



**Diego Anderle**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR  
COMPRIMIDO PARA UMA OFICINA DE CHAPEAMENTO**

Horizontalina - RS

**2018**

**Diego Anderle**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR  
COMPRIMIDO PARA UMA OFICINA DE CHAPEAMENTO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Luís Carlos Wachholz.

**Horizontina - RS**

2018

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO  
PARA UMA OFICINA DE CHAPEAMENTO”**

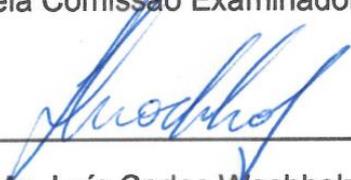
**Elaborada por:**

**Diego Anderle**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia mecânica

Aprovado em: 08/12/2018

Pela Comissão Examinadora



---

Me. Luís Carlos Wachholz

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



---

Me. Jonathan Felipe Camargo

FAHOR – Faculdade Horizontalina



---

Me. Francine Centenaro

FAHOR – Faculdade Horizontalina

**Horizontalina - RS**

**2018**

## Dedicatória

Primeiramente a Deus, pois sem Ele não teria conseguido chegar onde cheguei. Ele me mostrou em todos os momentos que não se deve desistir. Em segundo, à minha mãe e meu irmão, que me deram todo o suporte necessário para eu poder alcançar esse sonho tão esperado.

## AGRADECIMENTO

Agradecer ao meu orientador Prof. e Mestre, Luís Carlos Wachholz, pela paciência e por todo o conhecimento transmitido através deste trabalho. Aos meus colegas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que eu chegasse aqui.

À minha mãe, que foi a pessoa que sempre me apoiou nesta caminhada e me fez sempre acreditar que era possível.

“Os objetivos no caminho da conquista não podem ser alcançados sem disciplina e consistência.”

(Denzel Washington)

## RESUMO

Os sistemas de ar comprimido vem ganhando cada vez mais espaço nas empresas devido ao seu ferramental ter mais potência, ter mais produtividade e ser mais seguro, se comparado a sistemas elétricos. Sabendo que o crescimento de números de automóveis é constante, o presente trabalho objetiva dimensionar integralmente um sistema de ar comprimido em uma oficina de chapeamento para, quem sabe, uma futura instalação. A oficina necessita de um maior nível de produtividade e segurança, pois o mercado exige estes dois aspectos, e foi por este motivo que optou-se por dimensionar um sistema de ar comprimido. Para este estudo, foi necessário a medição da estrutura e uma profunda análise através de referências de autores renomados para alcançar um dimensionamento exato, com o mínimo de perdas possíveis e custos reduzidos. A fim de desenvolver o projeto, foram examinadas todas as ferramentas e os objetivos delas no processo, tanto como diâmetro da rede, compressor e definição de pontos de alimentação.

**Palavras-chave:** Dimensionamento. Ar comprimido. Oficina de chapeamento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diâmetro do cilindro em relação de sua força de avanço e retorno. ....	21
Figura 2. Diagrama de escape de ar. ....	22
Figura 3. Expansibilidade do ar em diferentes formas onde está submetido. ....	23
Figura 4. Ar insuflado em um recipiente com válvula de retenção. ....	23
Figura 5. Retorno do êmbolo à condição inicial. ....	24
Figura 6. Componentes e ferramentas de um sistema de ar comprimido. ....	26
Figura 7. Classificação dos compressores. ....	27
Figura 8. Rede de ar comprimido aberta. ....	30
Figura 9. Rede de ar comprimido fechada. ....	30
Figura 10. Rede de ar comprimido mista. ....	31
Figura 11. Inclinação de uma linha secundária de ar comprimido. ....	33
Figura 12. Linha secundária e alimentação de um sistema de ar comprimido. ....	34
Figura 13. Exemplo de uma conexão instantânea com engate rápido. ....	35
Figura 14. Sistema Lubrifil e seus símbolos. ....	35
Figura 15. Filtro de ar comprimido. ....	36
Figura 16. Óleos recomendados para um sistema de ar comprimido. ....	38
Figura 17. Lubrificador de óleo. ....	39
Figura 18. Válvula reguladora de pressão e sua simbologia. ....	40
Figura 19. Drenagem de um sistema de ar comprimido. ....	41
Figura 20. Fluxograma do processo de chapeamento da oficina. ....	49
Figura 21. Planta da estrutura. ....	56
Figura 22. Vista geral da estrutura. ....	70
Figura 23. Algumas conexões da linha principal. ....	71
Figura 24. Redução e válvula de controle inseridos no sistema. ....	71
Figura 25. Visualização da inclinação da rede. ....	72
Figura 26. Final de linha com purgador e sistema Lubrifil. ....	72

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Especificações da chave de catraca. ....	52
Quadro 2. Especificações da chave de impacto.....	53
Quadro 3. Especificações da lixadeira. ....	53
Quadro 4. Especificações da politriz. ....	54
Quadro 5. Especificações do rebitador. ....	54
Quadro 6. Especificações da pistola de pintura. ....	54
Quadro 7. Especificações da esmerilhadeira. ....	55
Quadro 8. Especificações da Parafusadeira. ....	55
Quadro 9. Especificações da furadeira. ....	56
Quadro 10. Especificações do compressor.....	59
Quadro 11. Quantidade de singularidades da rede principal. ....	64
Quadro 12. Especificações da tubulação da rede principal.....	65
Quadro 13. Quantidade de singularidades da rede da estufa. ....	66
Quadro 14. Especificações da tubulação da rede de pintura. ....	67
Quadro 15. Quantidade de singularidades da rede de polimento. ....	67
Quadro 16. Especificações da tubulação da rede de polimento.....	68
Quadro 17. Especificações do Lubrifil. ....	69
Quadro 18. Especificações do filtro coalescente.....	69
Quadro 19. Especificações do purgador. ....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Soma da vazão com uso simultâneo de todas as ferramentas. ....	57
Tabela 2. Média de uso diário das ferramentas. ....	58
Tabela 3. Média de maior utilização e vazão com acréscimo de 50% .....	59
Tabela 4. Distância total de linha de ar comprimido sem a soma de singularidades.	60
Tabela 5. Alturas finais e iniciais de cada seção. ....	61

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 TEMA .....	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	16
1.4 HIPÓTESES.....	16
1.5 JUSTIFICATIVA .....	17
1.6 OBJETIVOS .....	17
1.6.1 Objetivo Geral .....	17
1.6.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 SISTEMA PNEUMÁTICO.....	19
2.1.1 Vantagens da pneumática.....	19
2.1.2 Desvantagens gerais.....	20
2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR.....	22
2.2.1 Expansibilidade .....	23
2.2.2 Compressibilidade a temperatura constante .....	23
2.2.3 Elasticidade .....	24
2.2.4 Pressão .....	24
2.2.5 Vazão .....	25
2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO .....	25
2.3.1 Compressores .....	26
2.3.1.1 Compressores de pistão.....	27
2.3.1.2 Compressores de membrana .....	28
2.3.1.3 Compressores de palhetas .....	
2.3.1.4 Compressores de parafusos.....	28
2.3.1.5 Compressores de lóbulos .....	28

2.3.1.6 Turbocompressores axial e radial.....	29
2.3.2 Rede de distribuição.....	29
2.3.2.1 Linha principal ou tronco.....	31
2.3.2.2 Linhas secundárias.....	32
2.3.2.3 Inclinação da rede.....	33
2.3.2.4 Ramais de ponto de alimentação e linhas secundárias.....	33
2.3.2.5 Válvulas de fechamento na linha de distribuição.....	34
2.3.2.6 Conexões.....	34
2.3.3 Tratamento de ar comprimido (lubrífil).....	35
2.3.3.1 Filtros de ar.....	36
2.3.3.2 Lubrificadores.....	37
2.3.3.3 Válvula reguladora de pressão.....	39
2.3.4 Purgadores.....	41
2.4 EQUIPAMENTOS DE USO DO AR COMPRIMIDO.....	41
2.4.1 Lixadeira pneumática.....	42
2.4.2 Parafusadeira pneumática.....	43
2.4.3 Furadeira pneumática.....	44
2.4.4 Politriz pneumática.....	44
2.4.5 Pistola de pintura pneumática.....	45
2.4.6 Rebitador pneumático.....	45
2.4.7 Esmerilhadeira pneumática.....	46
2.4.8 Chaves de impacto.....	46
2.4.9 Chaves de catraca.....	47
2.4.10 Grampeadores.....	
2.4.11 Retíficas.....	47
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>

<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
4.1 PROCESSO DE CHAPEAMENTO DA OFICINA DE ESTUDO .....	49
4.1.1 Processo de nivelamento da lataria .....	49
4.1.2 Processo de esmerilhamento .....	50
4.1.3 Lixamento a seco .....	50
4.1.4 Lixamento à água .....	50
4.1.5 Isolamento .....	51
4.1.6 Pintura .....	51
4.1.7 Polimento e espelhamento .....	51
4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....	51
4.2.1 Seleção do ferramental. ....	52
4.2.1.1 Chave de catraca .....	52
4.2.1.2 Chave de impacto .....	52
4.2.1.3 Lixadeira. ....	53
4.2.1.4 Politriz. ....	53
4.2.1.6 Pistola de pintura. ....	54
4.2.1.7 Esmerilhadeira .....	55
4.2.1.8 Parafusadeira reta .....	55
4.2.1.9 Furadeira .....	55
4.2.2 Medição do local de implantação do sistema. ....	56
4.2.3 Dimensionamento da tubulação da rede. ....	57
4.2.3.1 Vazão total do ar .....	57
4.2.4 Dimensionamento do compressor .....	59
4.2.5 Concepção da rede. ....	60
4.2.6 Distância da rede de ar. ....	
4.2.7 A inclinação das redes de ar. ....	61
4.2.8 Cálculo do diâmetro nominal de cada seção .....	62

4.2.8.1 Diâmetro nominal da rede principal. ....	62
4.2.8.2 Diâmetro nominal da rede na estufa. ....	63
4.2.8.3 Diâmetro nominal da rede de polimento. ....	63
4.2.9 Cálculo do diâmetro real de cada seção. ....	63
4.2.9.1 Diâmetro real da rede principal. ....	64
4.2.9.2 Diâmetro real da rede da estufa. ....	65
4.2.9.3 Diâmetro real da rede da área de polimento. ....	67
4.2.10 Definição do lubrificador. ....	68
4.2.11 Definição do purgador. ....	69
4.2.12 Verificação do ambiente em vista 3D. ....	70
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>73</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>76</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>80</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O ar comprimido é muito aceito nas indústrias por não ser tóxico, explosivo ou inflamável, ter um baixo custo no consumo de energia e, também, por conta de sua produtividade elevada se comparado ao uso manual de ferramentas. Segundo Rollins (2004,p.199), o ar comprimido é uma importante fonte de força industrial que possui vários prós: segurança, economia, adaptação e fácil condução, além de reduzir a mão-de-obra dos colaboradores.

Devido ao sistema precário de ferramentas de uma oficina de chapeamento surgiu a ideia de dimensionar todo um sistema pneumático buscando obter ganhos consideráveis em relação à produtividade, saúde e segurança.

É de extrema importância ter o mapeamento do que será utilizado em todo o processo de restauração dos veículos para se ter um dimensionamento exato de cada equipamento, evitando perdas, superdimensionamento ou gastos exagerados no projeto, além de se prever um possível aumento de demanda no futuro.

Para não existir problemas futuros relacionados à potência dos equipamentos em função da demanda planejada para o projeto, será realizado um dimensionamento específico de cada componente do sistema. Esta ação evitará qualquer gasto excessivo ou complicações relacionadas ao planejamento da produtividade dos equipamentos.

## 1.1 TEMA

Dimensionamento de um sistema de ar comprimido baseando-se na quantidade e tipos de equipamentos necessários para uma oficina de chapeamento.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho será realizado em uma oficina de reparo de automóveis na qual serão utilizados equipamentos para lixamento, polimento e pintura, os quais necessitam de um correto dimensionamento de um sistema de ar comprimido para evitar perdas e reduzir custos. O sistema estará sendo dimensionado para um possível aumento da demanda de trabalho de 50% em 10 anos, considerando um possível acréscimo de 3 para 5 funcionários, sendo que todos poderão usar as

ferramentas disponíveis na oficina sem que haja queda de potência. Não será feita viabilidade econômica comparado com um sistema elétrico.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Para esta empresa de pequeno porte, os problemas mais comuns que são enfrentados no dia a dia está relacionado à produtividade em alguns processos que ainda são feitos apenas manualmente, sem o uso de ferramentas específicas para a atividade. Um exemplo simples é o uso de uma chave de fenda ou estrela para a remoção de um parafuso de uma carenagem.

Para um dimensionamento, deve-se levar em consideração que:

Determinar o tamanho, ou seja, a capacidade de produção a ser instalada é uma questão de grande importância para a empresa. Uma fábrica de grande capacidade pode representar um potencial de bons lucros, se houver economia de escala e se a demanda para o produto crescer a uma taxa elevada. Mas pode representar um desastre para a empresa se a demanda crescer a uma taxa modesta. (WOILER & MATHIAS, 2008, p.132)

Woiler & Mathias (2008) também evidenciam que a decisão acerca do tamanho/dimensionamento tem consideráveis influências sobre a capacidade futura de competição. Este fato por si só já justificaria uma pesquisa minuciosa para que fosse feita a melhor determinação possível do tamanho.

Um dimensionamento bem embasado e analisado pode reduzir custos, na sua implantação? E este está ligado com a produtividade e segurança do operador?

### 1.4 HIPÓTESES

Para tentar alcançar o objetivo deste trabalho, será feito todo o dimensionamento de um sistema de ar comprimido que irá suportar toda e qualquer ferramenta que irá ser utilizada na oficina. Acredita-se que o objetivo final será alcançado pois o dimensionamento e proporção de todos os equipamentos serão calculados separadamente e especificamente para se obter um resultado preciso e confiável.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Teve-se a ideia de implantação de um sistema de ar comprimido em determinada oficina para se dar um passo a mais, ou seja, inovar em relação a outras empresas do mesmo ramo de atuação. Neste trabalho será dado o passo inicial: dimensionamento e especificação.

Optou-se em dimensionar um sistema de ar comprimido por 3 motivos: Saúde, segurança e produtividade. Cada motivo será abrangido no decorrer do trabalho.

É facilmente percebido hoje que o mercado de trabalho exige cada vez mais de um serviço de qualidade, econômico, seguro e de um serviço de rápida execução. Com o considerável aumento de fluxo de veículos, (em 2007 havia 1 veículo para cada 7,3 habitantes, já em 2017 chegou-se ao número de 4,8 habitantes por veículos (G1, 2018)), com isso, houve também um crescente número de clientes que procuram o serviço de reparo, e a solução para este número elevado de serviços é a instalação e dimensionamento de um completo sistema de ar comprimido. Desta forma, este trabalho contribui para o crescimento da empresa e seu desenvolvimento como um todo.

O tema escolhido para este trabalho também justifica-se pelo interesse deste autor em pesquisar e adquirir conhecimento significativo para, posteriormente, ter resultados profissionais no que se refere a dimensionamentos de projetos. Para o engenheiro mecânico é de extrema importância a experiência em algum projeto de dimensionamento, pois isto será uma atividade corriqueira na carreira profissional do mesmo.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivos gerais

O principal objetivo deste trabalho é realizar o dimensionamento de todo o sistema de ar comprimido de uma oficina de chapeamento com o intuito de ter um menor impacto no valor da implantação.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral, terão que ser realizados os seguintes pontos:

- Definir quantos pontos de utilização terá o sistema de ar comprimido;
- Medir a oficina detalhadamente e determinar uma rota para as tubulações que transportarão o ar comprimido;
- Definir ferramentas e acessórios que serão utilizados para as atividades;
- Definir/dimensionar os componentes (filtro, tubulação, válvula) que serão empregues;
- Calcular as dimensões do compressor a partir da vazão e pressão requeridas para o trabalho;

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 SISTEMA PNEUMÁTICO

Segundo Fialho (2004, p.19), “PNEUMA” significa fôlego, vento ou sopro. Então, pneumática é conceituada como sendo a matéria que trata dos movimentos e fenômenos dos de todos os gases.

O objetivo principal da implantação de um sistema de ar comprimido em um local “é fornecer ar para vários pontos de aplicação em condições de quantidade e qualidade suficientes e com pressão adequada para uma operação eficiente das ferramentas pneumáticas e de outros dispositivos” (ROLLINS, 2004, p.199). Antes de se definir uma quantidade de ar comprimido que irá ser utilizada no sistema, é de extrema importância que seja feita uma investigação sobre todas as aplicações que podem estar correlacionadas com cada ferramenta e, também, é essencial considerar aplicações futuras para a rede de sistema pneumático em que será realizado o dimensionamento, não só para aplicações imediatas ou para a demanda atual, reitera Rollins (2004, p.199).

