



**Universidade
Eduardo Mondlane**



Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Licenciatura em Engenharia Mecânica

Relatório de estágio profissional

**Dimensionamento de uma Rede de Distribuição de Ar Comprimido para a
alimentação das máquinas na oficina da Belutécnica, S.A.**

Barnabé Simão Machava

Maputo Cidade, Junho de 2022



**Universidade
Eduardo Mondlane**



Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Licenciatura em Engenharia Mecânica

Relatório de estágio profissional

**Dimensionamento de uma Rede de Distribuição de Ar Comprimido para a
alimentação das máquinas na oficina da Belutécnica, s.a.**

Projecto do curso elaborado na Faculdade de Engenharia - UEM, como requisito para a obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Mecânica.

Autor:

Barnabé Simão Machava

Supervisores:

Eng.º Jaime Matavele (UEM)

Eng.º Pose Macaneta (Belutécnica, S.A.)

Maputo Cidade, Junho de 2022

Termo de entrega do relatório



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Termo de entrega do relatório de estágio profissional

Declaro que o estudante **Barnabé Simão Machava**, com o número de estudante **20172317**, entregou no dia **10** de junho de 2022 às **3** cópias do seu Relatório de Estágio Profissional, intitulado: **Dimensionamento de uma Rede de Distribuição de Ar Comprimido para a alimentação das máquinas na oficina da Belutécnica, S.A.**

Maputo Cidade, Junho de 2022

O Chefe de Secretaria

Dedicatória

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais Simão João Machava e Rute Armando Simbine, meu irmão Armando Simão Machava pelo suporte exclusivo, a todos meus familiares e colegas, amigos que me auxiliaram durante a formação tanto por ideias e outras formas.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por guiar e acompanhar-me durante todo o meu percurso académico e social, dando-me saúde, força e coragem face as adversidades que tenho enfrentado.

Agradecer também aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica em particular ao Eng.º Jaime Matavele por ter-me aconselhado, apoiado e orientado durante a execução deste trabalho final do curso.

Agradeço ao Eng.º Milton Jamo (Ex-Diretor de Engenharia da Belutécnica, S.A.) por ter-me ajudado a conseguir o estágio e a toda a equipa da Belutécnica, S.A. em especial ao Eng. Jacinto Sabino Mutemba, Eng. Popse Macaneta, Rossane Mulieca e ao Tedes Augusto por terem-me recebido de braços abertos, apoiado moralmente e por terem-me incluído nas actividades.

Expresso aqui um especial agradecimento aos meus pais, senhores Simão João Machava e Rute Armando Simbine pelo convívio alegre durante todos esses anos de vida, além do incentivo e suporte financeiro, moral e psicológico para meu aperfeiçoamento pessoal e profissional ao longo dos anos.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário” (Albert Einstein).

Abstract

Compressed air is a form of energy widely used in the industrial sector, used in various processes and equipment. It is the result of air atmospheric compression, complemented by treatment processes in order to offer the best performance for the equipment. The general objective of this study is to dimension a compressed air distribution snood, which meets the pressure and flow demand required in the new workshop of Belutécnica, S.A. In order to carry out the work, it was necessary to do a theoretical basis and later the collection of information in the company, such as: selection of equipment that uses compressed air, dimensions of the production unit and choice of singularities. An analysis of manufacturers' catalogs helped to obtain technical specifications for pneumatic equipment. Through the information, the scheme of the compressed air distribution snood was presented, calculations of the diameters of the distribution and supply lines, the volume of the air reservoir. Through the sizing of the compressed air network, it was verified that the system meets the needs of the equipment, provides a good performance and offers a longer useful life to the pneumatic equipment.

Keywords: Compressed air. Compressed air distribution snood. Compressed air system. Air compressed distribution scheme.

Resumo

O ar comprimido é uma forma de energia de ampla utilização no sector industrial, empregada em diversos processos e equipamentos. É resultado da compressão do ar, complementado por processos de tratamento com finalidade de oferecer o melhor desempenho para os equipamentos. O objectivo geral deste estudo é dimensionar uma rede de distribuição de ar comprimido, que atenda a demanda de pressão e vazão requeridas na nova fábrica da Belutécnica, S.A. Para a realização do trabalho foi necessário fazer um embasamento teórico e posteriormente a colecta de informações na empresa, tais como: seleção dos equipamentos que utilizam o ar comprimido, dimensões da unidade de produção e escolha das singularidades. Uma análise nos catálogos dos fabricantes auxiliou na obtenção de especificações técnicas dos equipamentos pneumáticos. Por meio das informações foi apresentado o esquema da rede de distribuição de ar comprimido, cálculos dos diâmetros das linhas de distribuição e alimentação, o volume do reservatório de ar. Através do dimensionamento da rede de ar comprimido, verificou-se que o sistema atende as necessidades dos equipamentos, proporciona um bom desempenho e oferece maior vida útil aos equipamentos pneumáticos.

Palavras-chave: Ar comprimido. Rede de distribuição de ar comprimido. Sistema de ar comprimido. Esquema de distribuição de ar comprimido.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Estrutura do projecto	2
1.2. Contextualização	3
1.3. Delimitação do tema	4
1.4. Problema de pesquisa	4
1.5. Justificativa	4
1.6. Objectivos	5
1.6.1. Objectivo geral	5
1.6.2. Objectivos específicos	5
1.6.3. Metodologia	5
2. Apresentação da Empresa	6
2.1. Organograma Geral da Belutécnica, S.A.	7
2.2. Secção de Engenharia e auxiliares	7
2.1.1. Área de Engenharia	8
2.1.2. Secção de recursos humanos e auxiliares	8
2.1.3. Oficina de maquinarias	8
2.1.4. Zona do compressor	9
3. Revisão Bibliográfica	10
3.1.1. Ar comprimido	10
3.1.2. Propriedades do ar	10
3.1.3. Características dos Sistemas Pneumáticos	12
3.1.4. Vantagens de uso de Ar Comprimido (Pneumática)	12
3.1.5. Desvantagens da pneumática	13
3.1.6. Utilização do Ar Comprimido	13
3.1.7. Sistema de Ar Comprimido (SAC)	14

3.1.8.	Estrutura de custos de um SAC.....	14
3.1.9.	Produção e preparação do Ar Comprimido.....	15
3.1.10.	Qualidade do Ar Comprimido	15
3.1.11.	Compressores	17
3.1.12.	Filtragem de ar	17
3.1.13.	Secagem de ar	18
3.1.14.	Acionamento do compressor	21
3.2.	Distribuição de Ar Comprimido	22
3.2.1.	Localização da Central Geradora	22
3.2.2.	Refrigeração da Central.....	22
3.2.3.	Rede de distribuição de Ar Comprimido (RDAC).....	22
3.2.4.	Tipos de conexão de tubos metálicos e acoplamentos.....	24
3.2.5.	Ligações entre os tubos.....	25
3.3.	Elementos de montagem e fixação da rede	26
3.3.1.	Fixação da tubulação principal (linha tronco).....	26
3.3.2.	Elementos de composição da rede.....	27
3.3.3.	Queda de pressão	27
3.4.	Tratamento do Ar Comprimido	29
3.4.1.	Filtro.....	30
3.4.2.	Válvula reguladora de pressão	30
3.4.3.	Lubrificador	31
3.5.	Reservatório de Ar Comprimido	33
3.5.1.	Localização do reservatório	34
3.6.	Admissão de ar	35
4.	Dimensionamento das tubulações	37
4.1.	Metodologia.....	38

4.2.	Métodos e técnicas utilizadas.....	38
4.3.	Colecta de dados.....	39
4.3.1.	Dimensões da tubulação	39
4.3.2.	Vazão do sistema	42
4.3.3.	Queda de pressão admitida.....	43
4.3.4.	Pressão de regime.....	43
4.3.5.	Seleção do compressor	44
4.3.6.	Parâmetros para calcular o volume do reservatório.....	44
4.3.7.	Dimensionando a linha principal da RDAC	45
4.3.8.	Número de Pontos de Estrangulamento	46
4.3.9.	Dimensionando a linha de alimentação da RDAC	47
4.3.10.	Número de pontos de estrangulamento.....	49
4.3.11.	Número de pontos de estrangulamento.....	51
5.	Manutenção.....	53
5.1.1.	Sensibilização do pessoal técnico e seu envolvimento.....	54
5.1.2.	Vazamento de Ar Comprimido	55
5.1.3.	Plano de manutenção da RDAC	55
6.	Conclusões e recomendações	57
6.1.	Conclusões.....	57
6.2.	Recomendações.....	58
7.	Bibliografia.....	59
7.1.	Referências bibliográficas	59
7.2.	Outra Bibliografia consultada	60
8.	Anexos	61

Lista de símbolos

d	Diâmetro interno da tubulação	[mm]
Q_t	Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação + perdas por vazamentos	[m ³ /h]
L_t	Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.),	[m]
ΔP	Queda de pressão admitida: perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades	[kgf/cm ²]
P	Pressão de regime: pressão do ar armazenado no reservatório	[kgf/cm ²]
Q_e	Vazão dos equipamentos pneumáticos	[m ³ /h]
Q_f	Vazão considerada para a ampliação futura	[m ³ /h]
Q_v	Vazão considera para considerar a perda por vazamentos para instalações industriais	[m ³ /h]
Q_u	Vazão unitária dos equipamentos a ser usados na oficina	[m ³ /h]
VR	Volume do reservatório de Ar Comprimido	[l]
Q_{tp}	Quantidade de singularidades em toda rede de distribuição de Ar Comprimido	-

Q_{tu}	Quantidade d singularidades a serem consideradas no cálculo do dimensionamento da rede d distribuição de ar comprimido	-
L_u	É o comprimento da linha principal a usar	[m]
L_{eq}	É o comprimento equivalente das singularidades existentes no troço em análise	[m]
d_a	Diâmetro interno da tubulação de alimentação	[mm]
Q_{ta}	Volume de ar corrente na linha de alimentação	[m ³ /h]
n	Representa o número de linhas secundárias	-
$L_{ta1/2}$	Comprimento da tubulação de alimentação menor e maior	[m]
$d_{a1/2}$	Diâmetro da tubulacao de alimentacao menos	[mm]
$Q_{ta1/2}$	Quantidade de singularidades na rede de alimentação	-
$L_{eqa1/2}$	Comprimento total das singularidades na rede de alimentação	[m]
$L_{ua1/2}$	É o comprimento da linha principal a usar	[m]
$L_{eqa1/2}$	É o comprimento equivalente das singularidades existentes no troço em análise,	[m]

Lista de figuras

<i>Figura 1: Vista frontal da Belutécnica, S.A</i>	6
<i>Figura 2: Oficina de maquinarias</i>	8
<i>Figura 3: Localização de central de compressor</i>	9
<i>Figura 4: Composição do ar atmosférico</i>	10
<i>Figura 5: Propriedades físicas do ar</i>	11
<i>Figura 6: SAC completo</i>	14
<i>Figura 7: Estrutura de custos de um SAC em 10 anos</i>	15
<i>Figura 8: Produção, distribuição e tratamento do AC</i>	16
<i>Figura 9: Quadro geral de Classificação dos compressores</i>	17
<i>Figura 10: Processo de resfriamento para a secagem do ar</i>	19
<i>Figura 11: Secagem por absorção</i>	20
<i>Figura 12: Secagem por adsorção</i>	21
<i>Figura 13: Acionamento a motor elétrico (compressor alternativo)</i>	21
<i>Figura 14: Localização de central de compressor</i>	22
<i>Figura 15: Tipos de redes de distribuição (a) anel fechado (b) anel aberto</i>	24
<i>Figura 16: Conexões para tubos metálicos</i>	24
<i>Figura 17: Acoplamentos tipo engate rápido e macho</i>	25
<i>Figura 18: Conexões para mangueiras de borracha e plásticas</i>	25
<i>Figura 19: Tubulação de aço flangeada</i>	26
<i>Figura 20: Fixação da tubulação principal da rede nas colunas. a) por pendurais, b) por grampo</i>	26
<i>Figura 21: Elementos componentes de uma rede pneumática</i>	27
<i>Figura 22: Purgador instalado ao final da linha vertical de alimentação</i>	28
<i>Figura 23: Instalação da linha de alimentação</i>	28
<i>Figura 24: Perda de carga em tubagens</i>	29
<i>Figura 25: Instalação de AC nos pontos de consumo</i>	29
<i>Figura 26: Unidade de tratamento e seus símbolos</i>	30
<i>Figura 27: Filtro e seus símbolos</i>	30
<i>Figura 28: Válvula de segurança</i>	31
<i>Figura 29: Princípio de Venturi</i>	31
<i>Figura 30: Lubrificador</i>	32
<i>Figura 31: Central de tratamento e armazenamento do AC</i>	33
<i>Figura 32: Reservatório de AC</i>	34

<i>Figura 33: Tubo de aspiração com silenciador tipo ventun (Sugestão Atlas Copco).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 34: Diagrama para deteminação do diâmetro do tubo de aspiração</i>	<i>36</i>
<i>Figura 35: Esquema de distribuição da tubulação principal (Vista de cima).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 39: Esquema de distribuição da tubulação principal e secundaria (Vista de frontal em corte)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 40: Traçado de diagonais para o cálculo do comprimento linear essencial.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 41: Esquema da rede de alimentação</i>	<i>41</i>
<i>Figura 42: Características do reservatório de AC.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 43: Aparelho de ultrassons.....</i>	<i>54</i>

Lista de tabelas

<i>Tabela 1: Singularidades selecionadas.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 2: Equipamentos pneumáticos</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 3: Singularidades na linha principal</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 4: Singularidades na linha de alimentação menor</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 5: Singularidades na linha principal</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 6: Plano de manutenção preventiva para a RDAC</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 7: Comprimento de Tubo Equivalente à Perda de Carga por Singularidades -[m]</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 8: Tubo de aço para condução de fluidos e outros fins, segundo Norma ASTM A53 (A120) Schedule 40.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 9: Tabela de seleção de compressor.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 10: Especificações técnicas do reservatório de AC.....</i>	<i>64</i>

Siglas e acrónimos

AC	Ar Comprimido
RDAC	Rede de Distribuição de Ar Comprimido
SAC	Sistema de Ar Comprimido
DPI's	Dispositivos de Proteção Individual
FRL	Filtro, Regulador e Lubrificador

1. Introdução

O ar é uma das substâncias (fluido) mais abundantes na natureza, que aproveitada, ela pode ajudar facilitando algumas atividades humanas como ligar e desligar uma máquina frequentemente, abrir e fechar uma porta de forma repetitiva de forma mais eficiente e barata a longa duração. Mas, para que isso seja possível, é necessário que o ar passe do seu estado normal ao estado que pode transformar a energia que ele possui em mecânica, isto é, poder movimentar cilindros, hastes entre outros. Para que esteja nesta forma aproveitável nas indústrias, movimentando partes de máquinas e auxiliar noutras actividades, é necessário que ele seja comprimido, passando por vários estágios até ao seu uso, pode-se tomar como exemplo o corte de chapas de grandes espessuras (20mm) por corte por plasma.

Em Moçambique tem-se um ar como o de quaisquer outros países têm, que tem como constituintes principais o oxigênio (~20,5%), nitrogênio (~79%) e alguns gases raros diferenciando-se na sua humidade.

Uma vez que a Belutécnica, S.A está no processo de construção da nova oficina que incorporará muitos equipamentos pneumáticos, vem a necessidade de fazer um estudo por forma a dimensionar-se uma RDAC para a empresa, localizada em Boane, Parque Industrial de Beluluane, parcela 076, na província de Maputo. A mesma, não possui uma RDAC para equipamentos que serão usados: Painting set (Pintura), Sandblasting Set (Decapagem), Guilhotine (Guilhotina), Hydraulic Press (Prensa Hidráulica), Impact wrench 1 ½" (Chave de impacto), Pneumatic Grinders (Rebarbadeiras), Gouging Machine 1000A (Máquina de Goivagem), que poderá limitar determinadas actividades de produção, como corte de chapas por plasma, corte de chapas por guilhotina, actividades de pintura, a manutenção de painéis de cozedura de alumínio e outras.

1.1. Estrutura do projecto

No capítulo 1 fez-se a introdução sobre o conteúdo do projecto contendo a estrutura do projecto, contextualização, delimitação do tema, problema de pesquisa, justificativa, os objectivos e a metodologia usada.

No capítulo 2 fez-se a apresentação da empresa, seu cronograma geral e funções de cada secção.

No capítulo 3 fez-se a revisão bibliográfica sobre a Ar Comprimido, sistema de Ar Comprimido, rede de distribuição do Ar Comprimido, elementos de montagem e fixação da rede, tratamento do Ar Comprimido, o reservatório, sua localização, admissão de ar e compressores e tantos outros.

No capítulo 4 pelos métodos e técnicas apropriadas colectou-se dados tais como vazão, dimensão das linhas principais e de alimentação e algumas recomendações e dimensionou-se as tubulações, como também seleccionou-se o reservatório a ser usado.

No capítulo 5 debruçou-se a respeito da manutenção e plano de manutenção a ser executado para manter o sistema de Ar Comprimido em boas condições por tempo considerável durante a sua vida útil.

No capítulo 6 respondeu-se aos objectivos da realização do projecto em forma de conclusão e falou-se de algumas recomendações de tal forma que a vida útil dos equipamentos que compõem o Sistema de Ar Comprimido tenha vida útil prolongada.

No capítulo 7 tem-se a bibliografia que inclui as obras citadas como também as outras obras utilizadas para a realização do projecto.

No capítulo 8 encontra-se os anexos.

1.2. Contextualização

O actual nível de desenvolvimento tecnológico da humanidade deve-se em grande medida a melhoria nos métodos de geração, distribuição e utilização de energia. O uso da energia pneumática vem desde os primórdios da civilização, onde o ar era usado para mover moinhos de vento e estes eram usados para moer grãos de cereais, bombear água entre outros. Desde então a tecnologia de pneumática tem evoluído no sector industrial, passando a ser aplicado em quase todos campos de engenharia tais como: Mecânica, Automobilística, Agricultura, Marinha, Mecatrónica, Aeroespacial, Defesa, etc.

O uso da pneumática em aplicações industriais possui vantagens em termos de custo, confiabilidade e potência específica, como os equipamentos pneumáticos são robustos e de simples instalação. Podem, portanto, ser aplicados em sobrecargas prolongadas e em ambientes hostis sujeitos à poeira, humidade, atmosferas corrosivas e explosivas.

O uso do Ar Comprimido (AC) na indústria é justificado pelo facto dele ser um condutor de energia para variadas áreas de aplicações industriais. No caso, conduz-se energia pneumática que será transformada em energia mecânica na maior parte das operações. Segundo (BOSCH, 2008) *apud* (MALDANER, 2016, p. 12) embora a base da pneumática seja um dos mais velhos conhecimentos da humanidade, foi preciso aguardar o século XIX para que o estudo do seu comportamento e propriedades se tornasse sistemático. Porém, pode-se dizer que somente após o ano de 1950 é que ela foi realmente introduzida no meio industrial, (DOS SANTOS). O AC é bastante aplicado nas indústrias como condutor de energia, possuindo um excelente grau de eficiência, sendo insubstituível em diversas áreas, executando operações com flexibilidade, gerando racionalização do trabalho, economia, além de proporcionar segurança ao trabalho.

1.3. Delimitação do tema

Para obter conhecimento sobre o assunto, será realizado um estudo sobre o dimensionamento de uma Rede de Distribuição de Ar Comprimido (RDAC), com o modelamento do esquema de distribuição, o cálculo do diâmetro da tubulação e a seleção do reservatório de ar na nova oficina da empresa Belutécnica, S.A. No trabalho não será considerada a vazão dos equipamentos pela frequência de utilização. O valor utilizado será o total gerado pela soma dos equipamentos.

1.4. Problema de pesquisa

Actualmente a empresa está no processo de execução de construção de uma oficina que possui uma unidade de fabricação e manutenção, tendo em vista a aquisição de alguns equipamentos para atender maior gama de clientes e serviços como a manutenção de painéis de cozedura de alumínio. O problema surgiu justamente pelo facto de que a empresa está no processo de dimensionamento e instalação de um sistema de fornecimento de Ar Comprimido para alimentação de equipamentos da sua nova oficina.

1.5. Justificativa

A projecção do SAC justifica-se pelo facto da empresa ter de utilizar o Ar Comprimido nos novos equipamentos adquiridos para a produção/fabricação nesta oficina, como corte por plasma, jactos de ar para a limpeza e manutenção das painéis de cozedura de alumínio entre outros.

A implantação de uma RDAC bem dimensionado para atender a demanda actual de Ar Comprimido das máquinas pneumáticas, assim como oportunizar futuras ampliações dos pontos de consumo o SAC é fundamental para a empresa aumentar sua produção com a aquisição dos novos equipamentos.

1.6. Objectivos

1.6.1. Objectivo geral

Dimensionar uma rede de distribuição de Ar Comprimido (RDAC), que atenda a demanda de pressão e vazão requeridas no novo oficina da Belutécnica, S. A. cita no Parque Industrial de Beluluane-Zona Franca, parcela 076, Boane, Província de Maputo.

1.6.2. Objectivos específicos

- Identificar e seleccionar os equipamentos que melhor compõem uma rede de distribuição de Ar Comprimido ao menor custo possível, porém com fiabilidade aceitável;
- Dimensionar a rede de distribuição de Ar Comprimido;
- Criar um esquema de sistema de distribuição de Ar Comprimido;

1.6.3. Metodologia

A elaboração do presente projecto foi baseada na:

- Colecta de informações e conhecimentos técnico-científicos, adquiridos através do intercâmbio entre o estudante e técnicos, operadores dos equipamentos na experiência adquirida ao logo do estágio;
- Sessões de consulta com os supervisores da faculdade e o supervisor do estágio;
- Pesquisas individuais nos manuais da empresa e as consultas na internet.

