e aproveitamento da pneumática, como por exemplo: a indústria mineira, a da construção civil e a indústria ferroviária (freios a ar comprimido).

A implementação de forma mais generalizada da pneumática na indústria começou com a necessidade, cada vez maior, de automatização e racionalização dos processos produtivos.

Apesar de sua rejeição inicial, quase sempre proveniente da falta de conhecimento, esta área foi aceita e o número de áreas de aplicação se expandiu consideravelmente.

Atualmente, o ar comprimido tornou-se indispensável e é empregada em diferentes setores industriais na forma de diferentes aparelhos pneumáticos.

1.1 Características

Entre as principais características associadas com a área de pneumática pode-se destacar que nenhum outro elemento auxiliar pode ser adotado de forma tão simples e rentável para solucionar problemas de automação.

1.1.1 Vantagens

Disponibilidade: o ar a ser comprimido se encontram em quantidade ilimitadas, praticamente em todos os lugares.

Transporte: o ar comprimido é facilmente transportável por tubulações, mesmo para distâncias consideravelmente grandes. Não há necessidade de se preocupar com o retorno do ar.

Armazenamento: no local não é necessário que o compressor esteja em funcionamento contínuo. O ar pode ser sempre

armazenado em um reservatório e posteriormente tirado de lá. Além disto é possível o transporte em reservatórios (botijões).

Temperatura: o trabalho realizado com ar comprimido é insensível às oscilações de temperatura. Isto garante, também em situações térmicas extremas, um funcionamento seguro.

Segurança: não existe o perigo de explosão ou de incêndio. Portanto não são necessárias custosas proteções contra explosões.

Limpeza: o ar comprimido é limpo. O ar, que eventualmente escapa da tubulações ou outros elementos inadequadamente vedados, não polui o ambiente. Esta limpeza é uma exigência por exemplo, nas indústrias alimentícias, madeireiras, têxteis e curtumes.

Construção: os elementos de trabalho são de construção simples e portanto, de custo vantajoso.

Velocidade: o ar comprimido é um meio de trabalho muito veloz que permite alcançar altas velocidades de trabalho. A velocidade de trabalho em cilindros pneumáticos oscila entre 1 à 2 m/s.

Regulagem: as velocidades e forças dos elementos a ar comprimido são reguláveis sem escala.

Seguro contra sobrecargas: elementos e ferramentas a ar comprimido são carregáveis até a parada final e portanto, seguros contra sobrecarga.

1.1.2 Desvantagens

Para poder limitar corretamente os campos de aplicação da pneumática, convém também se conhecer as características negativas da mesma.

Preparação: o ar comprimido exige uma boa preparação. Impurezas e umidade devem ser evitados pois provocam o desgaste nos elementos pneumáticos.

Compressibilidade: não é possível se manter uniforme e constante, as velocidade de pistões quando se usa ar comprimido.

Forças: o ar comprimido é econômico somente até certa força. O limite prático fica em torno de 20.000 à 30.000 Newtons (ou 2.000 à 3.000 Kp em aplicações diretas nos cilindros), quando se usa pressão "normal" de trabalho de 7 bar (pressão absoluta). Este parâmetro também varia com o curso e velocidade dos elementos envolvidos no circuito pneumático.

Escape de ar: o escape do ar é ruidoso, mas com a incorporação de silenciadores, este problema pode ser atenuado.

Custos: o ar comprimido é uma fonte de energia custosa. Mas o alto custo de energia será em grande parte compensado por elementos de valor vantajoso e pela rentabilidade do ciclo de trabalho.

1.2 Rentabilidade de Equipamentos a Ar Comprimido

Em consequência da automatização e racionalização, a energia humana foi substituída por outras formas energéticas. Trabalhos antigamente feitos pelo homem agora estão sendo realizados mediante o emprego de ar comprimido.

Exemplos:

Deslocamento de volumes pesados, acionamento de alavancas, contagem de peças.

O ar comprimido embora muito vantajoso é um elemento energético relativamente caro. A produção e armazenagem, bem como a distribuição de ar comprimido às máquinas e dispositivos, implica um alto custo. Esta realidade cria em geral, a impressão de que a adoção de equipamentos a ar comprimido está relacionado com custos elevadíssimos. Mas esta é uma impressão errônea, pois, para um cálculo de rentabilidade real, não se considera somente o consumo da energia empregada, mas sim, os custos gerais acumulados.

Verifica-se que na maioria dos casos, os custos da energia empregada são insignificantes em relação a remunerações, custos de investimento e manutenção.

Exemplo₁:

Seguem os cálculos dos custos associados com a operação de um circuito pneumático que engloba: a instalação de 2 compressores, 1 acumulador (reservatório), torre de resfriamento, bombas de água refrigerante, ventiladores, rede de água refrigerante, instalação elétrica e rede distribuidora do ar comprimido para um estabelecimento com aproximadamente 600 empregados.

Obs.: para efeito de cálculo, considerar o período de 1 ano.

Cálculo do custo devido ao investimento

Depreciação do Equipamento	R\$ 200.000,00
Depreciação local	R\$ 10.000,00
Custo fixo anual	R\$ 210.000,00

(1)

Mais detalhes: em 1 ano foram anotadas 3003 horas de trabalho. Deste total, 2231 horas eram tempo de comprimir, 772 horas, tempo de marcha em vazio. Os compressores trabalharam aproximadamente 12 horas por dia.

Cálculo dos custos correntes durante o ano:

Custo de energia elétrica (tempo de comprimir)	2231 horas	R\$ 77.000,00
Custo de energia elétrica (marcha em vazio)	772 horas	R\$ 28.000,00
Gasto de óleo	170 litros	R\$ 13.910,00
Água para resfriamento	303 m ³ /ano	R\$ 2.030,00
Manutenção/Conservação		R\$ 71.000,00
Conserto		R\$ 10.000,00
	Sub-total	R\$ 201.940,00

(2)

Custos totais:

Custos fixos por ano (1)	R\$ 210.000,00
Custos correntes por ano (2)	R\$ 201.940,00
Total	R\$ 411.940,00

(3)

Capacidade de produção de ar comprimido:

Por hora serão aspirados 1040 m³ de ar.

Para 2231 horas de comprimir, obter-se-ão para um ano:

$$2231 \text{ horas} \times 1040 \text{ m}^3 \cong 2.320.000 \text{ m}^3$$

Custo por m³:

$$R\$ 411.940,00^{(3)} / 2.320.000 \text{ m}^3 \cong R\$ 0,18 / \text{m}^3$$

O custo de 1 m³ de ar é então de $\cong R\$ 0,18$ – considerando aproveitamento da capacidade da instalação de 75%.

Exemplo₂:

Mesmas condições anteriores mas neste caso se considera aproveitamento de 80%.

A instalação de compressão funciona 23 horas/dia (parte devido a trabalho em turnos, parte devido a controles permanentes e parte devido à compensação de ar em exaustão).

Em 245 dias teremos completado: 245 dias \times 23 horas = 5640 horas de trabalho.

Considerando aproveitamento de 80%, teremos como tempo de comprimir:

$$\frac{5640 \times 80}{100} = 4512 \text{ horas.}$$

Como tempo de marcha em vazio, temos 200 horas.

Cálculo de custo para a instalação:

Custo fixo por ano	R\$ 210.000,00
Custo de energia elétrica, tempo de comprimir (4512 horas)	R\$ 155.700,00
Custo de energia elétrica, marcha dem vazio dos compressores	R\$ 7.200,00
Custo de óleo (295 litros)	R\$ 24.130,00
Água de refrigeração (500 m ³ /ano)	R\$ 3.340,00
Manutenção/conservação	R\$ 71.000,00
Conserto	R\$ 20.000,00
	Total R\$ 491.370,00

(4)

Segue cálculo da capacidade de produção de ar comprimido:

Por hora serão aspirados 1.040 m³ de ar.

