

MÓDULO 7

7.3 – LINHAS DE AR COMPRIMIDO

As linhas de ar comprimido estão presentes nas mais diversas indústrias e aplicações.

É uma forma de energia bastante importante e única em algumas aplicações, resultando da compressão do ar atmosférico (aprox. 20,5% de oxigênio, 79% de nitrogênio e 0,5% de gases raros).

Sendo um sistema relativamente caro, com custo de operação e implantação da ordem de 7 a 10 vezes maior que o similar em energia elétrica, deve ser muito bem dimensionado, evitando perdas e assegurando maior vida útil, mas apresenta vantagens na sua flexibilidade, no grau de segurança pessoal e patrimonial e no baixo impacto ambiental, que resultam quando bem instalado e dimensionado.

Os compressores de ar podem ser do tipo alternativo (a pistão), ou rotativo (parafuso ou centrífugo). Os compressores a pistão se aplicam a vazões menores (até 100 m³/h, a grande maioria das aplicações), enquanto os de parafuso vão de 50 a 2000 m³/h, e os centrífugos para vazões superiores a 1500 m³/h.

Os compressores são ainda lubrificados ou secos.

Em todo sistema de ar comprimido, há uma importante quantidade de condensados do ar (água) misturados a partículas sólidas e poluentes naturalmente presentes no ar atmosférico, tornando ainda mais ácidos e corrosivos esses condensados, atacando particularmente componentes e tubulações metálicas. Além disso, em trechos próximos ao compressor, a temperatura do ar comprimido pode ultrapassar a 80°C. Nos compressores lubrificados, mais usuais, somam-se aos condensados partes de óleo lubrificante em suspensão no ar.

Os compressores secos são empregados em aplicações hospitalares, salas limpas e uso humano.

Essas características tornam os tubos poliolefinicos uma ótima solução técnica-econômica nas linhas de ar comprimido, em especial nas aplicações com pressão de até 16 bar. A grande maioria das aplicações de ar comprimido utiliza pressões menores que 10 bar, (normalmente na faixa de 7 bar), mas há casos da ordem de 40 bar.

Há ainda a possibilidade de diversos métodos de instalação dessas linhas:

- Instalação Enterrada: Módulo 4.2;
- Instalação por Métodos Não Destrutivos: Módulo 4.3;
- Instalação Aérea: Módulo 4.4;

Neste módulo vamos abordar as especificidades de dimensionamento e instalação das linhas de ar comprimido. O projetista pode encontrar informações complementares nos diversos módulos do Manual de Práticas da ABPE.

1 – A Escolha do Material da Tubulação

No Módulo 1.1, desse Manual de Práticas, apresentamos parâmetros para a escolha mais adequada do material a sua aplicação. Entretanto, assim como nas linhas de gás natural, a Resistência à Propagação Rápida de Ruptura (RCP) é um fator primordial nas linhas de ar comprimido, visando a segurança e o desempenho na ocorrência de furos e vazamentos. Assim, o PE 100 e o PP (especialmente PPR-80) apresentam-se como bastante adequados.

Os tubos de PEX, PERT e os multicamada, com alma em alumínio, também podem ser considerados nos diâmetros até 40 mm, com conexões mecânicas especiais, entretanto esses tubos, devido às suas particularidades, serão abordados em módulos específicos.

A escolha do projetista deve levar em consideração, os seguintes aspectos do seu projeto:

- Diâmetros, Classes de Pressão e sua oferta de mercado;
- Temperatura de operação da linha;
- Métodos de união e instalação disponíveis;
- A exposição aos raios UV.

1.1 – Diâmetro e Classe de Pressão da Tubulação

Os tubos de PE 100 e PP podem ser encontrados em diâmetros externos (DE) de 16 mm a 1600 mm e nas classes de pressão de 4 a 25 bar. Normalmente os tubos de SDR 7, para 16 bar de pressão em PE 100 e PPH-100, ou SDR 6 para PPB-80 e PPR-80, são escolhas mais comuns nessas aplicações. Vide Módulo 1.2 para dimensões e tolerâncias padrões.