2. Apresentação da Empresa

A **Belutécnica, S.A.** é uma empresa Moçambicana de Engenharia e Manutenção que fornece serviços de manutenção industrial, trabalha com estruturas metálicas, vasos de pressão, mecânica para as indústrias de metal, metalúrgicas de processamento de minerais e minério. A companhia é de origem Moçambicana, ela foi criada, ou seja, provém duma secção da antiga Agro-Alfa, a maior companhia de manutenção industrial nos anos 90 aqui em Moçambique (BELUTÉCNICA, 2019, p. 3).

A Belutécnica, S.A tem a sua sede na Parque Industrial de Beluluane e duas sucursais:

1. Uma oficina metalomecânica na Av. Angola, Cidade de Maputo;
2. Uma sucursal de operações de manutenção em Moma, província de Nampula.

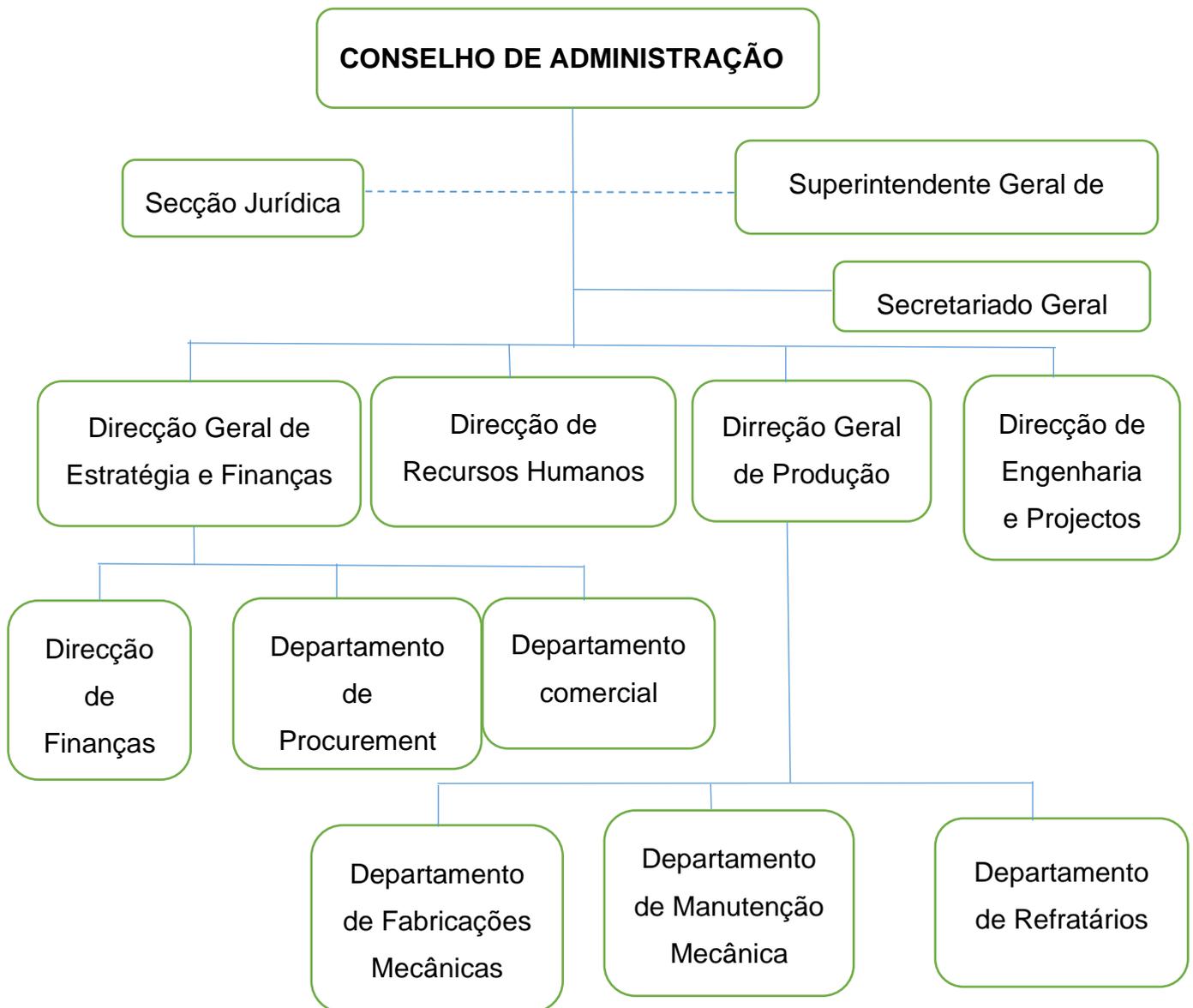


Figura 1: Vista frontal da Belutécnica, S.A

A empresa é composta por uma zona fabril de refractários na Sede, uma outra zona fabril em Av. Angola, antiga Agro-Alfa e outra oficina que está em processo de finalização, um refeitório interno e outro externo e duas áreas administrativas, a de recursos humanos e seus auxiliares e a de engenharia e seus auxiliares, armazém e outros blocos. A área fabril da nova oficina é composta pelas seguintes secções principais: secção de engenharia, super-estruturas, manutenção de painéis de cozedura de alumínio, secção de pintura, secção de maquinarias, secção de matérias-primas, secção administrativa, refeitório, zona de compressor, central eléctrica, secção da guarita e outros.

A seguir faz-se a apresentação do Organograma Geral da Empresa secções que compõem a empresa (Sede) e as suas respectivas actividades.

2.1. Organograma Geral da Belutécnica, S.A.



Fonte: (BELUTÉCNICA, 2019, p. 10)

2.2. Secção de Engenharia e auxiliares

Está é a segunda secção da empresa (Bloco B) e localiza-se logo atrás da secção administrativa e de recursos humanos (Bloco A), é onde se executa a maior versatilidade dos trabalhos. Está é dividida em sete (7) sub-secções a saber: a área de Engenharia, a área de Higiene Saúde e Segurança, a área de superintendência de produção, a área comercial, a área de contabilidade e as outras duas são para reuniões e arrumos.

2.1.1. Área de Engenharia

Nesta área são executados diversos projetos de engenharia desde os de desenvolvimento de produtos (pesquisa, concepção e desenho de produto, orçamentação, etc), gestão de projectos (desenho e projectos) e gestão de qualidade (implementação e auditoria do Sistema Integrado de Gestão, controle de qualidade, etc) entre outras atividades.

2.1.2. Secção de recursos humanos e auxiliares

Está é a área de trabalho existente na empresa que serve principalmente para auxiliar a execução administrativa da empresa. Está é composta por varanda, recepção, copa, casas de banho e gabinetes.

A seguir faz-se a apresentação das secções de produção que compõem a nova oficina e as suas respectivas actividades.

2.1.3. Oficina de maquinarias

Está é a área de trabalho existente na empresa que serve principalmente para auxiliar a execução dos trabalhos na área de engenharia e as demais secções de trabalho. Está é composta por seguintes zonas:

- Zona de máquinas ferramentas;
- Zona de serralharia e soldadura; e
- Zona de pintura e armazéns.



Figura 2: Oficina de maquinarias

Fonte: própria

2.1.4. Zona do compressor

Está é a área que se localiza em anexo da zona fabril (oficina), foi escolhida esta posição porque os compressores e demais equipamentos de geração, tratamento e armazenamento de Ar Comprimido situam-se na categoria de utilidades e deve-se:

- Reservar uma sala específica para isso, separada das demais zonas da empresa;
- O ruído emitido pelos equipamentos deve ser isolado;
- O ingresso na sala deve ser permitido apenas ao pessoal autorizado, portando os DPI's mínimos exigidos por lei, como o protetor auricular (METALPLAN, 2017, p. 7).



Figura 3: Localização de central de compressor

Fonte: (BELUTÉCNICA, 2019)

3. Revisão Bibliográfica

3.1.1. Ar comprimido

O AC é uma importante forma de energia, insubstituível em diversas aplicações e resultado da compressão do ar ambiente, cuja composição é uma mistura de oxigênio (~20,5%), nitrogênio (~79%) e alguns gases raros. Atualmente, cerca de 6 bilhões de toneladas de ar são comprimidas por ano em todo o planeta, gerando um consumo de 500 bilhões de kWh a um custo de 30 bilhões de dólares (METALPLAN, 2017, p. 8).

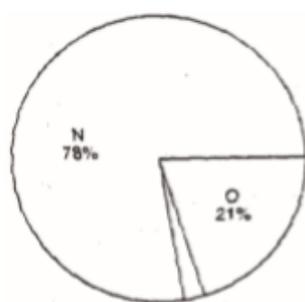


Figura 4: Composição do ar atmosférico

Fonte: (SILVA, 2002, p. 12)

O AC é uma forma de energia armazenada, que é utilizado para operar equipamentos pneumáticos. O Ar Comprimido é empregado em processos de fabricação industriais, exercendo funções de acionamento mecânico, transporte de materiais e propulsão de ferramentas pneumáticas (KARMOUCHE, 2009) *apud* (MALDANER, 2016, p. 14).

Industrialmente utiliza-se AC, que nada mais é do que uma forma de obtenção de energia a partir da compressão do ar atmosférico, elevando significativamente sua pressão, que conseqüentemente permite a realização de trabalho através da expansão do mesmo (ELETROBRÁS, 2005) *apud* (SGANZERLA, 2018, p. 18) .

3.1.2. Propriedades do ar

O AC tem seu estado natural ou de equilíbrio, enquanto permanece na atmosfera, nessa condição não tem a capacidade de realizar trabalho, porém a partir do momento que o ar estiver com uma pressão superior a atmosférica ele tem a possibilidade de gerar algum tipo de trabalho em sistemas pneumáticos, porém, uma

outra forma de aproveitamento do ar presente na atmosfera, é a energia elétrica gerada em usinas eólicas, que funcionam a partir da velocidade dos ventos (ELETROBRÁS, 2005) *apud* (SGANZERLA, 2018, p. 18). A utilização do AC só é possível devido a algumas propriedades físicas do ar, entre elas (PARKER, 2006, p. 4) ressalta algumas como a compressibilidade, elasticidade, difusibilidade e expansibilidade do ar, explicadas nos tópicos e retratadas na figura seguinte.

- **Compressibilidade:** Propriedade que permite que o ar tenha uma elevação de pressão, ou seja, o ar assume todo o formato de um determinado recipiente que pode ser comprimido provocando uma redução no volume com a ação de uma força exterior;
- **Elasticidade:** após comprimido, essa propriedade permite que o ar retome seu volume anterior quando não está sujeito a uma força externa que o comprime. A expansão permite que AC realize trabalho;
- **Difusibilidade:** permite que o ar se misture de forma homogênea com outro meio gasoso desde que não saturado;
- **Expansibilidade:** permite que o ar adquira e ocupe totalmente o volume de qualquer recipiente.

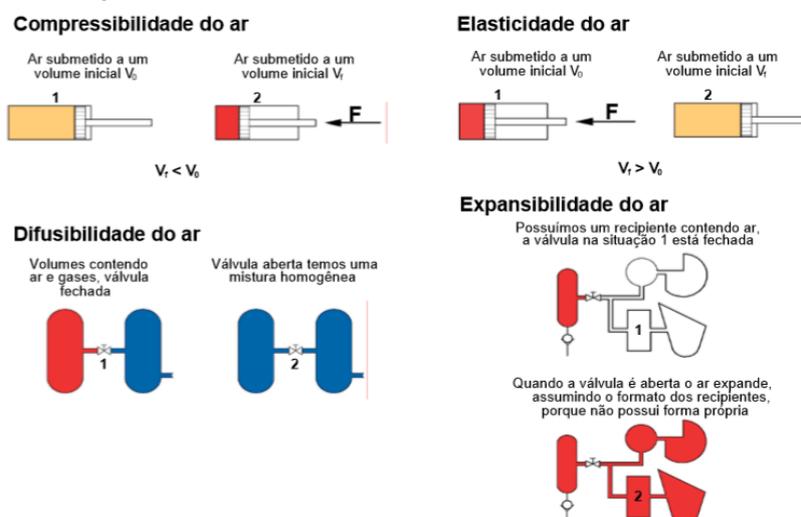


Figura 5: Propriedades físicas do ar

Fonte: (PARKER, 2006, p. 4)

3.1.3. Características dos Sistemas Pneumáticos

Conforme (SILVA, 2002, p. 20), analisou as características do AC chegou a conclusão de que com elas pode-se entender as características dos sistemas pneumáticos. Entre as vantagens da utilização do AC tem-se:

- Facilidade de obtenção (volume ilimitado);
- Não apresenta riscos de faísca em atmosfera explosiva;
- Fácil armazenamento;
- Não contamina o ambiente (limpo e atóxico);
- Não necessita de linhas de retorno (escape para a atmosfera);
- Acionamentos podem ser sobrecarregados até a parada. No entanto, o ar apresenta vapor de água (humidade). Esse vapor de água pode condensar-se ao longo da linha pneumática dependendo das condições de pressão e temperatura ao longo da linha. Se não houver um sistema para retirar a água, ela pode se acumular causando corrosão das tubulações.

O ar apresenta também uma baixa viscosidade. A viscosidade mede a facilidade com que um fluido (gás ou líquido) escoar. Se um fluido tem baixa viscosidade implica ele poder escoar por pequenos orifícios e, portanto, a chance de ocorrer vazamentos é muito grande. Assim, vazamentos de ar em linhas pneumáticas são muito comuns, sendo assim, deverá ser levado em conta cerca de 6% de perda de pressão por vazamentos.

3.1.4. Vantagens de uso de Ar Comprimido (Pneumática)

(FIALHO, 2004, p. 21) debruça sobre as diversas vantagens que o uso da pneumática oferece, elas são mencionadas a seguir:

- Quantidade (o ar para ser comprimido existe em quantidades ilimitadas);
- Transporte (o AC é transportado por meio de tubulações, não existindo para esse caso a necessidade de linhas de retorno);
- Armazenagem (o ar é comprimido por um compressor e armazenado em um reservatório, não sendo assim necessário que o compressor trabalhe continuamente);

- Temperatura (o AC é insensível às oscilações desta, permitindo um funcionamento seguro, mesmo em condições extremas);
- Segurança a pressão do ar utilizado em pneumática é relativamente baixa 6-12bares;
- Limpeza (não há risco de poluição ambiental);
- Construção (seus elementos de comando e ação são menos robustos e mais leves);
- Velocidade (1 e 2m/s, podendo atingir 1m/s no caso de cilindros especiais e 500.000 rpm no caso de turbinas pneumáticas);
- Regulagem (Não possuem escala de regulagem).

3.1.5. Desvantagens da pneumática

- Preparação (a fim de que o sistema possa ter um excelente rendimento, bem como uma prolongada vida útil de seus componentes, o AC requer uma boa preparação da qualidade do ar;)
- Compressibilidade (a pneumática não possibilita controle de velocidade preciso e constante durante vários ciclos seguidos.);
- Força (forças pequenas de até 48250N para uma pressão de 6bares);
- Escape de ar (Sempre que o ar é expulso de dentro de um atuador, após seu movimento de expansão ou retração, ao passar pela válvula comutadora, espalhando-se na atmosfera ambiente, provoca um ruído relativamente alto);
- Custos (os custos de implantação dentro de uma indústria são elevados, entretanto, o custo da energia é em parte compensado pelos elementos de preços vantajosos e rentabilidade do equipamento);

3.1.6. Utilização do Ar Comprimido

Existem várias possibilidades de aplicações do AC, devido a sua simplicidade, flexibilidade e segurança em uma unidade fabril de pequeno a grande porte. As principais aplicações do AC são:

- Atuação de ferramentas e motores pneumáticos;
- Sistemas de pintura;
- Componentes pneumáticos lubrificados e não lubrificados;

- Ar de respiração;
- Transporte pneumático. (ROLLINS, 2004) apud (MALDANER, 2016, p. 15)

3.1.7. Sistema de Ar Comprimido (SAC)

Um SAC é essencialmente composto por quatro (4) elementos distintos: produção, tratamento, armazenamento e distribuição, existindo entre eles uma relação de complementaridade e de forte interdependência. Neste sentido, o desempenho de um SAC depende em primeira instância do desempenho de cada elemento (OLIVEIRA, 2018, p. 9).

O objectivo de SAC é entregar o AC aos seus diferentes consumidores nas condições de caudal (mássico ou volúmico, em função do solicitado) e pressão requeridos, com a qualidade de ar exigidos dependendo da sua aplicação.

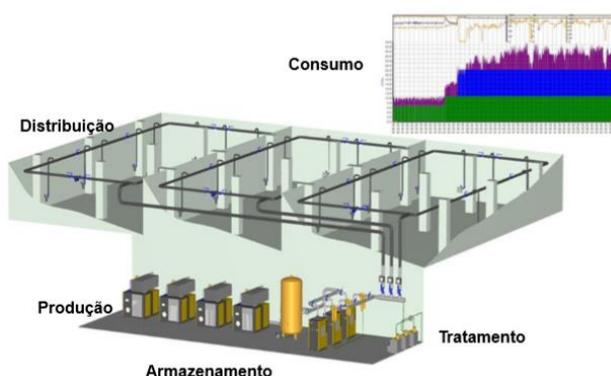


Figura 6: SAC completo

Fonte: (MANUAL, 2006, p.9) apud (OLIVEIRA, 2018, p. 9)

3.1.8. Estrutura de custos de um SAC

Quando se analisa a estrutura de custos referentes a um SAC numa perspectiva de ciclo de vida, levando em conta o custo de aquisição, custo de manutenção e o custo de energia, a componente custo de energia evidencia-se face as outras duas parcelas. No exemplo seguinte ¹, considerando um ciclo de 10 anos, o custo de energia representa cerca de 80% do custo total do incorrido (OLIVEIRA, 2018, p. 8).

¹ Compressor de parafuso lubrificado de 75KW, regulação por carga / vazio com um factor de carga de 70%, custo de energia de €0.1KWh. Calculo para um regime anual de funcionamento de 6000h.



Figura 7: Estrutura de custos de um SAC em 10 anos

Fonte: (OLIVEIRA, 2018, p. 8)

Assim a parcela de consumo energético revela-se determinante, sendo obrigatório ter em linha de conta, aquando da aquisição de um compressor, a comparação de diferentes valores de potência específica do compressor. Aspectos como dimensionamento do compressor, tipo de regulação ou parametrização e a RDAC são também determinantes nesta equação de eficiência.

Importa salientar que de acordo com (METALPLAN, 2017, p. 8), em função das perdas decorrentes da transformação de energia, o AC (energia pneumática) pode custar de sete a dez vezes mais do que a energia elétrica para realizar uma aplicação similar. No meio industrial 100m³ de AC custa cerca de R\$ 0,85 apenas em energia elétrica. Os principais factores que justificam o uso dessa forma de energia são flexibilidade, conveniência, segurança e relativa facilidade de armazenamento.

3.1.9. Produção e preparação do Ar Comprimido

De acordo com (JESUS, 2012, p. 27), o AC passa por uma série de etapas antes de ser utilizado. Estas etapas são indispensáveis para o correcto funcionamento dos equipamentos pneumáticos e o aumento da vida útil de seus componentes, a mesma está vinculada a produção e o tratamento do ar até ser distribuído nas máquinas. A figura a seguir ilustra um SAC típico, de acordo com a norma ISO-8573, com os equipamentos habitualmente necessários para o fornecimento confiável de AC de qualidade.

3.1.10. Qualidade do Ar Comprimido

Segundo (SILVA, 2002, p. 23), os equipamentos pneumáticos (principalmente as válvulas) são constituídos de mecanismos muito delicados e sensíveis e para que

possam funcionar de modo confiável, com bom rendimento, é necessário assegurar determinadas exigências de qualidade do AC, entre elas:

- Pressão;
- Vazão;
- Teor de água;
- Teor de partículas sólidas;
- Teor de óleo.

As grandezas de pressão e vazão estão relacionadas directamente com a força e velocidade, respectivamente, do atuador pneumático. Cada componente pneumático tem sua especificação própria de pressão e vazão de operação. Para atender a essas especificações é necessária suficiente vazão no compressor, correcta pressão na rede e tubulação de distribuição correctamente dimensionada em função da vazão, de salientar que a água, óleo e impurezas tem grande influência sobre a durabilidade e confiabilidade de componentes pneumáticos. O óleo em particular é usado para lubrificar os mecanismos dos sistemas pneumáticos.

O AC é produzido na unidade de geração e distribuído na fábrica. Após a compressão, o ar sofre um tratamento envolvendo a remoção de impurezas e umidade a fim de atender as exigências de qualidade do sistema à que ele se destina (METALPLAN, 2017, p. 12).

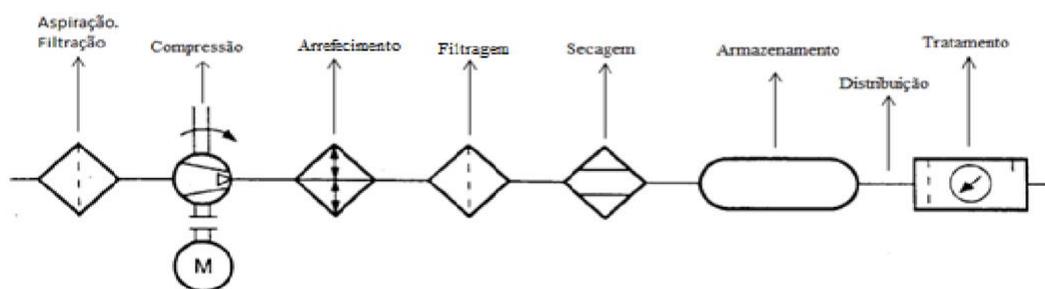


Figura 8: Produção, distribuição e tratamento do AC

Fonte: (JESUS, 2012, p. 27)

Conforme apresentado na figura anterior, numa primeira fase o ar é aspirado pelo compressor, a filtragem é realizada à entrada tem como função reter partículas sólidas do ar do meio ambiente. Ao ser comprimido, o ar aquece aumentando a temperatura, sendo por isso necessário arrefecê-lo. Após o arrefecimento o ar passa por um

processo de secagem com vista a remover a humidade presente no ar, além disso sofre nova filtragem. O ar é depois armazenado num reservatório, a partir do reservatório, o ar é distribuído na fábrica existindo unidades de tratamento de ar que irão ajustar as características do AC de acordo com as necessidades específicas do processo (JESUS, 2012, p. 27).