Para 4.512 horas de comprimir, obter-se-ão:

$$4512 \text{ horas} \times 1040 \text{ m}^3 = 4.692.480 \text{ h m}^3 \quad (5)$$

Custo por m³:

$$\text{R\$ } 491.370,00^{(4)} / 4.692.480^{(5)} = \text{R\$ } 0,10 / \text{m}^3$$

Neste caso, o custo da ar comprimido caiu para R\$ 0,10.

Em média temos portanto, um custo de R\$ 0,15/m³ para compressão de ar a 6 bar.

1.2.1 Trabalho com ar comprimido

Exemplo₃: Pergunta-se qual o trabalho que pode ser realizado com 1 m³ de ar?

Neste caso um cilindro com diâmetro de 35 mm, levanta volumes de 200 N (20 Kg) de peso. Um segundo cilindro da mesma medida, empurra os volmes para uma esteira transportadora – ver fig. 1.1.

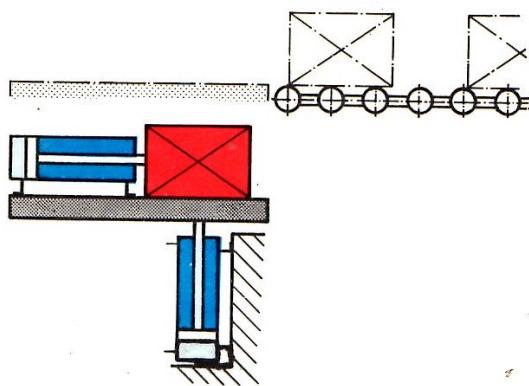


Figura 1.1: Exemplo de aplicação de processo pneumático.

A força executada a uma pressão de 6 bar (padrão; valor comumente adotado) é de 520 N (52 Kg).

Curso do cilindro 1 = 400 mm

Curso do cilindro 2 = 200 mm

Para ambos os cilindros serão necessários 8 L de ar por curso duplo (para cima e para baixo). Com 1 m³ podem portanto, ser levantados e empurrados para a esteira transportadora, 125 volumes.

* * *

Este último exemplo mostra que com o emprego do ar comprimido em ramos industriais, pode-se reduzir a utilização de custosa energia humana.

O ar comprimido deve ser utilizado especialmente para a realização de trabalhos monótonos, pesados e repetitivos.

1.2.2 O papel das fugas de ar comprimido

Porém os custos de ar comprimido podem crescer consideravelmente por não se estar atento o suficiente quanto a existência de vazamentos de ar na rede de distribuição

O diagrama da fig. 1.2 permite estimar o volume que pode escapar por uma determinada seção de abertura, a uma determinada pressão.

Exemplo₁: um furo de 3,5 mm de diâmetro resulta, a uma pressão de 6 bar, no escape de um volume de 0,5 m³/min. Em uma hora serão perdidos: 30 m³ de ar – notar linhas em vermelho destacadas na figura anterior.

Exemplo₂: devido a um gaxetamento solto, forma-se uma abertura circular de 0,06 mm em toda a circunferência do fuso de uma válvula de 20 mm de diâmetro. Esta falha corresponde a uma abertura de escape de 2 mm de diâmetro, com uma

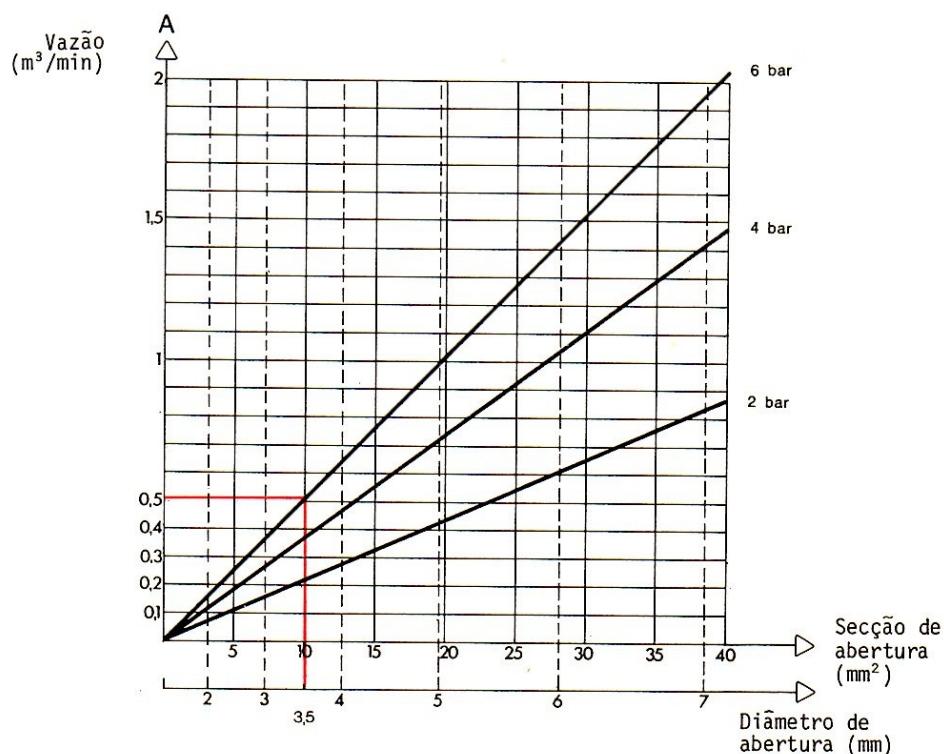


Figura 1.2: Diagrama de escape de ar.

perda de ar de aproximadamente $0,2 \text{ m}^3/\text{min}$. O resultado à pressão de 6 bar, é de $12 \text{ m}^3/\text{hora}$. O ar também escapa durante os intervalos de trabalho, resultando assim numa perda diária de 290 m^3 . Considerando-se o custo de produção de R\$ 0,15 por m^3 , esta abertura de escape custa R\$ 43,50 por dia.

Estes exemplos mostram que a eliminação dos pontos de escape eleva bastante a rentabilidade do ar comprimido.

1.3 Fundamentos Básicos de Física

A superfície terrestre é totalmente cercada por uma camada de ar. Este ar é uma mistura gasosa composta por:

- Nitrogênio – aproximadamente 78% do volume;
- Oxigênio – aproximadamente 21% do volume.

Além disto, o ar contém também vestígios de dióxido de carbono, argônio, hidrogênio, neônio, hélio, criptônio e xenônio.

Para melhor compreender as leis e o estado do ar, devemos antes de tudo considerar as grandezas físicas e sua classificação nos sistemas de medidas.

Na área de pneumática ainda perdura o "Sistema técnico de medição" e o novo "Sistema (Padrão) Internacional" que visa definir um único sistema de medição.

As próximas tabelas 1.1 e 1.2 relacionam conceitos e grandezas da área de pneumática.

Grandezas	Símbolo	Unidades e seus símbolos	
		"Sistema técnico"	"Sistema Internacional"
Comprimento	<i>L</i>	metro (m)	metro (m)
Massa	<i>m</i>	Kilograma (Kg)	Kilograma (Kg)
Tempo	<i>t</i>	segundos (s)	segundos (s)
Temperatura	<i>T</i>	graus Celsius (°C)	Kelvin (K)
Corrente (elétrica)	<i>i</i>	ampére (A)	ampére (A)
Intensidade luminosa			Candela (cd)

Tabela 1.1: Grandezas básicas físicas.