Recomenda-se que o dimensionamento desses tubos seja feito como para os tubos de Gás Natural, com o Fator de Segurança (*C*) de 2 (EN 1555 ou ISO 4437).

$$PN = \frac{20 \cdot MRS}{C \cdot (SDR - 1)}$$

C = Fator de Segurança recomendado mínimo de 2

MRS = Tensão Circunferencial Padrão a 50 anos/20°C do material
(PE 100 e PPH-100 = 10 MPa, PPB-80 e PPR-80 = 8 MPa)

Material	SDR = RELAÇÃO DE/e				
	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16
PPB-80 e PPR-80	13,6	11	9	7	6
PE100 e PPH-100	17	13,6	11	9	7

1.2 – Resistência a temperatura (fator *f_T*)

Próximo aos compressores, a temperatura do ar comprimido pode ser bastante elevada, e é importante que o projetista leve isso em consideração no dimensionamento do tubo.

A Máxima Pressão de Operação da tubulação é dependente da temperatura de operação.

$$MPO = PN \cdot f_T$$

MPO = Máxima Pressão de Operação

f_T = fator de redução de pressão em função da temperatura de operação

Fatores de Redução de Pressão (f_T) para temperaturas entre 25°C e 50°C para PE 80 e PE 100

Composto	Temperatura °C						
	25	27,5	30	35	40	45**	50**
Tipo A	1,0	0,90	0,87	0,80	0,74	0,67	0,61
Tipo B	1,0	0,86	0,81	0,72	0,62	0,52	0,43

Nota: ** Limitado à vida útil máxima de 15 anos

Fatores de Redução de Pressão para temperaturas entre 30°C e 95°C para PPB, PPR, PPH

Composto	Temperatura °C						
	30	40	50	60	70	80**	95**
PPB 80	0,77	0,62	0,41	0,28	0,19	0,16	0,13
PPR 80	0,87	0,74	0,62	0,51	0,34	0,26	0,17
PPH 100	0,90	0,74	0,62	0,50	0,32	0,25	0,17

Nota: PP - Valores extraídos da tabela DIN 8077, com fator de segurança de 1,5, como adotado pela EN 15784

** Limitado à vida útil máxima de 25 anos p/ 80°C e 10 anos p/ 95°C

1.3 – Exposição ao UV e Cores

A cor da tubulação ajuda ao usuário distinguir o tipo de fluido transportado. No caso dos tubos poliolefinicos, por não aceitarem pintura, a tubulação já deve ser produzida na cor desejada.

Quando em **instalações aparentes e expostas ao sol**, os tubos devem ter proteção adequada aos raios ultravioleta (UV), que podem levar à sua degradação precoce com rupturas frágeis.

Os **tubos de polietileno preto** (PE 80 ou PE 100), produzidos com compostos adequadamente aditivados com 2 a 3% em massa de negro de fumo finamente disperso, conforme as normas específicas, como a NBR 15.561, ISO 4427, EN 12.201, entre outras, apresentam excelente resistência aos raios UV, com baixa perda de propriedades ao longo de sua vida útil, estimadamente superior a 50 anos, respeitadas as especificações de projeto.

Como ponto negativo, absorvem mais calor, com temperaturas superficiais podendo atingir 70°C, o que pode elevar a temperatura do fluido interno e portanto a temperatura média do conjunto tubo-fluido. Nesse caso, o projetista deve avaliar o SDR do tubo, aplicando o fator de correção de pressão em função da temperatura média do conjunto tubo-fluido (f_T).

Grosso modo, pode-se fazer uma interpolação entre a temperatura externa do tubo e a interna do fluido para determinar a temperatura média do conjunto tubo-fluido. Exemplo, temperatura externa do tubo de 70°C e do fluido 25°C, resultando em 47,5°C, adotando 50°C para fins de projeto.

Os **tubos de polipropileno (copolímero em bloco - PPB, homopolímero – PPH, e copolímero randômico – PPR)**, também podem ser aditivados com negro de fumo para proteção ao UV, todavia nesses casos ainda necessitam de outros estabilizantes. Daí, normalmente serem empregados não pretos, mas cinzas, azuis ou verdes.

Daí, uma alternativa bastante utilizada hoje em dia é a fabricação de tubos Pretos com Listras coloridas na cor que represente a aplicação.



1.4 – Formas de Fornecimento

Os tubos podem ser fornecidos em barras ou bobinas para diâmetros até DE 125, e barras para os diâmetros maiores.

Normalmente, os fabricantes de sistemas para ar comprimido costumam fornecer em barras de 4 ou 5 m de comprimento.