#### 2.1.1 Vantagens da pneumática

Um dos maiores benefícios de um sistema de ar comprimido está relacionado à sua economia durante sua vida útil. A esse respeito, tem-se evidenciado que:

Foi demonstrado muitas vezes que a mão-de-obra mais os encargos representam mais de 95% do custo total de operação, ou seja, os custos relacionados com o ar comprimido correspondem a menos de 5%. Por isso, o custo do ar comprimido e das ferramentas pneumáticas é normalmente insignificante quando comparado à economia obtida por seu uso. (ROLLINS, 2004, p.199)

Fialho (2004, p.21) afirma que a pneumática possui cerca de 7 vantagens se comparada com a hidráulica e é mais simples, de maior rendimento, de menor custo e pode ser utilizados em várias soluções de problemas. Fialho (2004, p.21) ainda orienta que as vantagens são devido às seguintes características:

- I. Quantidade: o ar existe em quantidade ilimitada;
- II. Transporte: o ar é transportado por meio de tubulações e não há necessidade de linhas de retorno, como na hidráulica;

- III. Armazenagem: na hidráulica a bomba precisa estar sempre em funcionamento para a circulação do fluido, já na pneumática o ar é comprimido por um compressor e armazenado em um reservatório, desta forma o compressor não precisa estar em constante funcionamento. O compressor só irá ativar quando a pressão cair até um determinado valor definido para a operação ajustado em um pressostato.
- IV. Temperatura: se houver variação na temperatura, o ar comprimido não tem alteração na sua viscosidade diferentemente do óleo.
- V. Segurança: não apresenta risco de explosão ou incêndio ou choque elétrico em nenhum de seus componentes. Se houvesse alguma explosão, mesmo desta forma o risco não é considerável, pois a pressão de trabalho varia de 6 a 12 bar, diferente da hidráulica, onde a pressão alcança seus 350 bar.
- VI. Limpeza: não há risco de poluição ambiental por sua fonte ser o ar.
- VII. Velocidade: permite alta velocidade de deslocamento, 1 a 2 m/s, e pode atingir até 10 m/s no caso de cilindros especiais.

A Toolbras (2018) afirma que hoje em dia a saúde e segurança estão sendo colocadas cada vez mais em ênfase no ambiente de trabalho e as empresas precisam ter um olhar mais atento para este assunto e, por este motivo, muitas empresas estão optando por implantar ferramentas pneumáticas ao invés de elétricas.

### 2.1.2 Desvantagens gerais

É importante analisar os contras que um sistema de ar comprimido pode gerar durante a sua vida útil e levar todos esses detalhes em consideração no momento do dimensionamento, pois cada detalhe é essencial para um rendimento eficiente futuramente. Deve-se levar em conta alguns problemas que a pneumática está habituada a enfrentar.

Quanto ao transporte de algum produto ou substância, Silva (2005, p.13) declara que haverá transtornos e mal funcionamento quando o produto transportado está muito úmido ou pegajoso. Também deve-se levar em consideração as

dimensões da partícula e sua massa volumétrica, pois isso irá requerer uma velocidade do sistema muito excessiva e deve haver um cuidado especial com a temperatura da substância em transporte, pois pode ser incompatível com os dispositivos.

Fialho (2004, p.22) afirma que se deve levar em consideração as seguintes desvantagens de um sistema de ar comprimido:

- I. Preparação: o ar precisa ser isento de impurezas e umidade e isto se dá possível através de filtros e purgadores.
- II. Compressibilidade: esta característica impossibilita a utilização da pneumática com atividades que necessitam de velocidade uniforme e constante. O ar comprimido não possibilita controle preciso durante vários ciclos seguidos.
- III. Força: considerando uma pressão de trabalho de 6 bar, é possível, com o uso de cilindros de duplo efeito do tipo DNG e com um diâmetro de 320 mm, alcançar a força de 48250 N ou 494 Kg para se erguer uma massa. Portanto, os sistemas de ar comprimido não proporcionam uma força tão elevada. Este fato se evidencia na Figura 1:

Figura 1. Diâmetro do cilindro em relação de sua força de avanço e retorno.

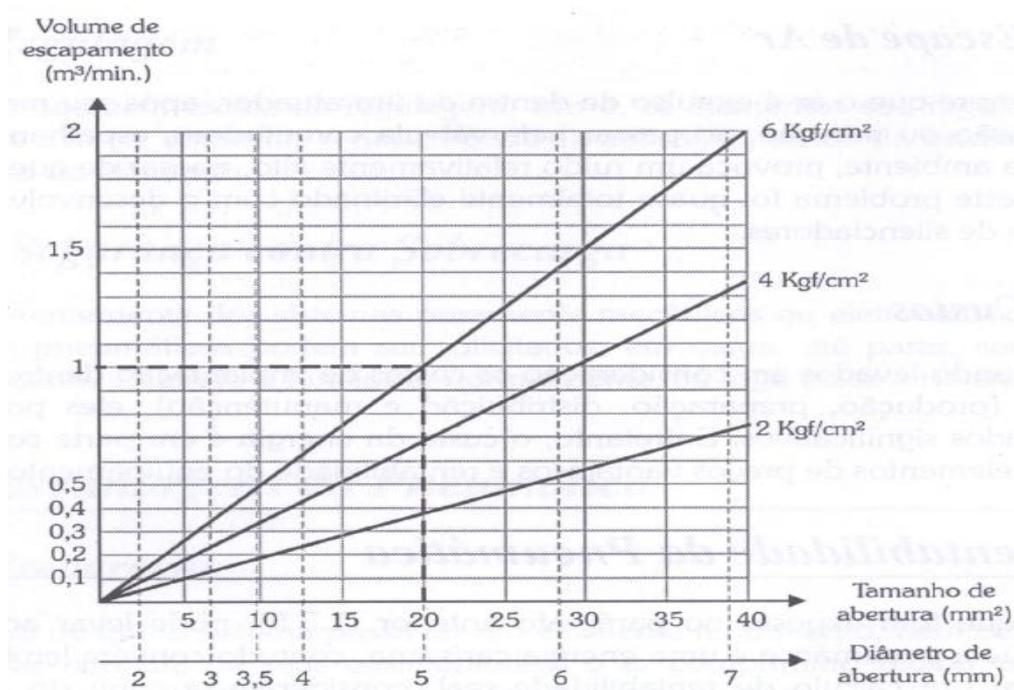
Ø do cilindro	Curo padrão (mm)	Cursos mín. máx. (mm)	Força de Avanço		Força de Retorno		Conexão
			N	Kp	N	Kp	
<b>Cilindros Duplo Efeito - Tipo DNG - ... - DNSU - ... - PPV-A</b>							
32	25 50 80 100 125	1 a 2000	482	48,2	415	41,5	G1/8
40			753	75,3	633	63,3	G1/4
50			1178	117,8	990	99,0	G1/4
63			1870	187,0	1682	168,2	G3/8
80			3015	301,5	2720	272,0	G3/8
100			4712	471,2	4418	441,8	G1/2
125			7360	736,0	6880	688,0	G1/2
160			12064	1206,4	11310	1131,0	G3/4
200			18850	1885,0	18096	1809,6	G3/4
250			1 a 1000	29450	2945,0	28250	2825,0
320	48250	4825,0		46380	4638,0	G1	

**Fonte:** Fialho (2004, p.294)

- IV. Escape de ar: sempre que houver um escape de ar no sistema, haverá também um ruído relativamente alto. Para este caso, pode-se imaginar uma rede que tenha mais de 100 m de extensão de tubulações e nesta rede existam pequenos orifícios de vazamento que as somas totalizam

uma área de 20 mm<sup>2</sup> a uma pressão de trabalho de 6 Kgf/cm<sup>2</sup>. A figura 2 demonstra que esses 20 mm<sup>2</sup> fariam com que houvessem uma perda de 1 m<sup>3</sup> de ar por minuto, resultando em queda da eficiência e prejuízo para o sistema como um todo.

Figura 2. Diagrama de escape de ar.



**Fonte:** Fialho (2004, p.24)

- V. Custos: os custos são elevados no momento da implantação de um sistema como este, porém, o custo da energia é compensado pelos elementos de preços vantajosos e também pela rentabilidade do equipamento.

## 2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR

É relevante destacar que “o ar é a mistura dos gases que envolve o nosso planeta. A composição média do ar seco, ou seja, sem vapor d’água, é a seguinte: nitrogênio (78%), oxigênio (21%) e gases raros (1%)” (PRUDENTE, 2004, p.5).

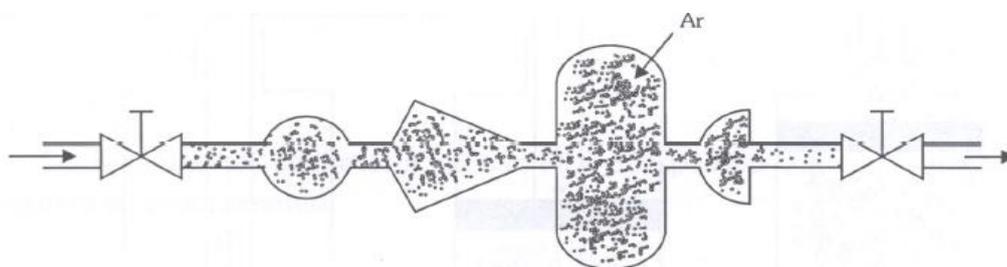
O dimensionamento está associado fortemente com o fluido que percorre o sistema que, neste caso, é o ar atmosférico. Por isto, é de extrema importância entendermos as características e suas individualidades antes de ser tomada alguma

decisão sobre o projeto. Fialho (2012) declara que há 3 propriedades do ar que conferem à pneumática: Expansibilidade, Compressibilidade a temperatura constante e elasticidade.

### 2.2.1 Expansibilidade

Para Fialho (2012) “o ar, bem como todos os gases, não tem forma definida, o que lhe permite adquirir a forma do recipiente que o contém, mudando-a ao menor esforço”, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Expansibilidade do ar em diferentes formas onde está submetido.



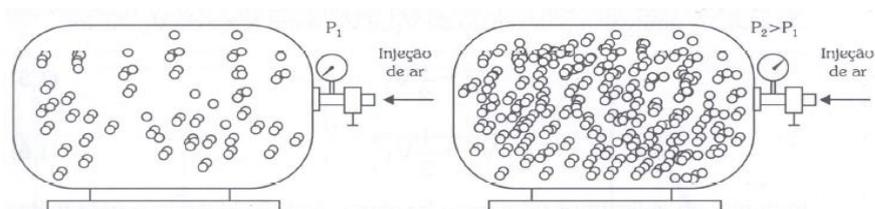
**Fonte:** Fialho (2012, p.27)

### 2.2.2 Compressibilidade a temperatura constante

Como comentado anteriormente, o ar pode ocupar qualquer ambiente (Figura 4),

Assim, pode-se concluir que por meios mecânicos é possível leva-lo à condição oposta, ou seja, comprimi-lo. Desta forma, se tivermos um recipiente que possa ser hermeticamente fechado e o dotarmos de um mecanismo que impeça a saída de ar (válvula de retenção), podemos insuflá-lo nesse recipiente, em quantidade tanto quanto se deseje, mantendo, é claro, o limite de segurança (resistência mecânica do compartimento). (FIALHO, 2012, p.27)

Figura 4. Ar insuflado em um recipiente com válvula de retenção.



**Fonte:** Fialho (2012, p.27)

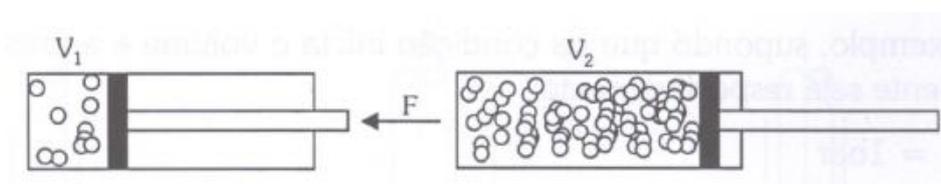
Quanto maior a quantidade de fluido insuflado, maior será a pressão interna, como é mostrado na figura 4.

Fialho (2012) diz que com a entrada contínua de ar no recipiente, as moléculas ficam cada vez mais próximas, aumentando a quantidade deste dentro do sistema.

### 2.2.3 Elasticidade

A definição de Fialho (2012) para elasticidade do ar é que mesmo sendo comprimido, o ar pode voltar ao seu volume inicial, uma vez cessado o esforço que o havia comprimido. Este exemplo pode ser analisado na Figura 5:

Figura 5. Retorno do êmbolo à condição inicial.



**Fonte:** Fialho (2012, p.27)

### 2.2.4 Pressão

É necessário entendermos o que é a pressão e como ela pode atuar no sistema. Prudente (2015) reitera que, a pressão total em uma determinada área se dá pelo equação:

$$P = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Onde:

P = pressão (Pa) ou (N/m<sup>2</sup>)

F = força exercida (N)

S = superfície que F atua (m<sup>2</sup>)

Prudente (2015) diz também que existem três tipos de pressões:

1. Pressão atmosférica: é a pressão exercida sobre qualquer corpo e pode variar dependendo da posição e do clima. Estando a temperatura em 20°C e no mesmo nível do mar, a pressão equivalerá a 1,013 bar.
2. Pressão relativa: é a pressão medida tendo como referência outra pressão
3. Pressão absoluta: é a soma das duas pressões citadas anteriormente.

Fialho (2012, p.22) confirma que a faixa de atuação normal em uma rede pneumática industrial fica na base dos 6 bar, que é denominado como uso econômico.

### 2.2.5 Vazão

A vazão é um campo muito importante na pneumática, pois ela vai definir, de certa forma, a velocidade que os equipamentos irão trabalhar. Prudente (2015) novamente afirma que “no campo pneumático, dispo de nas extremidades de uma tubulação uma diferença de pressão, obtemos um fluxo de ar diretamente proporcional àquela diferença de pressão.”

A intensidade deste fluxo é o conceito de vazão que se dá através da equação:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Onde:

Q = Vazão de ar (m<sup>3</sup>/s)

V = Volume de ar que passa em uma tubulação (m<sup>3</sup>)

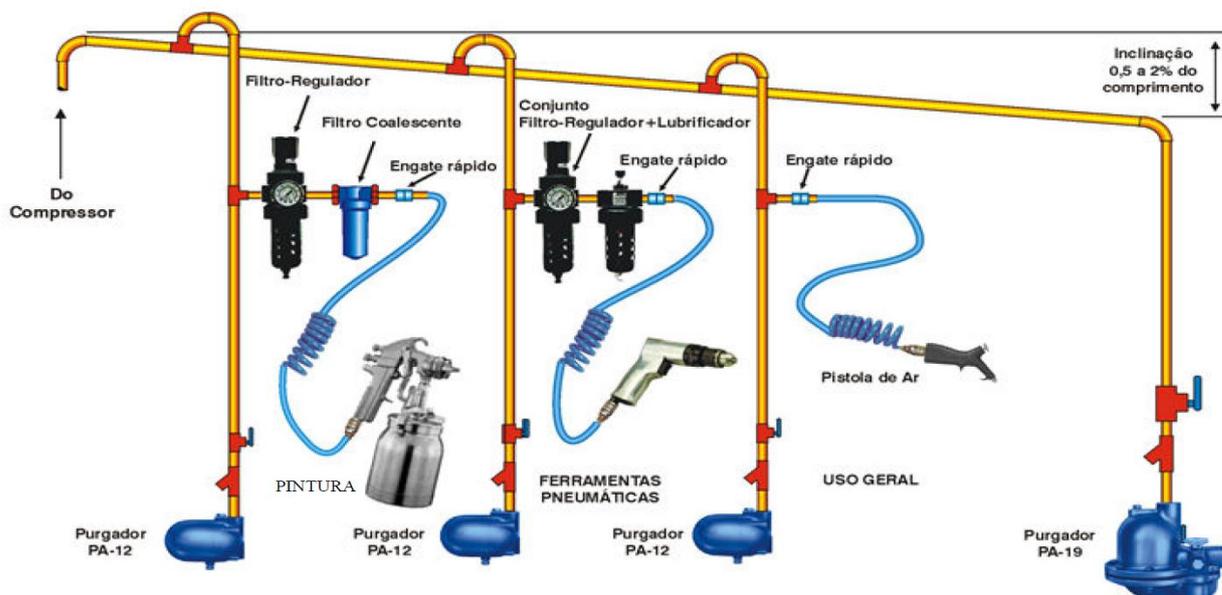
T = Tempo (s)

## 2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

Todo sistema possui uma gama de dispositivos que permitem o funcionamento do mesmo. Em um sistema hidráulico, por exemplo, existem bombas hidráulicas pressionando o fluido que é transportado através das tubulações para chegar até um cilindro onde será movimentado um pistão e, neste local, exercer alguma força resultante (HPS GROUP, 2018). Desta forma, também podemos

associar um sistema pneumático, onde temos vários componentes atuando simultaneamente e dando funcionalidade para o conjunto, como mostra a Figura 6.

Figura 6. Componentes e ferramentas de um sistema de ar comprimido.