Grandezas	Símbolo	Unidades e seus símbolos	
		"Sistema técnico"	"Sistema Internacional"
Massa	<i>m</i>	$\frac{Kp \cdot s^2}{m}$	-
Força	<i>F</i>	Kilopond (Kp)	Newton (N): $1N = \frac{1Kg \cdot m}{s^2}$
Área	<i>A</i>	metro quadrado (m^2)	metro quadrado (m^2)
Volume	<i>V</i>	metro cúbico (m^3)	metro cúbico (m^3)
Fluxo (vazão)	<i>Q</i>	(m^3/s)	(m^3/s) pascal (Pa)
Pressão	<i>p</i>	atmosfera (at) (Kp/cm^2)	$1Pa = \frac{1N}{m^2}$ bar (bar) 1 bar = 10^5 Pa

Tabela 1.2: Grandezas derivadas

1.3.1 Grandezas físicas e algumas relações

Seguem algumas relações entre o sistema internacional o sistema técnico:

Lei de Newton: Força = massa · aceleração

$$F = m \cdot a$$

onde a aceleração da gravidade, $g = 9,81m/s^2$.

1 Kg é a massa da peça-protótipo guardada em Paris, que corresponde ao peso de 1 dm³ de água destilada a temperatura de 4,2°C.

1 Kp é a força que uma massa de 1 Kg faz sobre uma base.

Algumas equivalências entre sistemas de medida:

Massa: $1Kg = \frac{1}{9,81} \cdot \frac{Kp \cdot s^2}{m}$

Força: $1 (Kp) = 9,81 (N)$
para cálculos aproximados, pode-se usar:
 $1 Kp \cong 10 N$.

Temperatura: Diferença de temperatura: $1^\circ C = 1 K$ (Kelvin)
Ponto zero: $0^\circ C = 273 K$ (Kelvin)

1.3.2 Pressão

Além das unidades de pressão já mencionadas (at no sistema técnico, bar e Pascal no sistema SI), outras expressões ainda podem ser usadas frequentemente:

- Atmosfera, [at]
(pressão absoluta no sistema técnico)
 $1 at = 1 Kp/cm^2 = 0,981$ bar

2. Pascal, [Pa]

Bar, [bar]

(pressão absoluta no padrão SI)

$$1 \text{ Pa} = \frac{1\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = \frac{10^5\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar} = 1,02 \text{ at}$$

3. Atmosfera física, [atm]

(pressão absoluta no sistema físico)

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ at} = 1,013 \text{ bar}$$

4. Coluna de água, [mm H₂O]

$$10.000 \text{ mm H}_2\text{O} = 1 \text{ at} = 0,981 \text{ bar}$$

5. Coluna de mercúrio, [mm Hg (corresponde a unidade de pressão [Torr])]

$$1 \text{ mm Hg} = 1 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ at} = 736 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ bar} = 750 \text{ Torr (Torricelli)}$$

Obs.: Como tudo na terra depende da pressão atmosférica, ela não é "sentida".

Considera-se a pressão atmosférica absoluta como o ponto "zero" (ou a referência), ou então:

sobrepressão atmosférica = atü (pressão relativa) ou
depressão atmosférica = atü (vácuo)

O gráfico abaixo (fig 1.3) ilustra as explicações anteriores:

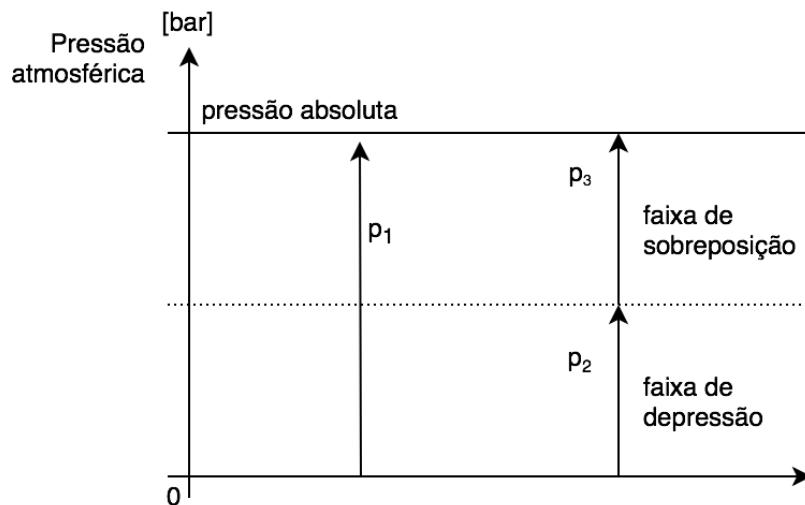


Figura 1.3: Conceito de pressões relativas x absoluta.

A pressão do ar não é sempre constante. Ela varia de acordo com a situação geográfica e as condições atmosféricas.

A faixa compreendida entre a linha do zero absoluto e a linha variável da pressão do ar é denominada de faixa de depressão e a faixa que está acima desta linha, denomina-se de sobrepressão.

A pressão absoluta p_1 é constituída pela pressão p_2 e pela pressão p_3 . Na prática, geralmente são usados medidores que acusam o valor da sobrepressão p_3 . Na indicação da pressão p_1 , o valor marcado é aumentado em 1 bar.

Com a ajuda das grandezas básicas apresentadas é possível explicar as principais características físicas do ar.

1.3.3 Propriedades do Ar

Compressibilidade blá-blá-blá

1.3.4 Lei de Boyle-Mariotte (temperatura constante)

Equação:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_3 \dot{V}_3 = cte$$

1.3.5 Lei de Gay-Lussac (pressão constante)

Equação:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

1.3.6 Equação geral dos gases

Equação:

$$P \cdot V = V \cdot \rho \cdot R \cdot T$$

Capítulo 2

Produção do Ar Comprimido

2.1 Introdução

2.2 Tipos de Compressores

2.2.1 Resumo

A fig. 2.1 indica as capacidades, em quantidade aspirada e pressão alcançada, para alguns tipos de compressor.

2.3 Critérios para Escolha de Compressores

2.3.1 Volume de ar fornecido

O volume de ar fornecido é a quantidade de ar que está sendo fornecido pelo compressor. Existem 2 diferentes indicações de volume fornecido:

1. Volume fornecido teórico;
2. Volume fornecido efetivo

O produto do "volume cilíndrico × rotação" é o volume fornecido teórico.

O volume fornecido efetivo depende da construção do compressor. Um papel importante é desempenhado pela eficiência volumétrica.

Apenas o volume efetivo fornecido pelo compressor é que interessa, pois com este é que são acionados e comandados os equipamentos pneumáticos, mas, mesmo assim, muitos fabricantes de compressores baseiam os dados técnicos no valor teórico.

O volume é indicado em m³/min ou m³/hora.

2.3.2 Pressão

Distinções:

Pressão de regime: é a pressão fornecida pelo compressor, bem como a pressão do reservatório e a pressão distribuidora até o consumidor.

Pressão de trabalho: é a pressão necessária nos pontos de trabalho.

A pressão de trabalho é geralmente de 6 bar e os elementos de trabalho estão construídos para esta faixa, que é considerada quase como uma "pressão normalizada" ou "pressão econômica".

Importante: uma pressão constante é uma exigência para um funcionamento seguro e preciso. Isto depende de:

- Velocidade;
- Forças;
- Movimentos temporizados dos elementos de trabalho e de comando.