2 – Métodos de União e Conexões

- Junta Mecânica de Compressão: Material PP – PN 16 (**max 10 bar para ar**)
- Conexões de Eletrofusão: PE 100 – SDR 11 – (**max 10 bar para ar**) a SR 7 (**max 16 bar**)
- Conexões de Topo por Termofusão: PE 100 – SDR 11 (**max 10 bar**) a SDR 7 (**max 16 bar**)
- Conexões Soquete por Termofusão (Polifusão): PE 100 e PP – SDR 7 a SDR 6 (**max 16 bar**)

DE	DISPONÍVEL				PREFERENCIAL			
	CP	EF	TP	SQ	CP	EF	TP	SQ
16	X	-	-	X	X	-	-	X
20	X	X	-	X	X	X	-	X
25	X	X	-	X	X	X	-	X
32	X	X	-	X	X	X	-	X
40	X	X	-	X	X	X	-	X
50	X	X	-	X	X	X	-	X
63	X	X	X	X	X	X	-	X
90	X	X	X	X	-	X	-	-
110	X	X	X	X	-	X	X	-
160	-	X	X	-	-	X	X	-
200	-	X	X	-	-	-	X	-
≥ 250	-	X	X	-	-	-	X	-

CP: Junta Mecânica de Compressão; EF: Eletrofusão; TP: Topo Termofusão; SQ: Soquete



União de Compressão (CP)



Luva de Eletrofusão (EF)



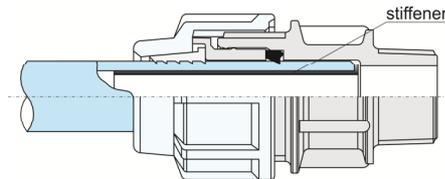
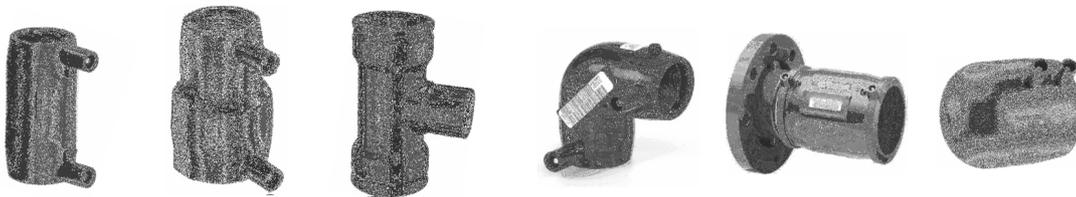
União por Solda de Topo (TP)



Luva Soquete (SQ)

Família de Conexões de Compressão em PP (DE 16 a 110) - NBR 15.803; NTS 192

As conexões de Compressão devem ser de PN 16, limitadas a 10 bar para ar comprimido, e utilizar um tubete enrijecedor interno (stiffener) na ponta do tubo.

**Família de Conexões de Eletrofusão em PE 100 ou PPR (DE 20 a 315) - NBR 15.593; NTS 193**

As conexões de Eletrofusão devem dimensionadas como para gás natural, ou seja, SDR 11 para pressão até 10 bar, SDR 9, para pressão até 12,5 bar e SDR 7, para até 16 bar.

Família de Conexões para Solda Topo por Termofusão em PE 100 ou PP (DE 63 a 315) - NBR 15.593; NTS193

Admitidas somente conexões injetadas monolíticas como NBR 15.593; NTS193; EN 12.201-3.

Para colarinhos e reduções podem ser admitidas peças usinadas.

Peças gomadas (segmentadas) não são aplicáveis em linhas de ar comprimido.



As conexões de Termofusão de Topo devem dimensionadas como para gás natural, ou seja, SDR 11 para pressão até 10 bar, SDR 9, para pressão até 12,5 bar e SDR 7, para até 16 bar.

Família de Conexões de Soquete (polifusão) em PE 100 ou PPR (DE 16 a 110) – NBR 15.813, ISO 15.874 e DIN 8077/8078.

A linha de PPR de PN 25 (SDR 6) pode ser usada até 16 bar para ar comprimido, e a PN 20 (SDR 7) até 12,5 bar, e as linhas de PE 100 e PPH-100 devem ser de SDR 7 ou 9, respectivamente.