**Fonte:** Lztec serviços (2018).

### 2.3.1 Compressores

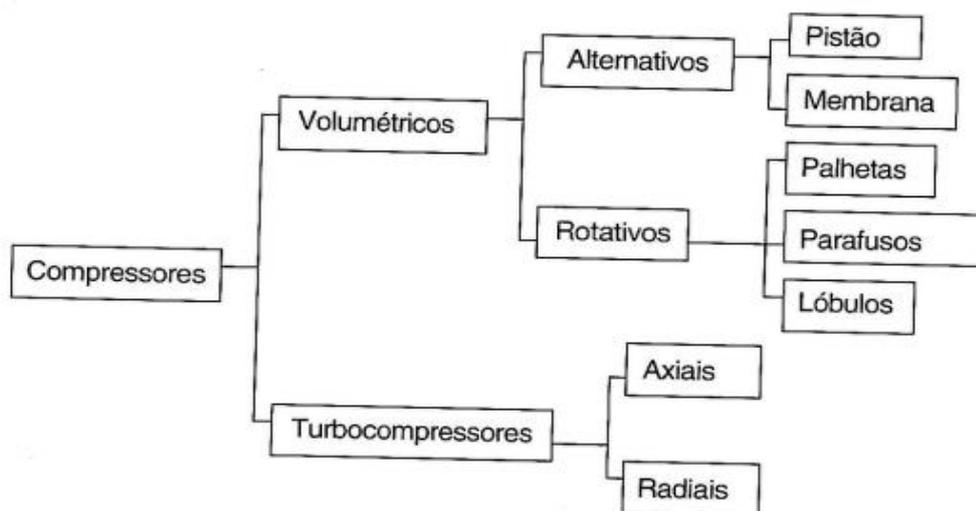
A melhor definição para compressor, segundo Parker (2006), é: “máquinas destinadas a elevar a pressão de um certo volume de ar, admitido nas condições atmosféricas, até uma determinada pressão, exigida na execução dos trabalhos realizados pelo ar comprimido.”

Para o sistema, no geral, a escolha do compressor é de extrema relevância para o projeto, por isso Fialho (2012) afirma que devemos levar em conta as seguintes considerações na escolha de um compressor: volume teórico e efetivo; pressão de regime e trabalho; o motor será elétrico ou a combustão; regulação por descarga, fechamento, garras, rotação ou intermitente.

Em suas funcionalidades, tem-se os compressores volumétricos e os turbocompressores, como demonstra a Figura 7. Os volumétricos realizam a compressão com a redução do volume de ar aspirado, já nos turbocompressores a pressão aumenta conforme a massa de ar é aspirada com uma aceleração elevada,

após isso a massa de ar passa por uma tubulação de pequeno diâmetro, diminuindo sua velocidade e aumentando a sua pressão, diz Prudente (2015).

Figura 7. Classificação dos compressores.



**Fonte:** Prudente (2015, p.12)

Sobre o local correto para alocar um compressor, Fialho (2002, p.57.) argumenta que se delimita geralmente em uma área “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.” O mesmo autor segue informando também que esta sala de compressor deve ter fácil acesso para manutenção e ser bem nivelada.

### 2.3.1.1 Compressores de pistão

Estes compressores podem ser classificados como:

- Simple efeito: possui “pistões do tipo automotivo, acionados pelo virabrequim por bielas, com a compressão sendo efetuada no topo dos pistões em cada rotação do virabrequim.” (ROLLINS, 2004). Rollins (2004), conjuntamente, diz que este tipo de compressor pode ser de um estágio, podendo trabalhar com pressões de 1,7 até 7 bar; pode ser de dois estágios que chegam a pressões de 7 a 16,5 bar e também podem ser denominados multiestágio que alcançam pressões acima de 16,5 bar.

- Duplo efeito: este tipo de compressor tem esta classificação por ter duas câmaras, sendo que as duas faces do êmbolo aspiram e comprimem, afirma Parker (2000). Segundo Rollins (2004), este tipo de compressor pode chegar a 1000 cv de potência e geralmente são usados para serviços pesados e contínuos.

#### 2.3.1.2 Compressores de membrana

Tem o funcionamento parecido com os compressores de pistão, com diferença de que o pistão vem isolado da câmara de admissão por meio de uma membrana para evitar o contato do ar comprimido com as partes deslizantes lubrificadas, podendo atingir pressões de 10 bar com uma qualidade de ar muito elevada, garantindo seu uso nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e químicas, admite Prudente (2015).

#### 2.3.1.3 Compressores de palhetas

Neste tipo de compressor, o rotor é excêntrico em relação à carcaça e é no rotor que são montadas as palhetas, que têm a possibilidade de se deslocar radialmente em relação ao mesmo rotor tendo a capacidade de atingir níveis de pressão de até 10 bar com muita confiabilidade, reitera Prudente (2015).

#### 2.3.1.4 Compressores de parafusos

Dentro de uma carcaça, dois êmbolos rotativos paralelos com perfis diferentes trabalham em direção contrária e estes compressores são utilizados onde há grande necessidade de ar e podem ser utilizados, geralmente, em enchimento e esvaziamento de silos, na indústria de alimentos e bebidas ou em aparelhos de ar-condicionado, afirma Schaeffler (2018). Prudente (2015) confirma que estes equipamentos podem chegar a valores de pressão de até 13 bar, com elevado valor de vazão e trabalhando silenciosamente.

#### 2.3.1.5 Compressores de lóbulos

Conforme Prudente (2015), este tipo de compressor tem dois rotores descentrados, sendo que o ar vem aspirado e enviado na saída de descarga, durante a rotação dos lóbulos. São caracterizados por vazões não muito elevadas e

seu custo é elevado por causa de seus lóbulos, geralmente são usados nas indústrias químicas e alimentícias por não necessitarem de lubrificação.

#### 2.3.1.6 Turbocompressores axial e radial

Estes turbocompressores “caracterizam-se por um eixo ao longo do qual está sistematizada uma série de lâminas rotativas com uma conformação geométrica particular” (PRUDENTE, p.16). No axial a aceleração é transmitida axialmente das lâminas rotativas ao eixo e o no radial se tem um fluxo de ar que transita em sentido radial que é transformado em uma variação de pressão na carcaça, diz Prudente (2015).

Rollins (2004) confirma que estes turbocompressores geralmente são usados em centrais de ar comprimido que necessitam volumes de 1.700 a 51.00 m<sup>3</sup>/h e pressões de 7 a 8,5 bar e também podem ser utilizados na refinação de petróleo, em indústrias têxteis, usinas de aço, indústria química e termelétrica.

#### 2.3.2 Rede de distribuição

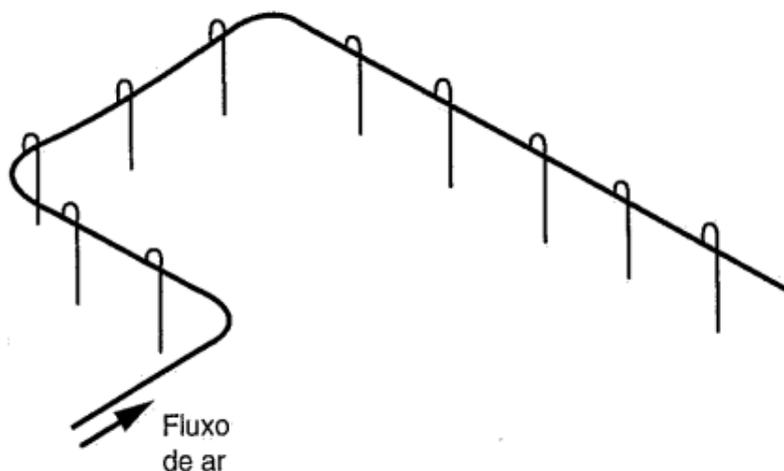
Conforme CSE (2000?), a rede deve manter as características do ar comprimido produzido desta forma:

1. Manter a pressão: a perda de carga deve ser a mínima possível;
2. Manter a vazão: os vazamentos devem ser evitados ao máximo;
3. Eliminar o condensado: a umidade condensada no sistema deve ser adequadamente excluída.

É considerável relatar que a rede pode se caracterizar como aberta, fechada ou entrelaçada. Prudente (2015) esclarece esses três conceitos perfeitamente:

Rede aberta: esta rede deve ser usada quando o sistema não excede os 100 m<sup>3</sup>/h, quando não existe simultaneidade de absorção de ar na rede e também é indicado quando quer se abastecer pontos da rede muito isolados. As desvantagens estão ligadas à queda de pressão com o aumento da distância do reservatório e, na rede aberta, não é possível seccionar a rede sem que seja desligada a alimentação.

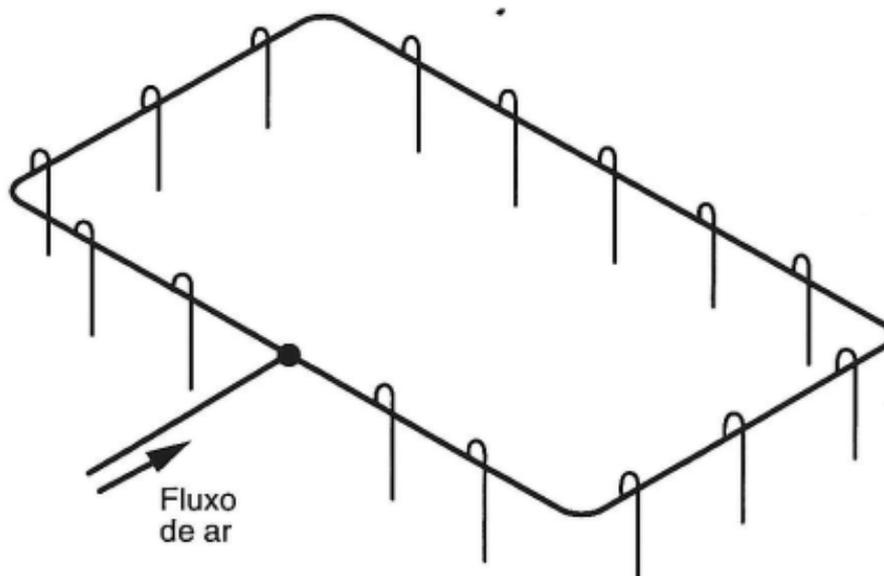
Figura 8. Rede de ar comprimido aberta.



**Fonte:** Prudente (2015, p.21)

Rede fechada: o ar parte e retorna após ter feito o percurso inteiro ao longo da tubulação e é considerada melhor que a rede aberta tendo maior uniformidade de pressão.

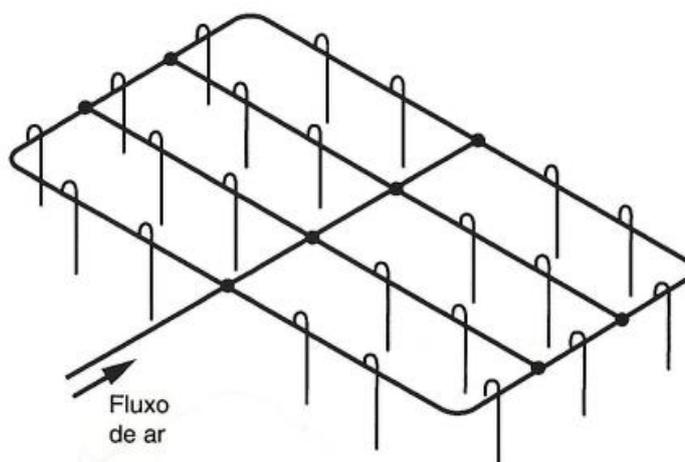
Figura 9. Rede de ar comprimido fechada.



**Fonte:** Prudente (2015, p. 22)

Rede com linha entrelaçada: esta rede é o melhor fluxo para o caso de grandes instalações, sendo assim a mais cara.

Figura 10. Rede de ar comprimido mista.



**Fonte:** Prudente (2015, p.22)

Em relação ao material a ser usado nas tubulações é preciso dar “preferência aos resistentes à oxidação, como aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plásticos de engenharia.” (METAPLAN,2017, p.46).

### 2.3.2.1 Linha principal ou tronco

É preciso levar em conta um possível acréscimo na demanda da produção na oficina “Ao proceder ao dimensionamento do diâmetro mínimo necessário à linha principal, de forma que ela possa atender à pressão e vazão necessárias aos diversos pontos de alimentação que se distribuirão por dentro da fábrica” (FIALHO, 2004).

Fialho (2004) reconhece que o dimensionamento desta linha deve considerar uma queda de pressão de até 0,5 Kgf/cm<sup>2</sup> do reservatório até o consumidor e lembrar de adotar esta perda em 0,5 a partir dos 500 m de comprimento da rede. Para se ter um bom desempenho, redes com menos de 500 m não podem exceder uma perda de carga superior a 0,3 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Para se dimensionar o diâmetro interno mínimo desta tubulação já prevendo um possível aumento, Fialho (2004) refere-se à Equação 3:

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

Onde:

$D$  = diâmetro interno da tubulação (mm)

$Q$  = vazão do ar, considerado a porcentagem de aumento da demanda ( $m^3/h$ )

$\Delta p$  = queda de pressão admitida ou perda de carga ( $Kgf/cm^2$ )

$p$  = pressão de regime ( $Kgf/cm^2$ )

$L_t$  = soma do comprimento linear da tubulação da linha tronco com o comprimento equivalente originado dos pontos de estrangulamento (m).

Para calcular  $L_t$  deve se levar em consideração a Equação 4:

$$L_t = L_1 + L_2 \quad (4)$$

Onde:

$L_1$  = comprimento linear da linha tronco (m)

$L_2$  = Estrangulamentos de cada sistema (tês, curvas, registros, etc.). Estas singularidades devem ser transformadas em comprimento equivalente (m)

O  $L_2$  seriam as perdas de carga do sistema, ou seja, os pontos de estrangulamento que fazem com que a pressão sofra uma gradual redução ao longo do comprimento em função dos atritos internos, afirma Fialho (2004). Para se obter o valor equivalente deste comprimento adicional que se precisa considerar no cálculo, o anexo A deve ser analisado para cada conexão utilizada na rede de ar.

#### 2.3.2.2 Linhas secundárias

Neste sistema de ramificações, conforme Bosch (2008), o ar é fornecido para os equipamentos em distâncias curtas.

Fialho (2004) alega que o dimensionamento das linhas secundárias e de alimentação pode ser feito aplicando a Equação 3. Entretanto, considerando que estas linhas secundárias tenham todas o mesmo comprimento, divide-se o volume de ar corrente pelo número de linhas secundárias.

### 2.3.2.3 Inclinação da rede

É recomendado por vários autores que haja uma inclinação na rede de ar comprimido no sentido do fluxo do mesmo. Neste assunto, Fialho (2011) afirma que isto facilita o recolhimento de eventuais condensações e impurezas ao longo da tubulação, e lembra que esta inclinação deve ficar entre 0,5 a 2% do comprimento reto do tubo.

CSE (2000?) chama a atenção no que se diz respeito à umidade que tende a decantar na parte inferior do tubo e por isso se deve ter uma inclinação para que haja o escoamento do condensado até a purga. O mesmo autor (CSE, 2000?) afirma também que deve se ter uma atenção especial em casos de redes de ar comprimido fechadas, onde a alimentação do ar pode ocorrer tanto de um sentido quanto do outro. Nestes casos, deve-se aumentar o número dos pontos de drenagem e escolher os pontos mais convenientes na rede para possibilitar uma maior coleta de condensado.

Figura 11. Inclinação de uma linha secundária de ar comprimido.



**Fonte:** CSE, p.47.

### 2.3.2.4 Ramais de ponto de alimentação e linhas secundárias

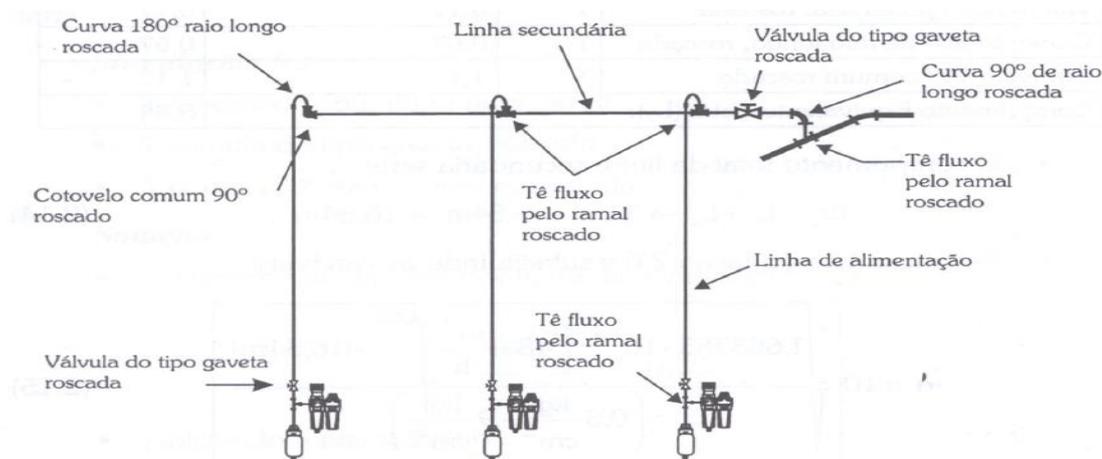
Em relação a este caso, temos descrito que:

“o condensado com o peso específico superior ao do ar comprimido tende a depositar-se na parte inferior do tubo. Para evitar que o condensado seja arrastado pelas tubulações de ramificações, as tomadas devem ser feitas na parte superior do tubo. Deste modo obtém-se nos ramais um ar quase isento de condensado.” (CSE, p.48.)

