

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LEANDRO LUIS FOLADOR

**AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PNEUMÁTICO EM
UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

CASCADEL - PR
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LEANDRO LUIS FOLADOR

**AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PNEUMÁTICO EM
UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

Trabalho apresentado à disciplina de TCC
– projeto final como requisito parcial de
aprovação semestral no curso de
engenharia mecânica da Fundação Assis
Gurgacz.

Prof. Orientador: Sérgio Henrique Mota

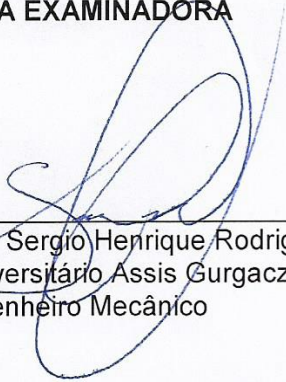
CASCADEL - PR
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LEANDRO LUIS FOLADOR

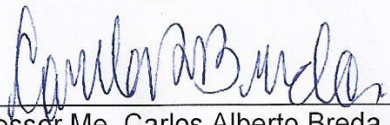
**AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PNEUMÁTICO EM
UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Sergio Henrique Rodrigues Mota.

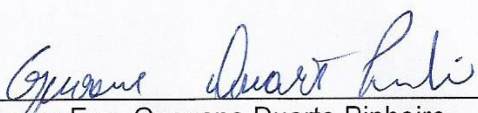
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me. Sergio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Me. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Esp. Geovane Duarte Pinheiro
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro de Controle e Automação

Cascavel, 26 de Novembro de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por nortear minha vida.

E a toda a minha família que me apoiou e incentivou durante a execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter iluminado minha vida, para que eu pudesse concluir mais um passo da minha carreira pessoal e profissional.

Aos meus pais, Onelio e Ivete, por todo o suporte e apoio nos momentos de minha formação acadêmica e pela confiança depositada em mim.

A minha irmã Cristiane, e irmão Diego, pelos conselhos durante a minha formação e apoio durante essa caminhada.

A minha esposa Dara, por entender minha ausência diária durante este longo período de formação.

Ao meu orientador, professor Sérgio Mota, por me conduzir na elaboração deste trabalho e pela dedicação concedida em todos os momentos solicitados.

A todos os professores que me ensinaram e orientaram durante todo o curso, o meu muito obrigado.

E por fim, a Faculdade Assis Gurgacz – FAG, que me oportunizou concluir este curso de graduação, realizando um grande sonho.

*“Para ter um negócio de sucesso, alguém,
algum dia, teve que tomar uma atitude de
coragem”*

(Peter Drucker)

RESUMO

O ar comprimido é uma das mais importantes fontes de energia utilizadas nos últimos anos, por se tratar do resultado da compressão do ar atmosférico. No presente trabalho desenvolveu-se a avaliação do dimensionamento de um sistema de ar comprimido de uma empresa de pequeno porte, com o objetivo de apresentar propostas de melhorias no seu funcionamento. O objetivo geral é a análise do dimensionamento do sistema de produção, armazenamento e distribuição deste ar comprimido; verificando assim se o sistema está sobrecarregado ou superdimensionado para a demanda de ar que a empresa utiliza. Para a realização deste trabalho, foram necessárias a utilização da literatura e a coleta de dados no ambiente da empresa, como a identificação dos equipamentos que fazem parte do sistema de ar comprimido e os equipamentos que fazem a utilização do mesmo. Ao final foi apresentado os resultados das análises e as possíveis mudanças para melhorar a eficiência do sistema. Concluiu-se que o sistema instalado pode sofrer grandes mudanças, a fim de proporcionar um bom desempenho e melhorar a vida útil dos equipamentos.

Palavras-chave: Ar comprimido. Dimensionamento. Eficiência.

ABSTRACT

Compressed air is one of the most important sources of energy used in recent years, as it is the result of atmospheric air compression. In the present work, the evaluation of the dimensioning of a compressed air system of a small company was developed, in order to present proposals for improvements in its operation. The general objective is to analyze the design of the production, storage and distribution system of this compressed air; thus checking if the system is overloaded or oversized to the air demand that the company uses. For this work, it was necessary to use the literature and data collection in the company environment, such as the identification of the equipment that is part of the compressed air system and the equipment that make use of it. At the end was presented the results of the analysis and possible changes to improve the system efficiency. It was concluded that the installed system can undergo major changes in order to provide good performance and improve equipment life.

Keywords: Compressed air. Sizing. Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de compressores	20
Figura 2: compressor de palhetas	21
Figura 3: compressor alternativo simples efeito	22
Figura 4: compressor alternativo de duplo efeito.....	23
Figura 5: Componentes do reservatório	24
Figura 6: Tipos de redes de distribuição	26
Figura 7: Inclinação da rede	26
Figura 8: Secção de um filtro de ar comprimido	28
Figura 9: Manômetro do tipo bourdon	28
Figura 10: Equipamento de medição multifuncional.....	33
Figura 11: Layout instalado na empresa	39
Figura 12: Layout de circuito fechado	40
Figura 13: Curva 90° raio curto	41
Figura 14: Curva 90° raio longo.....	41
Figura 15: Curva para saída secundária	42
Figura 16: Placa de indentificação do motor	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de vasos de pressão.....	26
Tabela 2: Equipamentos consumidores.....	35
Tabela 3: Comprimento total da rede	36
Tabela 4: Marcas e modelos dos equipamentos principais	37
Tabela 5: Configurações da rede de distribuição.....	38

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1: Equação do diâmetro da tubulação.....	31
---	----

SUMÁRIO

1 CAPÍTULO 1	15
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2 ASSUNTO/TEMA	16
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	18
1.7 HIPÓTESES	18
2 CAPÍTULO 2	19
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1.1 Histórico	19
2.1.2 Princípios físicos do ar	19
2.1.3 Compressores de ar comprimido	20
2.1.4 Compressores de deslocamento dinâmico	21
2.1.5 Compressores de deslocamento positivo	21
2.1.5.1 Compressores rotativos	22
2.1.5.2 Compressor alternativo de pistão	22
2.1.6 Reservatórios de ar comprimido	24
2.1.7 Redes de distribuição	26
2.1.8 Filtros de ar comprimido	28
2.1.9 Manômetro	29
2.1.10 Purgadores	30
2.1.11 Características na escolha de um compressor	30
2.1.12 Critérios para selecionar um reservatório	31
2.1.13 Dimensionamento da tubulação	31
2.1.14 Cálculo da perda de carga na rede de distribuição	32
3 CAPÍTULO 3	33
3.1. METODOLOGIA	33
3.1.1 Tipo de estudo	33
3.1.2 Variáveis apresentadas no projeto	33

3.1.3 Forma de obtenção dos dados.....	33
4 CAPÍTULO 4	38
4.1 APRESENTAÇÃO E ANALISE DOS RESULTADOS.....	38
4.1.1 Calculo da perda de carga na rede de distribuição.....	38
4.1.2 Avaliação do dimensionamento do reservatório	39
4.1.3 Análise da pressão de regime e pressão de trabalho dos equipamentos....	39
4.1.4 Avaliação do layout da rede	39
4.1.5 Outros problemas apresentados nos sistemas e suas possíveis soluções .	43
4.1.6 Leitura e resultados obtidos do equipamento instalado na rede elétrica	44
5 CAPÍTULO 5	45
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	46
REFERÊNCIAS.....	47
ANEXO A – DIÂMETRO COMERCIAL PARA TUBOS DE AÇO PRETO OU GALVANIZADO ASTM A 120 SCHEDULE 40	49
ANEXO B – COMPRIMENTO EQUIVALENTE DAS SINGULARIDADES.....	50
ANEXO C – LEITURA DO EQUIPAMENTO INSTALADO NA REDE ELETRICA DO COMPRESSOR.....	51

1 CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A pneumática é de suma importância para determinados ambientes de trabalho como oficinas, ambientes hospitalares, indústrias em geral, dentre outros. Segundo Santos e Silva (2009), o aparecimento do ar comprimido ficou marcado como um considerável desenvolvimento intelectual do homem, sendo utilizado como uma aplicação prática pela primeira vez na construção de uma catapulta que utilizava ar comprimido como seu propulsor, datada cerca de 2000 anos.