3.1.11. Compressores

De acordo com (BRANDAO, p. 24), os compressores são máquinas de fluxo destinadas a elevar a pressão de um certo volume de ar e podem operar segundo dois princípios: a diminuição do volume de certa massa de ar (deslocamento positivo) ou a transformação da energia cinética de certa massa de ar em energia de pressão (turbo compressão).

O compressor aspira ar atmosférico e o comprime, elevando sua pressão até um valor determinado à realização de trabalho (CORADI, 2011) *apud* (MALDANER, 2016, p. 16). A Figura seguinte apresenta a classificação dos compressores.



Figura 9: Quadro geral de Classificação dos compressores

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 42)

3.1.12. Filtragem de ar

Para a filtragem de ar, segundo (CORADI, 2011) *apud* (MALDANER, 2016, p. 18) usa-se filtros que são sistemas utilizados na filtragem do ar, mantendo a quantidade de sujeira e materiais abrasivos dentro de limites aceitáveis para o bom funcionamento e vida útil do SAC. Eles são capazes de reter umidade e partículas presentes no ar.

O filtro de ar é aplicado em três pontos diferentes no SAC. Um filtro antes, um depois do secador de ar e outro no ponto de uso (METALPLAN, 2017, p. 28).

(METALPLAN, 2017, p. 28) afirma que a instalação do filtro antes do secador (pré-filtro) tem como função separar o restante do condensado e impurezas que não foram totalmente eliminadas no processo de resfriamento, aumentando assim a eficiência do secador de resfriar o AC. Já a instalação do filtro após o secador de ar (pós-filtro) exerce a função de eliminar a umidade residual e as partículas sólidas.

Segundo (CORADI, 2011) *apud* (MALDANER, 2016, p. 18) o ar que circula na RDAC pode conter humidade, impureza e contaminantes. A maior parte dessas impurezas é eliminada no processo de tratamento do ar, mas as partículas menores que não foram retidas nesse processo ficam no interior da canalização e são deslocadas pelo fluxo do AC, chegando até a alimentação das máquinas pneumáticas, agindo como abrasivos, prejudicando seu funcionamento. O filtro instalado no ponto de uso é empregado para minimizar esse problema, proporcionando uma melhor qualidade do ar.

(BUCK, 2004) *apud* (BORTOLIN, 2014, p. 21) destaca ainda o filtro de ar de admissão empregado junto ao compressor, pois, durante seu funcionamento, os compressores movimentam volumes significativos de ar e, embora não se perceba, o ar apresenta sujeira que pode acumular-se em quantidade considerável se o ponto de entrada de ar não estiver em um local adequado. O filtro de ar tem a função de deixar a qualidade do ar dentro de limites aceitáveis, retendo uma quantidade de sujeira e materiais abrasivos que poderiam ser admitidos facilmente pelo compressor.

3.1.13. Secagem de ar

O ar possui vapor de água que pode condensar devido a variação da pressão e temperatura ao longo da rede de distribuição do AC. Drenos e filtros separadores de água têm o papel de retirar esse condensado da linha pneumática. Porém, tais componentes não são capazes de retirar vapor de água, por isso torna-se conveniente o uso de secadores de ar (SILVA, 2002, p. 32). A compra de um secador de AC é um alto investimento para a empresa. Um secador pode representar 25% do valor total da instalação do AC, no entanto, o custo de aquisição do secador é compensado pelos inúmeros benefícios que ele traz, minimizando os prejuízos

causados pelo ar húmido, como por exemplo: substituição de componentes pneumáticos, impossibilidade de utilizar o ar em algumas operações e o refugo gerado na produção de produtos. Diante do exposto, pode concluir-se que o uso do secador torna-se benéfico ao sistema. Conforme (CORADI, 2011) *apud* (BORTOLIN, 2014, p. 21) são múltiplos os meios de secagem do AC. Os três mais utilizados no mercado industrial e com melhores resultados finais são:

- Secagem por refrigeração: O secador de ar por refrigeração é o tipo mais utilizado nas indústrias atualmente. Neste secador, o AC quente entra e atravessa um trocador de calor ar/ar, onde é pré-resfriado pelo ar frio que está saindo do secador depois é deslocado para outro trocador de calor fazendo com que sua temperatura diminua para cerca de 3°C. Isso faz com que o vapor de água presente no ar seja condensado e eliminado do sistema. Para que o ar possa ser filtrado ele deve ser aquecido, passando novamente pelo trocador de calor ar/ar, resfriando o ar que está entrando e, conseqüentemente, aumentando sua temperatura (ELETROBRÁS, 2005).

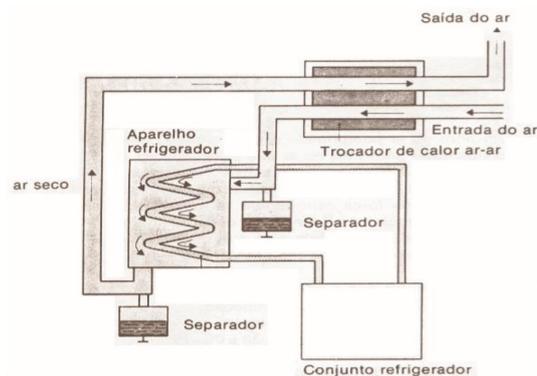


Figura 10: Processo de resfriamento para a secagem do ar

Fonte: (SILVA, 2002, p. 33)

- Secagem por absorção: os secadores por absorção utilizam um dessecante (agente de secagem) para absorver a humidade. O dessecante possui inúmeros pequenos poros nos quais a água é retida. Assim, uma pequena parte do dessecante pode colectar uma grande quantidade de água. Suas vantagens são: baixo ponto de orvalho e custo de operação moderado (BUCK, 2004).

É um processo químico. O AC passa por uma camada solta de um elemento secador como mostra a figura a seguir. A água ou vapor de água que entra em contacto com este elemento combina-se quimicamente com ele e dilui-se formando uma combinação elemento secador e água. Este composto pode ser removido periodicamente do absorvedor. Com o tempo o elemento secador é consumido e o secador deve ser reabastecido periodicamente (2 à 4 vezes por ano).

O secador por absorção separa ao mesmo tempo vapor e partículas de óleo. Porém, grandes quantidades de óleo atrapalham o funcionamento do secador. Devido a isto é usual antepor um filtro fino ao secador. O ponto de orvalho alcançável com esse método é 10°C. É o método mais barato entre os demais, porém o que retira menor quantidade de água.

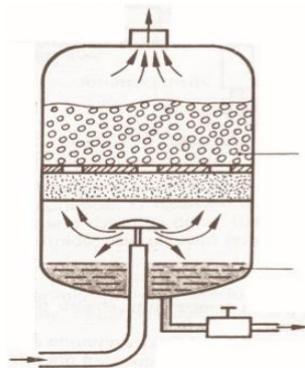


Figura 11: Secagem por absorção

Fonte: (SILVA, 2002, p. 33)

- Secagem por adsorção: os secadores por adsorção actuam através de substâncias secadoras que adsorvem (ou seja, admitem uma substância à superfície da outra) o vapor de água, que com o auxílio do ar quente podem ser regeneradas. Para efectuar a limpeza do elemento secador, o sistema de adsorção possui um arranjo de circulação de ar quente em paralelo. Enquanto um lado é regenerado (limpo) o outro pode ser utilizado. A substância normalmente usada é o dióxido de silício, conhecida como sílica gel. O secador por adsorção é mais caro que os demais, porém, é o sistema mais efetivo para reter a humidade (SILVA, 2002).

Opera através de substâncias secadoras que por vias físicas (efeito capilar) adsorvem (adsorver - admitir uma substância à superfície da outra) o vapor de água do ar, as

quais podem ser regeneradas através de ar quente. Assim os sistemas de adsorção possuem um sistema de circulação de ar quente em paralelo para realizar a limpeza do elemento secador como mostrado na figura seguinte. Devem ser usados dois secadores em paralelo, pois enquanto um está sendo limpo o outro pode ser usado.

O ponto de orvalho alcançável com esse método está em torno de -20°C , em casos especiais -90°C . Em geral, o elemento secador é um material granulado com arestas ou formato esférico. A substância usada é o Dióxido de Silício, mais conhecido como Sílica gel. Trata-se do sistema mais caro em relação aos demais, mas o que é capaz de retirar a maior quantidade de umidade.

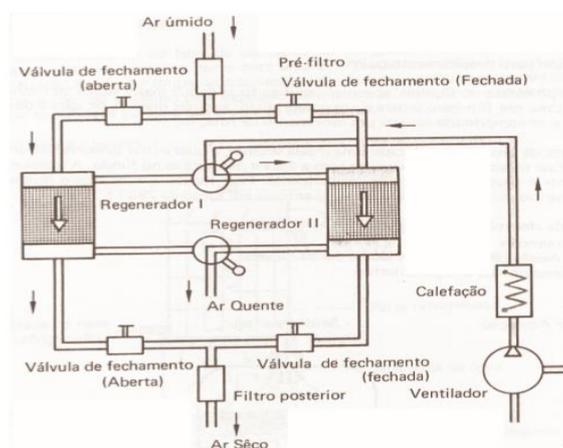


Figura 12: Secagem por adsorção

Fonte: (SILVA, 2002, p. 33)

3.1.14. Acionamento do compressor

O acionamento de compressores pode ser feito basicamente por motor elétrico ou por motor a explosão (gasolina ou diesel). A escolha é dada em função da necessidade, ou seja, ambiente em que ele será instalado (FIALHO, 2004, p. 53).

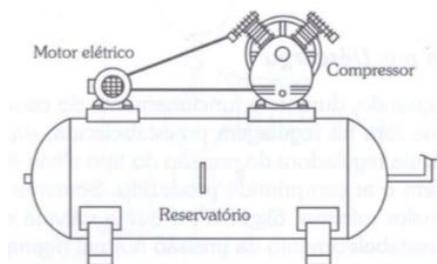


Figura 13: Acionamento a motor elétrico (compressor alternativo).

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 53)

3.2. Distribuição de Ar Comprimido

3.2.1. Localização da Central Geradora

É comum, na indústria, delimitar-se uma área física externa à fábrica, porém anexa a ela, sendo devidamente coberta e protegida. Isenta de poeira e com livre fluxo de ar, em que a temperatura possa, durante todo o ano, manter-se o mais estável possível em cerca de 20 a 25°C segundo afirma (FIALHO, 2004, p. 57). A central geradora deve ainda estar bem nivelada e com fácil acesso para manutenção quando se fizer necessária.



Figura 14: Localização de central de compressor.

Fonte: (BELUTÉCNICA, 2019)

3.2.2. Refrigeração da Central

Normalmente, para pequenas centrais de AC, o próprio aleitamento existente no compressor, em conjunto com o fluxo de ar livre dentro do ambiente da central, é o suficiente para propiciar uma boa dissipação térmica que se origina do atrito do ar quando comprimido dentro da câmara. Entretanto, quando se trata de compressores mais potentes, com potências superiores a 40hp, aconselha-se a utilização de um sistema de ventilação apropriado, com ventiladores industriais (FIALHO, 2004, p. 57).

3.2.3. Rede de distribuição de Ar Comprimido (RDAC)

(OLIVEIRA, 2018, p. 34) comentou que a RDAC tem um papel importante, sendo ele responsável pela ligação entre os diferentes elementos de sistema e encaminhar o AC desde a produção até ao consumo. É-lhe pedido que o faça com a menor perda de carga possível, com mínimo de fugas e que não seja um foco de contaminação do ar.

No dimensionamento de RDAC, há cuidados que se deve levar em conta, o principal é a obtenção de uma perda de carga reduzida, na ordem dos 0,1bares pois a perda de carga na rede resulta no aumento de pressão de trabalho em 1bar e isso representa um acréscimo de 6% na potência consumida pelos compressores. A segunda mais importante é, durante a vida útil da RDAC, devem ser feitos trabalhos de manutenção substituindo troços de tubagem em mau estado e eliminando fugas existentes uma vez que só um orifício de 1mm de fuga, corresponde a uma fuga de 1,2l/s e se o AC estiver a 7bar, mais de 0,42KW serão desperdiçados.

A RDAC é composta por tubulações que ligam o reservatório aos pontos de utilização. Para ter a eficiência máxima na distribuição do AC é importante a definição de um esquema adequado que apresente a rede de distribuição principal, as ramificações e os pontos de consumo. Assim aumenta-se a probabilidade de definir o tipo de rede de distribuição a ser implantada, com o menor percurso e pontos de estrangulamento possíveis, a fim de diminuir a perda de carga e os custos (CORADI, 2011) *apud* (MALDANER, 2016, p. 20).

Consoante (DORNELES & MUGGE, 2008, p. 20) a RDAC possui duas funções básicas:

1. Comunicar a fonte produtora com os equipamentos consumidores;
2. Funcionar como um reservatório para atender às exigências locais.

(JESUS, 2012, p. 31) relata que os locais onde se encontram as tubulações pneumáticas deverão ser locais adequados para manutenções periódicas, com intuito de detectar possíveis fugas de ar. Referir que pequenos vazamentos são causas de consideráveis perdas de pressão.

Pequenos vazamentos podem parecer insignificantes, mas provocam expressivas perdas de pressão que conseqüentemente reduzem a eficiência do sistema. Existem dois tipos principais de redes de distribuição:

- A rede em circuito aberto; e
- A rede em circuito fechado, apresentadas na figura seguinte.

Conforme Fialho (2011) a rede de circuito aberto, conforme mostrada na figura seguinte (b), é indicada geralmente quando se deseja abastecer pontos isolados ou

distantes. Nesse tipo de rede, o ar flui numa única direção, impossibilitando com isso uma alimentação uniforme em todos os pontos.

Já o sistema de rede de circuito fechado apresentado na figura seguinte (a) é o mais comumente utilizado pela maioria das indústrias, pois se distribui por toda a extensão da fábrica, facilitando a instalação de novos pontos de consumo ainda não previstos, bem como possibilita que todos os pontos sejam alimentados de modo uniforme, uma vez que o ar flui nos dois sentidos.

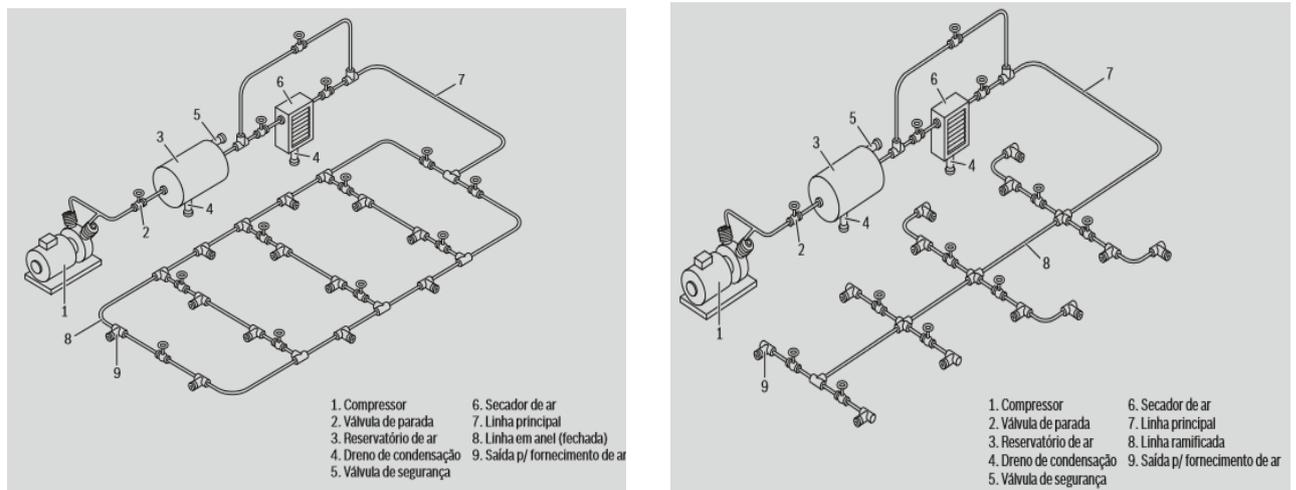


Figura 15: Tipos de redes de distribuição (a) anel fechado (b) anel aberto

Fonte: (BOSCH, 2008, p. 26)

3.2.4. Tipos de conexão de tubos metálicos e acoplamentos

A figura a seguir ilustra os tipos de conexão disponíveis para tubos metálicos.

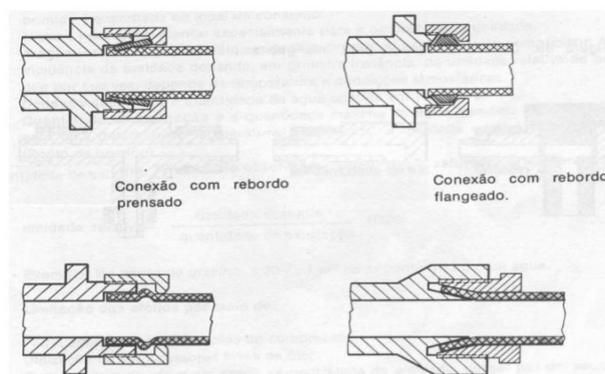


Figura 16: Conexões para tubos metálicos.

Fonte: (SILVA, 2002, p. 37)

A figura que vem ilustra os tipos de acoplamentos usados nas linhas pneumáticas.

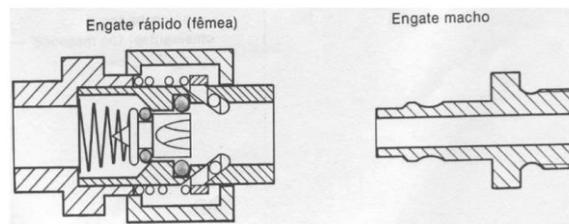


Figura 17: Acoplamentos tipo engate rápido e macho.

Fonte: (SILVA, 2002, p. 38)

A figura seguinte ilustra os tipos de conexões disponíveis para mangueiras de borracha e plásticas.

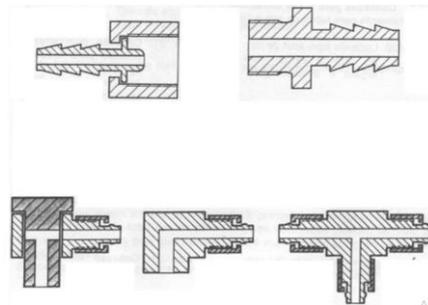


Figura 18: Conexões para mangueiras de borracha e plásticas

Fonte: (SILVA, 2002, p. 38)

3.2.5. Ligações entre os tubos

Conforme afirma (PAVANI, 2011, p. 54), 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" (duas polegadas), usa-se uniões roscadas ou com acessórios para solda de soquete.

- Para tubos acima de 2" (duas polegadas) usa-se 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 19: Tubulação de aço flangeada

Fonte: (METALPLAN, 2017)

3.3. Elementos de montagem e fixação da rede

3.3.1. Fixação da tubulação principal (linha tronco)

As redes de distribuição pneumáticas normalmente são aéreas, sendo fixadas às paredes, vigas ou ao forro por meio de ferragens apropriadas, como tirantes, pendurais, cantoneiras, etc.

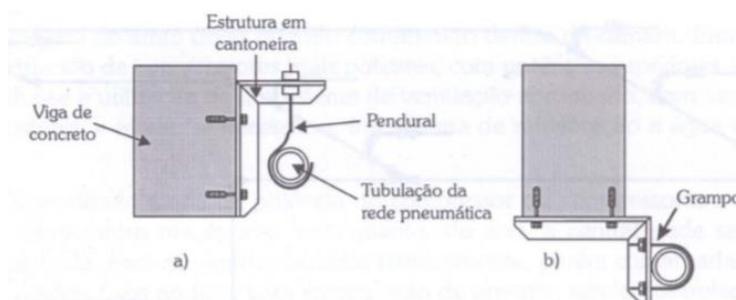


Figura 20: Fixação da tubulação principal da rede nas colunas. a) por pendurais, b) por grampo.

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 60)

3.3.2. Elementos de composição da rede

A figura a seguir apresenta esquematicamente um trecho de uma rede pneumática identificando seus componentes.

A linha principal (tronco), tubulação secundária e linha de alimentação, podem ser confeccionadas em tubo de aço galvanizado ou preto (ASTM A53 SCHEDULE 40) ou inoxidável.

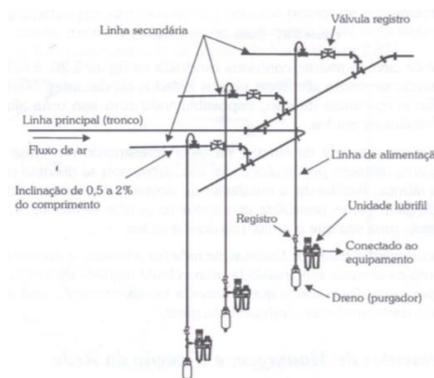


Figura 21: Elementos componentes de uma rede pneumática

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 60)

3.3.3. Queda de pressão

Consoante (BOSCH, 2008, p. 18) a queda de pressão é a variação da pressão devido a fluidez antes e depois do filtro. A queda de pressão no filtro é aumentada pelo acúmulo de pó e partículas sujas no filtro. A queda de pressão para elementos de filtro novos ocorre entre 0,02 e 0,2 bares, dependendo do tipo de filtro.