Na figura 12 tem-se evidenciado que as tomadas para ponto de alimentação geralmente tem curvatura de 180° para reduzir a quantidade de condensado ao

máximo na ferramenta de utilização e nas tomadas para ramais de linhas secundárias temos uma curvatura de 90° com a mesma finalidade anteriormente citada.

Figura 12. Linha secundária e alimentação de um sistema de ar comprimido.



**Fonte:** FIALHO, 2004, p.69.

### 2.3.2.5 Válvulas de fechamento na linha de distribuição

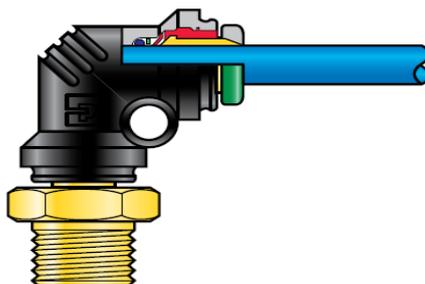
Este item é importante levar em consideração pois, Fialho (2004) afirma que, independente qual tipo de rede for adotada, tanto fechada quanto aberta, é relevante a implantação destas válvulas de registro em cada ponto de tomada, de forma a facilitar a manutenção, inspeção ou modificação, permitindo assim que a linha secundária em manutenção seja isolada da rede, evitando que todo o sistema seja desligado para um eventual reparo na rede de ar comprimido. Este tipo de válvula pode ser analisado na Figura 12, onde ela se encontra no início de uma linha secundária.

### 2.3.2.6 Conexões

Parker (2006) reitera que estes componentes são de grande importância para a rede de distribuição de ar, escolhendo a conexão mais apropriada, podem se reduzir maiores recursos de montagem para a redução de tempo, ter dimensões compactas e não apresentar quedas de pressão possuindo uma máxima área de passagem para o fluido e utilizando conexões de raio longo para minimizar as perdas de carga. Estas conexões também devem permitir uma rápida remoção sem

a danificação dos tubos para eventuais modificações na rede ou qualquer tipo de manutenção. O Autor (PARKER, 2006) também fala que para se atender a todas as necessidades de instalações de circuitos pneumáticos são usadas as conexões instantâneas a um engate rápido, com mostra na Figura 13.

Figura 13. Exemplo de uma conexão instantânea com engate rápido.

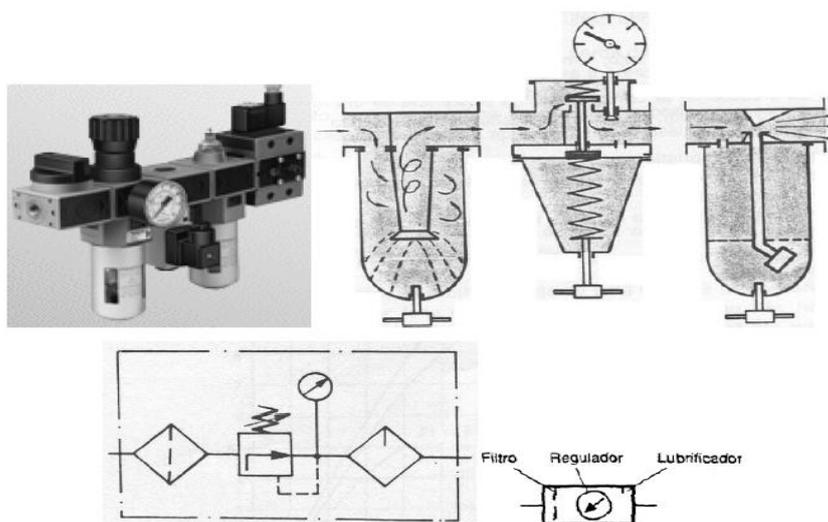


**Fonte:** Parker,2006, p.54.

### 2.3.3 Tratamento de ar comprimido (lubrifil)

Antes de o ar chegar até a ferramenta rotativa, ele deve passar por uma unidade de tratamento com o objetivo de evitar danos causados pelas partículas presentes no sistema de ar (um exemplo é o efeito corrosivo que a água causa na parte interna das ferramentas e seu desgaste). Este sistema é composto por 3 componentes: filtro, válvula reguladora de pressão e lubrificador, afirma Silva (2011).

Figura 14. Sistema Lubrifil e seus símbolos.



**Fonte:** SILVA, 2011, p. 39.

### 2.3.3.1 Filtros de ar

De forma sucinta, Fargon (2006), explica que os filtros servem para remover do processo componentes indesejáveis, tais como: óleo, água condensada, partículas sólidas, odores, vírus, bactérias etc.

No sistema de ar comprimido de uma oficina sempre se possui ferramenta de alta rotação e, por este motivo, deve-se levar em consideração a seguinte afirmação:

Algumas aplicações necessitam de ar lubrificado, que é obtido através da utilização de lubrificadores (...). Neste caso erroneamente levamos a concluir que o óleo utilizado nos compressores lubrificados seria benéfico para estas aplicações. Este óleo na saída do compressor está contaminado com água proveniente do ar, resultando em um líquido branco corrosivo e prejudicial aos equipamentos pneumáticos. Neste caso devemos remover primeiramente esta emulsão através de um filtro adequado para posteriormente utilizar um lubrificador. (FARGON, 2006, p.14)

Para Metaplan (2017), os filtros de ar podem aparecer em 3 posições diferentes no sistema: filtro instalado antes do secador, depois do secador e junto ao ponto de uso. Antes do secador (pré filtro), o filtro tem a função de proteger o secador de ar contra o excesso de óleo oriundo do compressor de ar, prejudicando sua eficiência. Depois do secador (pós filtro), o filtro exerce o trabalho de eliminar a umidade residual não removida pelo separador mecânico de condensados, além de conter partículas sólidas não retidas no pré filtro. Já os filtros instalados no ponto de uso servem para evitar que os contaminantes presentes nas tubulações de ar atinjam a aplicação final do mesmo, e se o sistema não possuir qualquer tipo de tratamento de ar, os filtros de ar no ponto de uso são imprescindíveis.

Figura 15. Filtro de ar comprimido



Fonte: Metaplan, 2017, p.28

Possuem filtros de diferentes variedades e com aplicações específicas em cada sistema:

1. Filtros com elemento sintetizado: possui elemento filtrante feito de bronze, polietileno, inox, vidro ou papel plissado que é o mais comum e usado de forma mais geral. Possuem grau de filtração que varia de 1 a 50 microns e podem ser reutilizados várias vezes se limpos corretamente, diz Fargon (2006).
2. Filtro com elemento coalescente: Fargon (2006) afirma que estes tipos de filtros são modelos de última geração, possuindo camadas para remoção de partículas finas no óleo e água, até níveis de 0,01 ppm/0,01 microns. O elemento filtrante é composto por camadas de microfibras de borosilicato e estes elementos não podem ser recuperados, devendo ser substituídos quando saturados.
3. Filtros com elementos de carvão ativo: Bosch (2008) confirma que um filtro de carvão ativo remove do ar comprimido os vapores de hidrocarboneto. O resíduo de óleo contido no ar pode ser reduzido em até 0,005 mg/m<sup>3</sup>. Este tipo de filtro também não pode ser reutilizado.
4. Filtros com elemento esterilizante: é usado obrigatoriamente em aplicações com produtos farmacêuticos e alimentícios vulneráveis a bactérias e vírus. Estes filtros podem ser compostos por Nylon, teflon ou polipropileno e pode remover vírus e bactérias de 0,01 microns, obtendo um ar estéril. Podem ser recuperados com a utilização de uma autoclave, que com a alta temperatura (120 – 200°C) acaba eliminando as bactérias retidas na malha filtrante, reitera Fargon (2006).
5. Filtros para aplicações especiais: Fargon (2006) explica que estes filtros tem utilização para respiração e fins medicinais e podem requerer filtros especiais, tais como filtros adsorventes que possuem peneira molecular para a remoção de traços de CO<sub>2</sub>.

### 2.3.3.2 Lubrificadores

Antes de comentar sobre os lubrificadores, deve se ter nota sobre os lubrificantes que, por sua vez, tem função importante nos equipamentos pneumáticos.

Atlas (2016) alega que os lubrificantes devem respeitar as indicações dos fabricantes de equipamentos, de forma a garantir um funcionamento adequado, conforme parâmetros especificados. “O tipo de óleo utilizado deve tomar em consideração as temperaturas de funcionamento e o ambiente de trabalho do compressor. A degradação do óleo leva à redução da vida útil de determinados componentes (ex. filtro separador), originando consumos energéticos acrescidos.” (ATLAS, 2016, p. 43).

Segundo Parker (2006), o óleo apropriado para um sistema de ar comprimido deve conter antioxidante, não podendo ser oxidado ao ser nebulizado com o ar e deve conter aditivos antiespumantes para não haver formação de espumas. Outra característica importante do óleo para um sistema destes é a uniformidade do índice de viscosidade devido às variações de temperatura.

Figura 16. Óleos recomendados para um sistema de ar comprimido.

Shell.....	Shell Tellus C-10
Esso.....	Turbine Oil-32
Esso.....	Spinesso-22
Mobil Oil.....	Mobil Oil DTE-24
Valvoline .....	Valvoline R-60
Castrol .....	Castrol Hyspin AWS-32
Lubrax.....	HR 68 EP
Lubrax .....	Ind CL 45 Of
Texaco .....	Kock Tex-100

**Fonte:** PARKER, 2006, p.50.

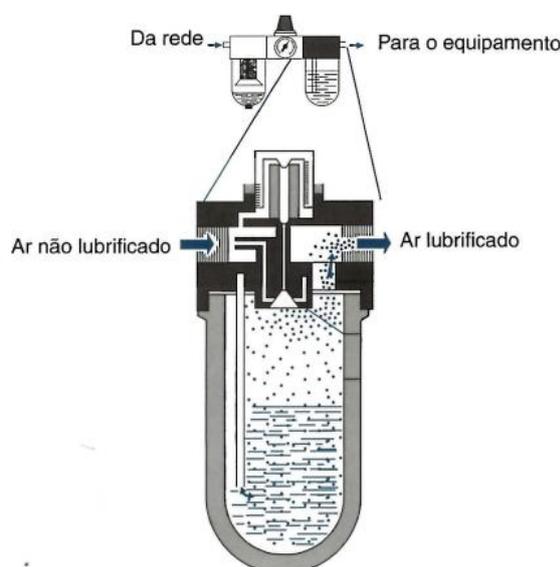
Parker (2006) recomenda que os equipamentos devem ser lubrificados convenientemente, através do ar comprimido que seria a mistura de ar com uma quantidade de óleo lubrificante com o objetivo de diminuir os efeitos desgastantes e as forças de atrito, a fim de facilitar os movimentos que os equipamentos irão exercer em suas atividades.

Prudente (2015) aconselha que é estritamente importante que haja, na entrada de qualquer equipamento pneumático, gotas de óleo lubrificante e que essas gotas devem ser muito finas com a finalidade de ficar suspensas no ar por um longo tempo e lubrificar o equipamento de forma constante.

Um lubrificador, basicamente, funciona a base do “efeito de Venturi, que permite introduzir qualquer líquido em suspensão no ar comprimido.” (PRUDENTE, 2015, p.31)

De forma simples, o efeito de Venturi explica que, por exemplo, em uma vazão de ar pode-se misturar algum outro tipo de substância com o intuito desta substância ser transportada junto com o fluxo do ar, submetendo-se a uma mesma pressão e velocidade que o ar estava submetido. Um exemplo prático disso é um recipiente de aerossol, ou uma pistola de pintura.

Figura 17. Lubrificador de óleo.



**Fonte:** Prudente (2015, p.31)

### 2.3.3.3 Válvula reguladora de pressão

A função da válvula é “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.” (SILVA, 2011, p.41).

Sabe-se que a utilização do ar em um sistema de ar comprimido nem sempre é constante, então é necessário combinar o volume fornecido pelo compressor com a real demanda de produção. Para isto, é utilizado, dependendo do modelo de compressor, válvulas de controle de pressão que operam entre valores

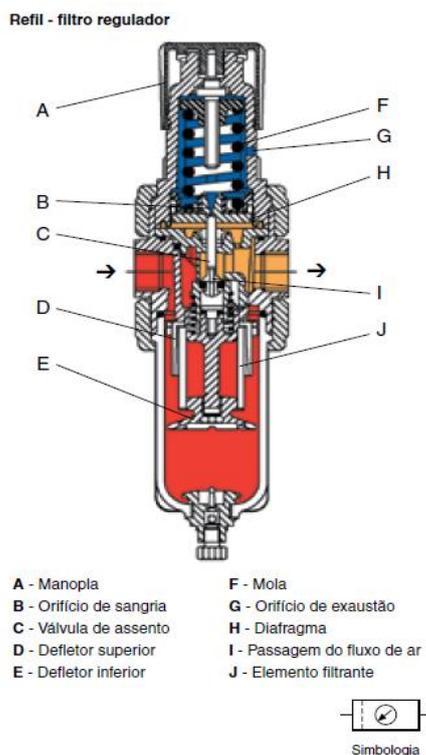
preestabelecidos, ou seja, mantêm o sistema operando entre uma pressão máxima e mínima, relata Fialho (2004). Pode-se pensar que o sistema terá uma pressão mínima de 6 bar e quando a pressão alcançar um valor menor a este, o compressor irá acionar, aumentando a pressão até o nível máximo preestabelecido.

Um problema é que quando há um grande número de equipamentos trabalhando simultaneamente, a pressão irá ter uma queda devido ao pico de consumo ocorrido e estes problemas só podem ser resolvidos usando-se válvulas reguladoras de pressão, afirma, novamente, Parker (2006).

Um manômetro e um redutor de pressão estabilizam e visualizam a pressão fornecida à máquina em um nível ótimo e evita oscilações da pressão, o que pode danificar o equipamento, afirma Prudente (2015).

Tanto nos circuitos hidráulicos quanto nos circuitos pneumáticos, os manômetros tem a função de indicar o ajuste e a intensidade de pressão nas válvulas, que influenciam na força, torque e outras grandezas, afirma Parker (2006). Esta válvula está especificada na Figura 18.

Figura 18. Válvula reguladora de pressão e sua simbologia.

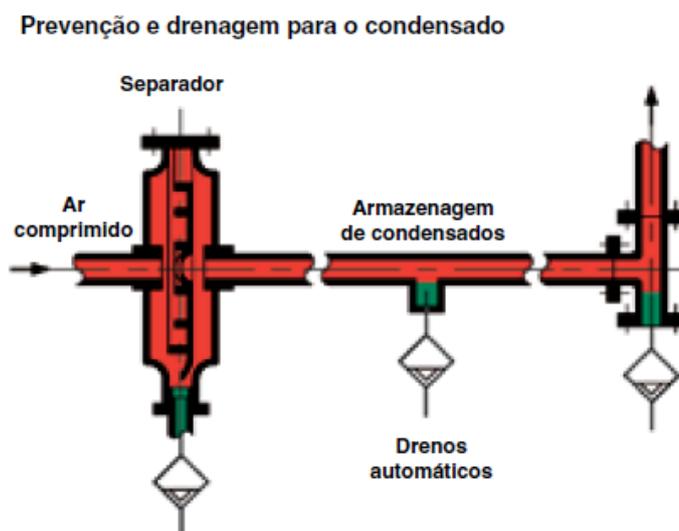


### 2.3.4 Purgadores

Para Parker (2006) os “purgadores são pequenos aparatos destinados a efetuar a drenagem dos contaminantes líquidos do sistema de ar comprimido para o meio ambiente. Podem ser manuais ou automáticos...”, e está referenciado na Figura 19. O referido autor diz também que os purgadores eletrônicos são os mais utilizados nos dias de hoje e são encontrados nos tipos de temporizador ou com sensores de umidade.

Parker (2006) continua seu raciocínio afirmando que os purgadores devem ser instalados sempre nos locais mais baixos da tubulação, fim de linha e onde houver elevação de linha. Parker (2006) fala ainda que, para se ter uma melhor eficiência na drenagem, podem ser feitos bolsões que servem de auxílio para fazer a retenção do condensado e enviar para o purgador.

Figura 19. Drenagem de um sistema de ar comprimido.



**Fonte:** Parker, 2006, p.53.

## 2.4 EQUIPAMENTOS DE USO DO AR COMPRIMIDO

Antes de qualquer dimensionamento, é de extrema importância conhecer algumas ferramentas que usam o ar comprimido. Schulz (2016) afirma que estas ferramentas de uso manual são projetadas e construídas em função da área de utilização e podem ser de motor rotativo ou percussivo, sendo o tipo rotativo de palheta o mais comum deles.