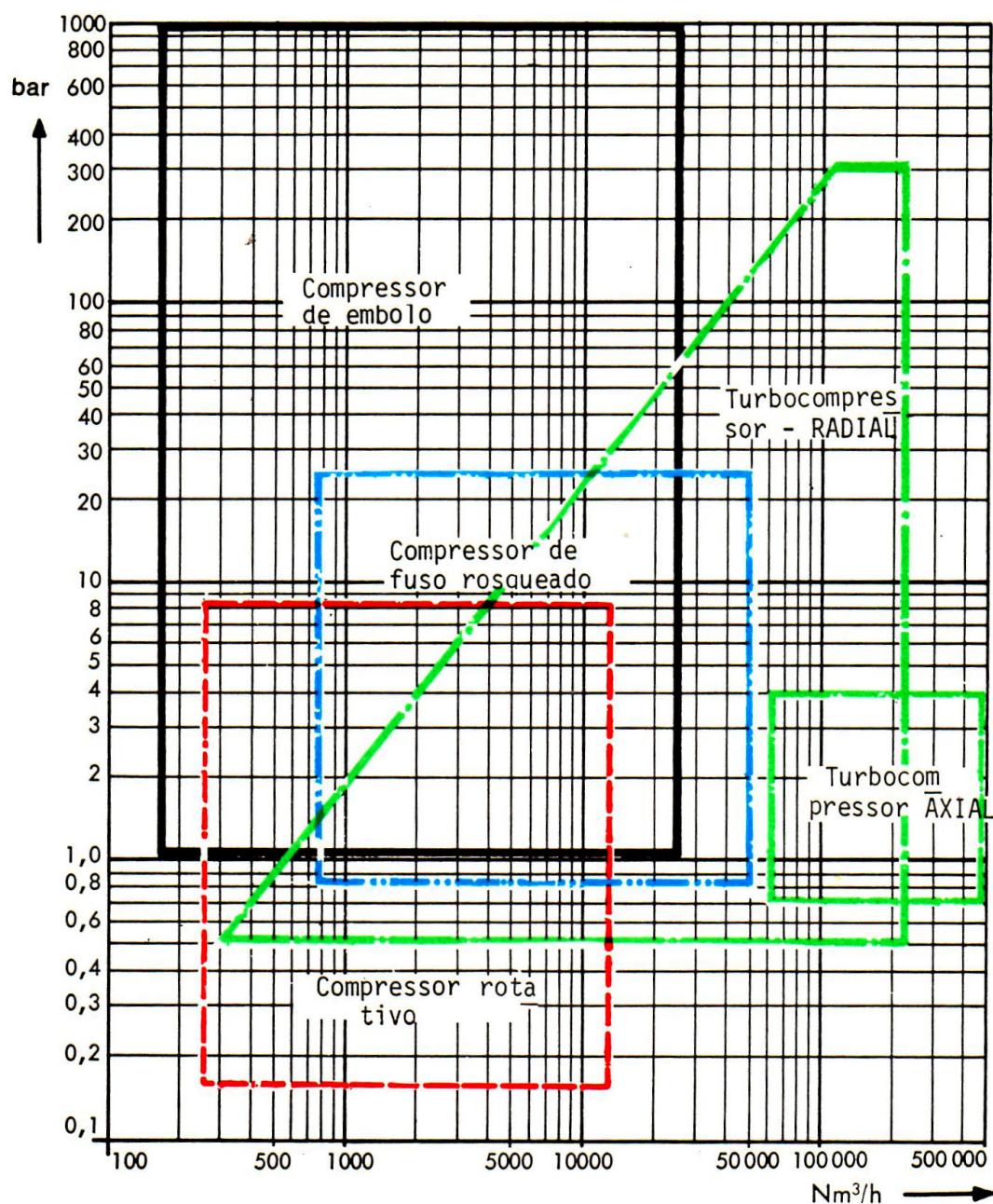


Figura 2.1: Diagrama de volume e pressão fornecido por diferentes tipos de compressores.

2.3.3 Acionamento

O acionamento dos compressores, conforme as necessidades fabris, será por motor elétrico ou motor a explosão. Em instalações industriais, aciona-se na maioria dos cados, com motor elétrico – ver fig. 2.2.

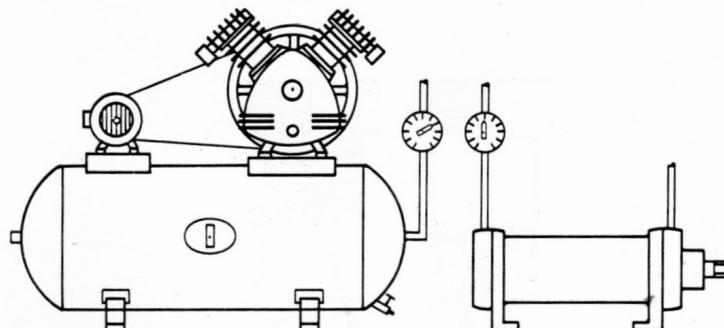


Figura 2.2: Acionamento de compressores.

Tratando-se de uma estação móvel, emprega-se para o acionamento, geralmente um motor a explosão (gasolina, óleo diesel) – ver fig. 2.3 (b).

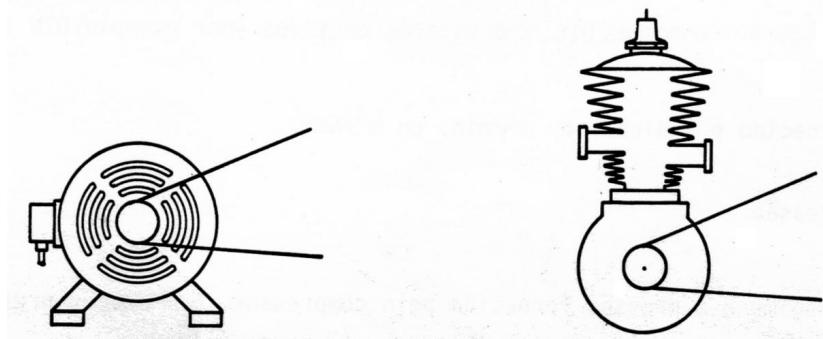


Figura 2.3: Acionamentos de compressores.

2.3.4 Regulagem

Para combinar o volume de fornecimento com o consumo de ar é necessário uma regulagem dos compressores.

Dois valores limites preestabelecidos (pressão máxima/mínima), influenciam o volume fornecido.

Existem diferentes tipos de regulagem – ver tabela 2.1.

Regulagem de marcha em vazio	Regulagem de carga parcial	Regulagem intermitente
a) Regulagem por descarga b) Regulagem por fechamento c) Regulagem por garras	a) Regulagem na rotação b) Regulagem por estrangulamento	

Tabela 2.1: Tipos de regulagem em compressores.

Regulagem de marcha vazia

a) Regulagem por descarga

Quando alcançada a pressão pré-regulada, o ar escapará livre da saída do compressor através de uma válvula. Uma válvula de retenção evita que o reservatório se esvazie ou retorne para o compressor – ver fig. 2.4.

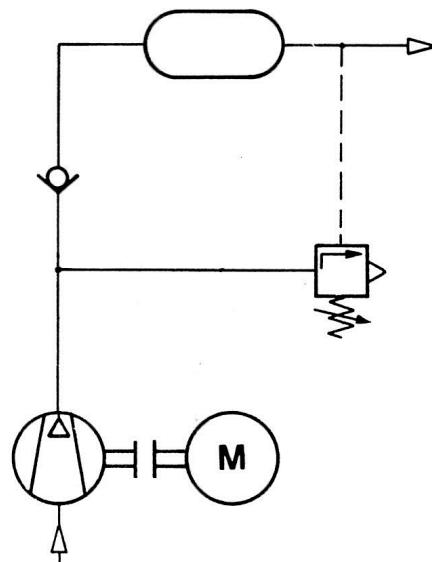


Figura 2.4: Regulagem por descarga.

b) Regulagem por fechamento

Nesta regulagem se fecha o lado da sucção. O compressor não pode mais aspirar e funciona só em vazio (estado sem pressão). Esta regulagem é encontrada especialmente em compressores de êmbolo rotativo e também em compressores de êmbolo de movimento linear – ver fig. 2.5.