Ao circular pela tubulação da rede o ar sofre o efeito da condensação, devido às variações de temperatura ambiente, que ocorrem ao longo do dia. Para que a condensação não prejudique o funcionamento dos equipamentos pneumáticos, ela é retirada do sistema através de purgadores instalados na extremidade final das linhas de alimentação (FIALHO, 2004, p. 61).

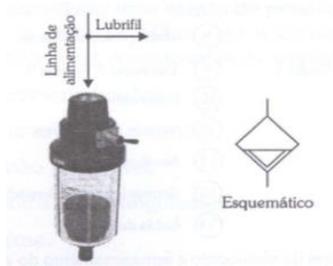


Figura 22: Purgador instalado ao final da linha vertical de alimentação

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 61)

As baixadas terão que ser feitas pela parte superior ou lateral da tubagem, em função dos diâmetros em jogo, por forma a evitar que eventuais condensados possam chegar até aos pontos de consumo ou seja, a linha de alimentação de cada equipamento deve sair pela parte superior da linha secundária e ser munida de um registro para que possibilite a manutenção da unidade de conservação pneumática LUBRIFIL ou do dreno, sem com isso necessitar o desligamento de toda a linha secundária e afectar os outros equipamentos a ela conectados (FIALHO, 2004, p. 61). De acordo com (DORNELES & MUGGE, 2008, p. 20), tubulações devem possuir uma determinada inclinação no sentido do fluxo interior. O valor desta inclinação é de 0,5 a 2% em função do comprimento recto da tubulação onde for executada.



Figura 23: Instalação da linha de alimentação.

Fonte: (PARKER, 2006, p. 18)

As singularidades, curvaturas e válvulas, as curvas devem ser feitas no maior raio possível, para evitar perdas excessivas por turbulência pois por exemplo, para um diâmetro DIN50, o comprimento equivalente de um joelho é 400% superior ao de uma curva de raio longo, deve-se evitar joelhos 'Tês' devido a excessiva perda de carga.

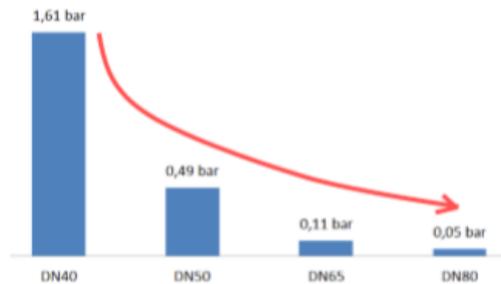


Figura 24: Perda de carga em tubagens

Fonte: (OLIVEIRA, 2018, p. 38)

Segundo (MUAIEVELA, p. 26) existem duas formas de perda de cargas nas RDAC:

- Perdas de Carga ou Energia Primária que é a que ocorre devido a fricção interna (representa a maior parcela);
- Secundária é a que ocorre em singularidades tais como válvulas e conexões, alargamentos e estreitamentos, qualquer obstrução ao escoamento.

A alimentação aos pontos de consumo é sempre o troço muito penoso em termos de perdas. vulgarmente este troço desenvolve-se através de uma linha flexível, vulgo mangueira, em que a sua ligação é feita através de duas uniões rápidas, uma em cada extremidade, e tem no final um conjunto FRL (Filtro, Regulador e Lubrificador).

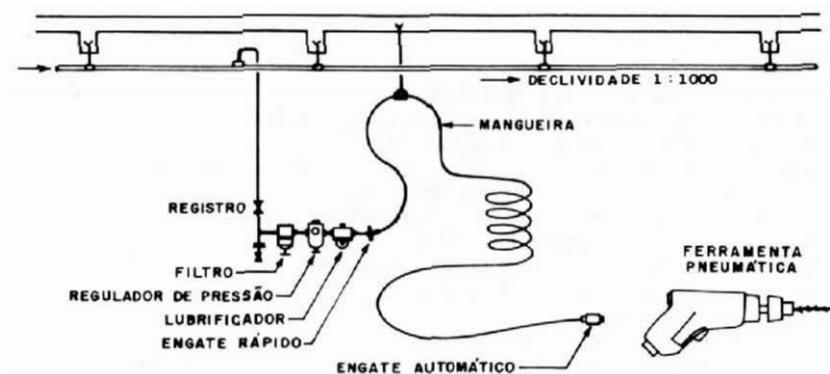


Figura 25: Instalação de AC nos pontos de consumo

Fonte: (MACINTYRE, 2013, p. 589)

3.4. Tratamento do Ar Comprimido

Antes de entrar em cada máquina pneumática o ar passa por uma unidade de tratamento como mostrado na figura a seguir composta por um filtro, uma válvula

reguladora de pressão e um lubrificador. Essa unidade tem por objetivo ajustar as características do ar de forma específica para cada máquina.

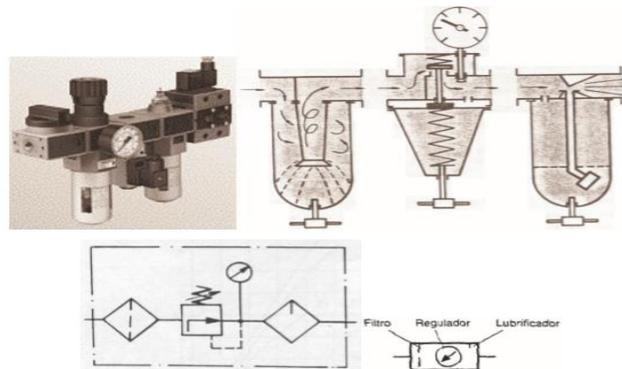


Figura 26: Unidade de tratamento e seus símbolos

Fonte: (SILVA, 2002, p. 39)

A seguir debruça-se sobre cada um dos constituintes da unidade de tratamento

3.4.1. Filtro

O filtro serve para eliminar partículas sólidas e líquidas (impurezas, água, etc). A filtração ocorre em duas fases. Uma pré-eliminação é feita por rotação do ar gerando uma força centrífuga como mostrado na figura seguinte. A eliminação fina é feita pelo elemento filtrante. O filtro apresenta um dreno (manual ou automático) para a eliminação de água. A porosidade do elemento filtrante é da ordem de 30 a 70 μm .

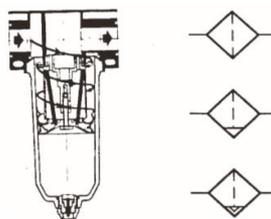


Figura 27: Filtro e seus símbolos.

Fonte: (SILVA, 2002, p. 39)

3.4.2. Válvula reguladora de pressão

Essa válvula tem a função de manter constante a pressão no equipamento. Ela somente funciona quando a pressão a ser regulada (pressão secundária) for inferior que a pressão de alimentação da rede (pressão primária). Assim essa válvula pode

reduzir a pressão, mas jamais aumentá-la. A figura a seguir descreve uma válvula de segurança juntamente com o seu símbolo.

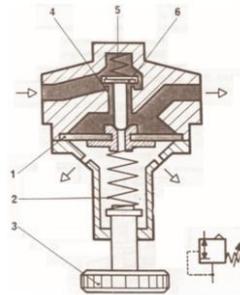


Figura 28: Válvula de segurança

Fonte: (SILVA, 2002, p. 40)

3.4.3. Lubrificador

O lubrificador tem a função de lubrificar os aparelhos pneumáticos de trabalho e de comando. A alimentação do óleo é feita pelo princípio de Venturi que é ilustrado na figura em baixo.

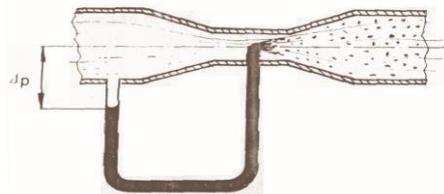


Figura 29: Princípio de Venturi

Fonte: (SILVA, 2002, p. 41)

Essencialmente quando o fluxo de ar passa por uma seção de menor área, a sua velocidade aumenta e a sua pressão diminui, e, portanto, o óleo contido no tubo é pulverizado no ar. A figura abaixo ilustra um lubrificador e seu símbolo. O nível do óleo deve ser verificado periodicamente e a sua dosagem controlada

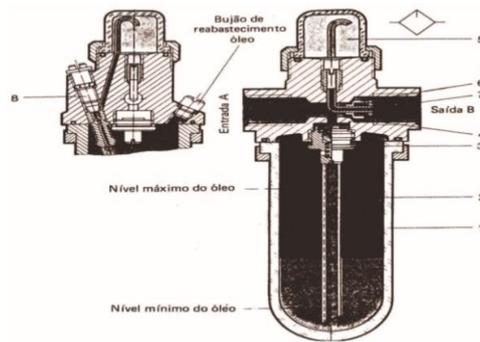


Figura 30: Lubrificador.

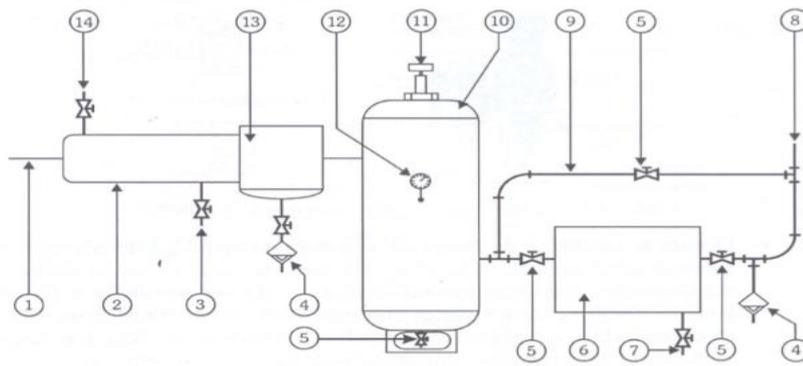
Fonte: (SILVA, 2002, p. 41)

É de salientar que no processo de geração do ar comprimido, o ar atmosférico após a compressão, tem sua temperatura elevada em função dos atritos, a uma temperatura superior à de armazenamento, necessitando assim passar por um resfriador (1), a fim de levar-lhe a condição apropriada ao armazenamento no reservatório (10). Essa passagem através do resfriador (2) provoca, em função da diferença de pressão e temperatura, uma condensação de pequena parte do ar, que será separada no separador de condensados (13) e posteriormente eliminada pelo purgador (4).

Uma vez armazenado no reservatório a uma pressão de cerca de 12 kgf/cm² (12bares) e temperatura de 20°C, o ar pode ser utilizado quando for conveniente, entretanto sua utilização deve ser precedida de novo tratamento, isso porque a ação da variação da temperatura ambiente (diferença de temperatura e pressão entre ambiente e reservatório) coloca o ar em uma condição húmida, havendo assim a necessidade de uma secagem prévia em um secador (6) . Desse modo, parte do ar que não contenha partículas de água seguirá pelo Bypass (9) alimentando a linha tronco (8), e o restante passará pelo secador (6), em que as partículas de água serão eliminadas, "retidas", seguindo para a linha tronco (8) somente o ar seco.

Mesmo com todo esse tratamento prévio, é necessária a utilização de purgadores nas linhas de alimentação dos automatismos, pois o ar que fica retido nas tubulações sofre, em parte, em função de diferenças de temperatura e pressão, principalmente durante os meses de inverno, pequena condensação, devendo assim ser eliminada pelos purgadores.

A figura seguinte representa esquematicamente o desenho de uma central completa de tratamento e armazenamento do AC.



- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Saída do compressor | 8. Linha principal (Tronco) |
| 2. Resfriador posterior ("Alter Cooler") | 9. Derivação ("By-pass") |
| 3. Entrada de água | 10. Reservatório |
| 4. Purgador | 11. Válvula de segurança |
| 5. Registro | 12. Manômetro |
| 6. Secador | 13. Separador de condensados |
| 7. Dreno | 14. Saída de água |

Figura 31: Central de tratamento e armazenamento do AC

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 62)

3.5. Reservatório de Ar Comprimido

O reservatório é um vaso de pressão e, portanto, deve ser projetado e construído de acordo com a especificação das normas dos países em que foram desenvolvidos. A norma de segurança brasileira NR-13 acompanha a norma americana da ASME (American Society of Mechanical Engineers) (ELETROBRÁS, 2005) *apud* (MALDANER, 2016, p. 23).

Um SAC é dotado de um ou mais reservatórios (PAVANI, 2011, p. 43). Ele tem as seguintes funções:

- Armazenar o AC;
- Resfriar o ar;
- Auxiliar na eliminação do condensado;
- Compensar as flutuações de pressão e demanda em todo o sistema de distribuição;
- Estabilizar o fluxo de AC; e

- Controlar as marchas dos compressores.

Deve-se levar como lembrete o facto de que 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.

3.5.1. Localização do reservatório

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

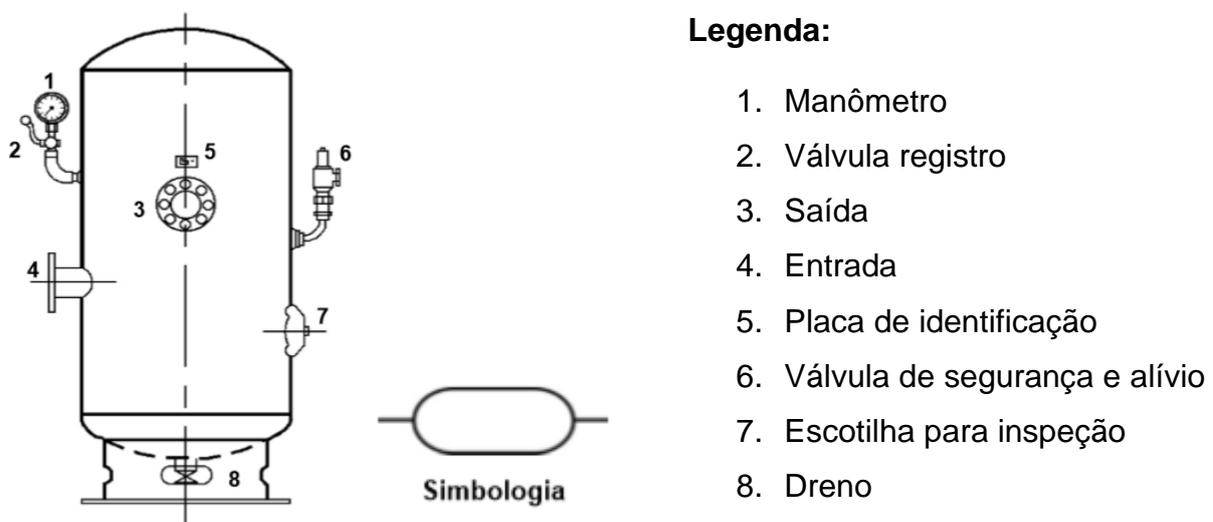


Figura 32: Reservatório de AC

Fonte: (PARKER, 2006, p. 12)

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 AC.

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.

3.6. Admissão de ar

Nos compressores de pequeno porte, a tomada de ar se realiza no próprio local onde se encontram, sendo necessário apenas abertura suficiente para entrada de ar no recinto. Nos compressores de porte médio e grande, é previsto um tubo de aspiração independente para cada compressor, possibilitando a tomada de ar pelo lado externo da casa de compressores. Tanto num caso quanto no outro é indispensável que o ar, antes de penetrar no compressor, passe por um filtro, de modo a impedir que partículas de pó abrasivas tenham acesso à câmara de compressão do compressor. Há ruídos e até mesmo o fenômeno de ressonância. Para reduzir o ruído, impedindo que as ondas sonoras se propaguem a partir da boca de entrada do ar, adapta-se um silenciador, o qual é dimensionado para cada caso, veja a figura a seguir. O problema relacionado com a ressonância é resolvido ao escolher um comprimento adequado para a tubulação a usar, juntas flexíveis na mesma. A tomada-de ar deve ficar pelo menos 3 m acima do nível do terreno e, se possível, afastada a mesma distância de qualquer parede adjacente. A velocidade do ar no tubo de aspiração deve ser de:

- 5 a 6 m/s para compressores de simples efeito e tubo de aspiração com menos de 6 m;
- 6 a 7 m/s para os de duplo efeito. Para o dimensionamento do tubo de aspiração, pode-se usar o gráfico da Fig. 34 , da Atlas Copco

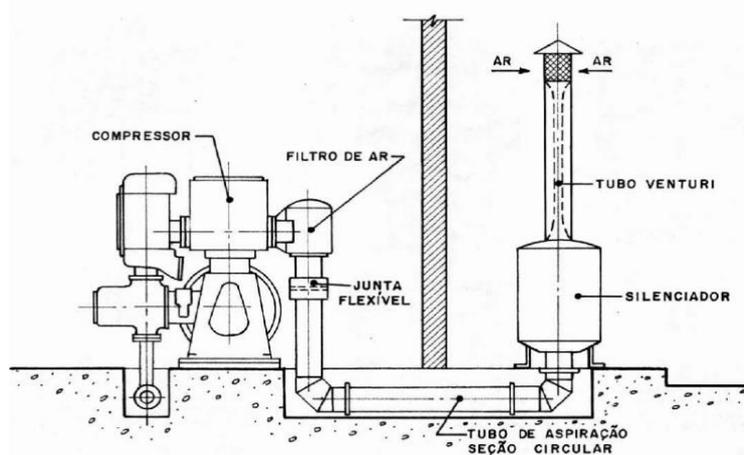


Figura 33: Tubo de aspiração com silenciador tipo ventun (Sugestão Atlas Copco).

Fonte: (MACINTYRE, 2013, p. 582)

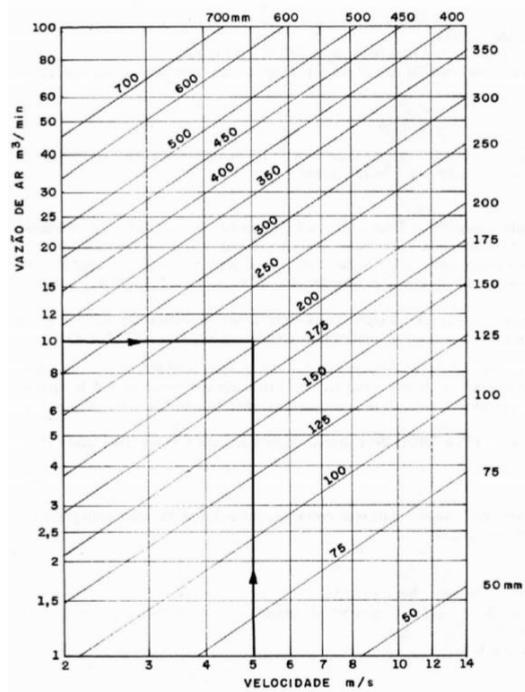


Figura 34: Diagrama para deteminação do diâmetro do tubo de aspiração

Fonte: (MACINTYRE, 2013, p. 583)

4. Dimensionamento das tubulações

(FIALHO, 2004) afirma que o diâmetro mínimo da tubulação principal de AC, pode ser obtido pela equação (1). O diâmetro das linhas de alimentação também pode ser encontrados aplicando a mesma equação. Mas, para isso, deve-se ajustar os valores das variáveis vazão e comprimento total.

$$d = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785x10^{-3} \cdot Q_t^{1,85} \cdot L_t}{\Delta P \cdot P}} \right] \quad (1)$$

Onde:

d : Diâmetro interno da tubulação, [mm];

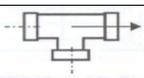
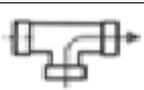
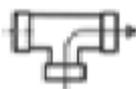
Q_t : Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação + perdas por vazamentos, [m³/h];

L_t : Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.), [m];

ΔP : Queda de pressão admitida: perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades, [kgf/cm²];

P : Pressão de regime: pressão do ar armazenado no reservatório, [kgf/cm²].

Tabela 1: Singularidades selecionadas.

Rede de distribuição (principal)		Rede de alimentação	
	Curva 90° de raio longo roscado		Curva de 180° de raio longo roscado
	Tê fluxo em linha roscado		Curva de 45° de raio longo roscado
	Tê fluxo em ramal roscado		Tê fluxo em ramal roscado
	Válvula de registro tipo gaveta		Válvula de registro tipo gaveta

4.1. Metodologia

Este estudo surgiu da necessidade de instalação de uma RDAC para a nova fábrica da Belutécnica, S.A. Neste sentido, a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento do trabalho, baseou-se em (GIL, 2008), que caracteriza a pesquisa como exploratória descritiva, por explorar a questão de pesquisa que trata de como o dimensionamento do sistema irá atender a qualidade e a capacidade de produção da empresa. Desta forma, um SAC bem dimensionado poderá proporcionar um menor custo de produção para a empresa, em virtude do menor consumo de energia, além de um melhor rendimento e maior vida útil dos equipamentos pneumáticos. Diante disso, procurou-se determinar de maneira mais simples possível, o melhor caminho para efetuar o dimensionamento do SAC.