Schulz (2016) cita algumas das principais vantagens deste tipo de ferramentas, que são:

- ✓ Tamanho e peso reduzidos: evitam fadiga prematura do operador;
- ✓ Resistência: permitem paradas e retomadas bruscas, sem sofrer superaquecimento, variações de tensões e quebra por sobrecarga;
- ✓ Segurança: Anula o risco de choques e faíscas;
- ✓ Torque: são mais potentes, comparadas às suas análogas elétricas e não aumentam o consumo de energia elétrica;
- ✓ Manutenção: é simples, pois os motores deste grupo requerem apenas lubrificação através das unidades Lubrifil.
- ✓ Durabilidade: apresentam uma proposta muito boa em relação ao custo x benefício por serem muito mais resistentes a condições extremas de uso.

Em comparação com as ferramentas elétricas, segundo a ToolBras (2015), evidenciam-se as seguintes vantagens de operação:

- ✓ Ergonomia: são mais leves (influi diretamente na saúde do operador, evitando a fadiga laboral), são menores, possuem menos vibrações e possuem maior facilidade de manuseio;
- ✓ Vida longa: com manutenções preventivas, as ferramentas pneumáticas tem provado ser em média cinco vezes mais duráveis que uma similar elétrica.

Hoje, no mercado, existem vários modelos de ferramentas pneumáticas e será analisado alguns deles para escolher a melhor opção para o projeto.

#### 2.4.1 Lixadeira pneumática

A lixadeira tem a função, como já diz o nome, de lixar superfícies que são indesejadas com o intuito de planificar/padronizar a área trabalhada. Na Lixadeira é acoplada uma lixa.

É válido afirmar que, segundo Wordpress (2018), o desbaste e lixamento quando realizados com grande frequência, tornam-se nocivos à saúde do

funcionário, pois geram concentração de poeira, podendo ocasionar doenças respiratórias.

Segundo Schulz (2016), no mercado, podemos encontrar vários tipos destas lixadeiras: Roto orbital que geralmente é usada para lixar peças de madeira, na área de chapeamento, ou seja, trabalhos que necessitam aspiração de pó; Oscilante é geralmente usada em trabalhos no ramo da marcenaria; Alta rotação é mais utilizada em superfícies metálicas e limpeza de tinta; A lixadeira de cinta é usada em locais de difíceis acessos, como grades e cantos vivos.

Estas ferramentas podem variar em:

- Velocidade de rotação: 4500 à 25000 rpm;
- Potência: 0,2 a 0,7 HP;
- Consumo de ar: 4,7 a 14,2 l/s;
- Pressão de trabalho: geralmente 90 psi;

#### 2.4.2 Parafusadeira pneumática

O uso da parafusadeira é para parafusar ou desparafusar, com o intuito de, por exemplo, desafixar algo que está firme pelo elemento de máquina denominado parafuso. No reparo de automóveis, ela é fundamental para desmontagem e montagem de para-choques, forros de porta, já na indústria o seu uso é muito vasto, podendo estar presente em várias linhas de produção de diferentes produtos para a função de aperto de parafusos do tipo fenda, Philips, Allen etc...

Schulz (2016), diz que no mercado existem basicamente dois tipos de parafusadeiras: o tipo pistola, que é a mais convencional e mais ergonômica e tem uso geral; O modelo parafusadeira reta, que pode ter alcance em lugares de difícil acesso onde a de modelo pistola não teria acesso.

Pode-se encontrar variações de:

- Velocidade de rotação: 800 a 1800 rpm;
- Faixa de torque: 1 a 12 Nm;
- Consumo de ar: 11,8 l/s;
- Peso: 1,13 a 1,45 Kg.

### 2.4.3 Furadeira pneumática

A função deste equipamento é a execução de furos nas superfícies. Diferentes brocas podem ser acopladas à parafusadeira dependendo do diâmetro do furo desejado, a furadeira também tem influência, pois nem todos os modelos podem acoplar qualquer tamanho de broca.

Estes equipamentos estão presentes em praticamente todo o setor industrial e presente também nos trabalhos domésticos, pois seu uso é geral, tanto para fazer a furação de uma chapa metálica em uma empresa de grande porte, quanto para a furação de uma parede de concreto em uma casa.

Schulz (2016) também afirma que geralmente existem três tipos de furadeira disponíveis: a reversível no formato de pistola que é a mais utilizada por seu design ser mais ergonômico e de fácil manuseio tendo a opção de empunhadura; a reta que pode ter alcance em lugares de difícil acesso; a furadeira reversível angular é similar à reta, a diferença está em seu mandril que está posicionada a 90° de seu eixo de acionamento.

As faixas destas furadeiras são:

- Velocidade de rotação: 500 a 2600 rpm;
- Consumo de ar: 11,8 a 16 l/s;
- Pressão de trabalho: 90 psi.

### 2.4.4 Politriz pneumática

Esta ferramenta é similar à esmerilhadeira, porém sua função é totalmente inversa. Em sua base é acoplado a chamada boina para polimento, com a função de “lustrar” superfícies que estão sem brilho.

Sobre a politriz, não existem modelos diferenciados da mesma, e pesquisando em algumas lojas online e catálogo da Schulz (2016) descobriu-se que algumas taxas podem variar:

- Rotação: 2500 a 6000 rpm;
- Diâmetro da base: 5 a 7”;
- Consumo de ar: 14,2 a 17,5 l/s;

- Pressão de trabalho: 90 psi

#### 2.4.5 Pistola de pintura pneumática

A pistola de pintura é de essencial importância em ramos de estética de produtos, pois é ela que é responsável de distribuir a tinta em uma mesa de madeira, lataria de um carro, grades de casas através do fenômeno de Venturi, fazendo a mistura da tinta que está alocada no recipiente (denominado caneca) com o ar que é produzido pelo sistema.

Schulz (2016) afirma que tem para a venda pistolas com a caneca acoplada na parte de baixo de onde a tinta é succionada e também há a pistola que tem a caneca acoplada na parte superior, fazendo com que a tinta seja misturada com o ar através da força da gravidade. Existem as que são nominadas HVLP (*high volume, low pressure*) que se diz a tecnologia de melhor aproveitamento da tinta com um menor consumo.

Algumas taxas de variação para estes equipamentos:

- Capacidade da caneca: 600 a 1000 ml;
- Consumo de ar: 3,8 a 7,5 l/s;
- Pressão de trabalho: 40 a 133 psi;
- Diâmetro do bico: 1,4 a 2 mm

#### 2.4.6 Rebitador pneumático

Serve exclusivamente para unir chapas metálicas ou componentes. Este tipo de ferramenta sempre é utilizado para fazer pequenos retrabalhos e possui uso de forma geral.

Schulz (2016) diz que as características geralmente variam em:

- Força de tração: 720 a 2100 kgf;
- Consumo de ar: 1 a 3,79 l/s;
- Pressão de trabalho: 90 psi;
- Capacidade máxima do tamanho de rebite: 2,4 a 6,35 mm

#### 2.4.7 Esmerilhadeira pneumática

Esta ferramenta é usada geralmente para corte e desbaste de peças metálicas e excesso de respingos de solda.

Deve se levar em consideração as seguintes taxas, segundo Schulz (2016):

- Rotação: 7000 a 12000 rpm;
- Potência: 0,5 a 1 HP;
- Consumo de ar: 13,7 a 17,5 l/s
- Pressão de trabalho: 90 psi;
- 1,5 a 3,20 Kg

#### 2.4.8 Chaves de impacto

Estas chaves são caracterizadas por utilizarem a força através do impacto que é proporcionado em seu sistema, geralmente utilizada para firmar e soltar porcas ou parafusos desde a indústria até uma oficina mecânica de pequeno porte. Tem ótima utilização em parafusos que estejam oxidados com difícil remoção.

Schulz (2016) reitera que estas chaves podem ser de 3 tipos:

*Rocking dog*: sistema de simples martelo que possui uma boa faixa de torque e um peso reduzido e é mais recomendada para serviços leves, para pequenas oficinas.

*Pin Clutch*:. É utilizado geralmente em linhas de produção industrial, onde a produtividade é alta e é necessário alta rotação e em manutenção pesada.

*Twin Hammer*: sistema de duplo martelo que possui o maior torque desta categoria. Oferece um sistema de impacto mais resistente mas menos suave.

As taxas variam entre:

- Rotação livre: 3000 a 10000 rpm;
- Torque máximo de aperto: 110 a 3400 Nm;
- Capacidade do parafuso: M10 a M42;
- Consumo de ar: 8,5 a 23,6 l/s;
- Pressão de trabalho: 90 psi.

#### 2.4.9 Chaves de catraca

Estas ferramentas tem uso geral e são usadas para aperto de porcas e parafusos curtos e são utilizadas em locais de difícil acesso, onde, por exemplo, a chave de impacto não tem possibilidade de alcance.

Conforme pesquisado, Schulz (2016) afirma em seu catálogo que estas ferramentas podem ter variações:

- Torque máximo: 35 a 125 Nm;
- Capacidade do parafuso: M8 a M12;
- Consumo de ar: 8,5 a 11,8 l/s;
- Pressão de trabalho: 90 psi.

#### 2.4.10 Grampeadores

Muito útil em indústrias moveleiras para a fixação de peças de madeira, marcenarias, estofaria, fixação de forros para isolamento acústico. Tem uma alta produtividade e qualidade superior se comparado aos convencionais.

Geralmente estes equipamentos tem taxas variáveis, afirma Schulz (2016), de:

- Pressão de operação: 70 a 120 psi;
- Consumo de ar: 1 a 2,36 l/s;
- Peso: 1 a 2,2 Kg.

#### 2.4.11 Retíficas

Tem a função de tornar reto, alinhar uma superfície que está deformada. Alguns exemplos disto é fazer um acabamento em uma superfície soldada, alargar um furo, acabamento de moldes e matrizes.

Schulz (2016) mostra que as taxas podem variar nas seguintes proporções:

- Rotação livre: 3000 a 70000 rpm;
- Consumo de ar: 4,7 a 12,3 l/s;
- Pressão de trabalho: 90 psi.

### 3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho será explicado todo o processo de chapeamento, do início ao fim de cada etapa, também será realizado a medição de toda a estrutura da oficina para determinar qual a extensão que a tubulação terá. Após a medição da estrutura, deve-se definir quais as ferramentas que serão utilizadas, suas respectivas quantidades e quais destas ferramentas serão utilizadas simultaneamente. Feito isto, é identificado qual a vazão total que o sistema irá ter e deverá ser definido uma média de vazão das ferramentas mais utilizadas diariamente. Obtida esta vazão, pode ser definido, através da Equação 3, o diâmetro nominal da tubulação e após descoberto este diâmetro nominal, através das tabelas é dimensionado o diâmetro real das tubulações e escolhido o que tem o diâmetro mais próximo do comercializado pelos fornecedores. Com o diâmetro definido, devem ser escolhidos os purgadores e o sistema de lubrificação. Desta forma está dimensionado o sistema de ar comprimido por completo.

Com base no formato da estrutura, será escolhido o conceito da rede (aberta, fechada ou entrelaçada), e também definido em que lugar os pontos de alimentação estarão dispostos.

Este estudo que será realizado para o dimensionamento do sistema de geração de ar comprimido, se caracteriza como uma pesquisa exploratória, pois, segundo Gil (2002, p.41), “Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que esta pesquisa têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições”. A abordagem do projeto será qualitativa, pois, conforme o professor Fontenelle (2018) “o autor é ferramenta essencial, pois é ele quem faz a análise dos dados coletados, buscando os conceitos, princípios, relações e significados das coisas.”

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Processo de chapeamento da oficina de estudo

Primeiramente, deve-se entender como funciona o processo de reparo de automóveis na oficina onde vai ser feito o dimensionamento, então, a seguir será explicado cada fase do processo como um todo e exposto os detalhes de cada atividade realizada. Na oficina é feito qualquer trabalho que não envolva a parte mecânica ou hidráulica. Na figura 20 é apresentado um fluxograma de todo o processo de chapeamento:

Figura 20. Fluxograma do processo de chapeamento da oficina.



**Fonte:** Autor (2018)

#### 4.1.1 Processo de nivelamento da lataria

Se aconteceu alguma colisão com o veículo, esta é a primeira parte, onde realiza-se o alinhamento da lataria ao máximo que se consegue com o intuito de evitar o excesso de depósito de massa poliéster no local que foi danificado/amassado. Geralmente se usa martelo para este processo, batendo-se de dentro para fora da lataria e para isso é essencial que seja removido algum forro interno com a parafusadeira para se ter acesso à área danificada ou, por exemplo, remoção do para-choque/para-lamas com a chave de catraca ou impacto para se ter maior facilidade no momento do manuseio para o reparo da peça. Então, neste

processo é utilizado todas as ferramentas para desmontagens de componentes, se isso for necessário.

#### 4.1.2 Processo de esmerilhamento

Nesta etapa, se faz o uso da esmerilhadeira para a remoção da tinta ou ferrugens, deixando a área limpa de qualquer sujeira e facilitando a aderência da massa poliéster no local esmerilhado. Após esmerilhado, é passado uma estopa umedecida com solvente para remoção de partículas de sujeira na área.

#### 4.1.3 Lixamento a seco

No local onde foi esmerilhado, é aplicada a massa poliéster com catalisador que pode ser lixada 10 minutos após o contato com o ar atmosférico. Esse tempo pode variar pois depende da umidade do ar e da espessura da massa aplicada que, quanto mais umidade relativa no ar e mais espessa for a camada de massa, maior será o tempo de “cura” da massa poliéster. No entanto, esta massa deve ser lixada a seco, geralmente usando uma lixa de 40 grãos de areia/cm<sup>2</sup>, pois o objetivo desta etapa não é o acabamento. Se o operador da lixadeira perceber que mesmo com a aplicação da massa e lixamento ainda houver alguma ondulação na área trabalhada, deve-se, novamente, aplicar a poliéster e posteriormente lixar para a correção da superfície.

#### 4.1.4 Lixamento à água

Esta é uma etapa muito importante na área do chapeamento porque é neste momento que será feito o acabamento pré-pintura. Após terminada a etapa anterior, com uma pistola de ar, aplica-se uma espécie de fundo cinza com o objetivo de revelar toda e qualquer não conformidade da superfície, como por exemplo: riscos, ranhuras, pequenas depressões, pequenas lacunas. Nessas não conformidades, é sobreposto a denominada massa rápida, corrigindo estas falhas. Então, é lixado, primeiramente com uma lixa de 320 grãos/cm<sup>2</sup> e posteriormente com uma lixa de 400 grãos/cm<sup>2</sup> a fim de eliminar estas imperfeições na superfície, sendo esta a última etapa do lixamento que antecede a pintura. É válido informar que, com lixadeira elétrica é impossível realizar este estágio por questões de segurança devido a condução de energia elétrica através da água. Com um sistema de ar

comprimido esta fase terá um ganho de produtividade muito considerável, visto que o emprego da lixadeira será viável e seguro.

#### 4.1.5 Isolamento

Este período é completamente manual, utilizando-se apenas fita crepe e folhas de jornal, segregando a superfície que se deseja aplicar a tinta das superfícies que não necessitam de pintura.

#### 4.1.6 Pintura

O carro é posicionado dentro da estufa de pintura e com a pistola de ar é feito todo o processo de pintura e acabamento. É de extrema relevância que esta fase seja dentro da estufa, para evitar toda e qualquer sujidade do ar, evitando retrabalhos posteriores.

#### 4.1.7 Polimento e espelhamento

Esta etapa é opcional para o cliente, pois é uma questão muito mais estética do que necessária. Para começá-la é importante que a tinta esteja “curada”, ou seja, seca, para que não haja alteração da mesma enquanto se faz o espelhamento. Antes de espelhamento, esta etapa possui uma fase minuciosa de lixamento à água com lixa de 2000 grãos de areia/cm<sup>2</sup> com finalidade de remover as, popularmente chamadas, “cascas de laranja” da pintura, que são pequenas ondulações/imperfeições no verniz sobre da tinta. Feito isto, está pronto para o espelhamento realizado pela politriz que é equipada com uma boina. Essa boina irá espalhar cera e massa especiais que darão proteção e brilho à pintura. A aplicação da cera e o isolamento das partes que não necessitam polimento (frisos, componentes pretos) é totalmente manual, o que demanda um determinado tempo na operação.

### 4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

De forma técnica e com grande especificidade, o dimensionamento de cada componente e acessório será realizado nesta seção. Os cálculos irão comprovar cada escolha tomada e o porquê de qualquer decisão considerada no projeto. Não

só cálculos, mas o embasamento será todo referente ao estudo realizado na revisão bibliográfica.

#### 4.2.1 Seleção do ferramental.

As ferramentas escolhidas são para atender o processo de reparação de automóveis e todas elas, sem exceção, terão pressão de trabalho de 6 bar, recomendada para uma maior economia. É importante ressaltar sobre a variação dos preços conforme a oscilação do mercado.

##### 4.2.1.1 Chave de catraca

Esta chave terá função específica de aperto e desaperto de parafusos e porcas em para-lamas, para-choques, dobradiça de portas e outros componentes de difícil acesso.

Quadro 1. Especificações da chave de catraca.