2.1 – Derivações e Transições Roscadas para outros materiais ou elementos de tubulações

2.1.1 - Derivações e Transições com Conexões para Juntas Mecânicas (JM)

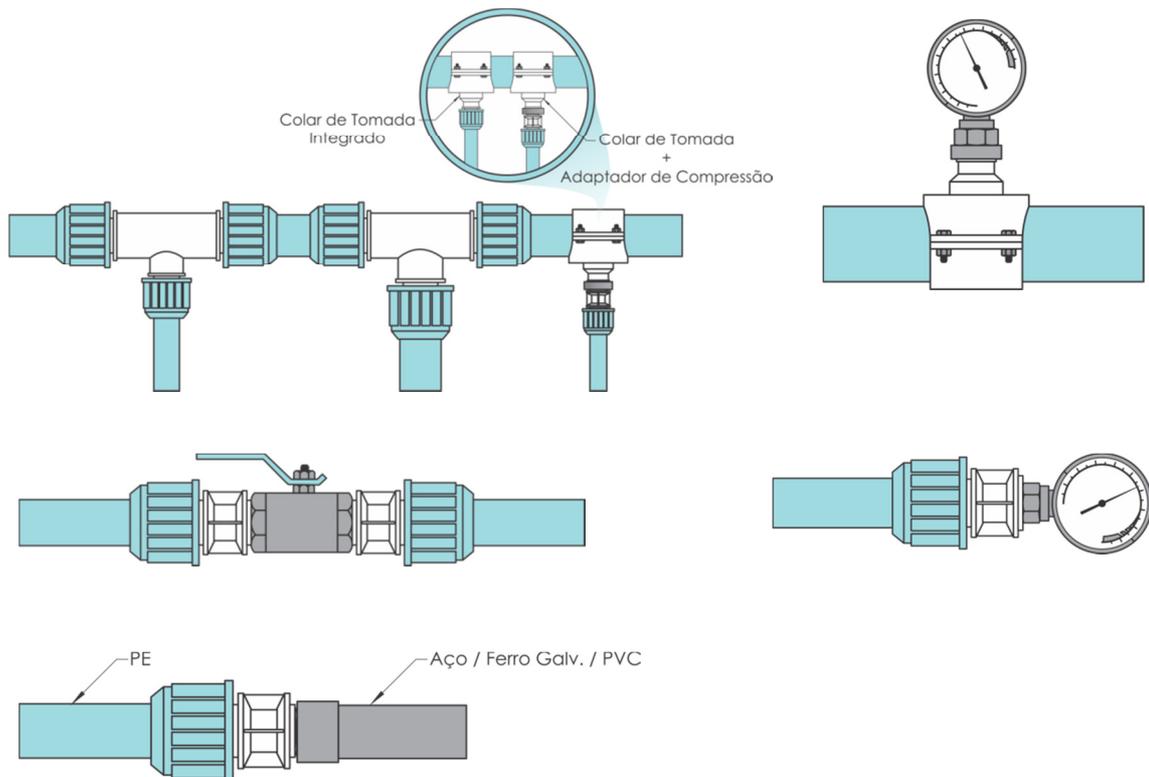


Tê Igual e Tê de Redução (JM-T), Tê, Cotovelo e Adaptador Macho ou Fêmea. Preferencialmente as saídas roscáveis devem ser metálicas ou ter reforços metálicos (DE 16 – 110)

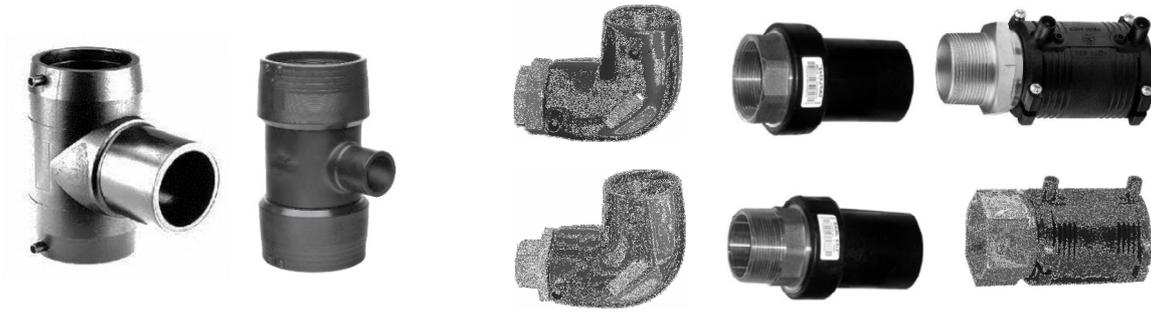


Colar de Tomada Mecânico (JM-CT)
Integrado ou saída Rosca (DE 20 – 315)