Segundo Parker (2006) esse processo sofreu uma grande paralisação e voltou a ser estudado apenas a partir do século XVI e XVII, com as descobertas de grandes pensadores com Galileu, Otto Von Guericke, Bacon e outros; que passaram a se especializar no estudo de compressão e expansão dos gases.

Uma das aplicações de ar comprimido mais utilizadas nos dias de hoje está em pneus de veículos; empresas que desenvolvem a manutenção destes pneus têm uma grande utilização de máquinas pneumáticas e equipamentos para a compressão do ar. Portanto, este trabalho se desenvolve em um ambiente de montagem de uma empresa privada de pneus de pequeno e grande porte, onde desenvolve este tipo de serviço desde 2001, e tem sofrido com problemas de alto gasto com energia elétrica e desgastes de componentes pneumáticos.

Com esta pesquisa espera-se fazer uma avaliação do sistema de ar comprimido da empresa, buscando o dimensionamento correto de sistema de ar comprimido; caso o sistema esteja fora de dimensionamento, serão apresentadas propostas de mudanças, visando a melhor eficiência energética do sistema e a diminuição do desgaste de componentes pneumáticos.

A avaliação do sistema de ar comprimido da empresa será feito de modo comparativo, esperando chegar com um sistema próximo do ideal para a demanda de ar na empresa. Para ser possível chegar num resultado, será feito o recolhimento de dados do sistema de ar comprimido da empresa, calculado e posteriormente analisado.

Segundo ABESCO (2015), a indústria é o setor com maior potencial para geração de riquezas para a economia; no entanto, é o setor onde há o maior desperdício de energia elétrica. Discutir maneiras para diminuir esses desperdícios

na produção de energia pneumática onde tem um impacto direto no meio ambiente, é essencial para que empresas busquem uma competitividade sustentável.

Todo o estudo será baseado em pesquisa de campo. Segundo Gil (2008), consiste no aprofundamento de uma realidade específica, onde é realizada por meio de observação direta do objeto estudado, visando obter dados para explicações e interpretações que ocorrem em determinada realidade. O procedimento consiste basicamente em fazer a coleta de dados do sistema já existente na empresa, calcular o dimensionamento correto para demanda de ar existente e analisar se o sistema está dentro do esperado.

O trabalho está dividido basicamente em quatro capítulos, o primeiro apresenta os problemas da pesquisa, os objetivos e as hipóteses esperadas; o segundo capítulo consiste na fundamentação teórica do trabalho, necessária para a melhor compreensão dos procedimentos utilizados; a terceira parte consiste na metodologia abordada para a realização dos determinados procedimentos; o quarto capítulo consiste na apresentação dos resultados esperados com a pesquisa, além da descrição da conclusão.

1.2 ASSUNTO / TEMA

O assunto do trabalho refere-se aos sistemas pneumáticos.

O tema abordado será a avaliação de um sistema pneumático, buscando a melhor eficiência.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliação do dimensionamento de um sistema de ar comprimido de uma empresa de pequeno porte.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Catalogar dados do funcionamento do compressor;
- b) Verificar a demanda de ar comprimido na empresa;
- c) Avaliar se o dimensionamento do sistema de ar comprimido está suprimindo a demanda da empresa;
- d) Apresentar os problemas identificados no sistema;
- e) Propor mudanças para melhor eficiência do sistema de ar comprimido.

1.4 JUSTIFICATIVA

No Brasil, segundo a ABESCO (2015), a indústria é o setor com maior potencial para geração de riquezas à economia; no entanto, é o setor onde há o maior desperdício de energia elétrica.

Como o ramo da automação industrial tem crescido gradativamente e o principal objetivo é tornar os processos mais rápidos e eficientes, a utilização de equipamentos pneumáticos tem se tornado essencial, por se tratar de equipamentos de alta velocidade e precisão. Porém, a alta quantidade de equipamentos pneumáticos dentro de uma empresa, também representa um aumento no consumo de energia elétrica proveniente do sistema que faz a geração de ar comprimido, o compressor de ar.

Trazer ao centro maneiras de aumentar a eficiência destes equipamentos que consomem uma grande quantidade de energia elétrica e mostrar como ele pode impactar diretamente em recursos ambientais e econômicos, é essencial para que empresas busquem um caminho para a competitividade sustentável.

Como a produção científica, tem por objetivo apropriar-se de dados para melhor analisá-los e, posteriormente, produzir transformações. A discussão sobre o aumento da eficiência destes sistemas de ar comprimido é de grande importância para o meio acadêmico. Para o curso de Engenharia Mecânica e a área de conhecimento que envolve equipamentos e pneumáticos, pesquisas e trabalhos sobre o aumento de eficiência de sistemas de ar comprimido para a redução de consumo de energia elétrica são cada vez mais necessários e importantes.

1.5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como avaliar o dimensionamento de um sistema de ar comprimido de uma empresa de pequeno porte?

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A avaliação de um sistema de ar comprimido já existente é de grande valia para a empresa, pois visa a diminuição de custos com manutenção de equipamentos e energia. Por essa questão, este trabalho tem cunho totalmente explicativo, pois visa verificar se existe irregularidade do dimensionamento desde o sistema de geração de ar comprimido até a distribuição do mesmo.

1.7 HIPÓTESES

H0 – O sistema pneumático não está atendendo a demanda de ar comprimido.

H1 – O sistema pneumático está atendendo a demanda de ar comprimido.

H2 – Os resultados encontrados não são suficientes para uma conclusão.

2 CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Histórico

Segundo Santos e Silva (2009), o ar comprimido é uma das mais antigas formas de energia, já que o homem utiliza um sistema de ar sob pressão dentro de si (os pulmões), e partindo disso surgiu a palavra pneumática, que tem origem da palavra grega “Pneumos” ou “Pneuma”, que significa respiração ou sopro.

Segundo Parker (2006), há relatos históricos descritos na Bíblia de que há mais de 2000 anos o ar comprimido tinha grande empregabilidade na fundição de ferro, prata, estanho e chumbo; já que eram utilizados grandes foles para poder elevar a temperatura, introduzindo grande quantidade de ar no sistema de queima.

Com a necessidade da criação de armas de guerras mais eficientes, a criação de uma catapulta com sistema de propulsão a ar comprimido foi inventado por Ctesibius, fundador da Escola de Mecânicos de Alexandria há cerca de 2000 anos (SANTOS e SILVA, 2009).

O estudo sobre a pneumática sofreu uma grande declínio do século III d.C. até o século XVII d.C., onde surgiram grandes pensadores como Galileu, Otto e Bacon; dentre outros que passaram estudar a compressão e expansão dos gases. Um longo caminho foi percorrido para que hoje possamos ter equipamentos que nos ofereçam maiores graus de eficiência, diminuição de tempo em processos, além de fornecer segurança ao trabalho (PARKER, 2006).

2.1.2 Princípios físicos do ar

Para Marins (2009), o ar é composto por uma mistura aproximada de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros elementos como dióxido de carbono, argônio, hélio e outros.