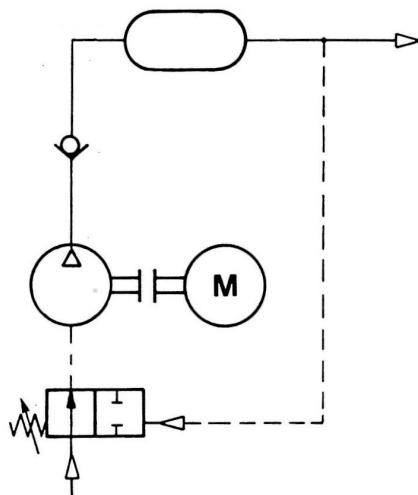


Figura 2.5: Regulagem por fechamento.

c) Regulagem por garras

Esta é empregada em compressores de êmbolo. Mediante garras, mantém-se aberta a válvula de sucção, evitando assim que o compressor continue comprimido – ver fig. 2.6. A regulagem é muito simples.

Regulagem de carga parcial

a) Regulagem por rotação

Sobre um dispositivo, ajusta-se o regulador de rotação do motor a explosão. A regulagem da rotação pode ser feita manualmente ou também automaticamente, dependendo da pressão de trabalho.

Em acionamento elétrico, regula-se a rotação em escala, mediante motores de pólos comutáveis. Este sistema porém, não é muito usado (1979).

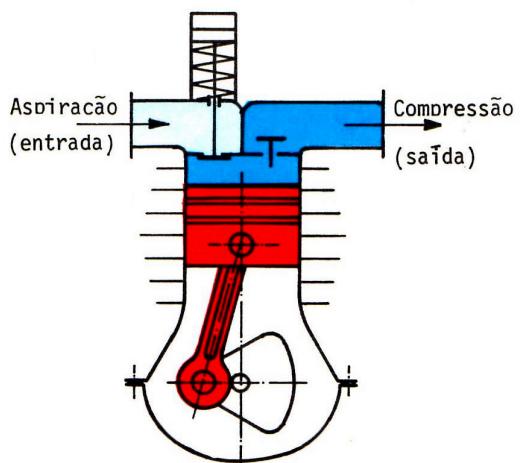


Figura 2.6: Regulagem por garras.

b) Regulagem por estrangulamento

A regulagem se faz mediante simples estrangulamento no funil de sucção e os compressores podem assim ser regulados para determinadas cargas parciais. Encontra-se regulagem em compressores de êmbolo rotativo e em turbocompressores.

c) Regulagem Intermittente

Com esta regulagem, o compressor funciona em 2 situações: carga máxima e parada total.

Ao alcançar a pressão máxima, o motor acionador do compressor é desligado e quanto a pressão atinge o valor mínimo, o motor se liga novamente e o compressor trabalha outra vez – ver fig. 2.7.

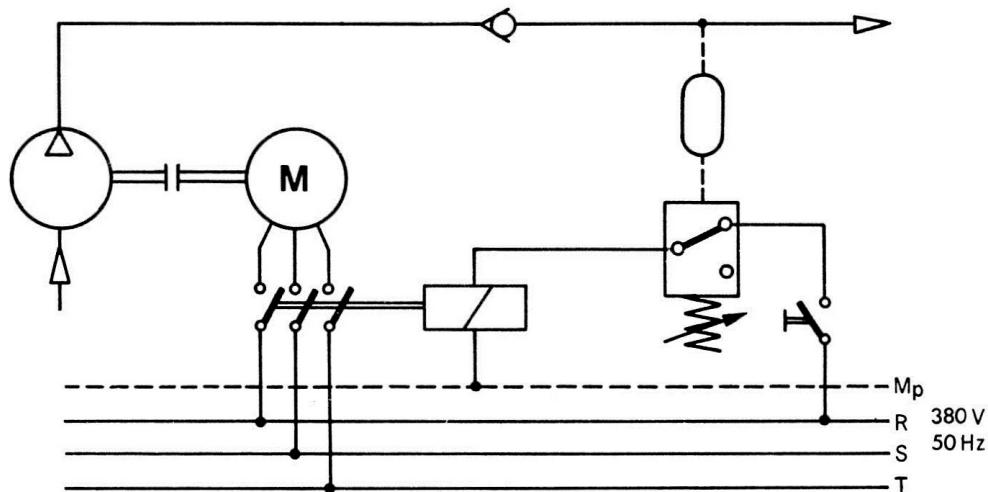


Figura 2.7: Regulagem intermitente.

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

2.4 Refrigeração

Provocado pela compressão do ar e pelo atrito, cria-se calor no compressor, o qual deve ser dissipado. Conforme o grau de temperatura no compressor, é necessário escolher a refrigeração mais adequada – ver fig. 2.8.

Em compressores pequenos, serão suficientes palhetas de aeração, para que o calor seja dissipado (fig. 2.8 (b)). Já compressores maiores são equipados com ventilador para dissipar o calor.

Tratando-se de uma estação de compressores com uma potência de acionamento de até 30 KW (40 HP), uma refrigeração a ar seria suficiente. Compressores maiores devem então se equipados com uma refrigeração a água circulante ou

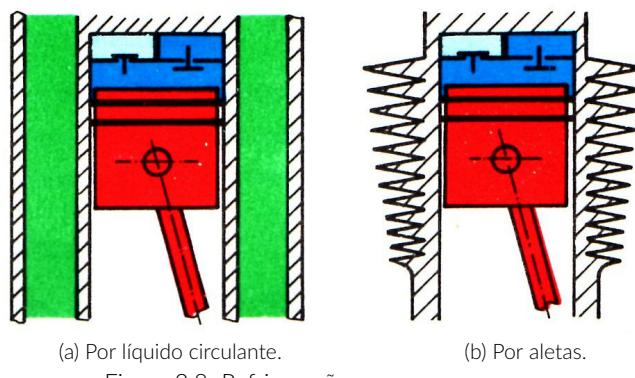


Figura 2.8: Refrigeração em compressores.

água contínua – ver fig. 2.8 (a). Frequentemente não é levada em consideração uma instalação de refrigeração completa, com torre de resfriamento, devido ao seu alto custo, porém, uma refrigeração adequada prolonga em muito a vida útil do compressor e produz um ar melhor refrigerado, o que, em certas circunstâncias, torna desnecessária uma refrigeração posterior, ou a mesma pode ser feita com menor esforço.

2.5 Local de montagem

A estação de compressores deve ser montada dentro de um ambiente fechado, com proteção acústica para fora. O ambiente deve ter boa aeração. O ar sugado deve ser fresco, seco e livre de poeira.

2.6 Dimensionamento do Reservatório de Ar Comprimido

A figura 2.9 mostra de forma genérica um reservatório de ar comprimido.