	Ferramenta	Chave de catraca
	Rotação livre	150 RPM
	Consumo de ar	11,8 l/s
	Peso líquido	1,5 Kg
	Marca	Schulz
	Preço	R\$ 229,99

**Fonte:** Adaptado de Schulz (2016).

##### 4.2.1.2 Chave de impacto

Terá função principal de aperto e desaperto de parafusos e porcas em cubos de roda, capôs dianteiro e traseiro, placas, estribos, santo antônios, e outros componentes de torque maior e fácil acesso. Ferramenta que proporciona uma alta produtividade e baixo consumo de ar.

Quadro 2. Especificações da chave de impacto.

	Ferramenta	Chave de impacto
	Rotação livre	8000 RPM
	Consumo de ar	1,88 l/s
	Peso líquido	1,8 Kg
	Marca	Kingtony
	Preço	R\$ 499,90

**Fonte:** Adaptado de Loja do mecânico (2018).

#### 4.2.1.3 Lixadeira.

Ferramenta essencial para o processo como um todo, sua função está descrita na seção 4.1.3 e 4.1.4 detalhadamente. Esta ferramenta é muito leve, se comparada com o modelo elétrico (em torno de 1,5 Kg), evitando a fadiga do operador e suas rotações são altas, proporcionando alta produtividade.

Tem-se a noção que o pó do lixamento é nocivo à saúde, e por isso, esta lixadeira pneumática possui uma mangueira de sucção de poeira, para evitar doenças respiratórias do operador.

Quadro 3. Especificações da lixadeira.

	Ferramenta	Lixadeira Roto Orbital
	Rotação livre	10000 RPM
	Consumo de ar	10,4 l/s
	Peso líquido	0,65 Kg
	Marca	Schulz
	Preço	R\$ 269,99

**Fonte:** Adaptado de Schulz (2016).

#### 4.2.1.4 Politriz.

Sua aplicabilidade está descrita na seção 4.1.7. Esta ferramenta possui até 2500 rotações por minutos, pois em rotações maiores que a especificada pode danificar o verniz muito facilmente. Está politriz possui boina de 7 polegadas, proporcionando uma maior área de contato.

Quadro 4. Especificações da politriz.

	Ferramenta	Poletriz
	Rotação livre	2500 RPM
	Consumo de ar	5,66 l/s
	Boina	7 "
	Marca	Chiaperini
	Preço	R\$ 326,91

**Fonte:** Adaptado de Loja do mecânico (2018).

#### 4.2.1.5 Rebitador.

Esta ferramenta no processo possui a finalidade de fixar algum componente incomum como, por exemplo, as polainas no para-lama de fuscas, fixação de para-barro, etc. A variação do diâmetro dos rebites atendem às suas aplicações.

Quadro 5. Especificações do rebitador.

	Ferramenta	Rebitador
	Ponteiras	2,4 a 4,8 mm
	Consumo de ar	0,1 l/s
	Força de tração	907 Kgm
	Marca	Campbell
	Preço	R\$ 175,91

**Fonte:** Adaptado de Loja do mecânico (2018).

#### 4.2.1.6 Pistola de pintura.

Função descrita na seção 4.1.6. Se optou pela tecnologia *HVLP* para se ter um maior qualidade na pintura e com a caneca na parte superior da pistola.

Quadro 6. Especificações da pistola de pintura.

	Ferramenta	Pistola de pintura HVLP
	Capacidade	500 ml
	Consumo de ar	7,5 l/s
	Peso líquido	0,6 Kg
	Marca	Titanium
	Preço	R\$ 409,90

**Fonte:** Adaptado de Loja do mecânico (2018).

#### 4.2.1.7 Esmerilhadeira.

Sua principal função está descrita na seção 4.1.2. Alta vazão e pouco uso.

Quadro 7. Especificações da esmerilhadeira.

	Ferramenta	Esmerilhadeira angular
	Rotação livre	12000 RPM
	Consumo de ar	14,2 l/s
	Peso líquido	1,8 Kg
	Marca	Schulz
	Preço	R\$ 336,83

**Fonte:** Adaptado de Schulz (2016).

#### 4.2.1.8 Parafusadeira reta

Tem como objetivo o aperto e desaperto de parafusos Philips e de fenda. Que geralmente estão na parte interna do veículo, como forros de portas, forros internos e painéis. Também pode ser utilizadas para grades do para-choque, para-barros, isso tudo dependendo do modelo do veículo. Foi escolhido o modelo reto para se ter acesso a locais de difícil alcance e afim de se ter um fácil manuseio da ferramenta.

Quadro 8. Especificações da Parafusadeira.

	Ferramenta	Parafusadeira reta
	Rotação livre	800 RPM
	Consumo de ar	11,8 l/s
	Peso líquido	1,25 Kg
	Marca	Schulz
	Preço	R\$ 629,90

**Fonte:** Adaptado de Schulz (2016).

#### 4.2.1.9 Furadeira

Usada para furar a lataria do veículo. Por exemplo: foi danificado o local onde era o logo do carro e após o reparo, terá que se refurar este local para a fixação deste item. O mesmo pode ocorrer onde é fixado a placa, frisos e outros componentes externos de qualquer automóvel.

Quadro 9. Especificações da furadeira.

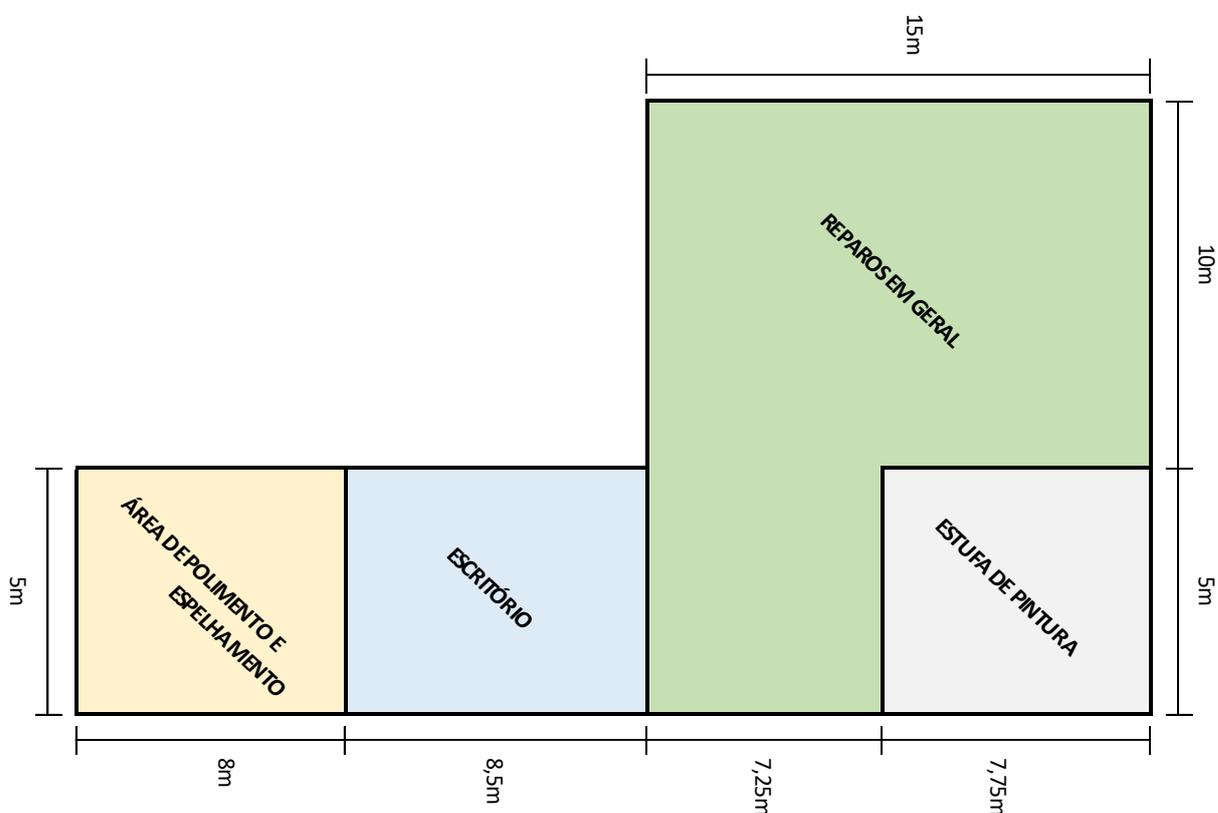
	Ferramenta	Furadeira reversível
	Rotação livre	1800 RPM
	Consumo de ar	11,8 l/s
	Peso líquido	1,4 Kg
	Marca	Schulz
	Preço	R\$ 259,90

**Fonte:** Adaptado de Schulz (2016).

#### 4.2.2 MEDIÇÃO DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA.

Com a intuição do dimensionamento, é crucial a medição acurada de toda a estrutura de implantação do sistema de geração de ar comprimido. E para esta ação, foi utilizado uma trena métrica de 10m de extensão para medir todas as paredes laterais e a altura de cada seção de área de trabalho. Na Figura 21 pode-se analisar a planta com as medidas especificadas e com o Layout já traçado.

Figura 21. Planta da estrutura.



**Fonte:** Autor (2018).

#### 4.2.3 Dimensionamento da tubulação da rede.

Para dimensionar o diâmetro da rede de distribuição, deve-se aplicar a equação 3, e para a resolução desta equação deve-se ter todas as incógnitas já conhecidas. Portanto, neste momento, analisaremos toda variável disposta pela equação para chegar-se em um resultado seguro e com acuracidade.

##### 4.2.3.1 Vazão total do ar.

Como já foi definido cada ferramenta que será utilizada no projeto, já se consegue determinar a vazão total do sistema e esta vazão se dá com a soma de todas as vazões dos equipamentos, considerando que todos estejam em atividade simultaneamente, o que se está evidenciado na tabela 1.

Tabela 1. Soma da vazão com uso simultâneo de todas as ferramentas.

QUANTIDADE	COMPONENTES	VAZÃO (l/s)
1	Lixadeira	10,4
1	Parafusadeira	11,8
1	Furadeira	11,8
1	Politriz	5,66
1	Pistola de pintura	7,5
1	Rebitador	0,1
1	Esmerilhadeira	14,2
1	Chave de impacto	1,88
1	Chave de catraca	11,8
<b>VAZÃO MÁXIMA</b>		<b>75,14</b>

**Fonte:** Autor 2018

Porém, para o cálculo de dimensionamento, não é necessário e nem se deve somar todos os equipamentos trabalhando ao mesmo tempo pois este fato não ocorrerá em nenhum momento do dia-a-dia. Analisando os trabalhos diários, conversando com o proprietário e funcionários, foi definido a média de uso de cada ferramenta, obtendo-se uma nova vazão total. Na tabela 2, é possível examinar a média do uso diário de cada ferramenta. Tendo como exemplo a lixadeira e

considerando que a carga horária de trabalho seja 8 horas diárias, esta, em média, serão usadas 4 horas por dia, totalizando 50% de um dia todo, então é multiplicado a vazão da lixadeira (10,4 l/s) por 50% e após isto se terá a média da vazão para cada equipamento.

Tabela 2. Média de uso diário das ferramentas.

COMPONENTES	MÉDIA DE USO DIÁRIO (h)	VAZÃO (l/s)	PERCENTUAL DE USO (%)	MÉDIA DA VAZÃO (l/s)
Lixadeira	4	10,4	50,0%	5,2
Parafusadeira	1	11,8	12,5%	1,48
Furadeira	0,5	11,8	6,3%	0,74
Politriz	6	5,66	75,0%	4,25
Pistola de pintura	2	7,5	25,0%	1,88
Rebitador	0,2	0,1	2,5%	0,00
Esmerilhadeira	0,5	14,2	6,3%	0,89
Chave de impacto	0,5	1,88	6,3%	0,12
Chave de catraca	0,5	11,8	6,3%	0,74
SOMA TOTAL DA MÉDIA DA VAZÃO				15,28

**Fonte:** Autor 2018.

No entanto, é possível fazer mais um filtro na média de vazão com a seguinte análise: tem-se três pessoas trabalhando na oficina, então, no máximo, três ferramentas serão usadas ao mesmo tempo. Uma dessas ferramentas será a politriz, pois nessa área sempre há um funcionário trabalhando, e as outras duas ferramentas podem ser qualquer uma disposta na oficina. Então, para chegar-se ao valor que será utilizado no cálculo, será considerado a vazão da politriz, onde um funcionário fica dedicado 100% de seu tempo, e será considerado também as vazões da lixadeira e da pistola de pintura, que possuem a maior média de vazão se comparado às outras ferramentas. A Tabela 3 irá demonstrar estes valores, convertendo para a medida de m<sup>3</sup>/h e também informado um acréscimo de 50%, para um futuro crescimento da empresa em um período de 10 anos.

Tabela 3. Média de ferramentas de maior utilização e vazão com acréscimo de 50%.

COMPONENTES	MÉDIA DA VAZÃO (l/s)	MÉDIA DA VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h) + 50%
Lixadeira	5,2	18,72	28,08
Politriz	4,25	15,282	22,923
Pistola de pintura	1,88	6,75	10,125
SOMA DAS VAZÕES	11,32	40,752	61,128

**Fonte:** Autor 2018.

Portanto, a vazão que será utilizada para o dimensionamento da rede e do compressor, será 61,128 m<sup>3</sup>/h. A explicação básica para a definição desta vazão, está relacionada ao uso médio das ferramentas, pois enquanto a ferramenta não é utilizada, o compressor está ligado e preenchendo seu reservatório. No processo, como um todo, existem várias operações que são totalmente manuais e demandam uma grande quantidade de tempo, como isolamento, depósito de massa, tempo de secagem dos produtos. Se algum funcionário estiver realizando estes trabalhos manuais, terão apenas duas ferramentas em utilização.

#### 4.2.4 Dimensionamento do compressor.

A escolha do compressor é simples: deve ter pressão de trabalho equivalente a 6 bar e ter um deslocamento teórico maior que a vazão definida anteriormente. O compressor será instalado na área externa do pavilhão, sendo arejada e tendo fácil acesso e com o intuito de evitar ruídos altos, prejudicando a saúde dos funcionários e evitando algum risco de acidente em caso de explosões. Comparando o preço e seu consume energético, foi definido o seguinte compressor:

Quadro 10. Especificações do compressor.

	Denominação	Compressor
	Potência do motor	7,5 Kw
	Deslocamento teórico	67,7 m <sup>3</sup> /h
	Vol. Reservatório	350 litros
	Marca	Motomil
	Preço	R\$ 5.499,90

**Fonte:** Adaptado de Loja do mecânico (2018).

#### 4.2.5 Concepção da rede.

Optou-se pela rede mista, onde se tem o sistema aberto e fechado de rede. Já se sabe que o sistema fechado tem menos perdas de pressão e por isso se terá esse sistema como linha tronco. As 2 linhas secundárias serão de sistema aberto, pois sua vazão é menor do que  $100\text{m}^3/\text{h}$  e não existe uso simultâneo de ferramentas nestas seções. Com o intuito de economizar no custo das tubulações, serão redes relativamente pequenas, o que propicia usar um diâmetro menor e não é necessário conectar o final da rede em outra tubulação.

#### 4.2.6 Distância da rede de ar.

Outra incógnita da equação principal é a distância total da rede de ar comprimido e esta será calculada neste momento. Primeiro terá que se calcular a distância sem as singularidades/estrangulamentos, pois ainda não é conhecido o diâmetro da rede. Na tabela 4 é demonstrado a distância de cada seção da rede de ar comprimido e a soma total destas distâncias.

Tabela 4. Distância total das linhas de ar comprimido sem a soma de singularidades.

DISTÂNCIA DAS LINHAS DE AR COMPRIMIDO	
4 paredes do pavilhão	60 m
Compressor até a linha tronco	2,75 m
Linha tronco até a estufa	0,775 m
Linha secundária da estufa	12,75 m
Linha tronco até o escritório	1,05 m
Linhas de alimentação	18,325 m
Linha secundária da área de polimento	21,5 m
<b>DISTÂNCIA TOTAL DA REDE DE AR</b>	<b>117,15 m</b>

**Fonte:** Autor (2018)

Demonstrativo de cada medida realizada na estrutura:

- Cada parede do pavilhão principal tem equivalência de 15 metros, portanto,  $4 \times 15 = 60$  metros;

- Altura do compressor é de 1,25 metros e a altura da linha principal é de 4 metros, portanto,  $4 - 1,25 = 2,75$  metros;
- Esta é a linha que conectará a rede principal à rede secundária da estufa. A altura da linha principal é de 4 metros e deve-se levar em consideração a inclinação da linha, que foi definido em 1,5, multiplicado pela distância, que neste caso será de 15 metros e a altura inicial da linha secundária da estufa é de 3 metros. Portanto, tem-se,  $4 - (15 \times 1,5\%) - 3 = 0,775$  metros;
- Será a parede lateral de 7,75 metros e a frontal de 5 metros. Tem-se  $7,75 + 5 = 12,75$  metros;
- Esta distância é o resultado da altura da rede principal descontando-se a altura inicial da linha secundária da área de polimento, levando em consideração a inclinação da rede que é de 1,5% em 30 metros de distância. Portanto,  $4 - (30 \times 1,5\%) - 2,5 = 1,05$  metros;
- A soma de todas as linhas de alimentação que somam um total de 18,33 metros. Levou-se em consideração a inclinação das redes para cada ponto e descontou-se 1 metro de cada distância, que é a altura que cada ponto de alimentação ficará do chão;
- Soma da parede lateral e frontal da área do escritório e polimento. Portanto, são  $16,5 + 5 = 21,5$  metros.