4.2. Métodos e técnicas utilizadas

Utilizou-se a pesquisa aplicada para responder ao objectivo geral que mostra o dimensionamento de uma RDAC que atenda a demanda de pressão e vazão requeridas na instalação em uma fábrica localizada na província de Maputo, Boane, Parque Industrial de Beluluane, parcela 076. Para responder aos objectivos específicos foi utilizada a pesquisa bibliográfica elaborada a partir de material já publicado, constituído por livros, manuais, internet, catálogos técnicos entre outros disponíveis ao público em geral. Utilizou-se por meio do levantamento dos itens que foram utilizados para efetuar os cálculos da tubulação, volume do reservatório e todo o embasamento teórico, buscou-se ainda o levantamento de informações para o dimensionamento da RDAC, dentre elas:

- Verificou-se os equipamentos que possuem necessidade do uso de AC;
- Colectou-se as dimensões da fábrica para o desenvolvimento do esquema de distribuição;
- Com o modelamento da rede de distribuição, identificou-se o comprimento da linha principal e linhas de alimentação;
- Levantou-se as singulares necessárias e dimensões para união das tubulações;

- Através do catálogo de fabricantes, colectou-se o volume de ar necessário de cada equipamento para o seu funcionamento;
- Com o volume total de ar identificado, definiu-se um acréscimo de 20% no volume para futuras ampliações da empresa;
- Determinou-se a pressão de regime do sistema;
- A partir dos dados necessários para o cálculo, dimensionou-se o diâmetro da tubulação da linha principal e de alimentação;
- Conforme os parâmetros do compressor pré-determinado, identificou-se o volume do reservatório de ar.

4.3. Colecta de dados

4.3.1. Dimensões da tubulação

Através dos valores encontrados na planta da fábrica usando como programa o AutoCad para poder simular o esquema de distribuição mais apropriado e simultaneamente extrair as medidas lineares da tubulação. As dimensões da rede de distribuição estão apresentadas nas figuras 35-7 seguintes. A rede de distribuição conduz o AC do reservatório até as redes de alimentação. O detalhamento possibilitou determinar o comprimento linear da tubulação através da soma de todas as extremidades críticas onde se obteve o comprimento de 161,8m. Seguindo o mesmo conceito para rede de alimentação a qual exerce a função de distribuir o AC para os pontos de consumo dos equipamentos, o comprimento linear será de 3 m para quinze linhas e de 6,3m para uma linha de alimentação. Como pode-se verificar nas figuras seguintes.

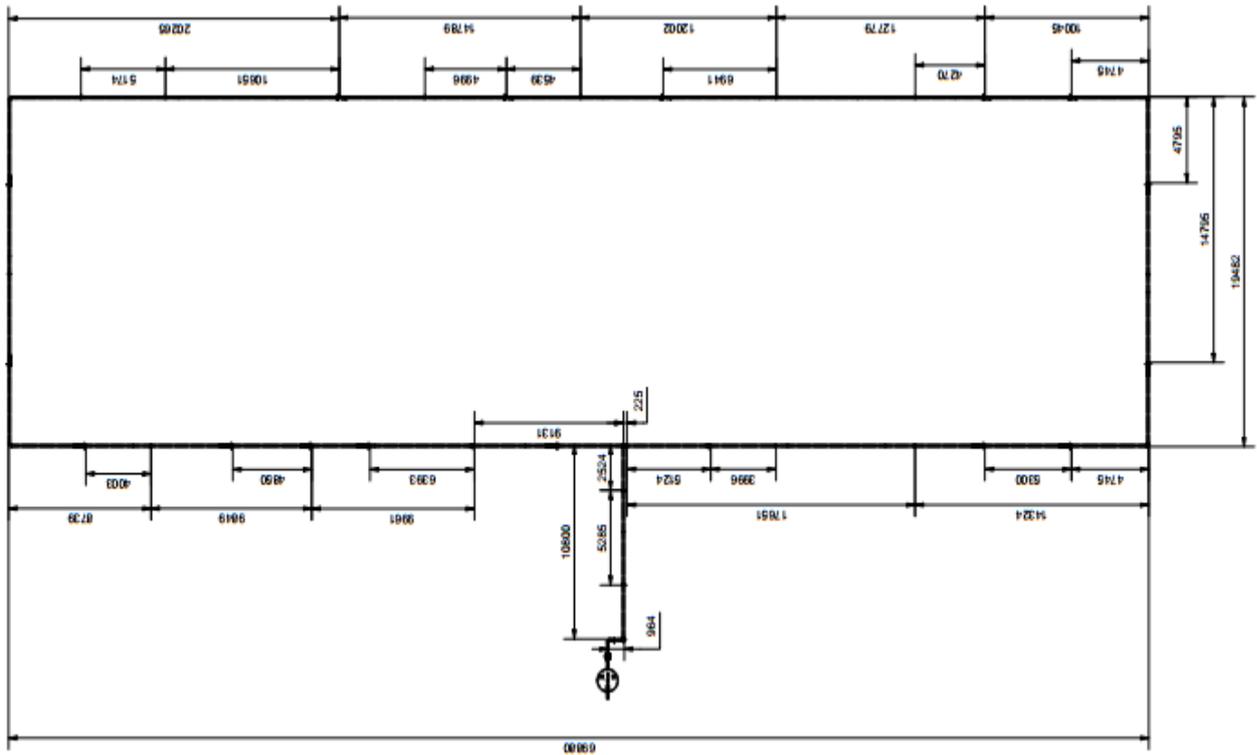


Figura 35: Esquema de distribuição da tubulação principal (Vista de cima)

Fonte: Própria

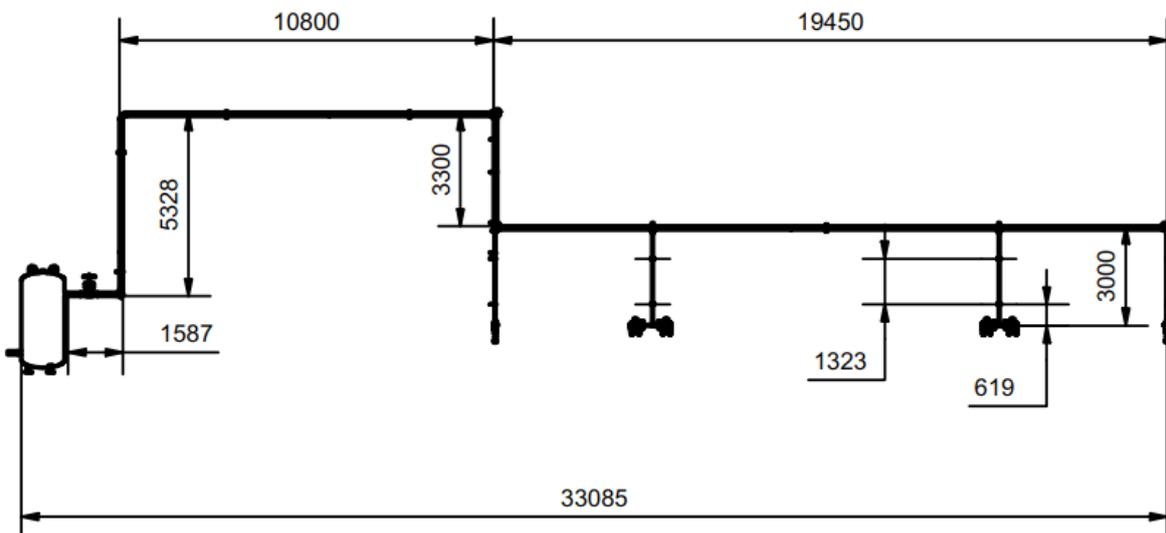


Figura 36: Esquema de distribuição da tubulação principal e alimentação (Vista de frontal em corte)

Fonte: Própria

Para comprimento linear da tubulação principal L_1

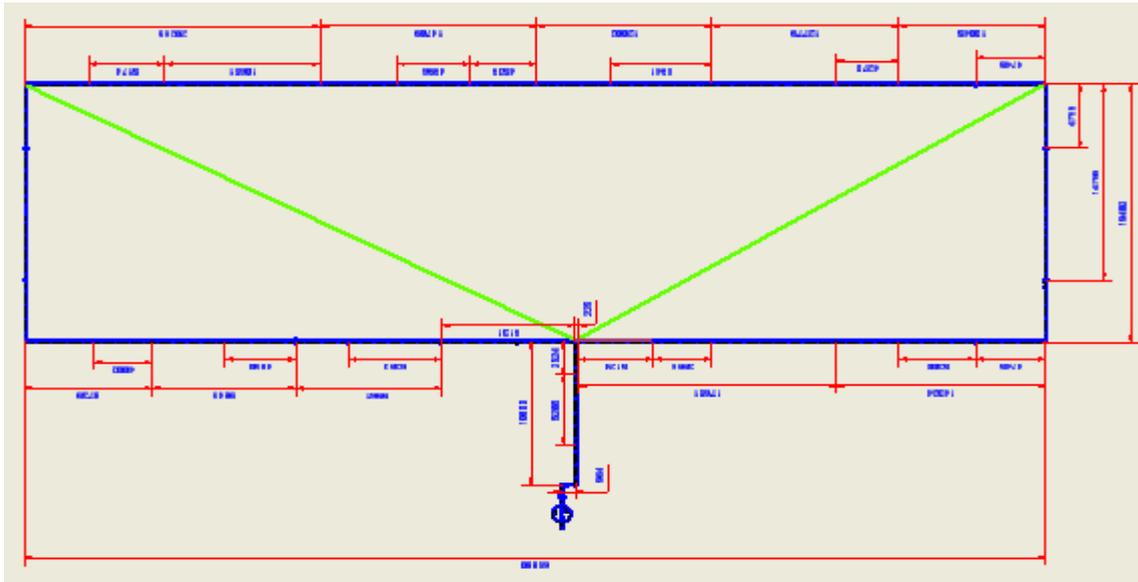
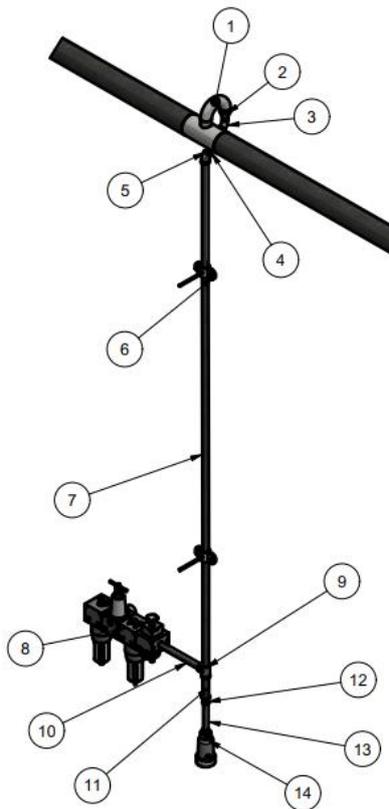


Figura 37: Traçado de diagonais para o cálculo do comprimento linear essencial

$$L_l = 2 \times 69,9 + 19,5 + 10,8 + 1,6 + 3,3 \times 2 + 5,3 - 8,7 - 9,9 - (9,9 - 6,4) = 161,8m$$

Legenda:



1. Curva de 180° de 1 $\frac{1}{2}$ polegadas;

2. Redutor de 1 $\frac{1}{2}$ polegadas para $\frac{3}{4}$ polegadas;

3., 5., Curva de 45°;

4, 7., 10., 12. Tubos de $\frac{3}{4}$ polegadas;

6. Grampo;

8. Conjunto LUBRIFIL;

9. Singularidade em T de $\frac{3}{4}$ polegadas;

11. Tubo de $\frac{1}{2}$ polegadas;

12. Redutor de $\frac{3}{4}$ polegadas para $\frac{1}{2}$ polegadas

13. Tubo de $\frac{1}{2}$ polegadas;

14. Dreno automatico

Figura 38: Esquema da rede de alimentação

Fonte: Própria

4.3.2. Vazão do sistema

Segundo (FIALHO, 2004, p. 64), é a quantidade em m^3 de ar por hora que será consumida da rede, pelos automatismos ou equipamentos, supondo todos em funcionamento simultâneo.

Diante disso, buscou-se levantar os equipamentos pneumáticos que estarão em funcionamento na empresa e as especificações de consumo de ar e pressão de trabalho de cada equipamento de acordo com o fabricante. Para obter informações técnicas, levantou-se os equipamentos que são alimentados pela RDAC e a funcionalidade dos mesmos, como pode-se observar na tabela 2.

As informações da vazão de ar total e unitária juntamente com a pressão de trabalho de cada equipamento podem ser analisadas na tabela seguinte. Como se pode observar a vazão total dos equipamentos é de $1030 m^3/h$. Para o dimensionamento da tubulação a vazão total deve ser somada com o valor estipulado para futuras ampliações na empresa e tomando em conta 5% de vazamentos segundo recomenda (MACINTYRE, 2013, p. 570) que foi de $51,5 m^3/h$. De acordo com a (PARKER, 2006) após a vazão total dos equipamentos definida deve-se estabelecer um fator entre 20% e 50% para futuras ampliações da empresa. Seguindo este conceito analisou-se a possibilidade máxima de crescimento da empresa nas futuras instalações, chegando a uma percentagem de 20% e obteve-se $206 m^3/h$. Realizou-se a soma com a vazão total dos equipamentos, o valor originado foi de $1287,5 m^3/h$.

$$Q_t = Q_e + Q_f + Q_v \quad (2)$$

Onde: Q_e : Vazão dos equipamentos pneumáticos; $Q_e = 1030 m^3/h$

Q_f : Vazão considerada para a ampliação futura;

$$Q_f = 20\%Q_e \quad (3)$$

$$Q_f = 1030 m^3/h \times 20\% = 206 m^3/h$$

Q_v : Vazão considera para considerar a perda por vazamentos para instalações industriais.

$$Q_v = 5\%Q_e \quad (4)$$

$$Q_v = 1030 m^3/h \times 5\% = 51,5 m^3/h$$

$$Q_t = 1030 + 206 + 51,5 = 1287,5 \text{ m}^3/\text{h} = 21,46 \text{ m}^3/\text{min}$$

A tabela abaixo indica o tipo de equipamentos usados que necessitam de ar:

Tabela 2: Equipamentos pneumáticos

Equipamento	Unidade	Qt	Pressão P[bar]	Vazão Unitária Qu[m ³ /h]	Vazão total Q[m ³ /h]
De Pintura	Lote	2	6	30	60
De Decapagem	Lote	2	6	48	96
Guilhotina	Cada	1	7	50	50
Prensa Hidráulica	Cada	1	7	50	50
Chave de impacto 1 $\frac{1}{2}$ polegadas	Cada	4	6	108	432
Rebarbadeiras	Cada	5	6	30	150
Máquina de goivagem 1000A	Cada	4	6	48	192
Total					1030

Fonte: (BELUTÉCNICA, 2019)

4.3.3. Queda de pressão admitida

Para o dimensionamento da tubulação, deve-se considerar a queda de pressão, também conhecida como perda de carga que ocorre por atrito do ar com a tubulação durante o fluxo. Os valores variam de 0,3 kgf/cm² para tubulações menores e 0,5 kgf/cm² para tubulações acima de 500m de comprimento (FIALHO, 2004, p. 64). Seguindo este embasamento utilizou-se a queda de pressão admitida de 0,3 kgf/cm² pelo facto do comprimento crítico da tubulação atingir 161,8m.

4.3.4. Pressão de regime

A pressão de regime é a pressão efetiva fornecida pelo compressor e consequentemente a pressão em que o ar se encontra armazenado no reservatório,

a pressão de regime gira em torno de 7 a 12 kgf/cm². Os equipamentos analisados na empresa operam na pressão de 7 kgf/cm², no entanto para que o ar atinga os pontos de alimentação com a pressão especificada pelos equipamentos deve-se considerar a pressão do reservatório, em consequência das perdas de carga durante a distribuição do ar. Com esse intuito, a pressão considerada para cálculo do diâmetro das tubulações será de 11 kgf/cm².

4.3.5. Seleção do compressor

O compressor já se encontrava selecionado para a aplicação no caso deste projecto. Segundo (BELUTÉCNICA, 2019), o compressor escolhido foi GA 355, por meio de Atlas Copco com as seguintes características:

- Compressor de parafuso rotativo a óleo injectado;
- Pressão de trabalho: 13 bar;
- Vazão máxima: 43,9m³/h ou 731l/s;
- Peso: 7760kg ou 17110lb;

Mais detalhes podem ser observados no anexo A-3-63.

4.3.6. Parâmetros para calcular o volume do reservatório

Conforme (PARKER, 2006) defende, para calcular o volume do reservatório de armazenamento de ar quando se utiliza compressores rotativos (parafuso), adopta-se a seguinte regra:

Volume de 10% a 100% da vazão em m³/min que deverá ser atendido pelo sistema, isto é:

Volume do reservatório = 10% ... 100% da vazão total do sistema em m³/min.

$$VR = 13\%Q_t \quad (5)$$

$$VR = 13\% \times 21,46 \frac{m^3}{min} = 2,79m^3 = 2790l$$

Escolhe-se um reservatório da marca Kaeser Compressors para equipamentos industriais, vertical de 3000 litros, com pressão de até 11 bar, altura: 2705mm,

diâmetro: 1250mm, massa: 683kg, conforme pode-se ver no anexo A-4-64. E será obtido na África do Sul, pelo facto de (KAESER COMPRESSORS) ter instalações neste país vizinho.



Figura 39: Características do reservatório de AC

Fonte: (KAESER COMPRESSORS)

4.3.7. Dimensionando a linha principal da RDAC

Em primeiro lugar é necessário dispor em uma tabela todas as singularidades com seus respectivos comprimentos equivalentes, porém, ao consultar a tabela nos anexos A-1-60, verifica-se que há necessidade do conhecimento de um diâmetro nominal. Esse diâmetro será obtido de uma primeira aplicação da equação seguinte, sem, no entanto, considerar a existência das singularidades, ou seja, será considerado apenas o comprimento da tubulação retilínea. Assim, ter-se-á:

1. Cálculo do diâmetro interno da tubulação sem o comprimento equivalente das singularidades

$$d = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot L_l}{\Delta P \cdot P}} \right]$$

$$d = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times (1287,5 \frac{m^3}{h})^{1,85} \times 161,8m}{0,3 \frac{kg}{cm^2} \times 11 \frac{kg}{cm^2}}} \right]$$

$$d = 85,69mm$$

Através da aplicação obteve-se o diâmetro interno nominal de 85,69 mm, para verificar o diâmetro comercial mais aproximado deve-se considerar o valor maior ou igual ao diâmetro nominal. Consultando o anexo A2 para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A53 SCHEDULE 40 foi possível identificar o diâmetro comercial de 90,1mm o qual corresponde a $3\frac{1}{2}$ polegadas.

2. Cálculo do diâmetro interno da tubulação com o comprimento equivalente das singularidades

4.3.8. Número de Pontos de Estrangulamento

(FIALHO, 2004, p. 65) afirma que são singularidades como (curvas, registros, tês, etc.), necessárias para distribuição da linha de AC por dentro de toda a planta industrial. Essas singularidades devem ser transformadas em comprimento equivalente (L_{eq}), o que é possível com a utilização da tabela no anexo A-1-61.

Conforme (PARKER, 2006) a seleção da conexões utilizadas na rede é muito importante, e as mais adequadas são as de raio longo que proporcionam maior fluxo de ar assim evitando perdas de carga por turbulência. Durante essa avaliação foram definidas as singulares especificadas na tabela 3, que tem a função de interligar ou em alguns casos bloquear as linhas.

Tabela 3: Singularidades na linha principal

Singularidades	Qt	Qtu	Comprimento unitario [m]	Comprimento total, L_{eq} [m]
Curva 90° de raio longo	11	8	1,15	9,2
Tê fluxo em linha	16	11	0,74	8,14
Tê fluxo em ramal, flange	1	1	3,3	3,3
Válvula de globo	1	1	28,7	28,7
Total [m]				49,34

Agora, na segunda interação tem de considerar-se o comprimento total da linha principal, isto é, a soma do comprimento linear da tubulação da linha principal com o comprimento equivalente originado dos pontos de estrangulamento ou singularidades.

$$L_u = L_t = L_l + L_{eq} \quad (6)$$

Onde:

L_u : É o comprimento da linha principal a usar, [m];

L_{eq} : É o comprimento equivalente das singularidades existentes no troço em análise, [m].

$$L_u = 161,8m + 49,34m = 211,14m$$

Portanto,

$$d = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot L_u}{\Delta P \cdot P}} \right]$$

$$d = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times (1287,5 \frac{m^3}{h})^{1,85} \times 211,14m}{0,3 \frac{kf}{cm^2} \times 11 \frac{kf}{cm^2}}} \right]$$

$$d = 90,36mm$$

Através da aplicação da fórmula (1) obteve-se o diâmetro interno nominal de 90,36 mm, uma vez que de acordo com o anexo A-1-62, tem de escolher-se o diâmetro comercial mais próximo, neste contexto, considera-se de facto o tubo de aço preto ou galvanizado ASTM A 53 SCHEDULE 40 com diâmetro interno 90,1mm de $3\frac{1}{2}$ polegadas, diâmetro externo de 101,6 mm ou 4 polegadas com espessura de 5,74mm ou 0,226 polegadas.

4.3.9. Dimensionando a linha de alimentação da RDAC

O procedimento de cálculo é o mesmo que o usado para o cálculo da linha principal porém deve-se calcular o diâmetro tomando em conta a vazão que cada linha de

alimentação recebe da linha principal, neste contexto, leva-se a vazão fornecida pela linha principal e divide-se pelo número de linhas de alimentação.

3. Cálculo do diâmetro interno da tubulação sem o comprimento equivalente das singularidades.

$$d_a = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785x10^{-3} \cdot Q_{ta}^{1,85} \cdot L_{ta}}{\Delta P \cdot P}} \right] \quad (1')$$

Onde:

d_a : Diâmetro interno da tubulação, [mm];

Q_{ta} : Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação + perdas por vazamentos, [m³/h];

L_{ta} : Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.), [m];

ΔP : Queda de pressão admitida: perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades, [kgf/cm²];

n : Representa o número de linhas secundárias;

P : Pressão de regime: pressão do ar armazenado no reservatório, [kgf/cm²].