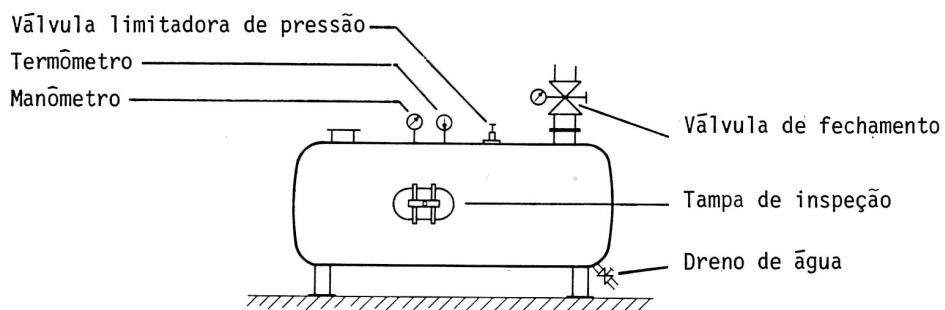


Figura 2.9: Reservatório de ar comprimido.

O reservatório serve para a estabilização da distribuição do ar comprimido. Ele elimina as oscilações de pressão na rede distributiva e quando há momentaneamente alto consumo de ar, é uma garantia de reserva.

A grande superfície do reservatório refresca o ar suplementar. Por isso se separa diretamente no reservatório, uma parte da umidade do ar como água.

O tamanho do reservatório de ar comprimido depende de:

- Volume fornecido pelo compressor;
- Consumo de ar;
- Rede distributiva (volume suplementar);
- Tipo de regulagem;
- Diferença de pressão desejada na rede.

Determinação do Volume do Compressor

O volume do reservatório pode ser determinado com o auxílio do diagrama da fig. 2.10.

Exemplo: Seja o caso:

Consumo:	$Q = 20 \text{ m}^3$
Interrupções:	$Z = 20 \text{ h}$
Diferença de pressão:	$\Delta p = 1,0 \text{ bar}$
Volume do reservatório:	$V_\beta ?$

Cálculos:

Consultando o diagrama da fig. 2.10 percebemos que $V_\beta = 15 \text{ m}^3$.

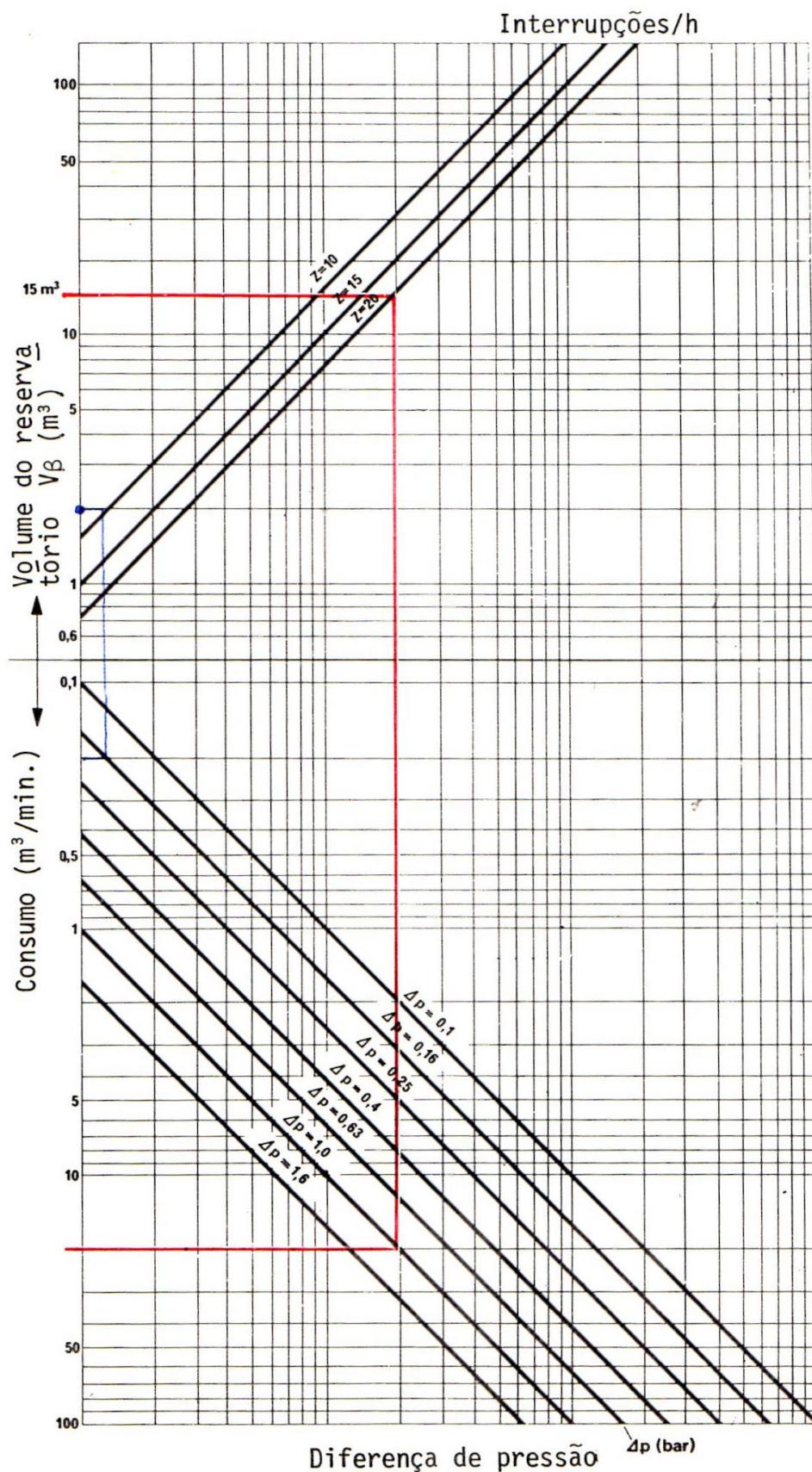


Figura 2.10: Diagrama para determinação de volume do reservatório de ar comprimido.

Capítulo 3

Distribuição do Ar Comprimido

Provocada pela crescente racionalização e automatização das instalações industriais, a necessidade de ar (comprimido) nas fábricas está crescendo. Cada máquina e cada dispositivo requer sua quantidade de ar, que está sendo fornecido pelo compressor, através da rede distributiva.

O diâmetro da tubulação, deve ser escolhido de maneira que, mesmo com um consumo de ar crescente, a queda da pressão, do reservatório até o consumidor, não ultrapasse 0,1 bar. Uma queda maior da pressão prejudica a rentabilidade do sistema e diminui consideravelmente sua capacidade.

Já no projeto da instalação de compressores, deve ser prevista uma possível ampliação posterior e consequentemente, maior demanda de ar, determinando dimensões maiores dos tubos da rede de distribuição.