#### 4.2.7 A inclinação das redes de ar.

Como já é de conhecimento, a inclinação da rede deve ser de 0,5% a 2% no sentido do fluxo do ar. Desta forma, as seções da rede serão inclinadas cerca de 1,5% proporcional à distância das linhas. A tabela 5 demonstra a altura inicial e final de cada seção, podendo-se analisar o grau de inclinação de cada rede.

- Inclinação da rede principal: a altura da rede começa com 4 metros e como cada parede tem 15 metros e a rede é fechada, considerou-se apenas 30 metros de extensão, portanto temos  $30 \times 1,5\% = 0,45$  metros de inclinação;
- Na linha da estufa somou-se as duas paredes que totalizaram um comprimento de 12,75 metros, que multiplicado por 1,5% chegou-se ao valor de 0,19 metros de inclinação;

- Na linha de polimento, foi somado a parede lateral e frontal. Então:  
 $(16,5 + 5) \times 1,5\% = 0,3225$  metros de inclinação da rede.

Tabela 5. Alturas finais e iniciais de cada seção.

ALTURA	
Início da linha tronco	4 m
Final da linha tronco	3,55 m
Início da linha secundária da estufa	3 m
Final da linha secundária da estufa	2,81 m
Início da linha secundária da área de polimento	2,5 m
Final da linha secundária da área de polimento	2,1775 m

**Fonte:** Autor 2018.

#### 4.2.8 Cálculo do diâmetro nominal de cada seção.

O diâmetro nominal de cada seção não levará em conta as perdas de carga do sistema, pois ainda não foi definido o diâmetro da tubulação. Então, será admitido uma perda de carga de fictícia de 0,3 bar (30 Kpa), que é o máximo de perda de pressão em redes menores de 500 metros de extensão. Sendo assim, vamos calcular o diâmetro nominal interno das tubulações aplicando a equação 3. Este resultado de diâmetro será usado para definir as perdas de carga conforme às tabelas do anexo A.

##### 4.2.8.1 Diâmetro nominal da rede principal.

A Equação 3 será utilizada em todas as seguintes definições de diâmetro. Para definição do diâmetro, temos:

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

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{\frac{0,001663785 \cdot 61,128^{1,85} \cdot 117,15}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 29,36 \text{ mm} = 1,16''$$

Transformado milímetros (mm) em polegadas (") pois é a unidade de medida usada comercialmente pra tubos de ar comprimido.

#### 4.2.8.2 Diâmetro nominal da rede na estufa.

Para definição deste diâmetro, temos:

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{\frac{0,001663785 \cdot 10,125^{1,85} \cdot 16,525}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 10,2 \text{ mm} = 0,4''$$

A média da vazão (Q) considerada foi apenas da pistola de pintura, pois é a única ferramenta que será utilizada na estufa. O Comprimento (Lt) é a soma do comprimento das tubulação com as linhas de alimentação da seção da estufa.

#### 4.2.8.3 Diâmetro nominal da rede de polimento.

Para definir-se o diâmetro da rede de polimento, temos:

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{\frac{0,001663785 \cdot 22,923^{1,85} \cdot 24,05}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 14,88 \text{ mm} = 0,59''$$

Foi adotado para esta seção apenas a vazão (Q) da Politriz, pois somente esta ferramenta será utilizada neste ponto. A soma das linhas de alimentação e comprimento da rede é equivalente a Lt.

#### 4.2.9 CÁLCULO DO DIÂMETRO REAL DE CADA SEÇÃO.

Para calcular-se esta etapa, precisa-se definir a perda de carga de cada seção. A primeira etapa já está concluída, onde foi calculado o valor de todos diâmetros nominais, e a partir destes diâmetros será escolhido um valor de diâmetro superior ao que foi encontrado e que seja comercializado no mercado. Para descobrir-se a perda de carga, deve-se contabilizar quantas singularidades cada seção possui, conforme seu diâmetro nominal, e multiplicar pelo valor que é

apresentado pelas tabelas dispostas no anexo A. Lembrando que este valor encontrado será em metros e deve ser somado com o comprimento já definido anteriormente, aplicando-se a Equação 4.

#### 4.2.9.1 Diâmetro real da rede principal.

O diâmetro nominal ficou em 1,16" para esta seção, portanto, o diâmetro superior a este mais próximo é de 1,25" (1.1/4"). Sendo assim, serão considerados os valores de 1,25" para adição do comprimento na equação principal. Os valores do comprimento equivalente são retirados do anexo A dependendo do diâmetro nominal descoberto anteriormente, conforme mostra o Quadro 11.

Quadro 11. Quantidade de singularidades da rede principal.

SINGULARIDADES DA REDE PRINCIPAL PARA TUBULAÇÃO DE 1.1/4"				
DENOMINAÇÃO	QTDE. NA REDE	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (m)	RESULTADO	
Tê fluxo pelo ramal rosqueado	1	2,7	2,7	m
Tê fluxo em linha rosqueado	9	1,4	12,6	m
Curva 90º raio longo rosqueada	5	0,98	4,9	m
Curva 180º raio longo rosqueada	4	2	8	m
Redução rosqueada de 1.1/4" para 3/4" e 1/2"	2	0,5	1	m
<b>COMPRIMENTO DA REDE EQUIVALENTE À PERDA DE CARGA POR SINGULARIDADE</b>			<b>29,2</b>	<b>m</b>

**Fonte:** Autor (2018)

Descrição e localização dos pontos de estrangulamento:

- 01 tê de fluxo pelo ramal que leva o fluxo do compressor à linha principal;
- 04 tês de fluxo em linha que conectam as curvas de 180º com a linha principal;
- 04 tês de fluxo em linha que conectam o lubrificador com o purgador das linhas de alimentação;
- 01 tê de fluxo em linha que conecta o purgador do final de linha com a linha secundária da área de polimento;
- 04 curvas de 90º de raio longo nas extremidades das paredes do pavilhão principal e 01 na saída do compressor;
- 04 curvas de 180º em cada linha de alimentação;
- 02 reduções para as linhas secundárias, tanto da estufa, quanto para polimento.

Definido isto, pode-se aplicar a equação 4:

$$Lt = L1 + L2$$

$$Lt = 117,15 + 29,2$$

$$Lt = 146,35 \text{ m}$$

Definido o valor acima, aplica-se a equação 3 novamente:

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{\frac{0,001663785 \cdot 61,128^{1,85} \cdot 146,35}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 30,70 \text{ mm} = 1,21''$$

Quadro 12. Especificações da tubulação da rede principal.

	Dimensão	1.1/4"
	Comprimento da Barra	6 m
	Aço	Galvanizado
	Preço	R\$ 137,83
	Marca	Apolo
	Preço total da rede	R\$ 1.653,96

**Fonte:** Adaptado de Copafér (2018).

Então, é definido o diâmetro da linha tronco, que será de 1.1/4", valor este que é o mais próximo do encontrado e é uma medida comercial. Considerando que o preço total é o preço da tubulação multiplicado pelo comprimento total de cada seção, como é identificado no Quadro 12.

#### 4.2.9.2 Diâmetro real da rede da estufa.

O diâmetro nominal para este rede ficou em 0,4", ou seja, as singularidades serão dimensionados para tubulação de 1/2" de diâmetro pois é a mais próxima do resultado encontrado. Para esta seção temos os valores apresentados no Quadro 13:

Quadro 13. Quantidade de singularidades da rede da estufa.

SINGULARIDADES REDE ESTUFA PARA TUBULAÇÃO DE 1/2"			
DENOMINAÇÃO	QTDE. NA REDE	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (m)	RESULTADO
tê fluxo em linha rosqueado	4	0,52	2,08 m
curva 90º raio longo rosqueada	3	0,67	2,01 m
válvula gaveta rosqueada	1	0,17	0,17 m
curva 180º raio longo rosqueada	2	1,1	2,2 m
<b>COMPRIMENTO DA REDE EQUIVALENTE À PERDA DE CARGA POR SINGULARIDADE</b>			<b>6,46 m</b>

**Fonte:** Autor (2018).

Descrição e localização dos pontos de estrangulamento:

- 02 tê de fluxo em linha que conectam as curvas de 180º com a linha secundária e 02 que conectam os filtros coalescentes com os purgadores;
- 03 curvas de 90º de raio longo na linha secundária em suas extremidades;
- 01 válvula gaveta no início da linha secundária;
- 02 curvas de 180º em cada linha de alimentação da seção.

Neste momento, é aplicado a equação 4:

$$L_t = 16,525 + 6,46$$

$$L_t = 22,985 \text{ m}$$

Após descoberto o valor total do real comprimento, aplica-se a equação 3:

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{\frac{0,001663785 \cdot 10,125^{1,85} \cdot 22,985}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 10,9 \text{ mm} = 0,43''$$

Quadro 14. Especificações da tubulação da rede de pintura.

	Dimensão	1/2"
	Comprimento da Barra	6 m
	Aço	Galvanizado
	Preço	R\$ 62,73
	Marca	Apolo
	Preço total da rede	R\$ 172,77

**Fonte:** Adaptado de Copafer (2018).

O diâmetro real para rede de estufa é de 0,43", porém como essa dimensão não existe comercialmente para a venda, a medida adotada será de 0,5" (1/2") para esta seção, conforme mostra o Quadro 14.

#### 4.2.9.3 Diâmetro real da rede da área de polimento.

O diâmetro nominal para esta seção foi 0,59". Portanto, os valores de comprimento equivalente serão relativo ao diâmetro de 0,75" (3/4"), que é o mais próximo vendido comercialmente e para isto é definido as singularidades como mostra o Quadro 15.

Quadro 15. Quantidade de singularidades da rede de polimento.

SINGULARIDADES REDE POLIMENTO PARA TUBULAÇÃO DE 3/4"				
DENOMINAÇÃO	QTDE. NA REDE	COMPRIMENTO EQUIVALENTE (m)	RESULTADO	
tê fluxo em linha rosqueado	4	0,73	2,92	m
curva 90º raio longo rosqueada	2	0,7	1,4	m
válvula gaveta rosqueada	1	0,2	0,2	m
curva 180º raio longo rosqueada	2	1,3	2,6	m
<b>COMPRIMENTO DA REDE EQUIVALENTE À PERDA DE CARGA POR SINGULARIDADE</b>			<b>7,12</b>	<b>m</b>

**Fonte:** Autor (2018).

Descrição e localização dos pontos de estrangulamento:

- 02 tês de fluxo em linha que conectam as curvas de 180º com a linha secundária e 02 que conectam o lubrifil com os purgadores;
- 02 curvas de 90º de raio longo na linha secundária em suas extremidades;
- 01 válvula gaveta no início da linha secundária;

- 02 curvas de 180° em cada linha de alimentação da seção.

Aplicando-se a equação 4, temos:

$$L_t = 24,05 + 7,12$$

$$L_t = 31,17 \text{ m}$$

Descoberto o valor acima, aplica-se a equação 3 novamente:

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{\frac{0,001663785 \cdot 22,923^{1,85} \cdot 31,17}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 15,68 \text{ mm} = 0,62''$$

Quadro 16. Especificações da tubulação da rede de polimento.

	Dimensão	3/4"
	Comprimento da Barra	6 m
	Aço	Galvanizado
	Preço	R\$ 80,86
	Marca	Apolo
	Preço total da rede	R\$ 324,11

**Fonte:** Adaptado de Copaferr (2018).

A medida superior comercializada mais próxima de 0,62" é a de 0,75" (3/4"). Portanto, será utilizado um diâmetro interno de 3/4" para a rede de polimento, como mostra o Quadro 16.

#### 4.2.10 Definição do lubrificador.

Para as ferramentas com motor rotativo é necessário o uso de um lubrificador para evitar desgaste de seus componentes. Devido a isto, 6 pontos de alimentação terão o sistema lubrificador, com o objetivo de filtrar as impurezas e lubrificar as ferramentas e o Lubrificador utilizado será o especificado do Quadro 17.

Quadro 17. Especificações do Lubrifil.

	Ferramenta	Filtro regulador e Lubrificador
	Capacidade de vazão	42 m <sup>3</sup> /h
	Pressão de trabalho	1,5 a 12 bar
	Tipo de filtro	Polipropileno de 0,02 mm
	Marca	Steula
	Preço	R\$ 159,99

**Fonte:** Adaptado de loja do mecânico (2018).

Destes 6 reguladores, 4 estarão presentes no pavilhão principal e 2 estarão na rede de polimento. Analisado a vazão, pressão de trabalho, tela do filtro e preço mais acessível, foi escolhido o Lubrifil especificado no quadro 17.

Para o processo de pintura, obviamente não deve-se ter nenhuma infiltração de água, óleo ou qualquer outro tipo de impureza. Sabe-se também que a pistola de pintura não é uma ferramenta de motor rotativo. Por isto, para os 2 pontos de alimentação na área de pintura, será utilizado 2 filtros coalescentes com capacidade de filtragem elevada. Analisando os filtros coalescentes, foi escolhido o seguinte (Quadro 18), com retenção de partículas de 0,5 mg/m<sup>3</sup>:

Quadro 18. Especificações do filtro coalescente.

	Ferramenta	Filtro Coalescente
	Capacidade de vazão	28,8 m <sup>3</sup> /h
	Pressão de trabalho	até 12,3 bar
	Material do filtro	Microfibra de borossilicato
	Marca	Metaplan
	Preço	R\$ 429,99

**Fonte:** Adaptado de Schulz (2016).

#### 4.2.11 DEFINIÇÃO DO PURGADOR.

Já se tem conhecimento que o ar pode condensar e transportar umidade pela rede, por este motivo é essencial a instalação no fim das linhas de alimentação e no final das linhas tronco e secundárias, os purgadores. Foi definido o apresentado no Quadro 19 para o sistema.

Quadro 19. Especificações do purgador.

	Ferramenta	Purgador
	Automático ou manual	Manual
	Pressão de trabalho	até 12 bar
	Marca	Steula
	Preço	R\$ 239,99

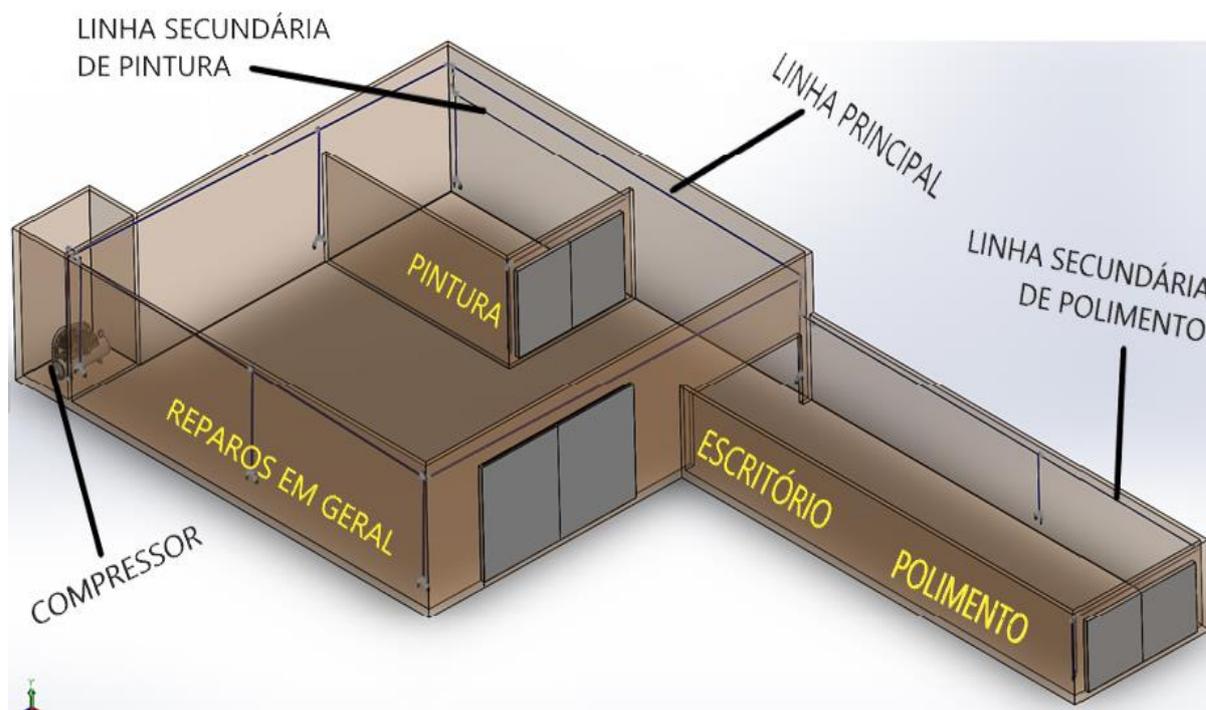
**Fonte:** Adaptado de Loja do mecânico (2018).