Tê de Serviço Mecânico
(DE 63 – 160)



2.1.2 - Derivações e Transições com Conexões de Eletrofusão (EF)



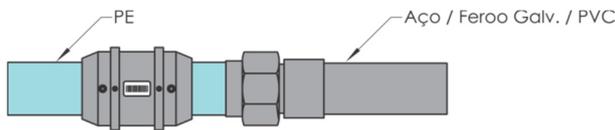
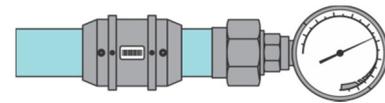
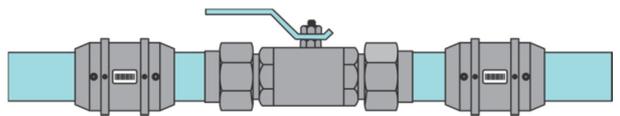
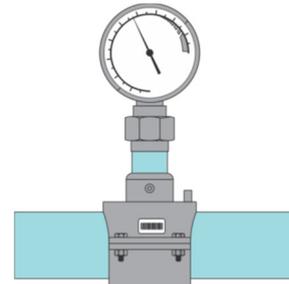
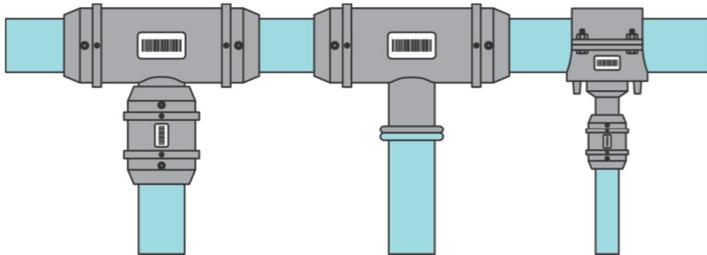
Tê Igual e Tê de Redução de Eletrofusão (EF-T), Cotovelos e Adaptadores Macho e Fêmea com roscas metálicas em Latão ou Inox (DE 20 – 315)



Colar de Tomada de Eletrofusão (EF-CT) Saída Ponta ou Rosca (DE 32 – 315)



Tê de Serviço (DE 32 – 315)



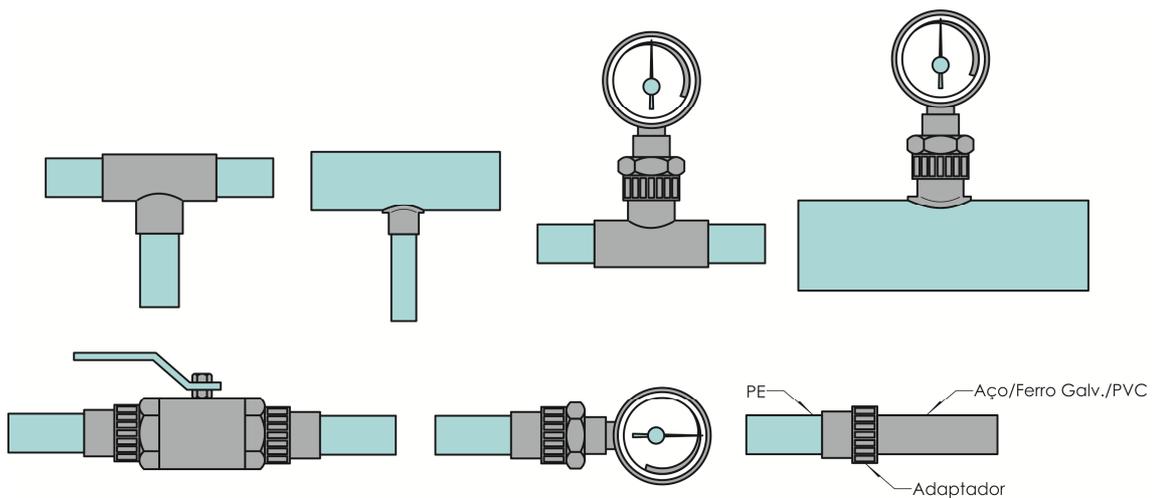
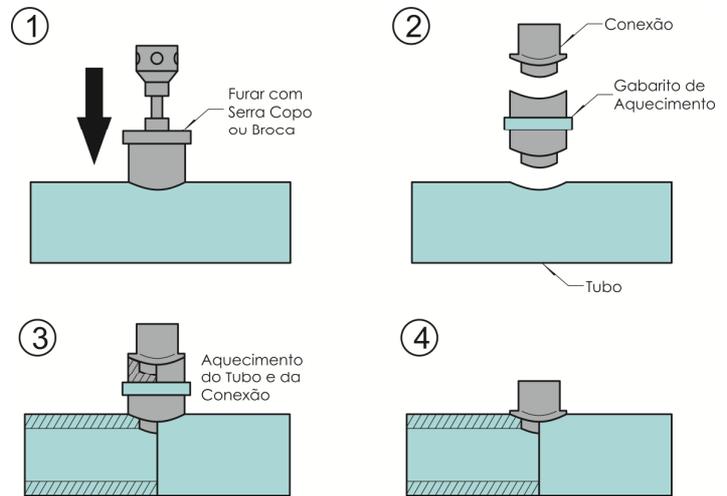
2.1.3 - Derivações e Transições com Conexões de Soquete (SQ – polifusão)