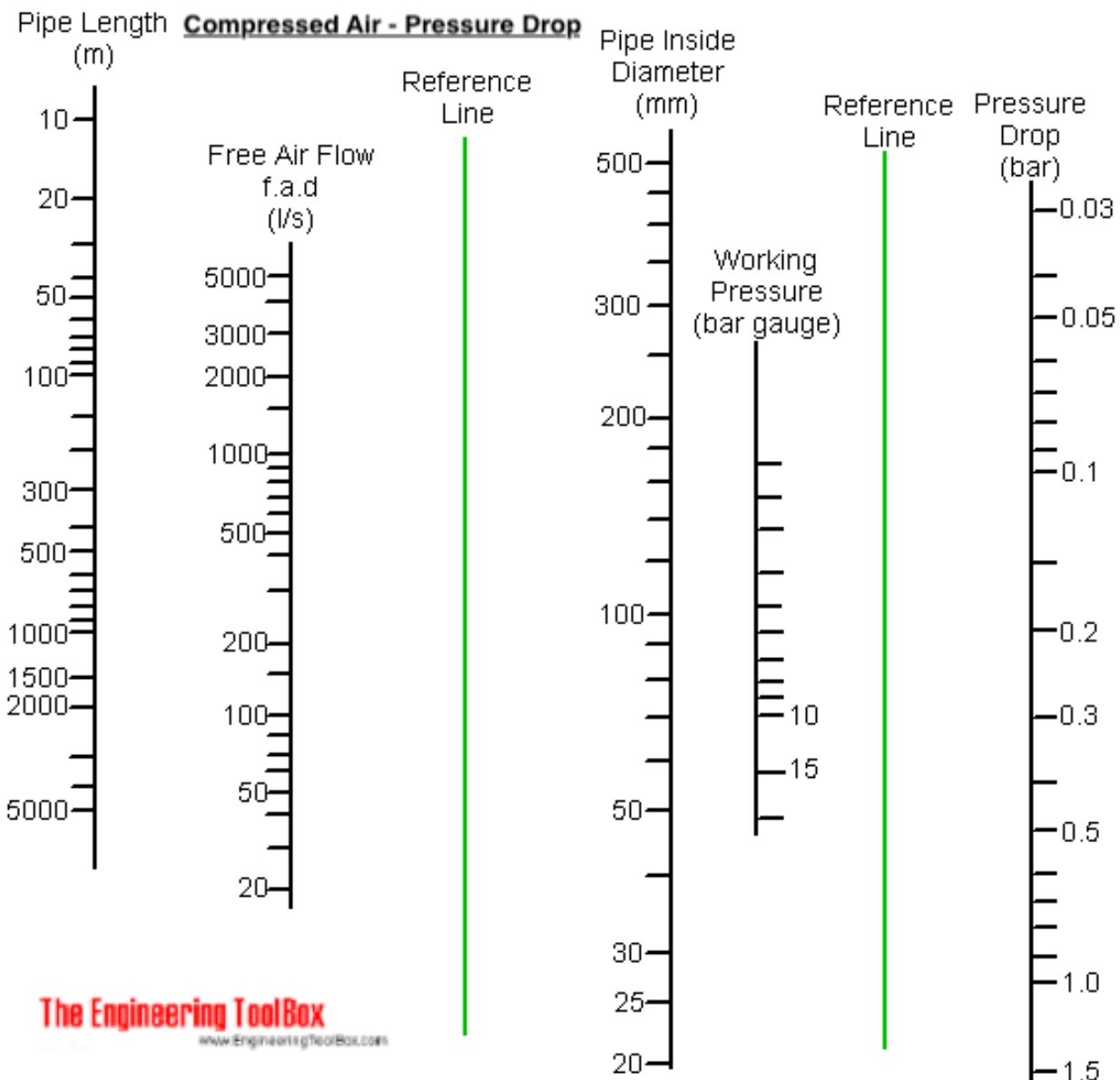
A montagem posterior de uma rede distributiva de dimensões maiores (ampliação), acarreta despesas elevadas.

3.1 Dimensionamento da Rede Condutora

A escolha do diâmetro da tubulação não é realizada por quaisquer equações empíricas ou para aproveitar tubos por acaso existentes em depósito, mas sim se considerando:

- Volume corrente (vazão);
- Comprimento da rede;
- Queda de pressão admissível;
- Pressão de trabalho;
- Número de pontos de estrangulamento na rede.

Na prática o monograma da fig. 3.1 ou fig. 3.2, facilita a verificação da queda de pressão ou do diâmetro do tubo na rede. Um aumento necessário, no futuro, deve ser previsto e considerado.



Extraído de: Engineering ToolBox, (2008). Compressed Air - Pipe Line Pressure Drop Diagram. [online] (Acessado em Maio/2022).

Figura 3.1: Monograma para determinação do diâmetro de tubos.

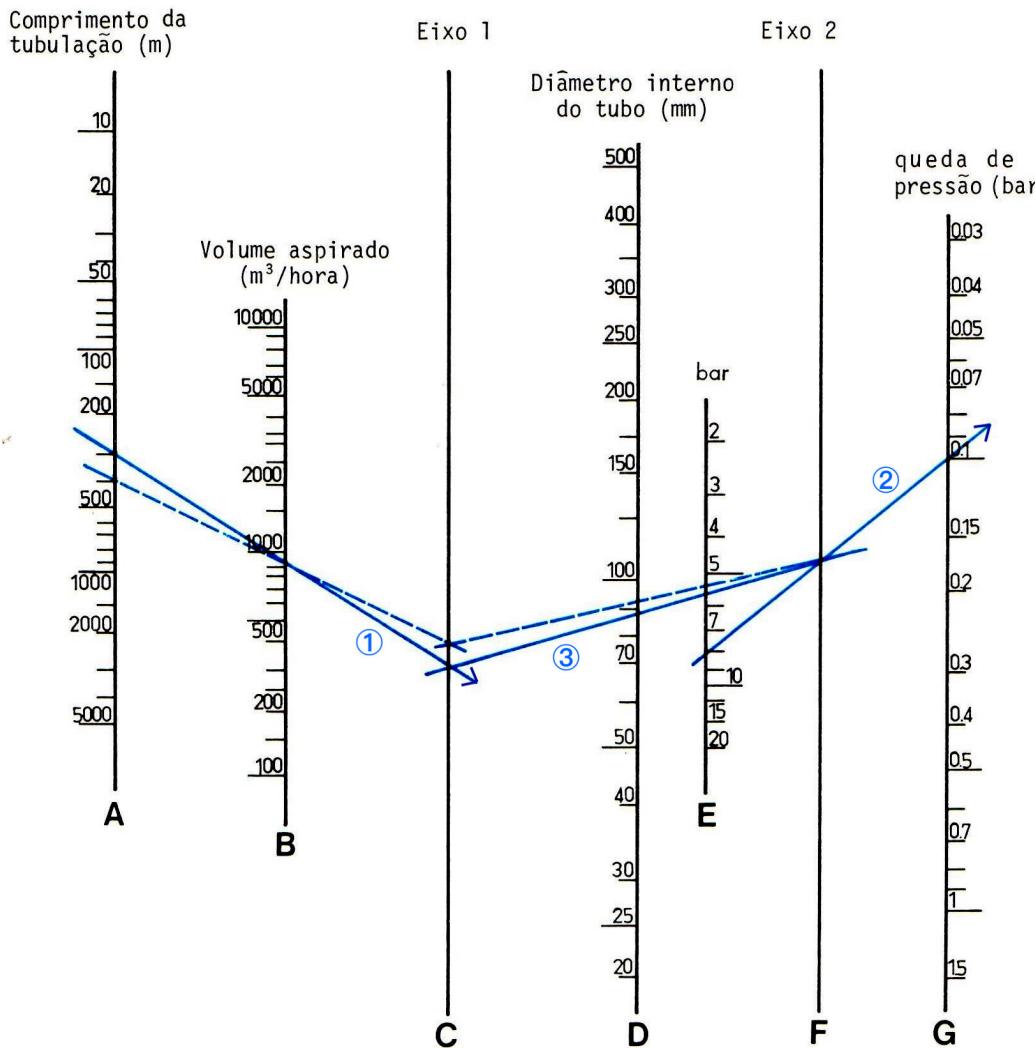
Exemplo de Cálculo da Tubulação:

O consumo de ar em um estabelecimento fabril é de $4 \text{ m}^3/\text{min}$ ($240 \text{ m}^3/\text{hora}$). O aumento em 3 anos será de 300%. isto resultará em $12 \text{ m}^3/\text{min}$ ($720 \text{ m}^3/\text{hora}$). O consumo total é limitado em $16 \text{ m}^3/\text{min}$ ($960 \text{ m}^3/\text{hora}$). A tubulação será de 280 metros de comprimento. Dentro dela se encontram 6 peças em "T", 5 cotovelos normais, 1 válvula de passagem. A queda de pressão admissível é de $\delta p = 0,1 \text{ bar}$. A pressão de trabalho é de 8 bar.