A pneumática apresenta algumas vantagens, tais como:

- Para Fialho (2004) é um sistema que permite trabalhos de alta velocidade que, em condições normais podem ser 1 a 2 m/s, podendo chegar a 10m/s e 500.000 rpm em turbinas pneumáticas.
- Segundo Parker (2006), a fadiga é um dos principais fatores que provocam acidentes e a introdução de controles pneumáticos reduz a quantidade de acidentes nestes ambientes.
- De acordo com Marins (2009), uma das vantagens é a grande quantidade e facilidade de captação do ar.

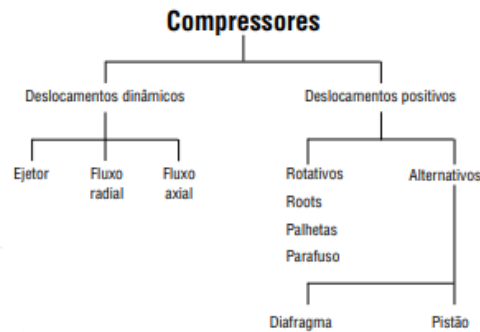
Algumas desvantagens da utilização do ar comprimido:

- Para Parker (2006), o ar comprimido pode ser um fluido altamente compressível, é impossível obter paradas repentinas, além de ser um grande poluidor sonoro devido a velocidade de exaustão.
- Marins (2009) exemplifica o custo elevado de armazenamento e produção de ar.
- De acordo com Fialho (2004), é impossível conseguir forças elevadas na pneumática como a hidráulica, devido à compressibilidade do ar.

2.1.3 Compressores de ar comprimido

Segundo Pavani (2010), compressores são equipamentos projetados para elevar a pressão de um determinado volume de ar atmosférico a um ponto em que possa realizar trabalho com ar comprimido, e podem ser classificados em dois tipos:

- Deslocamento positivo;
- Deslocamento dinâmico.

Figura 1: Tipos de compressores

Fonte: Parker (2006)

Segundo Silva (2002), acrescenta-se também o turbo-compressor nessa lista que tem como princípio comprimir o ar, forçando sua passagem por um orifício, transformando energia cinética em energia de pressão.

2.1.4 Compressores de deslocamento dinâmico

Segundo Parker (2006), compressores de deslocamento dinâmico são aqueles que elevam a pressão através da transformação de energia cinética em energia de pressão, através do contato com impulsos que rodam em alta velocidade.

Do mesmo ponto de vista, Pasetti (2016) afirma que esses compressores fazem o processo de compressão de maneira contínua e são utilizados quando necessitam de vazões elevadas, e geralmente seu custo é mais elevado pela alta precisão de projeto.

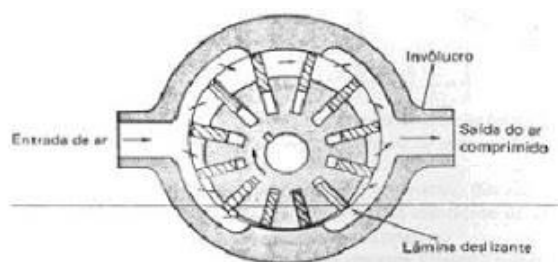
2.1.5 Compressores de deslocamento positivo

Segundo Santos e Silva (2009), esses compressores de deslocamento positivo ou também chamados de volumétricos tem como característica a diminuição do volume dentro de uma câmara ou cilindro e, conseqüentemente, o aumento da pressão, e são subdivididos em alternativos e rotativos.

2.1.5.1 Compressores rotativos

Na visão de Stewart, um compressor de lâmina deslizante é um dos vários modelos de compressor rotativo, que tem por princípio de funcionamento o enclausuramento do ar entre as palhetas; como o eixo é descentralizado, o ar sofre uma compressão.

Figura 2: Compressor de palhetas

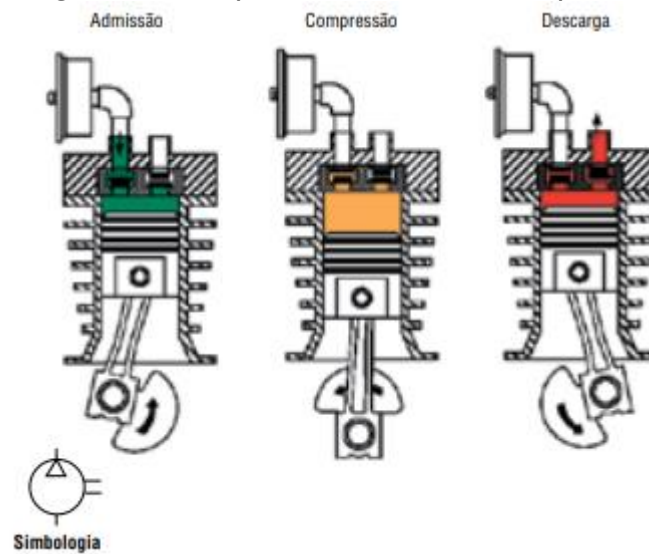


Fonte: Stewart (2002)

2.1.5.2 Compressor alternativo de pistão

O compressor de modelo alternativo é considerado o mais antigo de todos e o mais produzido até hoje. A utilização destes compressores na indústria se dá pela alta faixa de pressão que pode-se trabalhar, em média chega aos 14 bar (SANTOS e SILVA, 2009).

De acordo com Silva (2002), o motor alternativo consiste em um mecanismo de biela-manivela que é movido geralmente por um motor elétrico ou de combustão, onde o mesmo aspira o ar através de uma válvula e quando atinge uma determinada pressão é liberado por uma válvula de descarga, conforme a imagem abaixo.

Figura 3: Compressor alternativo simples efeito

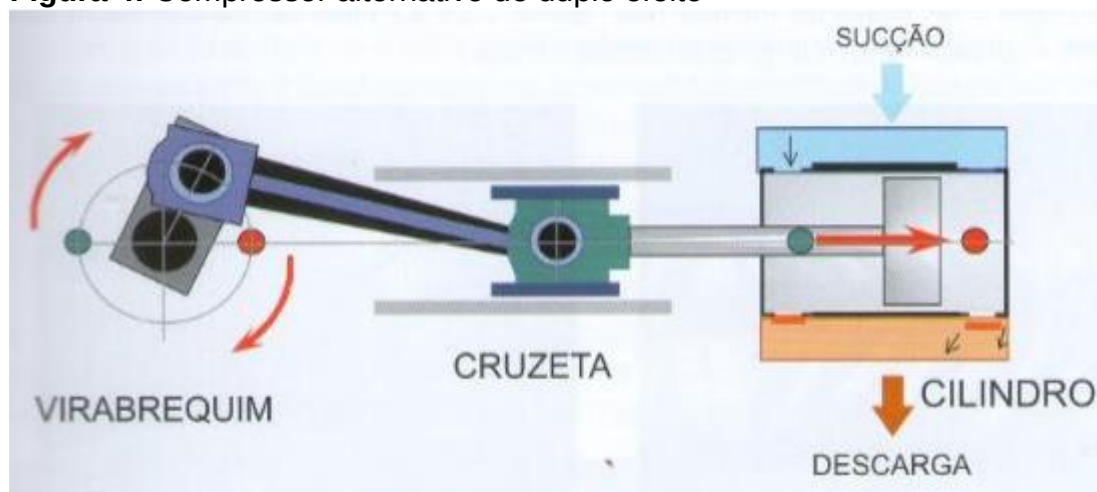
Bosch (2008) afirma que diferentes pressões são produzidas dentro de compressores com vários estágios de compressão em série e pelo uso de vários cilindros. As características destes compressores são:

- Alta eficiência;
- Alta pressão.