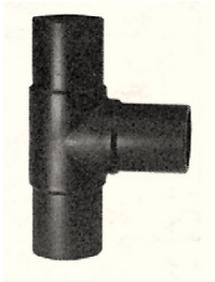
Tê Igual e Tê de Redução de Eletrofundição, Tês, Cotovelos e Adaptadores Macho e Fêmea com roscas metálicas em Latão ou Inox (DE 16 – 110)



Sela de Derivação

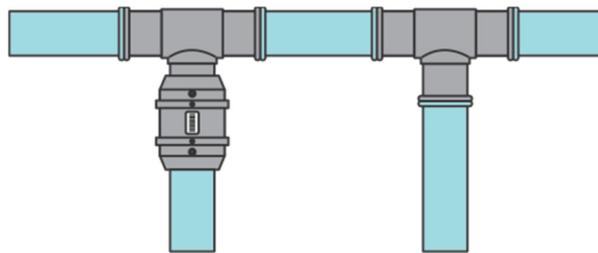


2.1.4 - Derivações com Conexões Ponta Polivalentes Injetadas (Solda de Topo ou Eletrofusão)

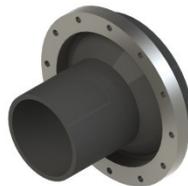


Tê Igual ou Tê de Redução 90° de Ponta
(DE 63 – 315)

Tê Igual 45° de Ponta
(DE 63 – 315)



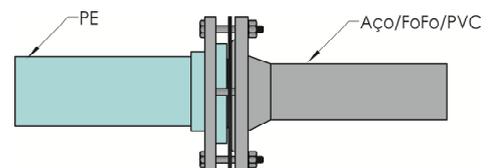
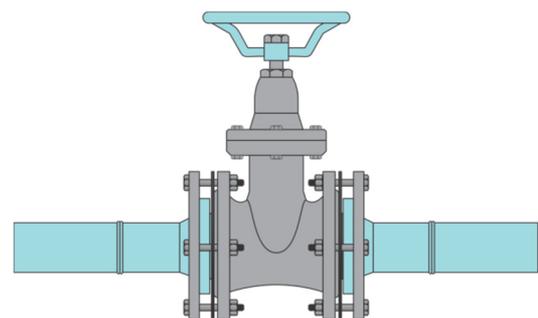
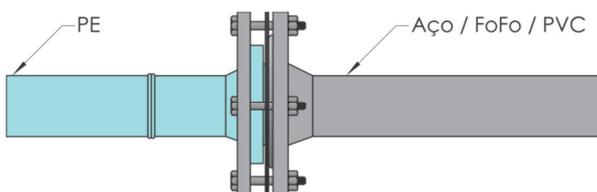
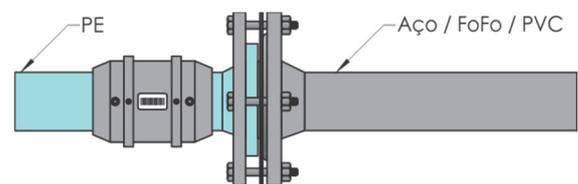
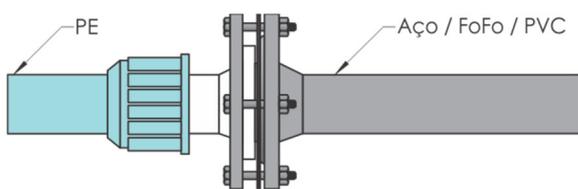
2.2 – Ligações e Transições Flangeadas