Cálculo da vazão que cada linha de alimentação recebe da principal

$$Q_{ta} = \frac{Q_t}{n} = \frac{1287,5 \frac{m^3}{h}}{16} = 80,47 \frac{m^3}{h}$$

Visto ter-se linhas de alimentação com diferentes comprimentos, deve-se efectuar o cálculo para os dois casos e verificar se o diâmetro será o mesmo, se não for, terá que se adquirir diferentes tubulações porem feitos do mesmo material.

1. $L_{ta1} = 3,0m$

2. $L_{ta2} = 6,3m$

Para o primeiro caso:

$$d_{a1} = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times (80,47 \frac{m^3}{h})^{1,85} \times 3,0m}{0,3 \frac{kf}{cm^2} \times 11 \frac{kf}{cm^2}}} \right]$$

$$d_{a1} = 13,84mm$$

Através da aplicação obteve-se o diâmetro interno nominal de 13,84 mm, para verificar o diâmetro comercial mais aproximado deve-se considerar o valor maior ou igual ao diâmetro nominal ou o mais próximo. Consultando o anexo A-2-62 para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A53 SCHEDULE 40 foi possível identificar o diâmetro comercial de 15,8 mm o qual corresponde a $\frac{1}{2}$ polegadas.

4. Cálculo do diâmetro interno da tubulação com o comprimento equivalente das singularidades

4.3.10. Número de pontos de estrangulamento

Tabela 4: Singularidades na linha de alimentação menor

Singularidades	Qt	Comprimento unitario [m]	Comprimento total, Leq[m]
Curva 180° de raio	1	2,3	2,3
Curva 45°	1	0,14	0,14
Curva 45° roscado	1	0,28	0,28
Tee com fluxo em ramal	1	1,6	1,6
Total			4,32

Agora, na segunda interação tem de considerar-se o comprimento total da linha principal, isto é, a soma do comprimento linear da tubulação da linha principal com o comprimento equivalente originado dos pontos de estrangulamento ou singularidades.

$$L_{ua1} = L_{ta1} = L_{la1} + L_{eqa1} \quad (6')$$

Onde:

L_{ua1} : É o comprimento da linha principal a usar, [m];

L_{eqa1} : É o comprimento equivalente das singularidades existentes no troço em análise, [m].

$$L_{ua1} = 3,0m + 4,32m = 7,32m$$

Portanto,

$$d_{a1} = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \cdot Q_a^{1,85} \cdot L_{ua1}}{\Delta P \cdot P}} \right]$$

$$d_{a1} = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times (80,47 \frac{m^3}{h})^{1,85} \times 7,32m}{0,3 \frac{kf}{cm^2} \times 11 \frac{kf}{cm^2}}} \right]$$

$$d_{a1} = 16,54mm$$

Através da aplicação da fórmula (1) obteve-se o diâmetro interno nominal de 16,54 mm, uma vez que de acordo com o anexo A-2-62, o diâmetro comercial considerado é maior que o calculado sem singularidades, considera-se o tubo de aço preto ou galvanizado ASTM A 53 SCHEDULE 40 com diâmetro interno 21mm de $\frac{3}{4}$ polegadas, diâmetro externo de 26,7 mm ou 1,05 polegadas com espessura de 2,81mm ou 0,113 polegadas.

Para o segundo caso:

$$d_{a2} = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times (80,47 \frac{m^3}{h})^{1,85} \times 6,3m}{0,3 \frac{kf}{cm^2} \times 11 \frac{kf}{cm^2}}} \right]$$

$$d_{a2} = 16,05mm$$

Através da aplicação obteve-se o diâmetro interno nominal de 16,05mm, para verificar o diâmetro comercial mais aproximado deve-se considerar o valor maior ou igual ao

diâmetro nominal. Consultando o anexo A-2-62 para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A 53 SCHEDULE 40 foi possível identificar o diâmetro comercial de 21mm de $\frac{3}{4}$ polegadas, diâmetro externo de 26,7 mm ou 1,05 polegadas com espessura de 2,81mm ou 0,113 polegadas.

5. Cálculo do diâmetro interno da tubulação com o comprimento equivalente das singularidades

4.3.11. Número de pontos de estrangulamento

Tabela 5: Singularidades na linha principal

Singularidades	Qt	Comprimento unitario [m]	Comprimento total, Leq[m]
Curva 180° de raio	1	2,3	2,3
Curva 45°	1	0,14	0,14
Curva 45° roscado	1	0,28	0,28
Tee com fluxo em ramal	1	1,6	1,6
Total			4,32

Agora, na segunda interação tem de considerar-se o comprimento total da linha principal, isto é, a soma do comprimento linear da tubulação da linha principal com o comprimento equivalente originado dos pontos de estrangulamento ou singularidades.

$$L_{ua2} = L_{ta2} = L_{la2} + L_{eqa2} \quad (6'')$$

Onde:

L_{ua2} : É o comprimento da linha principal a usar, [m];

L_{eqa2} : É o comprimento equivalente das singularidades existentes no troço em análise, [m].

$$L_{ua2} = 6,3m + 4,32m = 10,62m$$

Portanto,

$$d_{a2} = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \cdot Q_{a1}^{1,85} \cdot L_{ua1}}{\Delta P \cdot P}} \right]$$

$$d_{a2} = 10x \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times (80,47 \frac{m^3}{h})^{1,85} \times 10,62m}{0,3 \frac{kf}{cm^2} \times 11 \frac{kf}{cm^2}}} \right]$$

$$d_{a2} = 17,82mm$$

Através da aplicação da fórmula (1'') obteve-se o diâmetro interno nominal de 17,82 mm, pelo anexo A-2-62 foi possível identificar o diâmetro comercial de 21mm de $\frac{3}{4}$ polegadas, diâmetro externo de 26,7 mm ou 1,05 polegadas com espessura de 2,81mm ou 0,113 polegadas.

5. Manutenção

Por conta de tomar precauções para que o SAC ou a rede de distribuição de AC resista por mais tempo, é de salientar que as tubulações pneumáticas exigem manutenção regular, razão pela qual não devem, dentro do possível, serem mantidas dentro de paredes ou cavidades estreitas, pois isto dificulta a detecção de fugas de ar. Pequenos vazamentos são causas de consideráveis perdas de pressão.

Manutenção é um processo rotineiro e recorrente de manter uma determinada máquina ou um determinado bem nas suas condições normais de operação de modos que possa dar o seu nível esperado de desempenho ou de serviço sem causar qualquer perda de tempo causada por uma danificação acidental, falha ou avaria (ALI, 2006). Em outras palavras, Manutenção significa o trabalho necessário para manter o equipamento industrial de modos que possa ser utilizado na sua capacidade total e eficiência durante o máximo tempo possível.

Tipos de Manutenção

Segundo (ALI, 2006), No domínio industrial destacam-se dois tipos de Manutenção:

- a) **Manutenção acidental ou por avarias** que consiste em intervir, somente, quando as máquinas ou os equipamentos se avariaram. Neste caso, a produção fica parada enquanto a reparação é efectuada, a menos que existam uns equipamentos de reserva.
- b) **Manutenção planificada** – neste caso, os equipamentos são vistoriados e, se necessário, reconicionados segundo um programa de intervenção estabelecido de modo a evitar perturbações a produção. Os períodos de intervenção são escolhidos de modo a não prejudicar a produção, podendo ser: Férias, fim-de-semana, períodos nocturnos, paragens para mudanças de linhas de fabrico, etc. A Manutenção planificada é, por sua vez, é subdividida em:

- Manutenção programada [*Scheduled Maintenance* (SM)];
- Manutenção preventiva;
- Manutenção correctiva;
- Manutenção baseada na condição [*Condition-based Maintenance* (CBM)];

- Manutenção centrada na fiabilidade [*Reliability-centred Maintenance* (RCM)].

A Manutenção Preventiva aparece, sobretudo, nas médias e grandes empresas. Mas, geralmente, subsiste também a manutenção correctiva, já que é muito difícil e, geralmente não económico evitar, por completo, as paragens por avarias.



Figura 40: Aparelho de ultrassons

Fonte (Atlas Copco, 2016, p. 23)

Medição: A medição deverá ser efetuada por método directo, recorrendo a um caudalímetro para medição de caudal real, num período de paragem na produção.

Prevê-se execução das acções de manutenção preventiva conforme a indicação do fabricante, pois esta acção poderá manter inalterada a eficiência dos equipamentos. Uma manutenção adequada garante que os equipamentos trabalhem dentro dos parâmetros de referência, sem aumentos dos consumos energéticos. Além de garantir uma maior fiabilidade, prolonga a vida útil dos equipamentos e minimiza os possíveis riscos de contaminação do produto final.

5.1.1. Sensibilização do pessoal técnico e seu envolvimento

Devem ocorrer acções de sensibilização para que todos tenham conhecimento de quanto custa a produção do AC e os riscos inerentes à utilização do mesmo, bem como do impacto da interdependência dos vários componentes de um SAC. É obrigação de todo o pessoal técnico que se encontra envolvido a operar com o SAC, garantir que o equipamento e a RDAC não apresentem perdas energéticas. Devem ser implementadas rotinas de manutenção dos equipamentos, efetuadas por pessoal

competente e devidamente qualificado, respeitando os períodos aconselhados pelo fabricante. Devem ser implementadas rotinas de detecção e reparação de fugas na RDAC, evitando-se assim desperdícios energéticos. Nos períodos de paragem na laboração, os operacionais devem prever a paragem dos compressores ou o isolamento das áreas inoperativas, de forma a evitar horas de trabalho desnecessárias nas máquinas e o conseqüente consumo de energia associado.

Drenagem de umidade: devem ser instalados drenos (purgadores), que podem ser manuais ou automáticos, colocados nos pontos mais baixos, distanciados aproximadamente 20 a 30m um do outro.

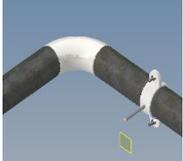
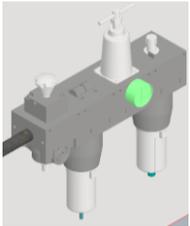
5.1.2. Vazamento de Ar Comprimido

Todos os sistemas de AC estão sujeitos a vazamentos e não são raras perdas de até 40% de todo o AC produzido. Portanto, identificar, eliminar e reduzir os vazamentos de AC é uma das maneiras mais simples e eficientes de economizar energia. válvulas, tubos, mangueiras e conexões mal vedados, corroídos, furados e sem manutenção são responsáveis por vazamentos de enormes proporções num sistema pneumático. Um método simples para estabelecer a grandeza dessas perdas é interromper o consumo de todo o AC do sistema, mantendo os compressores em operação. Com isso, a pressão na rede chegará ao seu limite máximo. Dependendo do tipo de controle de cada compressor, eles deveriam se desligar ou entrar em alívio. Medindo-se os tempos carga/alívio dos mesmos e sabendo-se sua vazão efectiva, pode-se deduzir a magnitude total dos vazamentos (METALPLAN, 2017, p. 9)

5.1.3. Plano de manutenção da RDAC

Os planos de manutenção servem para estabelecer a frequência com que cada intervenção acontecerá, e qual sua prioridade ou periodicidade, para que os executantes e os gestores de manutenção estejam cientes da necessidade que se execute as actividades. Os planos de manutenção dos componentes da RDAC seguiram seus parâmetros de trabalho, assim como recomenda o manual dos seus fabricantes. A manutenção dos componentes será efectuada parcialmente ou no período de paragem de produção para que não interfira nas demais actividades da manutenção e que não recrute pessoal sem necessidade já que a tubulação principal tem prioridade baixa, com nível de degradação pequeno.

Tabela 6: Plano de manutenção preventiva para a RDAC

Plano de manutenção preventiva para a Rede de Distribuição de Ar Comprimido				
Item	Imagem	Componente	Descrição de serviços	Periodicidade
0		Toda RDAC	Limpeza geral	Mensal
1		Reservatório	Verificar vazamentos	5 Anos
			Verificar degradação por corrosão	
2		Tubulação principal	Verificar vazamentos	3 meses
			Verificar degradação por corrosão,	
			Rever a vedação	
3		Tubulação de alimentação	Verificar vazamentos,	3 meses
			Verificar degradação por corrosão	
			Rever a vedação	
4		Conjunto LUBRIFIL	Verificar vazamentos	Diária na paragem de produção
			Verificar degradação por corrosão	
			Perda de funcionamento automático dos drenos	
			Verificar o nível do lubrificante e condensado	
5		Dreno automático	Verificar escapes desnecessários	Diária na paragem de produção
			Verificar paragem de funcionamento	
			Rever a vedação	
			Limpar o dreno	
6		União de tubos (roscas, cordão de solda, flanges, válvulas)	Verificar vazamentos	Semanal
			Verificar degradação por corrosão	
			Rever a vedação ou solda	
7		Ligações rápidas	Verificar vazamentos	Diária na paragem de produção
			Verificar degradação por corrosão	
			Rever a vedação ou conexão	

6. Conclusões e recomendações

6.1. Conclusões

Com a realização do projecto em causa, pôde-se ter varias informações concernentes a uma RDAC, entretanto, por forma a entender esse conceito, não se deve descurar do AC, componente essencial, é uma importante forma de energia, insubstituível em diversas aplicações e resultado da compressão do ar ambiente, cuja composição é uma mistura de oxigênio (~20,5%), nitrogênio (~79%) e alguns gases raros. Actualmente o AC é uma forma de energia armazenada, que é utilizado para operar equipamentos pneumáticos, em processos de fabricação industriais, como o acionamento mecânico. Uma RDAC é um conjunto de linhas principais, secundárias e de alimentação que partem desde o reservatório, nesta RDAC, pode encontrar-se diversos equipamentos de direccionamento, controle do fluxo ou de regulagem do fluído, a estes equipamentos dá-se o nome de singularidades junto as suas curvas. Para além de RDAC existe o (SAC) que é um conjunto de RDAC com o reservatório, filtros, compressor, secadores, válvulas, etc...

Dimensionar uma RDAC consiste em calcular o diâmetro das tubulações principais, secundária e de alimentação, para que isso seja possível, faz-se cálculos iterativos onde primeiro se considera o diâmetro sem o comprimento das singularidades e posteriormente leva-se em conta, compara-se os dois diâmetros obtidos durante os cálculos e caso equivalham ao mesmo diâmetro comercial mais próximo ou igual, este é que é considerado para a instalação da RDAC. Por notar-se que o diâmetro obtido durante o dimensionamento é maior que 2" (duas polegadas), a união entre tubos ou com as singularidades é feita por flanges e soldadura, a união na linha secundaria será por roscas. E a união entre a linha de alimentação e o ponto de consumo é feita por acoplamentos rápidos conforme se pode ver na figura 19: Conexões para mangueiras de borracha e plásticas.

Com a ajuda de todos dados obtidos durante o dimensionamento, os conceitos dos componentes que compõem a RDAC e os dados de entrada colectados na fábrica da Belutécnica, S.A. pôde-se propor o esquema de distribuição de AC em anexo A-5-65.

6.2. Recomendações

Esse tipo de instalação é uma instalação que funciona com o AC, e como se sabe pelas referências citadas neste projecto, o AC é obtido pela compressão de ar atmosférico e passando por alguns tratamentos por forma a não danificar a tubulação ou as singularidades ou outros componentes que compõem o SAC, sendo isso sabido também é necessário salientar que o AC sofre condensação dentro da tubulação e por isso torna-se um líquido, podendo corroer a tubulação caso fique por mais tempo, por forma a evitar esse fenómeno, recomenda-se a implantação de purgadores ou drenos a cada 20m ou 30m ao percorrer a tubulação e que se abra os purgadores ou drenos nos pontos mais baixos para remover o liquido existente a cada final dia de trabalho e uma inclinação de 0,5% ou 2% do comprimento da tubulação no troço em estudo que esse liquido se direcione por meio da gravidade aos purgadores.

É de frisar que se recomenda a implementação dessas rotinas de manutenção dos equipamentos por pessoal competente e devidamente qualificado.

Deve-se fazer a medição de vazamentos por método direto, usando caudalímetros para medição de caudal real, num período de paragem na produção, ao menos uma vez por semana no período de paragem de actividades laborais. Para que se detecte o ponto exacto com recurso a aparelhos de ultrassons e sem necessidade de interromper as actividades no sector de trabalho, caso exista, não usar os métodos tradicionais de detecção (por audição, com recurso a espuma de sabão, etc.).

Os operadores devem prever a paragem dos compressores ou o isolamento das áreas inoperativas, de forma a evitar horas de trabalho desnecessárias nas máquinas e o conseqüente consumo de energia associado.

7. Bibliografia

7.1. Referências bibliográficas

1. AR COMPRIMIDO. (2022). *Ar Comprimido brasil*. Obtido em Abril de 2022, de <https://www.arcomprimido.ind.br/reservatorios-de-ar-comprimido>
2. BORTOLIN, E. (2014). *Dimensionamento de um sistema de ar comprimido para uma empresa de pequeno porte*. Horizontina. Obtido em Março de 2022
3. BRANDAO, D. (s.d.). *Notas de Aula – SEL0406*. Obtido em Março de 2022
4. DOS SANTOS, R. A. (s.d.). *Apostila de Pneumática*. Brasil. Obtido em Março de 2022
5. JESUS, C. S. (2012). *Otimização energética em unidade industrial - o caso da Cerutil*. Obtido em Março de 2022
6. MALDANER, D. E. (2016). *Dimensionamento de uma rede de ar comprimido industrial*. Horizontina-RS. Obtido em Março de 2022
7. MUAIEVELA, N. M. (s.d.). *Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos*. (ISUTC, Ed.) Maputo Cidade, Moçambique. Obtido em Março de 2022
8. OLIVEIRA, P. F. (2018). *Análise de Eficiência dos Sistemas de Ar Comprimido em Unidades Industriais*. Lisboa, Portugal. Obtido em Março de 2022
9. SGANZERLA, H. A. (2018). *Análise e Redimensionamento de uma Rede Industrial de Distribuição de Ar Comprimido – estudo de caso em uma empresa de fundição*. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ , PATO BRANCO . Obtido em Abril de 2022

7.2. Outra Bibliografia consultada

1. ATLAS COPCO. (2016). *Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido*. Portugal.
2. BELUTÉCNICA. (2019). *Manual de Acolhimento e Integração da Belutécnica*, S.A. Maputo Província, Moçambique. Obtido em Março de 2022
3. BOSCH. (2008). *Tecnologia de ar comprimido*. Obtido em Março de 2022
4. CAESER, COMPRESSORS. www.kaeser.com. Obtido em Abril de 2022
5. FIALHO, A. B. (2004). *Automação Pneumática-Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos* (2a ed.). Brasil: Editora Érica Ltda. Obtido em Março de 2022
6. DORNELES, V., & MUGGE, T. (2008). *Pneumática Básica*. São Leopoldo. Obtido em Março de 2022
7. ALI, A. A. (2006). Lições de Manutenção Industrial, Universidade Eduardo Mondlane- Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Mecânica. Obtido em Maio de 202
8. MACINTYRE, A. J. (2013). *Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais* (3a. ed.). Obtido em Abril de 2022
9. METALPLAN. (2017). *Manual de Ar Comprimido* (6a ed.). Brasil. Obtido em Março de 2022
10. PARKER. (2006). *Tecnologia Pneumática Industrial*. Obtido em Março de 2022
11. PAVANI, S. A. (2011). *Comandos Pneumáticos e Hidráulicos* (3. ed ed.). Santa Maria - RS. Obtido em Março de 2022
12. SILVA, E. C. (2002). *PMR 2480 - Sistemas Fluidomecânicos* . Escola Politécnica da USP , Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Obtido em Abril de 2022

8. Anexos

Anexo A-1-61

Tabela 7: Comprimento de Tubo Equivalente à Perda de Carga por Singularidades - [m]

Conexões		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	1,1	1,34	1,58	2	2,25	2,6	2,8
	FLAN.	0,30	0,37	0,50	0,62	0,73	0,95	1,1
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	3,4	3,7	4,0	-	-	-	-
	FLAN.	1,3	1,55	1,8	2,2	2,7	3,7	4,3

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	0,67	0,70	0,83	0,98	1,0	1,1	1,1
	FLAN.	0,33	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	1,2	1,3	1,4	-	-	-	-
	FLAN.	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97
	FLAN.	0,14	0,18	0,25	0,34	0,40	0,52	0,61
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	1,2	1,45	1,7	-	-	-	-
	FLAN.	0,8	0,95	1,1	1,4	1,7	2,3	2,7

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,8
	FLAN.	0,34	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	3,4	3,7	4,0	-	-	-	-
	FLAN.	1,00	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	0,52	0,73	0,99	1,4	1,7	2,3	2,8
	FLAN.	0,21	0,25	0,30	0,4	0,45	0,55	0,58
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	3,7	4,45	5,2	-	-	-	-
	FLAN.	0,67	0,74	0,85	1,0	1,2	1,4	1,6

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	1,3	1,6	2,0	2,7	3,0	3,7	3,9
	FLAN.	0,61	0,80	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	5,2	5,8	6,4	-	-	-	-
	FLAN.	2,9	3,3	3,7	4,6	5,5	7,3	9,1

Conexão		Diâmetro Nominal (in) ¹						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	0,17	0,20	0,25	0,34	0,37	0,46	0,52
	FLAN.	-	-	-	-	-	0,80	0,83
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	0,58	0,67	0,76	-	-	-	-
	FLAN.	0,85	0,86	0,88	0,95	0,98	0,98	0,98

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
	ROSQ.	6,7	7,3	8,8	11,3	12,8	16,5	18,9
	FLAN.	11,6	12,2	13,7	16,5	18,0	21,4	23,5
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	24,0	27,25	33,5	-	-	-	-
	FLAN.	28,7	32,65	36,6	45,7	47,9	49,3	94,5

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 290)

Anexo A-2-62

Tabela 8: Tubo de aço para condução de fluidos e outros fins, segundo Norma ASTM A53 (A120)
Schedule 40