Segundo Parker (2006), existem dois tipos de compressores alternativos a pistão:

- Compressor a pistão de simples efeito: esse compressor tem esse nome por produzir trabalho apenas com um pistão, onde o mesmo está ligado a árvore de manivela por uma biela; a expiração do ar tem início no movimento de descida enchendo a câmara de compressão; após vem a compressão com o movimento de subida e consequentemente a descarga ao atingir a pressão necessária.
- Compressor a pistão de duplo efeito: também chamado de compressor tipo cruzeta, tem esse nome por fazer o processo de compressão pelas duas faces do pistão; em que ao descer, o pistão aspira na parte superior e comprime o ar na parte inferior; assim, ao fazer o movimento de subida, o ar é comprimido na parte superior e aspirado no inferior do pistão, e os movimentos continuam até o fim do trabalho.

Figura 4: Compressor alternativo de duplo efeito

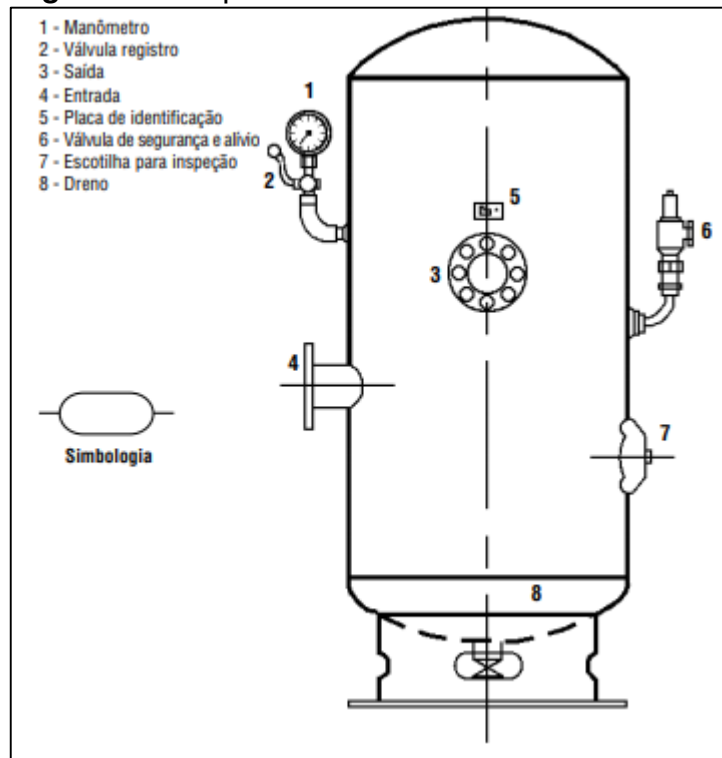


Fonte: Touza (2015)

2.1.6 Reservatórios de ar comprimido

É de fundamental importância o estudo do reservatório na rede de ar comprimido, pois ele influencia diretamente no desempenho e produtividade do compressor. Segundo Santos e Silva (2009), os reservatórios servem como um pulmão para a rede, fornecendo assim uma pressão constante em todo o processo de utilização, além de ser utilizado com um equipamento para a separação de condensado.

De acordo com Buck (2004), os reservatórios servem como uma espécie de amortecedor para as oscilações na tubulação de descarga, gerando uma pressão estável no sistema, além de eliminar o condensado produzido na compressão do ar pelo pistão, proveniente da umidade no ar.

Figura 5: Componentes do reservatório

Fonte: Bortolin (2014)

É de grande importância destacar que a seleção correta do reservatório de ar comprimido deve ter como linha de raciocínio a segurança, pois são grandes os números de casos em que, por falta de inspeção e até mesmo estar fora de norma, acaba ocorrendo acidentes fatais (BERTOLIN *apud* METALPLAN, 2010).

De acordo com a NR-13 (2014), todos os vasos de pressão devem estar equipado com os seguintes itens:

- Válvula ou outro sistema de segurança com pressão de descarga igual ou inferior a pressão de trabalho, instalada diretamente no reservatório;
- Instrumentos que indiquem a pressão de operação;
- Dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula, quando esta não estiver instalada diretamente no vaso.

Além disso, a NR-13 (2014) diz que a localização do vaso de pressão deve ser de tal forma que facilite a inspeção e a visualização dos componentes nele instalado.

Ainda segundo a NR- (2014), os vasos de pressão são classificados em grupos de riscos de acordo com seu fluido de trabalho e a pressão que está sendo utilizada, estas informações são fornecidas para que possa haver uma inspeção

periódica neste equipamento, a tabela 1 nos mostra a classificação de periculosidade de cada vaso de pressão, onde de acordo com as especificações ele se encaixa em um grau de perigo.

Tabela 1: Classificação de vasos de pressão

Classe de Fluido	Grupo de Potencial de Risco				
	1 P.V $\geq$ 100	2 P.V < 100 P.V $\geq$ 30	3 P.V < 30 P.V $\geq$ 2,5	4 P.V < 2,5 P.V $\geq$ 1	5 P.V < 1
	Categorias				
A - Fluidos inflamáveis, e fluidos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200 °C - Tóxico com limite de tolerância $\leq$ 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno	I	I	II	III	III
B - Fluidos combustíveis com temperatura menor que 200 °C - Fluidos tóxicos com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
C - Vapor de água - Gases asfixiantes simples - Ar comprimido	I	II	III	IV	V
D - Outro fluido	II	III	IV	V	V

Fonte: NR-13 (2014)

2.1.7 Redes de distribuição

Segundo Coradi (2011), a utilização de um compressor de ar para cada equipamento pneumático é quase inviável. A partir disso, é necessária a utilização de redes de distribuição até as tomadas de ar perto dos equipamentos. Compreendendo assim como rede de ar comprimido, toda a tubulação que sai do reservatório de ar até os pontos individuais e utilização, e tem como princípio duas funções:

- Unir a unidade de produção até os equipamentos consumidores;
- Funcionar como um reservatório para atender as exigências locais.

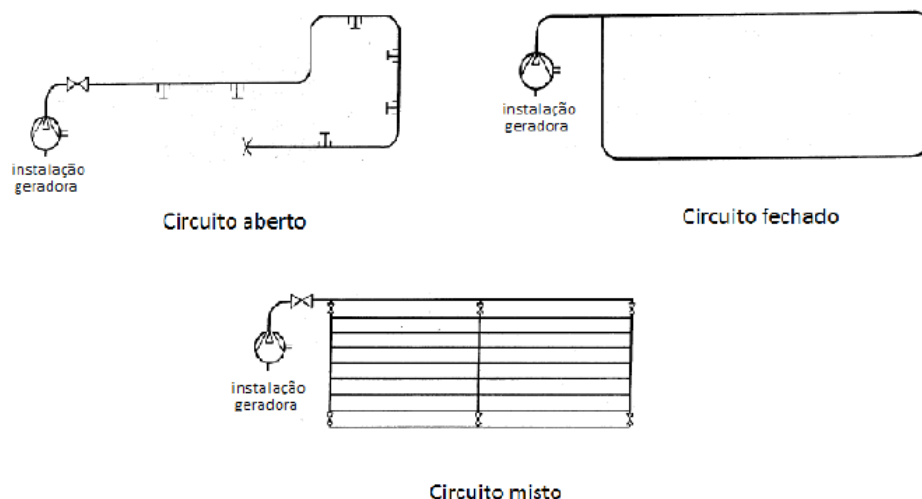
Segundo Stewart, a tubulação em sistemas pneumáticos é quase sempre uma fonte de problemas, pois podem ocorrer vazamentos; e é muito importante que esteja devidamente arranjada para proporcionar a máxima eficiência e operação sem problemas.