(JM) Adaptador p/ Flange
de Compressão PP (DE 63 – 110)

(TP) Colarinho p/ Flange Ponta
p/ Topo ou EF (DE 63 – 315)

ou Soquete
(DE 63 - 110)



3 – Métodos de Instalação

Normalmente as linhas de distribuição de ar comprimido são aéreas, mas até a linha de distribuição podem ser enterradas, seja por abertura de vala ou métodos não destrutivos.

Os aspectos relativos a cada um dos métodos de instalação são apresentados nos Módulos 4.2 – Instalação Enterrada, Módulo 4.3 – MND e Módulo 4.4 – Instalação Aérea.

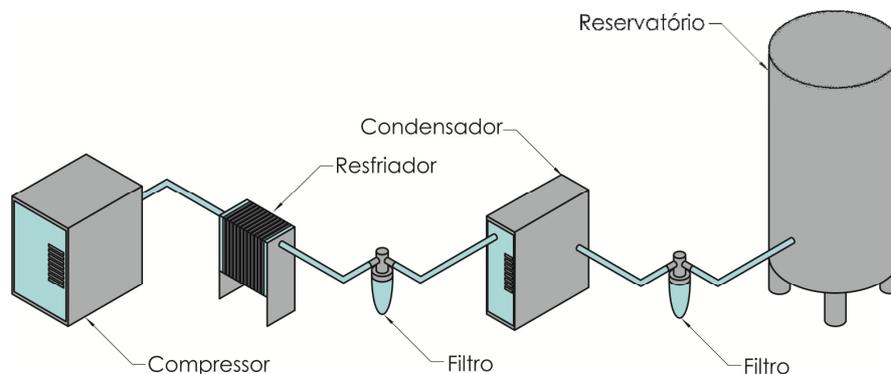
No que concerne especificamente às linhas de ar comprimido, alguns aspectos são fundamentais, quais sejam:

- Filtros, Secadores, Resfriadores
- Purgadores e Drenos
- Configuração da Linha

3.1 - Filtros, Secadores, Resfriadores

O Resfriador, instalado logo após o compressor, tem a função de reduzir a temperatura do ar comprimido para próximo da temperatura ambiente. Com isso, surgem os condensados, em especial de vapor d'água, que devem ser eliminados através de Separadores mecânicos de condensados e, nestes, Purgadores automáticos ou manuais. Essa configuração elimina aproximadamente 70% dos condensados da linha.

Os filtros normalmente são instalados antes e depois do Secador de ar comprimido e próximo ao ponto de consumo. Sua função é diminuir os níveis de condensados, umidade relativa e conter os resíduos sólidos.



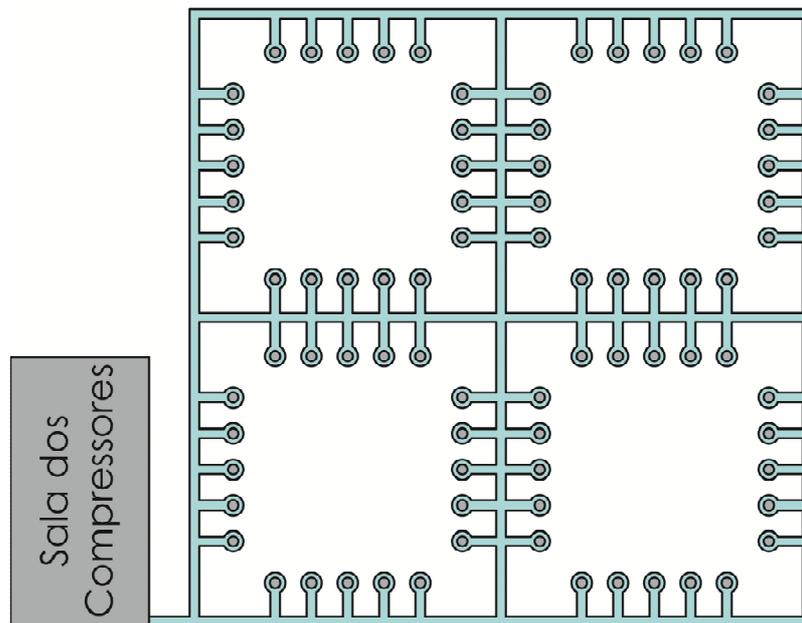
3.2 – Purgadores e Drenos

Ainda visando evitar os condensados, ao longo da linha são instalados drenos ou purgadores, manuais ou automáticos. Nas derivações e saídas para o ponto de uso, é boa prática utilizar a técnica do pescoço de ganso.