Pede-se: determine o diâmetro interno do tubo (de distribuição).

Solução:

Com as indicações presentes, será determinado, no monograma (fig. 3.2), o diâmetro provisório do tubo.



Extraído do "Manual para a Indústria Pneumática" da FMA Pokorny, Frankfurt.

Figura 3.2: Monograma (diâmetro de tubo).

1) Usando-se o monograma, liga-se a coluna A (comprimento da tubulação) com a coluna B e prolonga-se uma reta até a coluna C (eixo 1).

2) A pressão de trabalho (coluna E) será conectada com a coluna G (queda de pressão), obtendo-se assim, na coluna F (eixo 2), um ponto de intersecção.

3) Os pontos de intersecção serão conectados entre si. Na linha D (diâmetro interno), obter-se-á um ponto de intersecção que providencia o diâmetro do tubo.

O resultado do nosso cálculo é aproximadamente 90 mm de diâmetro.

Note que a queda de pressão em tubulações pneumáticas pode ser calculada também através de uma fórmula empírica:

$$\frac{dp}{dp} = \frac{7,57 q^{1,85} L \times 10^4}{d^5 p}$$

onde: dp = queda de pressão (em Kg/cm^2);

q = volume de fluxo de ar, sob condições "FAD"⁽¹⁾ (em m^3/min);

L = comprimento da tubulação (m);

d = diâmetro interno do tubo (mm);

p = pressão inicial - gauge (Kg/cm^2)

(1) FAD=Free Air Delivery: se refere a quantidade real de ar comprimido convertida de volta às condições de entrada do compressor. As unidades para FAD são CFM no sistema imperial e l/min no sistema SI. As unidades são medidas em geral de acordo com as condições padrão de entrada do ambiente ISO 1217: Temperatura ambiente = 20°C, Pressão ambiente = 1 bar (absoluto), Umidade relativa = 0%, Água/ar de resfriamento = 20°C e Pressão de trabalho efetiva na válvula de descarga = 7 bar (absoluto).

1 m³/min (f.a.d) = 1000 liter/min (f.a.d) = 1000 dm³/min (f.a.d) = 16.7 l/s (f.a.d) = 16.7 dm³/s (f.a.d) = 35.26 ft³/min (f.a.d)

Para os elementos redutores de fluxo (válvulas de gaveta, de passagem, de assento, peças em "T", cotovelo), as resistências são transformadas em comprimento equivalente.

Como comprimento equivalente compreende-se o comprimento linear do tubo reto, cuja resistência à passagem do ar seja igual a resistência oferecida pelo elemento em questão.

A seção transversal do tubo de "comprimento equivalente" é a mesma do tubo utilizado na rede.

Por meio de um segundo monograma (ver fig. 3.4), pode-se estimar rapidamente os "comprimentos equivalentes".

Finalizando o exemplo iniciado na pág. anterior, e usando o monograma (fig. 3.4), vamos obter:

6 Peças "T"	(90 mm)	= 6 × 10,5 m	= 63 m;
1 Válvula de passagem	(90 mm)	=	32 m;
5 Cotovelos normais	(90 mm)	= 5 × 1 m	= 5 m;
			100 m

Comprimento da tubulação 280 m

Comprimento equivalente 100 m

Comprimento total 380 m

Com este comprimento total da tubulação (380 m), o consumo de ar, a queda de pressão e a pressão de trabalho, pode-se determinar, no monograma da figura 3.2, o diâmetro real necessário.

O diâmetro do tubo, indicado para este exemplo, fica em 95 mm.

Continua...

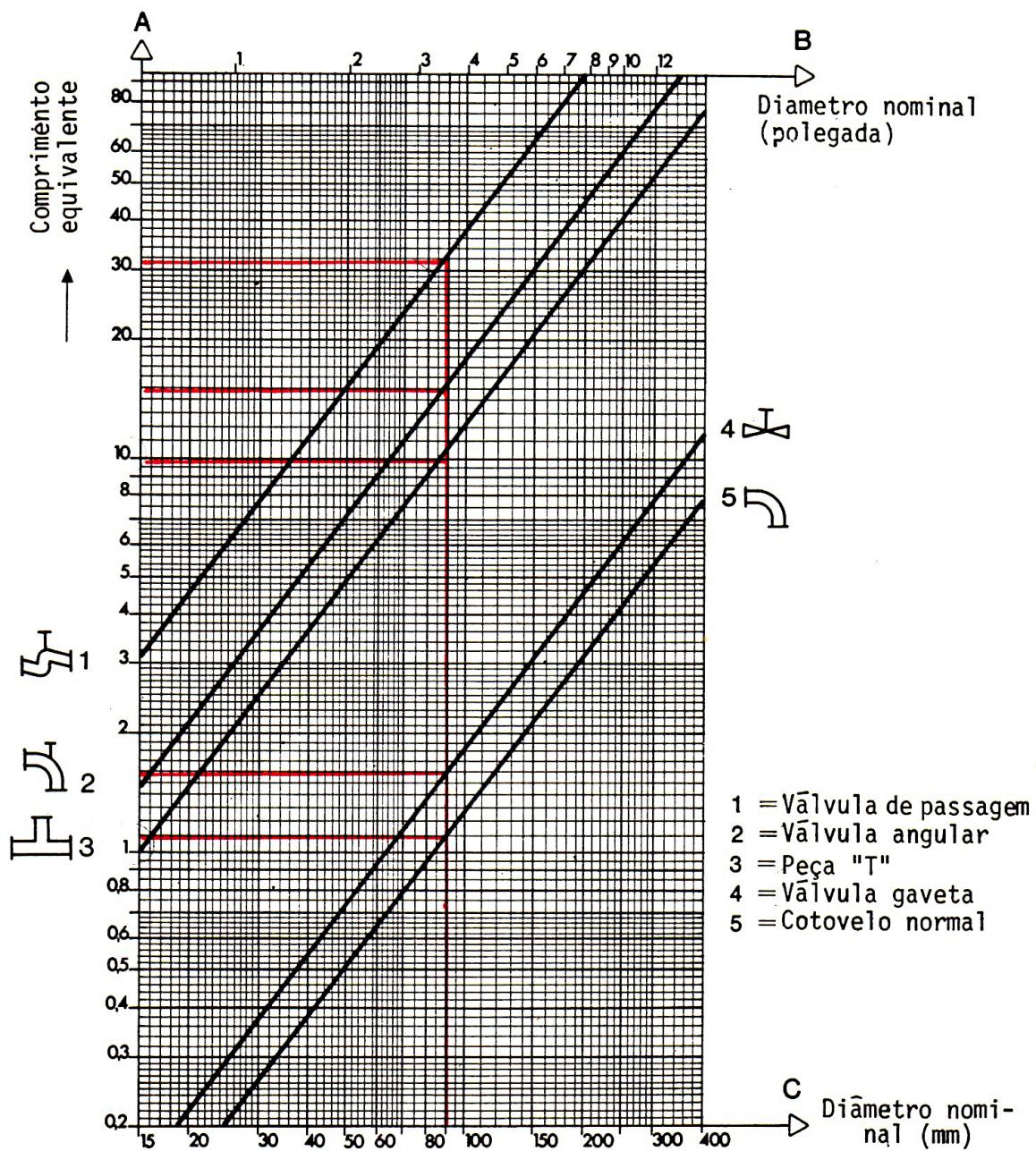


Figura 3.3: Monograma para determinação do "comprimento equivalente".

3.2 Montagem da Rede de Distribuição