Ainda, do ponto de vista de Stewart (2002), as tubulações podem ser classificadas em três tipos:

- Tubulações rígidas: como *Standart*, extra forte para 1000 psi, classe 160 para 3000 psi e duplo extraforte;
- Tubulações semirrígidas como alumínio, cobre e outros;
- Tubulações flexíveis: mangueiras utilizadas em locais que necessitam de locomoção dos equipamentos pneumáticos.

Segundo Bortolin *apud* Jesus (2012), as tubulações devem ser instaladas em locais que facilitem a manutenção e detecção de vazamentos de ar, o que pode ocasionar em elevadas perdas de carga na rede. Podem existir três tipos de redes de distribuição: circuitos abertos, circuitos fechados e circuitos mistos conforme a imagem a seguir:

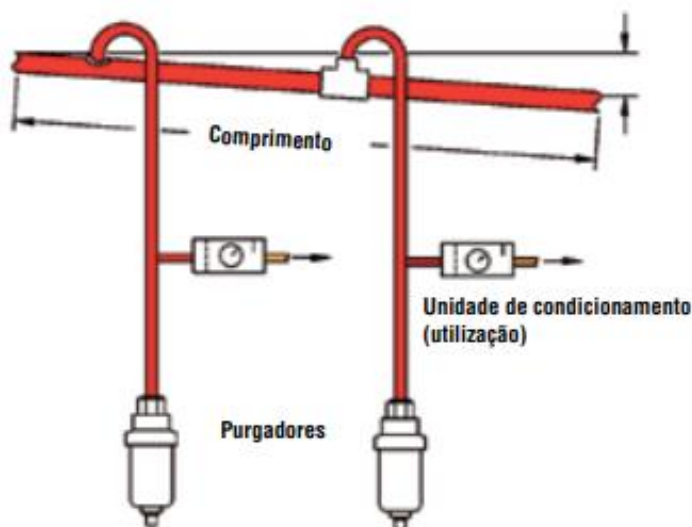
Figura 6: Tipos de redes de distribuição



Fonte: Bortolin (2014)

Na questão de instalação da rede de ar comprimido, Parker (2006) explica que toda a tubulação deve conter determinada inclinação com o intuito de recolher o condensado presente na rede de distribuição, sendo essa inclinação de 0,5 a 2% do comprimento da tubulação.

Ainda cabe destacar que todas as conexões para as tomadas de ar devem ser feitas na parte superior da tubulação, com o objetivo que o condensado produzido na tubulação não chegue até a tomada de ar (PARKER, 2006).

Figura 7: Inclinação da rede

Fonte: Parker (2006)

Para Fialho (2011), a instalação de redes de distribuição em circuitos abertos é indicada para casos em que deseja abastecer pontos isolados ou distantes, pois nesse tipo de instalação o ar flui em uma única direção impossibilitando a distribuição uniforme em todos os pontos.

Já em sistemas onde utilizam circuitos fechados, um dos mais utilizados em indústrias, pois facilita a instalação de novos pontos de consumo e a distribuição de modo mais uniforme, uma vez que o ar flui em dois sentidos (FIALHO, 2011).

Segundo Silva (2002), circuitos combinados também são utilizados em circuitos fechados, porém devem ser instaladas válvulas de fechamentos com o objetivo de que, quando uma tubulação estiver em manutenção, as outras podem ser utilizadas normalmente.

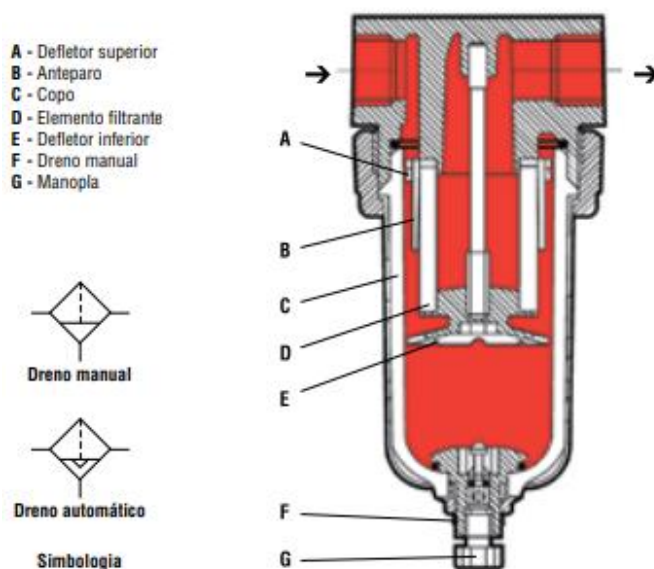
2.1.8 Filtros de ar comprimido

De acordo com Santos e Silva (2009), filtros de ar comprimido tem como utilidade a remoção de contaminantes presentes ou gerados no processo de compressão, garantindo assim a melhor qualidade para o funcionamento de equipamentos pneumáticos.

Parker (2006) caracteriza que o ar comprimido entra por um orifício no corpo do filtro e flui através dos defletores, causando assim um turbilhamento no ar; a umidade e partículas são jogadas para a parede do copo, em seguida são retidas

no elemento filtrante fazendo com que apenas o ar siga pela tubulação; as partículas sólidas e líquidas ficam no fundo do copo e podem ser drenadas.

Figura 8: Secção de um filtro de ar comprimido

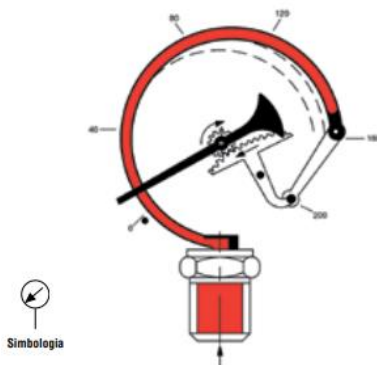


Fonte: Parker (2006)

2.1.9 Manômetro

De acordo com Parker (2006), são instrumentos para medir a intensidade da pressão na rede de ar comprimido, e podem ser encontrados em dois modelos, manômetro capsulares e do tipo bourdon.

Figura 9: Manômetro do tipo bourdon



Fonte: Parker (2006)

Segundo Schneider (2000), seu funcionamento consiste na aplicação de pressão no interior do tubo de material elástico, fixo na extremidade onde é aplicada a pressão, ocorrendo assim uma leve deformação no tubo, movimentando assim um conjunto de engrenagens e, conseqüentemente, o ponteiro indicador de pressão.

2.1.10 Purgadores

De acordo com a SFineternational (2012), purgadores são equipamentos que retiram a umidade saturada no ar sem que ocorra uma perda de pressão na linha de ar comprimido, o mesmo pode retirar o condensado em diferentes pressões e temperatura conforme seja configurado.

2.1.11 Características na escolha de um compressor

Segundo Fialho (2011), existem quatro importantes características na escolha de um compressor, entre elas: o volume de ar fornecido, pressão, acionamento, sistema de regulação.

- Volume de ar fornecido: é definido como a quantidade máxima de ar que o compressor produz em m^3 , quando em atividade máxima;
- Pressão de regime: é a pressão indicada pelo manômetro instalado no reservatório, ou seja, quando o sistema estiver estático sem utilização.
- Pressão de trabalho: é a pressão necessária para acionar vários equipamentos ao mesmo tempo, e deve ser menor que a pressão de regime.
- Acionamento: este requisito depende do local de instalação e pode ser por motor elétrico ou motor a combustão.
- Sistema de regulação: como o consumo dos equipamentos não é constante, é necessário a utilização de válvulas que controlem essa demanda de ar utilizado.