3.3 – Configuração da Linha

Para melhor uniformização da pressão o longo da linha, é usual a instalação em forma de circuito fechado.



4 – Dimensionamento da Tubulação

O dimensionamento da tubulação de ar comprimido é uma especialidade do transporte de gases, similarmente ao transporte gás natural, considerando a densidade do ar ($G = 1$) (vide Manual de Tubulações de Polietileno e Polipropileno – Características, Dimensionamento e Instalação, de José Roberto B. Danieletto).

Uma fórmula aproximada para a determinação do diâmetro da tubulação é dada por:

$$d = \sqrt[5]{\frac{450 \cdot L \cdot Q^{1,85}}{\Delta p \cdot P}}$$

Onde:	d	= diâmetro interno do tubo (mm)
	L	= comprimento da linha (m)
	Q	= Vazão (l/s)
	Δp	= Perda de Carga (bar)
	P	= Pressão da Linha (bar)

5 – Ensaio de Estanqueidade

São comuns perdas por vazamentos em linhas de ar comprimido, elevando enormemente os custos com energia elétrica e mau desempenho da linha. Portanto, os testes de estanqueidade são essenciais e devem ser executados preferencialmente a 1,5.PN da linha, para as linhas de gás, conforme um dos métodos expostos no Módulo 4.8, desse Manual de Práticas ABPE, e depois com o próprio ar comprimido, verificando-se em especial as juntas, principalmente as juntas mecânicas, aplicando-se espuma.

6 – Especificações para Compra dos Materiais

Na ausência de normas brasileiras específicas para linhas em ar comprimido com materiais poliolefínicos, esse Manual pode ser utilizado como referência e especificação de compra.

Os fabricantes e produtos devem ser pré-qualificados (vide módulo 2 – Controle de Qualidade) e atender aos procedimentos de inspeção aplicáveis para Recebimento de Materiais. Os fabricantes devem fornecer certificados de qualidade por lote de material fornecido acompanhando a Nota Fiscal dos Produtos, para sua rastreabilidade.

7 – Especificações para Contratação do Instalador

A empresa instaladora deve ter instaladores, soldadores e equipamentos de solda/Instalação qualificados conforme Módulo 3 – Qualificação de Soldador e Equipamentos de Instalação.

Devem apresentar os certificados dos profissionais e dos equipamentos dentro da validade antes do início da obra.

A Contratante deve avaliar os certificados de Soldadores e Equipamentos do Instalador e fazer inspeção dos mesmos, se julgar necessário, solicitar demonstração de soldas e de aplicação dos equipamentos para avaliar seu adequado desempenho, ou mesmo solicitar ensaios de ambos conforme normas pertinentes. Vide Módulo 3.

8 – Estocagem e Manuseio de Materiais

Devem se seguir as recomendações no módulo 4.1 – Procedimentos de Estocagem e Manuseio, e os de instalação e Reparo, respectivamente, módulos 4.2, 4.3 e 4.5.

Devem ser levadas em consideração s condições do local, acesso e armazenamento.

9– Inspeção, Acompanhamento e Recebimento de Obras

A Contratante deve assegurar-se que os materiais nas obras tenham os respectivos certificados de qualidade e aprovação.

A Contratante deve inspecionar a qualidade das soldas e uniões executadas, bem como o correto manuseio dos equipamentos e adequados procedimentos de instalação, conforme Módulo 2 – Controle de Qualidade e Módulo 4 – Instalação e Reparo.

A critério da Contratante, podem ser cortadas soldas para ensaios de laboratório, bem como exigir relatórios de todas as soldas executadas com os dados do soldador e equipamento que a realizou.

O recebimento da obra deve ser feito com a execução dos adequados procedimentos de limpeza da rede (higienização), testes de estanqueidade (módulo 4.8), e a entrega de as-built acompanhado dos relatórios de solda.