Com o intuito de drenar o condensado e prolongar a vida útil das ferramentas, será instalado 11 purgadores em toda a rede, 8 serão no ponto mais baixo das linhas de alimentação e 3 serão para o final de cada seção. Para isto, foi optado pelo purgador especificado no quadro 19:

#### 4.2.12 VERIFICAÇÃO DO AMBIENTE EM VISTA 3D.

Com o intuito de melhor visualização do projeto e especificação das características definidas, optou-se por desenhar toda a estrutura e rede de ar que compuseram a pesquisa exploratória.

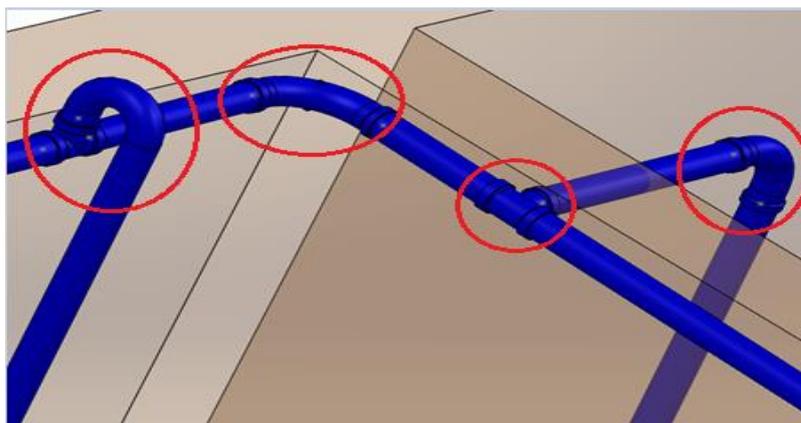
Figura 22. Vista geral da estrutura.



**Fonte:** Autor (2018).

Para se evitar uma maior perda de carga, como foi analisado anteriormente, foi optado por curvas de 90° raio longo. Também, todas as tomadas para linhas de alimentação e secundárias possuem uma curva de 180° posicionada na parte superior da linha principal, para evitar ao máximo que o condensado e impurezas presentes na rede cheguem até as ferramentas.

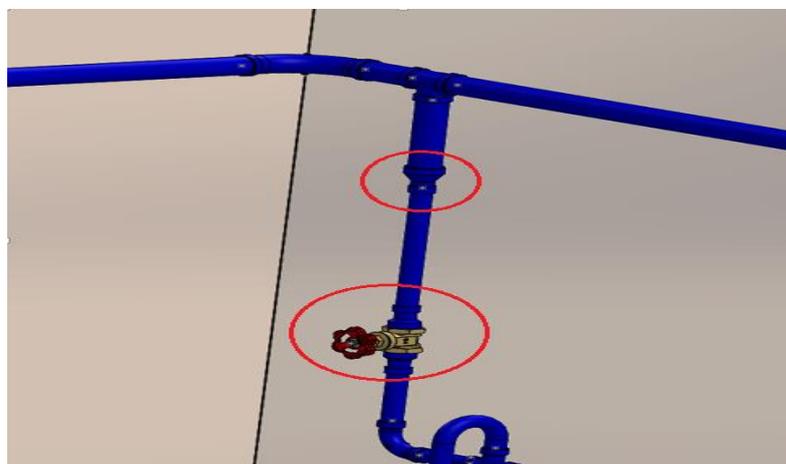
Figura 23. Algumas conexões da linha principal.



**Fonte:** Autor (2018).

Para cada linha secundária, foi inserida uma válvula para fechamento da rede e possíveis manutenções isoladas sem o desligamento geral do sistema. Também foram colocadas reduções de diâmetro de 1.1.4" para 3/4" (polimento) e 1/2" (estufa de pintura) com a finalidade de evitar custos desnecessários e não superdimensionar o sistema.

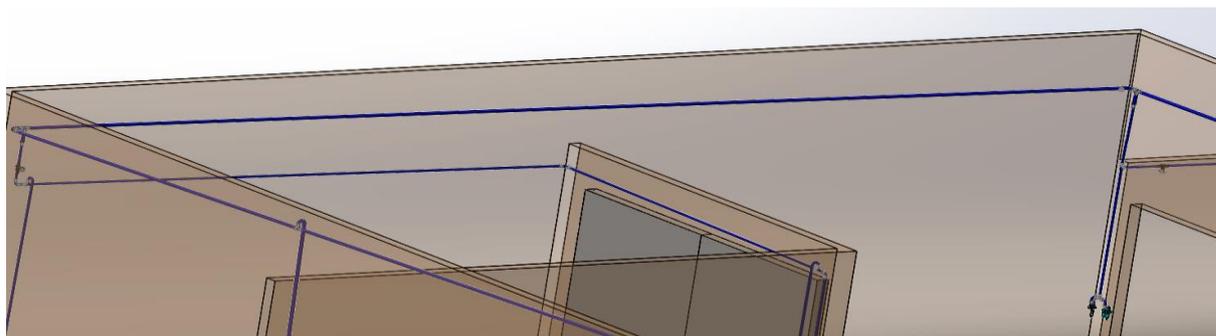
Figura 24. Redução e válvula de controle inseridos no sistema.



**Fonte:** Autor (2018).

É de extrema valia ressaltar a inclinação da rede de 1,5% em relação ao comprimento de cada rede, com o objetivo do escoamento do condensado na tubulação e maior índice de drenagem devido a este conceito. Na figura a seguir, pode-se verificar visualmente esta inclinação tendo como ponto de referência a parte superior da parede da estrutura.

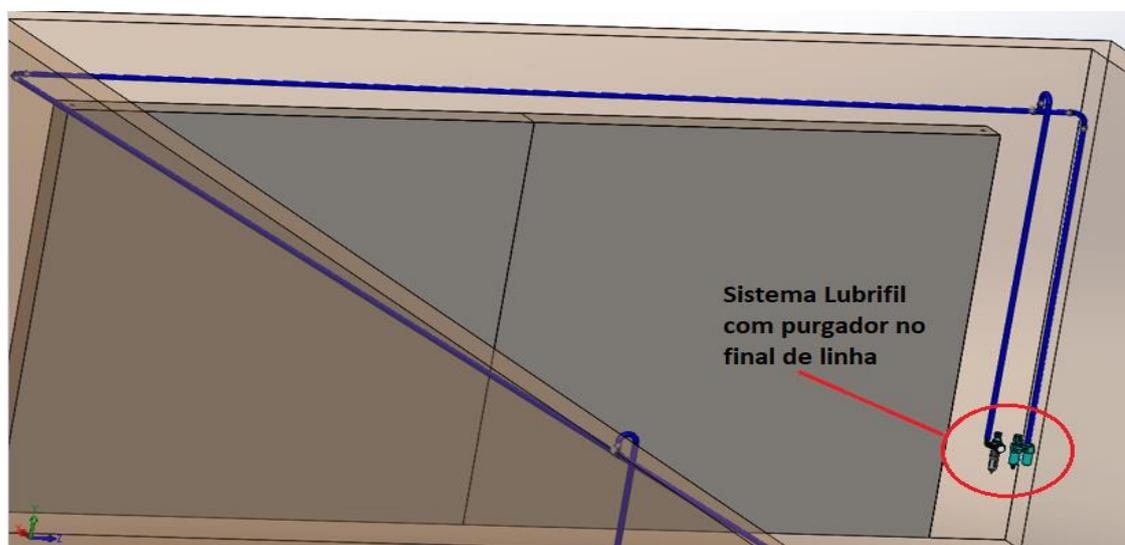
Figura 25. Visualização da inclinação da rede.



**Fonte:** Autor (2018)

Em cada final de linha e linha de alimentação terá um purgador afim de drenar o condensado. Também toda a linha de alimentação, exceto as duas de pintura (A estufa possui filtros Coalescentes, com ausência de óleos e qualquer impureza), terá o sistema Lubrifil (filtro, regulador de pressão, lubrificador) para prolongar a vida útil das ferramentas rotativas.

Figura 26. Final de linha com purgador e sistema Lubrifil.



**Fonte:** Autor (2018)

## 5. CONCLUSÃO

Através de estudo e análises foi dimensionado um sistema de geração de ar comprimido para uma oficina de chapeamento com o intuito de implantação futura deste novo sistema pelo proprietário do estabelecimento.

Visto que a segurança e a produtividade eram o foco principal deste sistema, foi evidenciado que a segurança seria muito maior devido a este sistema não usar energia elétrica em suas ferramentas, evitando acidentes em contato com a água. A produtividade seria maior, pois o lixamento à água poderá ser com a lixadeira pneumática, sendo que antes era completamente manual.

Além destes benefícios, o projeto trará um custo benefício muito excelente, tendo um gasto alto para implantação, porém, com um sistema bem filtrado e lubrificado, a ocorrência de manutenções será muito baixa. Outro ganho será em relação à saúde do operador, pois a lixadeira pneumática possui uma tubulação de sucção do pó, evitando doenças respiratórias.

Este trabalho foi de extrema valia para o aprendizado e conhecimento do autor sobre o tema e fez com que entendesse o funcionamento de um projeto de engenharia, tendo-se que analisar cada variável presente no meio e verificação de cada escolha realizada.

Como sugestão futura de trabalho, após a implantação, seria a verificação de economia, comparando o sistema de ar comprimido com o elétrico, pois neste momento não é viável devido não se ter provas concretas para esta comparação.

Sendo assim, o presente trabalho alcançou as expectativas e se fez viável e seguro para a implantação no recinto. Completamente dimensionado e orçado com todos os equipamentos de uso diário.

## APÊNDICE A – ORÇAMENTO TOTAL DO PROJETO

ORÇAMENTO DO PROJETO			
Equipamento	Quantidade	Valor (un.)	Preço
Lixadeira	1	R\$ 269,99	R\$ 269,99
Parafusadeira	1	R\$ 629,90	R\$ 629,90
Furadeira	1	R\$ 259,90	R\$ 259,90
Politriz	1	R\$ 326,91	R\$ 326,91
Pistola de pintura	1	R\$ 409,90	R\$ 409,90
Rebitador	1	R\$ 175,91	R\$ 175,91
Esmerilhadeira	1	R\$ 336,83	R\$ 336,83
Chave de impacto	1	R\$ 499,90	R\$ 499,90
Chave de catraca	1	R\$ 229,99	R\$ 229,99
Compressor	1	R\$ 5.499,90	R\$ 5.499,90
Purgador	11	R\$ 239,99	R\$ 2.639,89
Lubrificador	6	R\$ 159,99	R\$ 959,94
Filtro coalescente	2	R\$ 429,99	R\$ 859,98
Tubulação 0,5"	16,525 m	R\$ 10,46	R\$ 172,85
Tubulação 0,75"	24,05 m	R\$ 13,48	R\$ 324,19
Tubulação 1,25"	76,575 m	R\$ 22,97	R\$ 1.758,93
<b>CUSTO TOTAL DOS EQUIPAMENTOS</b>			<b>R\$ 15.354,91</b>

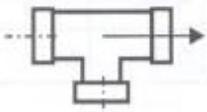
## ANEXO A: COMPRIMENTO DE TUBO EQUIVALENTE À PERDA DE CARGA POR SINGULARIDADE

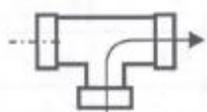
Conexões		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
 90° Cotovelo comum	ROSQ.	1,1	1,34	1,58	2	2,25	2,6	2,8
	FLAN.	0,30	0,37	0,50	0,62	0,73	0,95	1,1
		Diâmetro Nominal (in)						
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	3,4	3,7	4,0	-	-	-	-
	FLAN.	1,3	1,55	1,8	2,2	2,7	3,7	4,3

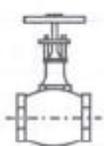
Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
 Curva 90° raio longo	ROSQ.	0,67	0,70	0,83	0,98	1,0	1,1	1,1
	FLAN.	0,33	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88
		Diâmetro Nominal (in)						
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	1,2	1,3	1,4	-	-	-	-
	FLAN.	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4

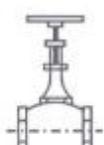
Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
 Curva 45°	ROSQ.	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97
	FLAN.	0,14	0,18	0,25	0,34	0,40	0,52	0,61
		Diâmetro Nominal (in)						
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	1,2	1,45	1,7	-	-	-	-
	FLAN.	0,8	0,95	1,1	1,4	1,7	2,3	2,7

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
 Curva 180° raio longo	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	
 <p>Tê fluxo em linha</p>	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	
 <p>Tê fluxo pelo ramal</p>	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) <sup>1</sup>							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 <p>Válvula gaveta</p>	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	
 <p>Válvula globo</p>	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	

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
 Válvula angular	ROSQ.	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	5,55	5,55
	FLAN.	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	6,4	6,7
		Diâmetro Nominal (in)						
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	5,55	5,55	5,55	-	-	-	-
	FLAN.	8,5	10,05	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
Válvula Retenção Portinhola	ROSQ.	2,4	2,7	3,4	4,0	4,6	5,8	6,7
	FLAN.	1,2	1,6	2,2	3,0	3,7	5,2	6,4
		Diâmetro Nominal (in)						
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	8,2	9,7	11,6	-	-	-	-
	FLAN.	8,3	9,6	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
União FiltroY	ROSQ.	0,07	0,07	0,08	0,11	0,12	0,14	0,14
	FLAN.	1,5	2,0	2,3	5,5	8,1	8,3	8,8
		Diâmetro Nominal (in)						
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	0,16	0,175	0,19	-	-	-	-
	FLAN.	10,4	11,6	12,8	16,2	18,6	-	-

Fonte: Fialho, 2012, p. 292.

## REFERÊNCIAS

- ATLAS. **Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Lisboa, Portugal: ADENE, 2016.
- BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas, 2008. Apostila
- CSE (CONSULTORIA E SERVIÇOS DE ENGENHARIA). **Conservação de energia: Ar comprimido**. Poços de caldas, Minas Gerais. Apostila.
- FARGON. **Manual de tratamento de ar comprimido**. Santo Amaro, 2006. Manual
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 2. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2004.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 7. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2012.
- FONTENELLE, André. **Metodologia científica: Como definir os tipos de pesquisa do seu TCC**. Disponível em: [http://www.andrefontenelle.com.br/tipos-de-pesquisa/#Abordagem\\_Qualitativa](http://www.andrefontenelle.com.br/tipos-de-pesquisa/#Abordagem_Qualitativa). Acesso em: 23 abr. 2018.
- GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- G1. **Frota brasileira de veículos cresce 1,2% em 2017, diz Sindipeças**. Disponível em: <s>. Acesso em: 03 ago. 2018.
- HPS GROUP. **Como funciona o sistema hidráulico**. Disponível em: <<https://hpshydraulic.wordpress.com/2013/12/18/como-funciona-o-sistema-hidraulico/>>. Acesso em: 06 ago. 2018
- LOJA DO MECÂNICO. **Ferramentas pneumáticas**. Disponível em: <https://www.lojadomecanico.com.br/index.asp>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- LZTEC SERVIÇOS. **Sistemas pneumáticos ou de ar comprimido**. Disponível em: <<https://lztec.webnode.com/products/sistemas-pneumaticos-ou-de-ar-comprimido/>> Acesso em: 18 ago. 2018.
- METAPLAN. **Manual de Ar Comprimido**. 6. ed. 2017. Manual.
- PARKER. **Tecnologia pneumática industrial**. Jacareí, 2000. Apostila M1001 BR.
- PARKER. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Jacareí, 2006. Apostila M1004 BR.
- PRUDENTE, Francesco. **Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações**. [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- ROLLINS, John P. **Manual de ar comprimido e gases / Compressed Air and Gas Institute**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

SCHAEFFLER. **Compressor de parafuso.** Disponível em: <[https://www.schaeffler.com.br/content.schaeffler.com.br/pt/branches/industry/pneumatics\\_1/applpneumatics/compressors/screwtypecompressors\\_1/screw\\_type\\_compressors.jsp](https://www.schaeffler.com.br/content.schaeffler.com.br/pt/branches/industry/pneumatics_1/applpneumatics/compressors/screwtypecompressors_1/screw_type_compressors.jsp)> Acesso em: 11 ago. 2018.

SILVA, Deodoro Ribeiro. **Transporte pneumático: tecnologia, projetos e aplicações na indústria e nos serviços.** São Paulo: Artliber Editora, 2005.

SILVA, Emílio C. N. **PMR2481 - SISTEMAS FLUIDOMECÂNICOS: Apostila de Pneumática.** Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2011.

SCHULZ. **Ferramentas pneumáticas.** São Paulo, 2016. Catálogo

TOOLBRAS. **Ferramentas pneumáticas x Ferramentas elétricas.** Disponível em: <https://www.lojatoolbras.com.br/blog/ferramentas-pneumaticas-x-ferramentas-eletricas>. Acesso em: 11 nov. 2018.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **PROJETOS: planejamento, elaboração e análise.** São Paulo: Editora Atlas S.A, 2008.

WORDPRESS. **Um pouco sobre as ferramentas pneumáticas.** Disponível em: <https://criadoequipamentos.wordpress.com/2011/11/04/um-pouco-sobre-as-ferramentas-pneumaticas>. Acesso em: 11 nov. 2018.