Diâmetro				Espessura de Parede		Peso Teórico do Tubo Preto		Pressão de Ensaio
Nominal	Externo		Interno			Pontas Lisas	Com Roscas e Luvas ¹⁷	
in	in	mm	mm	in	mm	Kg/m	Kg/m	Kgf/cm ²
1/4	0,540	13,7	9,2	0,088	2,24	0,63	0,66	50
3/8	0,675	17,2	12,6	0,091	2,31	0,85	0,88	50
1/2	0,840	21,3	15,8	0,109	2,77	1,27	1,29	50
3/4	1,050	26,7	21,0	0,113	2,87	1,68	1,72	50

Diâmetro				Espessura de Parede		Peso Teórico do Tubo Preto		Pressão de Ensaio
Nominal	Externo		Interno			Pontas Lisas	Com Roscas e Luvas ¹⁷	
in	in	mm	mm	in	mm	Kg/m	Kg/m	Kgf/cm ²
1	1,315	33,4	26,1	0,133	3,38	2,50	2,56	50
1.1/4	1,660	42,2	35,1	0,140	3,56	3,38	3,45	70
1.1/2	1,900	48,3	40,9	0,145	3,68	4,05	4,18	70
2	2,375	60,3	52,5	0,154	3,91	5,43	5,60	70
2.1/2	2,875	73,0	62,7	0,203	5,16	8,62	8,76	70
3	3,500	88,9	77,9	0,216	5,49	11,28	11,60	70
3.1/2	4,000	101,6	90,1	0,226	5,74	13,56	14,11	85
4	4,500	114,3	102,3	0,237	6,02	16,06	16,81	85
5	5,563	141,3	128,2	0,258	6,55	21,76	22,67	85
6	6,625	168,3	154,1	0,280	7,11	28,23	29,59	85
8	8,625	219,1	202,7	0,322	8,18	42,49	44,66	90
10	10,75	273,0	254,5	0,365	9,27	60,23	-	85

Fonte: (FIALHO, 2004, p. 288)

Anexo A-3-63

Tabela 9: Tabela de seleção de compressor

Type	Maximum working pressure				Capacity FAD ⁽¹⁾			Installed motor power		Noise level ⁽²⁾	Weight			
	Pack		Full feature		Pack / Full feature						Pack		Full feature	
	bar(e)	psig	bar(e)	psig	l/s	m ³ / min	cfm	kW	hp	dB(A)	kg	lb	kg	lb
GA 160*	5.5	80	5.3	77	621	37.2	1316	160		77	4213	9269	4670	10274
	7.5	109	7.3	106	538	32.2	1140	160		77	4213	9269	4670	10274
	8.5	123	8.3	120	498	29.8	1055	160		77	4213	9269	4670	10274
	10	145	9.8	142	448	26.9	949	160		77	4213	9269	4670	10274
GA 200	5.5	80	5.3	77	748	44.8	1585	200		78	4662	10256	5255	11561
	7.5	109	7.3	106	674	40.4	1428	200		77	4478	9852	4935	10857
	8.5	123	8.3	120	632	37.9	1339	200		77	4500	9900	4958	10908
	10	145	9.8	142	572	34.3	1212	200		77	4465	9823	4922	10828
GA 250	14	203	13.8	200	440	26.4	932	200		77	4450	9790	4907	10795
	7.5	109	7.3	106	833	49.9	1765	250		78	5145	11319	5737	12621
	8.5	123	8.3	120	773	46.3	1638	250		78	5145	11319	5601	12322
	10	145	9.8	142	709	42.5	1503	250		78	4682	10300	5139	11306
GA 315	14	203	13.8	200	575	34.5	1219	250		77	4667	10267	5124	11273
	7.5	109	7.3	106	1000	59.9	2119	315		78	5560	12232	6152	13534
	8.5	123	8.3	120	955	57.2	2024	315		78	5560	12232	6152	13534
	10	145	9.8	142	891	53.4	1888	315		78	5133	11293	5726	12597
GA 315	14	203	13.8	200	745	44.7	1579	315		78	5133	11293	5590	12298
	7.5	109	-	-	928	55.8	1966	315	420	72	7510	16559	-	-
	8.5	123	-	-	864	51.9	1831	315	420	72	7510	16559	-	-
	10	145	-	-	784	47.1	1661	315	420	72	7510	16559	-	-
GA 355	7.5	109	-	-	1050	63.1	2225	355	475	73	7760	17110	-	-
	8.5	123	-	-	969	58.2	2053	355	475	73	7760	17110	-	-
	10	145	-	-	890	53.5	1886	355	475	73	7760	17110	-	-
	13	189	-	-	731	43.9	1549	355	475	73	7760	17110	-	-
GA 400	7.5	109	-	-	1175	70.6	2490	400	535	74	8360	18433	-	-
	8.5	123	-	-	1109	66.6	2350	400	535	74	8360	18433	-	-

Fonte: (BELUTÉCNICA, 2019)

Anexo A-4-64

Tabela 10: Especificações técnicas do reservatório de AC

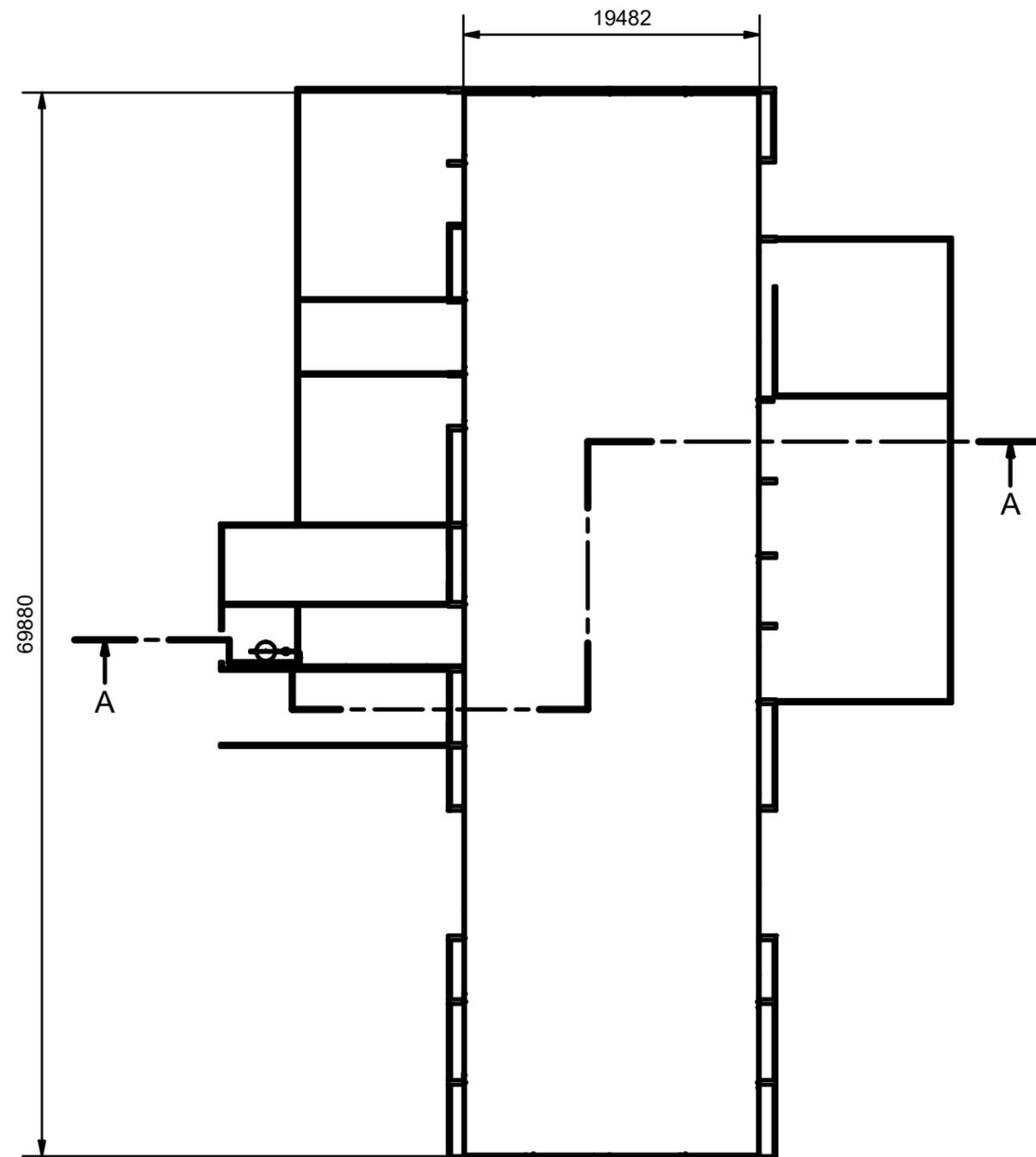
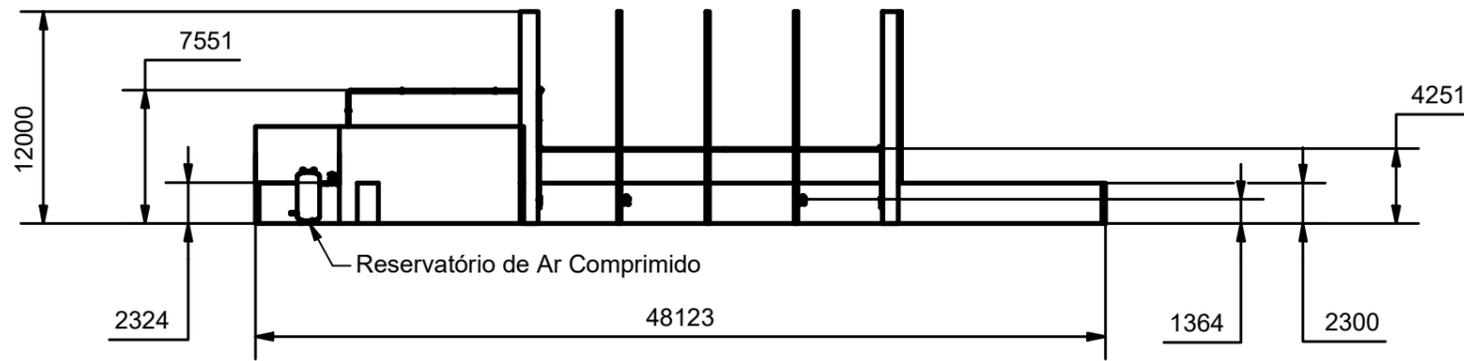
Air receiver volume	Max. gauge pressure	Available versions		Vertical version				Horizontal version			
		Litres	bar	Vertical	Horizontal	Height mm	Ø mm	Inlet/outlet connections	Mass kg	Length mm	Ø mm
90	11 47	Yes	—	1160 1236	350 355	2 x G ½ rear	37 125	—	—	—	—
150	11 16	Yes	Yes	1190	450	2 x G ¾ rear	60 67	1050 1346	450 400	2 x G 2	55 75
250	11 16	Yes	Yes	1540 1545	500	2 x G ¾ rear	84 100	1410 1410	500	2 x G 2	84 100
	47		—	1600	500	2 x G 1 rear	250	—	—	—	—
350	11 16	Yes	Yes	1770 1810	550	2 x G 1 rear	100 150	1630 1640	550	2 x G 2	101 164
500	11 16	Yes	Yes	1925 1918	600	2 x G 1 rear	130 210	1780 1776	600	2 x G 2	130 208
	47		—	1950			500	—			—
900	11	Yes	—	2170	800	2 x G 2; 2 x G 1½	238	—	—	—	—
1000	11 16	Yes	Yes	2265 2265	800	2 x G 1½; 2 x G 2	244 356	2150 2160	800	G 2; 1 x G 1½	240 360
	45			—			2255	670			—
2000	11 16	Yes	Yes	2375 2510	1150 1100	4 x G 2½	470 500	2180	1150	2 x G 2	470 600
	47		—	2420	1100	4 x DN 80	1450	—	—	—	—
3000	11 16	Yes	Yes	2705 2790	1250	4 x G 2½	683 850	2610 3040	1250 1150	2 x G 2½ 2 x G 2	683 810

Fonte: (KAESER COMPRESSORS, p. 6)

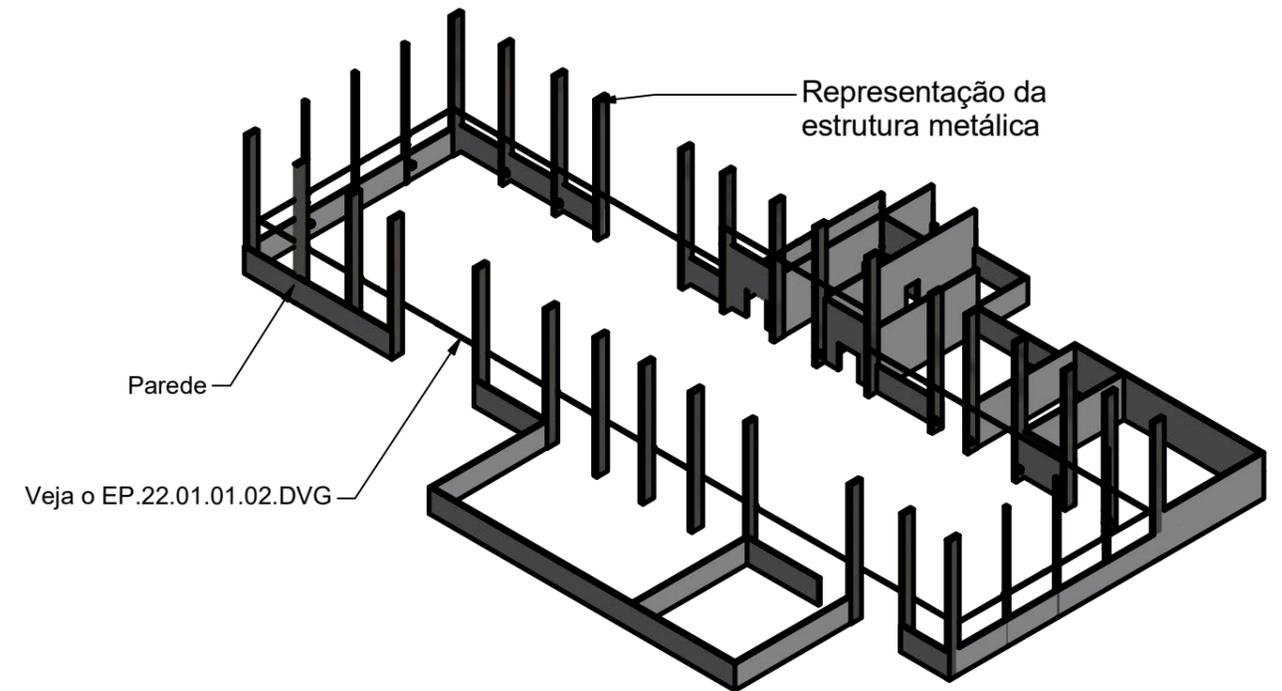
Anexo A-5-65

Desenhos do esquema de rede de distribuição de Ar Comprimido e seus componentes principais

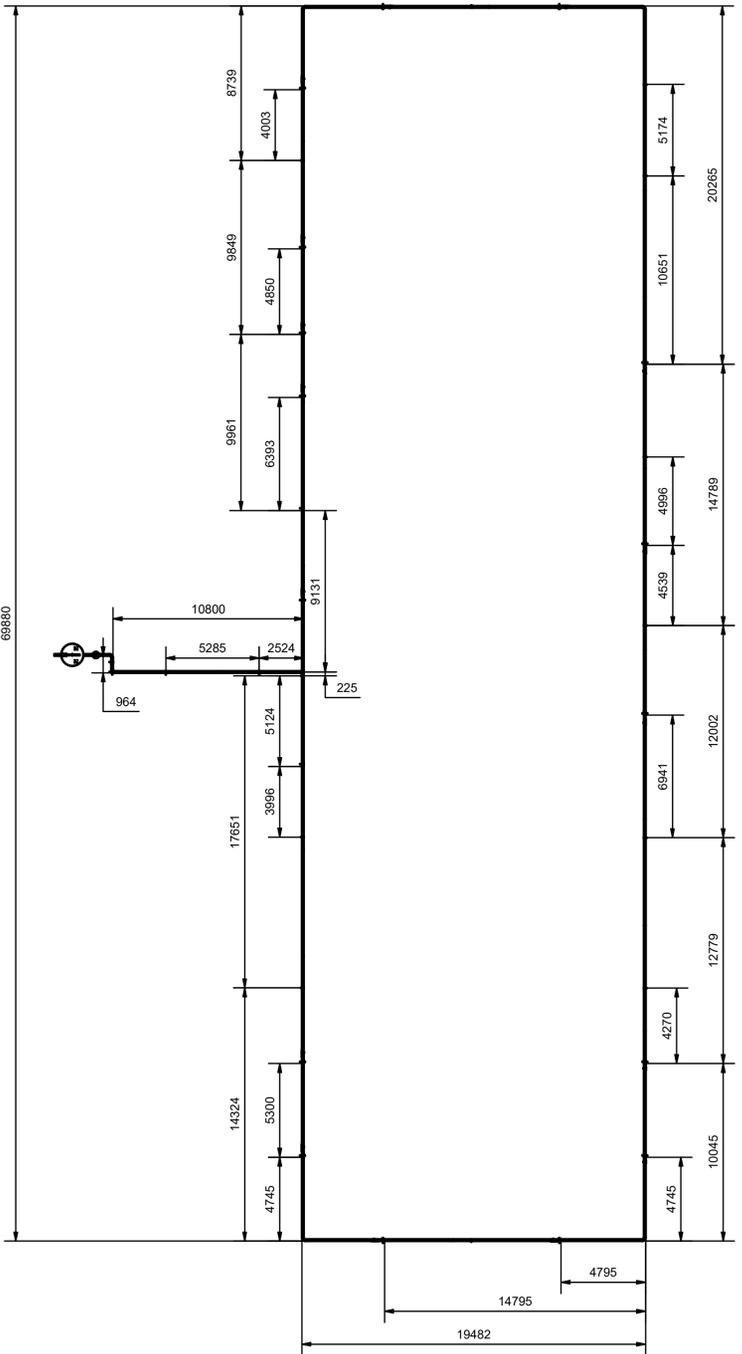
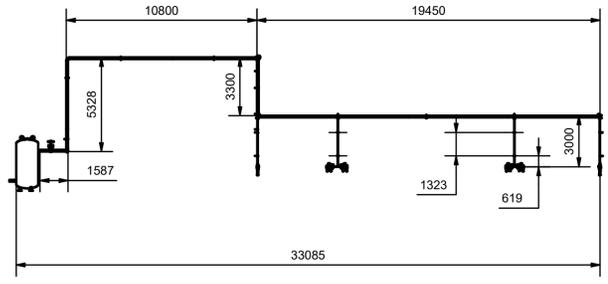
Corte CC
A-A (1:400)



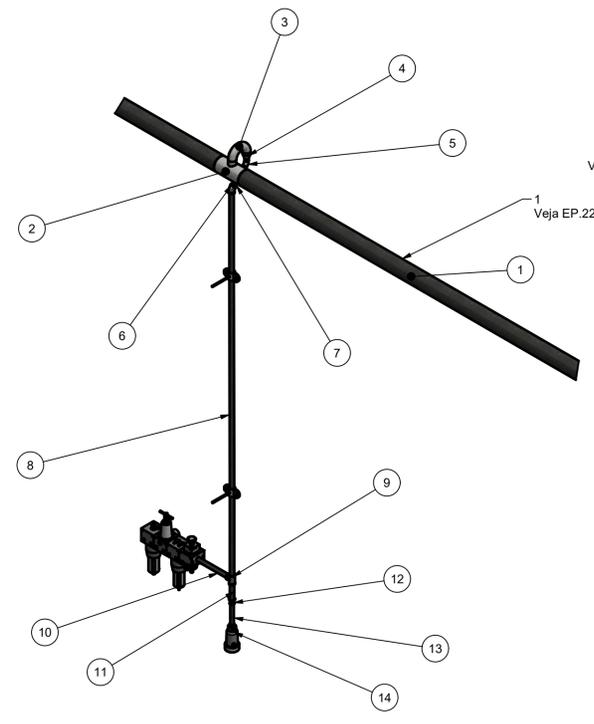
Vista Geral



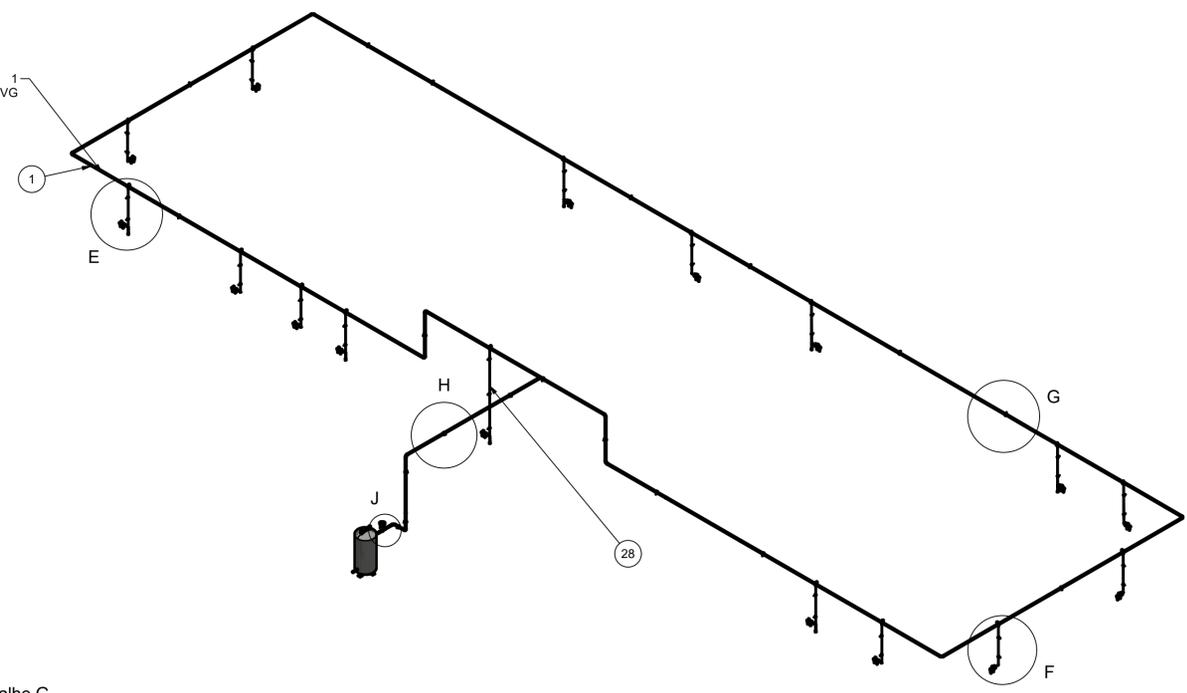
					EP.22.01.01.01.DVG			
Alt	Fol	N. Documento	Assinat.	Data	Rede de distribuição de Ar Comprimido junto a planta da fábrica	Codigo	Massa	Escala
Execut.		Machava	Barnabé	05/22				1:400
Verificou		Popse	Macaneta					
Ch. do Gab.						FOLHA: A ₃		FOLHAS
CONTR.						UEM-FE-DEMA		
Aprov.		Jaime	Matavele					