2.1.12 Critérios para selecionar um reservatório

Bortolin *apud* Parker (2006) afirma que para selecionar o volume do reservatório é necessário adotar a seguinte regra:

- Para compressores a pistão: volume do reservatório = 20 % da vazão total do sistema (em m³/min)
- Para compressores rotativos: volume do reservatório = 10 % da vazão total do sistema (em m³/min)

Segundo Fialho (2011), a pressão de trabalho pode variar de 7 a 8 kgf/cm², podendo chegar a 12 kgf/cm²; é comumente utilizado em indústria a pressão de trabalho de 6 kgf/cm², que é considerada a pressão econômica.

2.1.13 Dimensionamento da tubulação

Fialho (2011) afirma que o diâmetro mínimo da tubulação principal de ar comprimido pode ser obtido pela Equação 1. O diâmetro das linhas de alimentação também pode ser encontrado aplicando a mesma equação.

Equação 1: Equação do diâmetro da tubulação

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

Fonte: Fialho (2011)

Onde:

- d = Diâmetro interno da tubulação, em mm;
- Q = Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação, em m³/h;

- L_t = Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.), em m;
- ΔP = Queda de pressão admitida: Perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades, em kgf/cm²;
- P = Pressão de regime: Pressão do ar armazenado no reservatório, em kgf/cm².

O diâmetro comercial dos tubos pode ser estabelecido por meio do Quadro (vide anexo A) para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A 120 SCHEDULE 40 (FIALHO, 2011).

2.1.14 Cálculo da perda de carga na rede de distribuição

De acordo com Fialho (2011), o fluido, ao deslocar-se pela tubulação, sofre uma gradual redução de pressão devido aos atritos internos e possíveis estrangulamentos; esse fenômeno é chamado de perda de carga, onde não deve exceder 0,3 kgf/cm² em pequenas tubulações e 0,5 kgf/cm² em grandes redes.

Ainda segundo Fialho (2011), o comprimento total da rede é a soma do comprimento retilíneo e o comprimento equivalente das singularidades, conforme ANEXO B.

$$L_t = L_1 + L_2$$

Onde:

L_t = comprimento total (m);

L_1 = comprimento retilíneo da linha (m);

L_2 = comprimento equivalente das singularidades (m);

3 CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo

A abordagem da pesquisa é classificada como quantitativa, onde segundo Fonseca (2002), a abordagem quantitativa se baseia na objetividade, é influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida através da análise de dados brutos, recolhidos através de equipamentos padronizados e neutros.

Quanto aos objetivos da pesquisa, podemos classificá-la como descritiva. Segundo Gil (2008), descreve as características de determinados fenômenos. Este tipo de pesquisa se diferencia, pois utiliza técnicas padronizadas de pesquisa como observação sistemática de um sistema.

3.1.2 Variáveis apresentadas no projeto

- Capacidade de produção do compressor instalado na empresa;
- Capacidade de armazenamento de ar do reservatório do compressor;
- Perda de carga presente na rede de distribuição;
- Perda de carga nas singularidades;
- Demanda de ar da empresa;
- Tempo de funcionamento do compressor;
- Pressão e vazão de trabalho utilizado na empresa;
- Consumo de energia do compressor.

3.1.3 Forma de obtenção dos dados

Dados como a capacidade de produção do compressor e capacidade de armazenamento foram coletados a partir das placas de identificação fixadas no equipamento do fabricante.

As perdas de cargas existentes no sistema de ar comprimido foram obtidas a partir da aplicação da equação 1, substituindo os dados da mesma.

Segundo Bortolin (2014), a demanda de ar que a empresa utiliza depende da vazão e da pressão. A vazão é o volume de ar por hora que será consumido pelos equipamentos pneumáticos; para determinar a vazão, deve-se somar o consumo total de ar de todos os equipamentos pneumáticos.

Como se trata de um sistema já instalado, foi observado o tempo médio de funcionamento de cada equipamento e multiplicado pela vazão dada pelo fabricante, podendo assim trazer dados mais consistentes de consumo de ar comprimido.

O tempo de funcionamento e o consumo de energia do compressor foram obtidos por um equipamento multifuncional conforme figura 10, onde o mesmo começa a funcionar quando o motor do compressor inicia seu ciclo, acumulando o tempo de funcionamento em horas e o consumo de energia em Kwh; ao final do dia era feito a coleta dos dados e reiniciado o aparelho para o próximo dia.

Figura 10: Equipamento de medição multifuncional



Fonte: Autor (2019)

- CAPACIDADE DE AR REQUERIDA

Vale ressaltar a importância de se saber a quantidade precisa de ar comprimido que a empresa está utilizando, pois uma avaliação correta pode nos

mostrar realmente se o sistema está suprimindo a necessidade da empresa, além de nos mostrar se os equipamentos que estão ligados na rede recebem a quantidade de ar necessária e uma pressão correta.

Uma avaliação do sistema abaixo da necessidade de ar pode fazer com que tomamos decisões erradas, fazendo com que o equipamento não trabalhe em sua perfeita configuração. Já uma avaliação acima das reais, pode fazer com que aumente a conta de energia da empresa.

Para que possamos fazer uma dimensionamento correto, temos que levar em consideração a vazão do sistema, ou seja, o volume de ar por hora que a empresa vai utilizar, determinar a vazão; deve-se somar o consumo de ar de cada equipamento conectado à rede.

A pressão que cada equipamento opera é muito importante, pois se o equipamento trabalha com uma pressão acima do recomendado, certamente irá diminuir a vida útil dele.

Para efeito de cálculo do sistema, foi observado os principais equipamentos conectados à rede e, assim, estudados para que pudéssemos analisar o dimensionamento. A vazão foi calculada de forma empírica, por se tratar da utilização destes equipamentos de forma variada. Foram feitas anotações diárias destes equipamentos, a fim de saber quanto tempo são utilizados diariamente; e, a partir disso, foram determinadas as vazões. A tabela 2 resume os equipamentos e suas especificações:

Tabela 2: Equipamentos consumidores

Equipamento	Quantidade	Vazão
PARAFUSADEIRA 1/2"	2	10,57 m ³ /h
PARAFUSADEIRA 1"	1	12,72 m ³ /h
DESLOCADOR DE TALÃO	2	8,64 m ³ /h
BICOS DE ENCHER	4	21 m ³ /h
RETIFICA	1	10,08 m ³ /h
TOTAL	10	63,01 m ³ /h

Fonte: Autor (2019)

- **COMPRIMENTO TOTAL DA TUBULAÇÃO**

Nesta etapa foram feitas medições da rede de distribuição principal de ar comprimido instalada, com o objetivo de saber o comprimento total da rede. A tabela 3 foi elaborada para descrever o comprimento linear da rede às suas singularidades:

Tabela 3: Comprimento total da rede

Comprimento total da tubulação	Quantidade	Comprimentos [m]
Comprimento linear	1	17,47
comp. equiv. curva 90° RC	9	9,9
comp. equiv. curva 90° RL	4	2,68
comp. equiv. conexão T	2	1,04
comp. equiv. registro globo	2	13,4
comp. equiv. registro gaveta	1	0,17
TOTAL		44,66

Fonte: Autor (2019)

Conforme visto, obteve-se um comprimento total de 44,66 metros, sendo que já estão inseridos neste valor o comprimento equivalente de cada singularidade que foi obtido no anexo B.

- **QUEDA DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

Como observado no referencial teórico, a queda de pressão é o atrito do ar com a parede da tubulação e suas singularidades; e, para que o sistema tenha um bom rendimento, a perda de carga admitida em pequenas tubulações é de 0,3 kgf/cm²; caso a perda de pressão exceda esse valor, a tubulação está subdimensionada para o sistema.