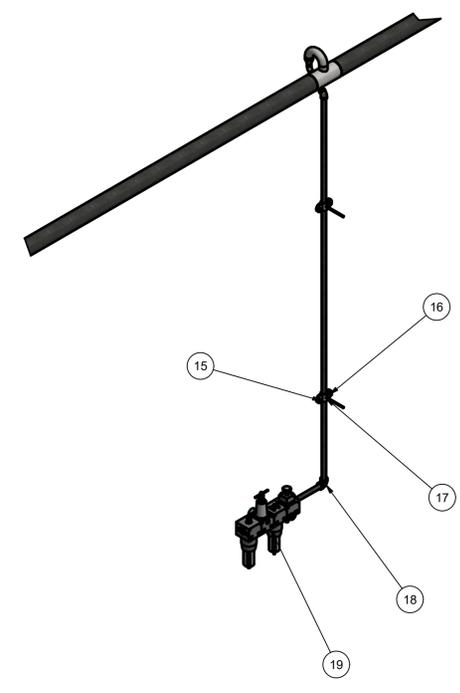
Detalhe E
(1:20)



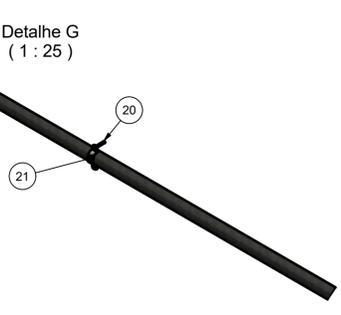
Veja EP.22.01.01.03.DVG
Veja EP.22.01.01.03.DVG



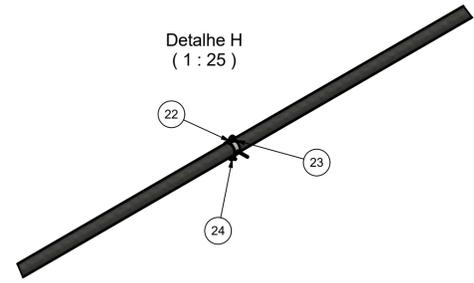
Detalhe F
(1:20)



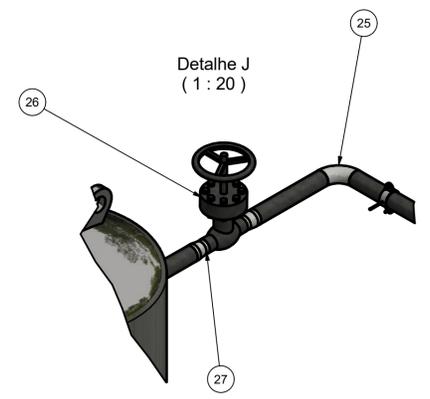
Detalhe G
(1:25)



Detalhe H
(1:25)

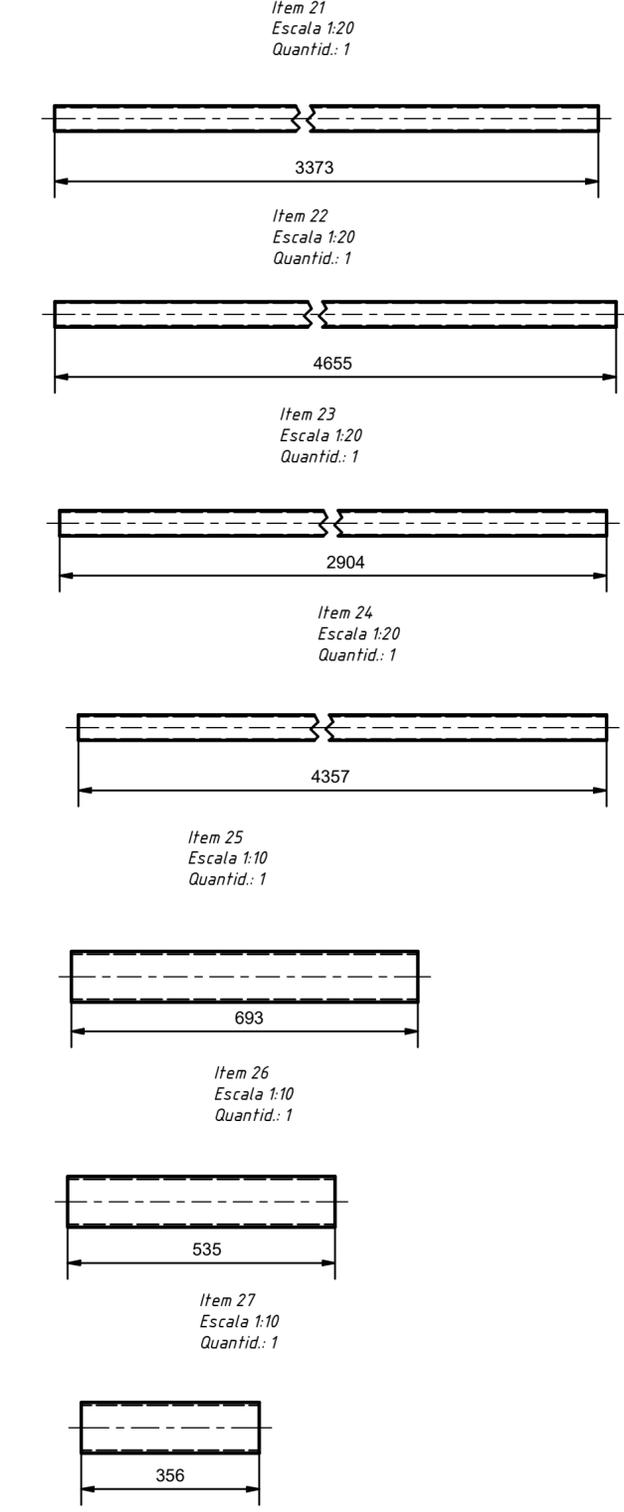
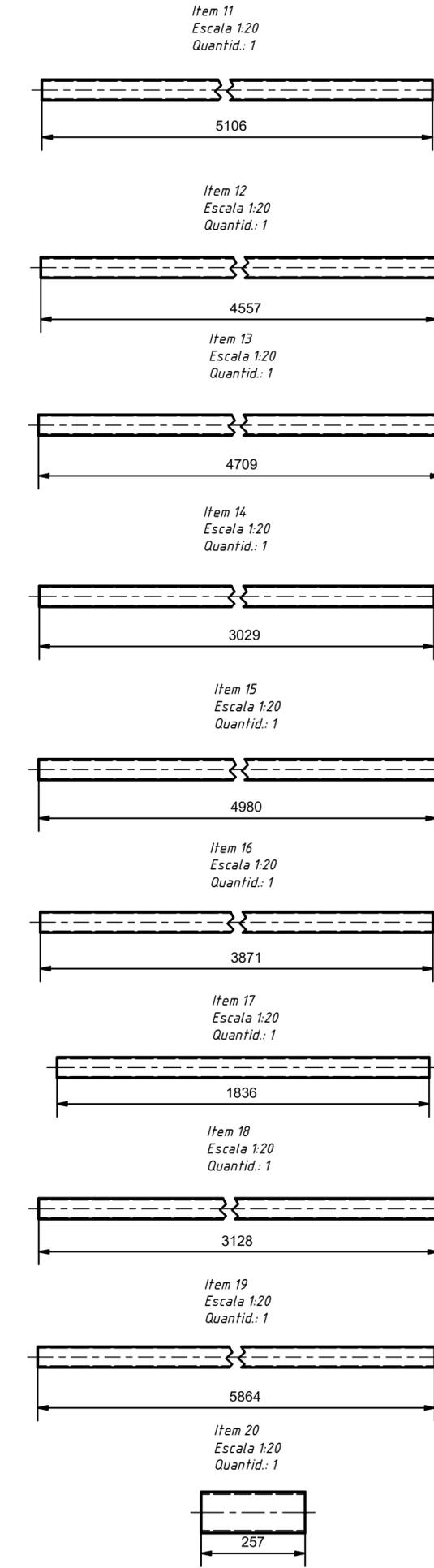
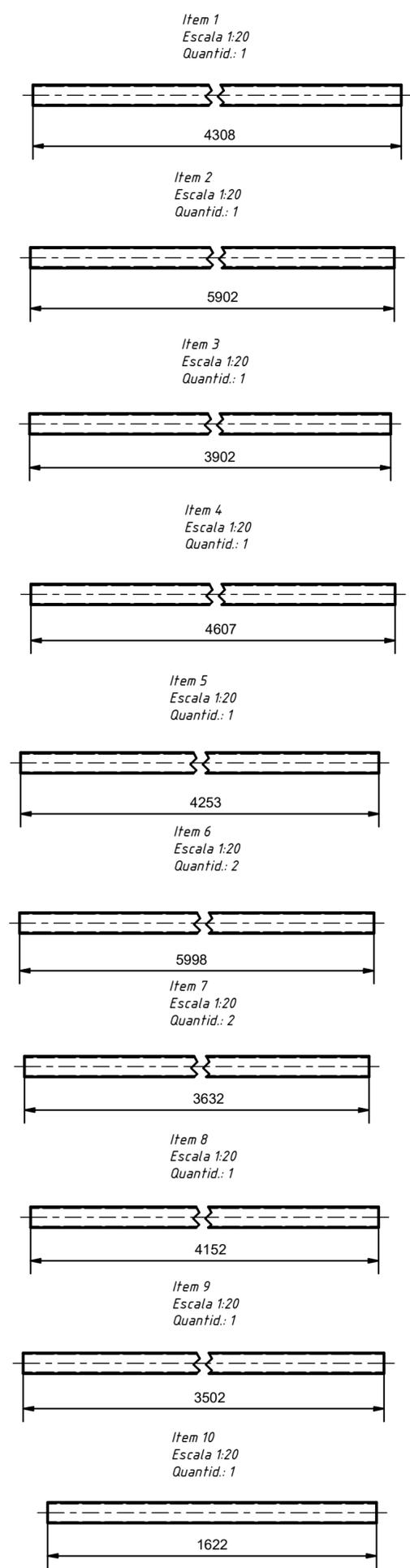


Detalhe J
(1:20)



29	EP.22.01.02.01.DP	Singularidade em T, ramal de 3 1/2'	1	
28	EP.22.01.02.01.DP	Tubo de 3/4'	6,3m	
27		Redutor de 3 1/2' para 3' soldado	2	
26		Valvula globo de 3'	1	
25		Curva de 90' para tubo de 3 1/2' soldado	11	
24		Porca M10x1.5mm	10	
23		Parafuso M10x1.5mm	10	
22	EP.22.01.02.01.DP	Grampo duplo acoplado para 3 1/2'	5	
21	EP.22.01.02.01.DP	Grampo Unico para 3 1/2'	14	
20		Parafuso M10x1.5mm	28	
19		Conjunto LUBRIFIL para tubo de 3/4'	16	
18		Curva 90' roscado 3/4'	9	
17	EP.22.01.02.01.DP	Grampo duplo acoplado para tubo 3/4'	33	
16		Porca M5x1.5mm	66	
15		Parafuso M5x1.5mm	66	
14		Auto-dreno de 1/2'	7	
13		Tubo de 1/2' roscado	1,2m	
12		Redutor roscado de 3/4' para 1/2'	7	
11	EP.22.01.02.01.DP	Tubo de 3/4' roscado	1,2m	
10	EP.22.01.02.01.DP	Tubo de 3/4' roscado	4,8m	
9		Singularidade em T de 3/4'	7	
8	EP.22.01.02.01.DP	Tubo de 3/4' roscado	40,5m	
7	EP.22.01.02.01.DP	Tubo de 3/4' roscado	2,4m	
6		Curva 45' para tubo de 3/4' roscado	16	
5		Curva 45' para tubo de 3/4', solda	16	
4		Redutor de 1 1/2' para 3/4', solda	16	
3		Curva 180' de raio longo 1 1/2', solda	16	
2		Redutor em T de 3 1/2' para 1 1/2', solda	16	
1	EP.22.01.02.01.DP	Tubo de 3 1/2'	240m	
Peças				

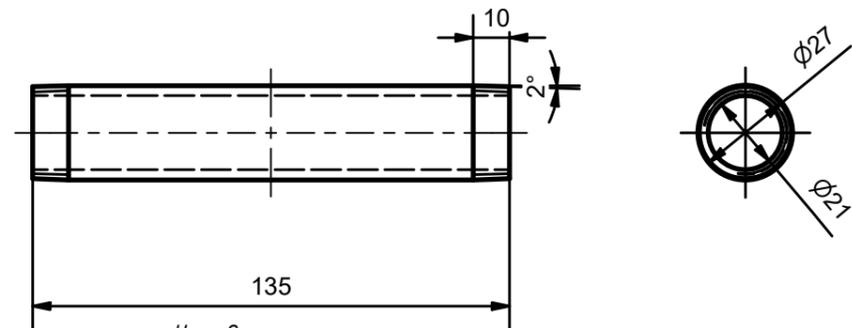
A ₁	EP.22.01.02.01.DVG	Observ.		
Formato				
Zona				
Refer.	Designação	Nome	Quant.	Observ.
EP.22.01.02.01.DVG				
Alt	Fol	N. Documento	Assinat.	Data
Execut.	Machava	Barnabé	05/22	
Verificou	Pospe	Macaneta		
Ch. do Gab.				
CONTR.				
Aprov.	Jaime	Matavele		
Rede de distribuição de Ar Comprimido		Codigo	Massa	Escala
Aço Galvanizado		FOLHA: A ₁	FOLHAS	-
UEM-FE-DEMA				



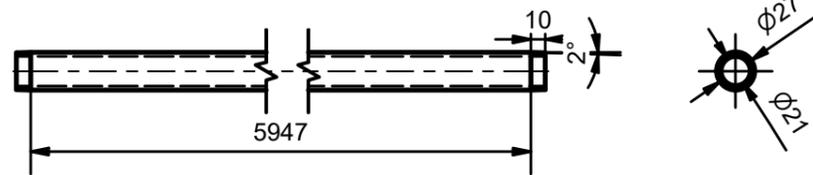
Notas:
Todos tubos sao de: 3 1/2 polegadas=90.1mm

					EP.22.01.01.01.DP			
Alt	Fol	N. Documento	Assinat.	Data	Desenho de fabricação das peças da RDAC	Codigo	Massa	Escala
Execut.		Machava	Barnabé	05/22				-
Verificou		Poppe	Macaneta			FOLHA: A ₂	FOLHAS	
Ch. do Gab.								
CONTR.					Aço Galvanizado	UEM-FE-DEMA		
Aprov.		Jaime	Matavele					

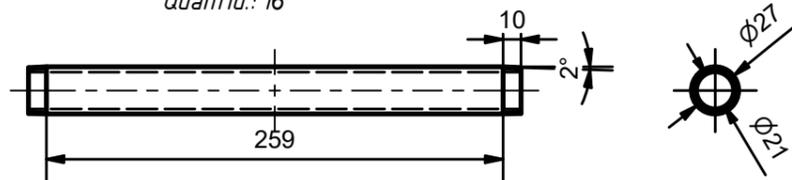
Item 7
Tubo de 3/4 polegadas
Escala 1:2
Quantid.: 16



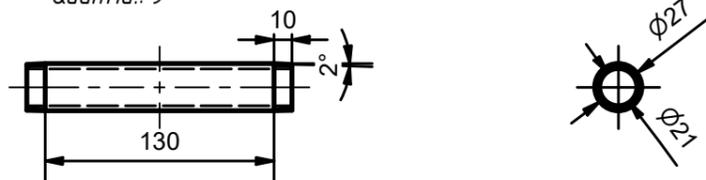
Item 8
Tubo de 3/4 polegadas
Escala 1:20
Quantid.: 16



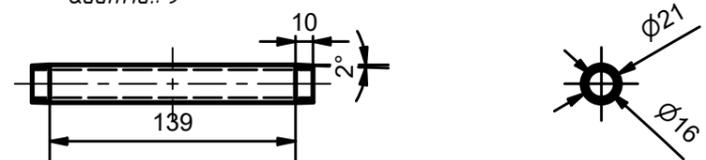
Item 10
Tubo de 3/4 polegadas
Escala 1:10
Quantid.: 16



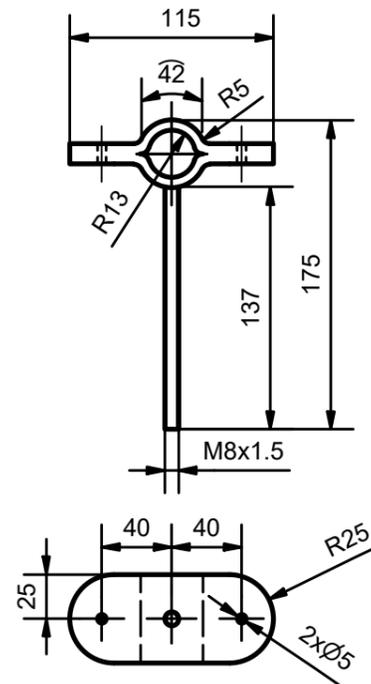
Item 11
Tubo de 3/4 polegadas
Escala 1:10
Quantid.: 9



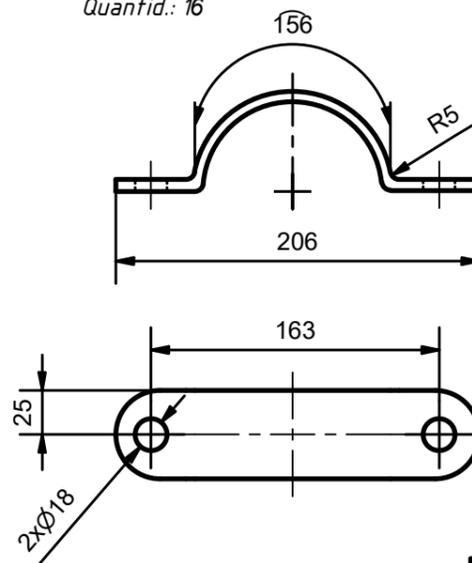
Item 13
Tubo de 1/2 polegadas
Escala 1:10
Quantid.: 9



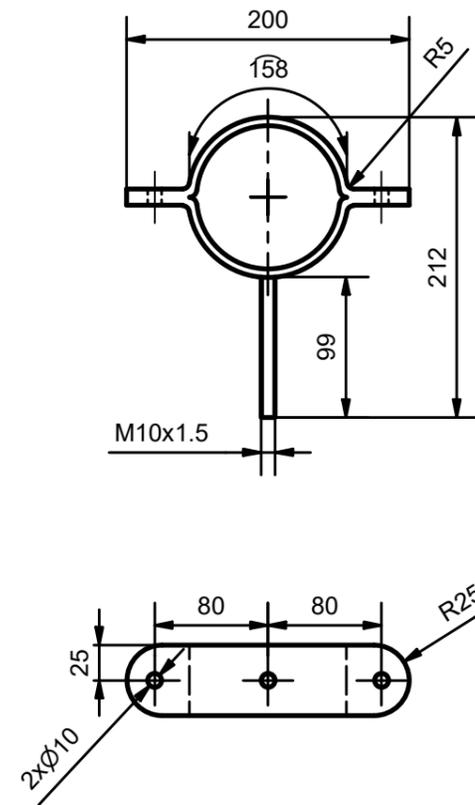
Item 17
Grampo duplo acoplado para tubo de 3/4 polegadas
Escala 1:20
Quantid.: 16



Item 21
Grampo unico para tubo de 3/2 polegadas
Escala 1:20
Quantid.: 16



Item 22
Grampo duplo acoplado para tubo de 3 1/2 polegadas
Escala 1:20
Quantid.: 16



Notas:
Todos grampos serao feitos por chapa de espessura 3mm
Os tubos sao de:
3/4 polegadas=21mm
1/2 polegadas=15.8mm

					EP.22.01.02.01.DP			
Alt	Fol	N. Documento	Assinat.	Data	Rede de distribuição de Ar Comprimido junto a planta da fábrica	Codigo	Massa	Escala
Execut.		Machava	Barnabé	05/22				-
Verificou		Popse	Macaneta			FOLHA: A ₃		FOLHAS
Ch. do Gab.						UEM-FE-DEMA		
CONTR.								
Aprov.		Jaime	Matavele					