- **EQUIPAMENTOS INSTALADOS**

A tabela 4 mostra os principais componentes do sistema já instalados na empresa.

Tabela 4: Marcas e modelos dos equipamentos principais

Equipamentos	Marca	Modelo
Compressor	<i>PRESSURE</i>	PSW-40-SP
Reservatório	PRESSURE	425 L
Motor elétrico	KOHLBACH	132-S

Fonte: Autor (2019)

Partindo das placas de identificação destes equipamentos, foram observados dados importantes para a avaliação como a capacidade de armazenamento do reservatório e a capacidade de produção do compressor.

4 CAPÍTULO 4

4.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após um estudo minucioso de ar comprimido e dos elementos que compõem os sistemas de produção, distribuição e utilização do ar comprimido, e a descrição da metodologia; partiu-se para a próxima etapa do trabalho, a avaliação do dimensionamento da rede de distribuição principal, do reservatório e do compressor, para que posteriormente haja uma melhora na configuração deste sistema.

4.1.1 Cálculo da perda de carga na rede de distribuição

A rede de distribuição é a tubulação que conduz ar comprimido da casa do compressor até as redes secundárias. As características da rede de distribuição estão apresentadas na tabela 4:

Tabela 5: Configurações da rede de distribuição

Comprimento total da tubulação	44,66 m
Diâmetro da tubulação	12,7 mm
Pressão de regime do sistema	175 Psi ou 12 kgf/cm ²
Volume de ar consumido	63,01 m ³ /h

Fonte: Autor (2019)

Após conhecer esses valores, foram aplicados na equação 1, onde obteve-se a perda de carga do sistema conforme resultado abaixo:

$$12,7[mm] = 10 \cdot \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^3 \cdot (63,01 \text{ m}^3/h) \cdot 44,66 [m]}{\Delta p \cdot 12 [\text{kgf}/\text{cm}^2]}} \quad (1)$$

$$\Delta p = 0,187 \text{ kgf}/\text{m}^2$$

Partindo do resultado encontrado, chegou-se à conclusão que a perda de carga de 0,187 kgf/cm² manteve-se inferior a perda de carga admitida de 0,3 kgf/cm²; portanto, aceitável para a configuração da rede.

4.1.2 Avaliação do dimensionamento do reservatório

A partir dos estudos de dimensionamento do reservatório de ar comprimido, obteve-se os seguintes resultados:

Volume do reservatório = 20% da vazão do sistema em m³/min

63,01 m³/h = 1,05 m³/min

Volume do reservatório = 20% de 1,05

Volume do reservatório = 0,21 m³ ou 210 litros

Podemos notar que o reservatório calculado de 210 litros está a um valor bem inferior ao instalado na empresa de 425 litros, podendo assim dizer que o reservatório de ar comprimido está atendendo o sistema.

4.1.3 Análise da pressão de regime e pressão de trabalho dos equipamentos

Após pesquisas nos catálogos dos fabricantes dos principais equipamentos utilizados na rede como parafusadeira ½", parafusadeira de 1", deslocador de talão, bicos de encher e retifica; obteve a mesma pressão de trabalho de 6 kgf/cm² para todos os equipamentos.

Porém, analisando a pressão de regime que atua no reservatório, pode-se observar que chega a ser o dobro da pressão, que é de 9,65 kgf/cm² até 12 kgf/cm². Este tipo de regime, onde a pressão é muito maior que a pressão de trabalho indicada pelo fabricante dos equipamentos, pode ser o causador do grande número de quebras de equipamentos da empresa.

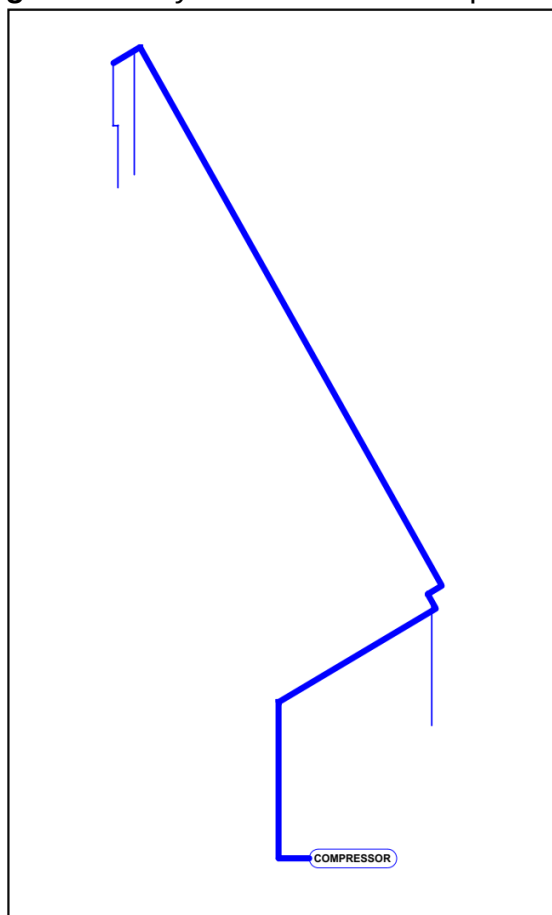
4.1.4 Avaliação do layout da rede

A correta avaliação do dimensionamento da tubulação faz-se necessária, pois contribui para que os equipamentos trabalhem da forma correta, visando diminuir ao máximo a queda de pressão na linha de distribuição.

Um layout adequado para a empresa diminui o caminho percorrido pelo ar comprimido, além de que em algumas configurações podem reduzir bastante a queda de pressão enquanto se utiliza de outros equipamentos ao mesmo tempo.

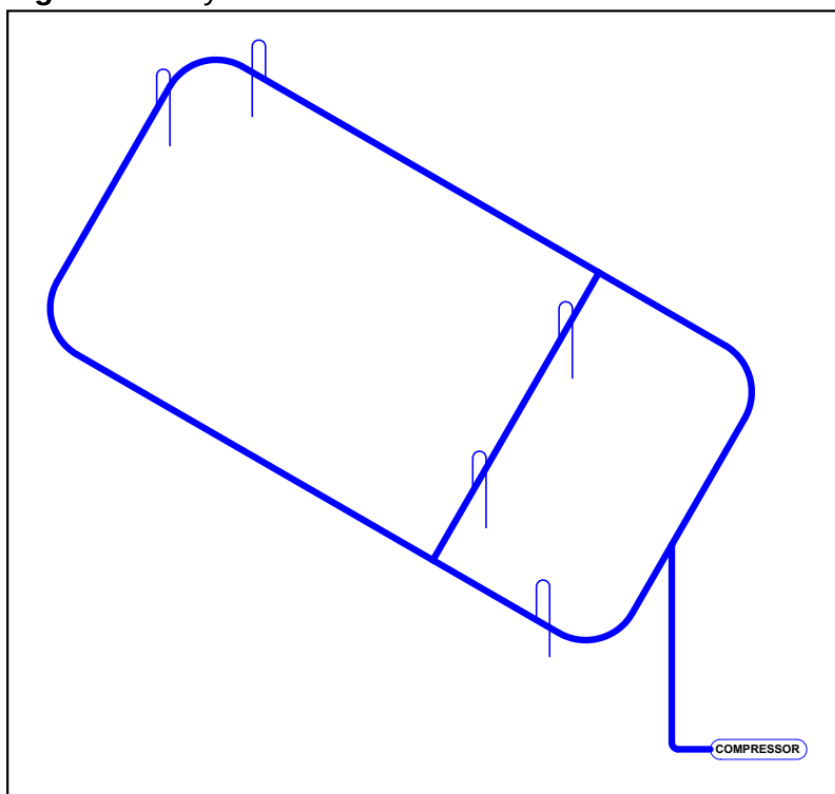
Na figura 11 podemos ver o layout da tubulação instalado:

Figura 11: Layout instalado na empresa



Fonte: Autor (2019)

O layout instalado é um circuito aberto, fazendo com que o ar seja direcionado apenas em um sentido, ocasionando em uma maior variação de pressão entre os equipamentos quando utilizados simultaneamente. Uma maneira de solucionar este problema seria a instalação de um layout de circuito fechado, pois tem como vantagem diminuir esta variação de pressão, já que o ar flui em dois sentidos, como podemos ver na figura 12:

Figura 12: Layout de circuito fechado

Fonte: Autor (2019)

Já a nova instalação pode ser montada com configurações de curvas diferentes, visando diminuir a perda de carga e melhorar a qualidade do ar com uma menor quantidade de condensado na rede. Uma das mudanças seria a montagem com curvas de 90° de raio longo, que diminuiria a perda de carga, conforme mostra a figura 13

Figura 13: Curva 90° raio curto



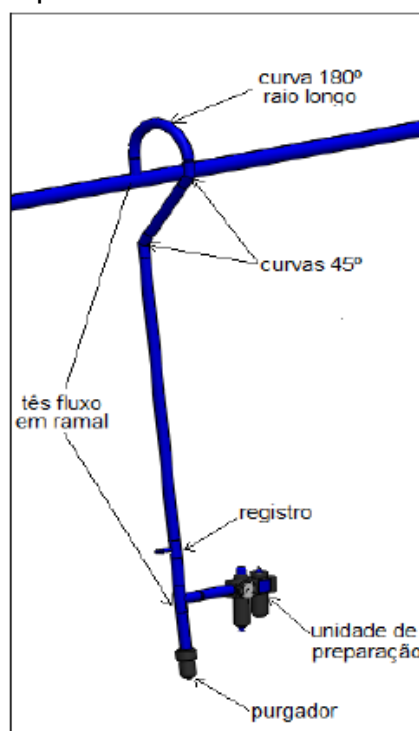
Fonte: Bosch (2008)

Figura 14: Curvas 90° raio longo



Fonte: Bosch (2008)

A utilização de linhas secundárias com saída na parte superior da tubulação faz com que a umidade condensada no sistema fique na parte inferior da rede e, assim, seja retirada pelos filtros e purgadores, como podemos observar na figura abaixo.

Figura 15: Curva para saída secundária

Fonte: Bortolin (2014)

4.1.4 Outros problemas apresentados nos sistemas e suas possíveis soluções

Após observações diárias no sistema e estudo sobre o mesmo, pode-se notar outros problemas como a quantidade de vezes que o compressor aciona por dia. Em dias de pico, na sua utilização, pode chegar mais de 50 vezes; isso gera um elevado consumo de energia, pois o motor elétrico tem que fazer grande força para que o motor saia do repouso e entre em inércia. Na figura 16 podemos observar que existe um dado fornecido pelo fabricante do motor i_p/i_n (corrente de partida dividido pela corrente nominal).

Figura 16: Placa de identificação do motor



Fonte: Autor (2019)

Com o ip/in podemos ver que a corrente de partida é 8,5 vezes maior que a corrente normal de funcionamento. Uma maneira de reduzir esse elevado número de partida seria aumentando o volume do reservatório. Com isso, o compressor passaria um tempo maior no regime nominal e diminuiria o número de partidas.

A inexistência de filtros ou purgadores na rede também chamou a atenção, pois pode ser um dos causadores do grande número de quebras de equipamentos, já que todo o condensado e impurezas do ar produzidos na rede atual é levado diretamente para os equipamentos.

4.1.5 Leitura e resultados obtidos do equipamento instalado na rede elétrica

Com as anotações diárias dos dados fornecidos pelo equipamento instalado, foi produzida uma tabela conforme ANEXO C. Com essas informações pode-se saber quanto tempo o compressor fica ligado diariamente e foi constatado que em média esse tempo é de uma hora por dia em regime intermitente. Também foi observado que o consumo de energia obtido pelo equipamento foi o mesmo fornecido pelo fabricante do motor elétrico instalado no compressor, que é de 7,5 kw.

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação do sistema de ar comprimido da empresa foi necessário pelo fato do elevado aumento de consumo de energia elétrica e o grande número de quebras dos equipamentos pneumáticos na empresa, podendo após o estudo corrigir tais erros.

Através da revisão bibliográfica foi possível conhecer os processos do sistema de ar comprimido e como coletar tais dados para fazer as análises de como deveria ser as instalações, e como identificar os erros no sistema.

Procurou-se analisar os principais erros e, assim, apresentar soluções viáveis para melhorar eficiência do mesmo, onde após o estudo observou-se que o sistema está trabalhando em seu limite, não sendo possível uma grande ampliação na empresa sem que haja mudanças no sistema.

A análise da perda de carga foi fundamental para identificar o quanto de energia estava sendo desperdiçada, e assim provocar mudanças no sistema que possa gerar uma maior confiabilidade e eficiência, além de apresentar uma melhora no layout que implicaria em uma menor variação de pressão.

Pode-se concluir que o sistema instalado não é o mais adequado para as condições atuais da empresa por se tratar de um sistema instalado há muito tempo, porém ainda está suprimindo a demanda. Após este estudo, a empresa pode melhorar e até mesmo economizar com as alterações propostas neste trabalho.

Cabe destacar que este trabalho teve como origem o desafio de aliar a teoria vista no curso de engenharia mecânica à prática, e desenvolvê-lo de maneira visando buscar soluções nos problemas encontrados.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Verificar a viabilidade do aumento do volume do reservatório de ar comprimido, com o intuito de diminuir o número de partidas do compressor;
- ✓ Verificar a economia de energia elétrica com a mudança do layout da rede de ar comprimido;
- ✓ Fazer o dimensionamento de um novo sistema de ar comprimido para uma futura ampliação na empresa;

REFERÊNCIAS

AMBIENTE ENERGIA. Disponível em:

<<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/06/industria-e-o-setor-com-o-maior-desperdicio-de-energia-brasil/26311>>. Acesso em: 19 mai. 2019.

BORTOLI, E. **Dimensionamento de uma rede de ar comprimido de pequeno porte**. 2014. Monografia apresentada a escola de engenharia mecânica na Faculdade Horizontina – FAHOR para a obtenção de bacharel em engenharia mecânica.

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas, 2008.

BUCK, B. **Manual de ar comprimido e gases**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa**. 6º ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MARINS, A. **Tecnologia pneumática**: circuitos pneumáticos e comandos eletropneumáticos. Instituto Federal de Educação, ciências e Tecnologia de São Paulo. Salto, 2009.

NR 13. **Caldeiras e vasos de pressão**. 2014.

PARKER TRAINING. **Tecnologia pneumática industrial**: Apostila M1001-1 BR. São Paulo, 2006.

PASETTI, G. **Acionamentos pneumáticos e hidráulicos** - produção do ar comprimido. Instituto Federal Catarinense, 2016.

PAVANI, S. A. **Comandos pneumáticos e hidráulicos**. 3º ed. Santa Catarina. Universidade Federal de Santa Catarina: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.

SANTOS, A. A.; SILVA, A. S. **Automação Pneumática** – Produção, tratamento e distribuição de ar comprimido técnicas de comando e circuitos combinatórios sequenciais. 2º ed. Portugal. Publindústria. Porto, 2009.

SILVA, E. C. N. PMR 2428- **Sistemas fluido mecânico**: apostila de pneumática. São Paulo 2002. Escola politécnica da USP- Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânico.

SIMONE, G. A. **Máquinas de indução trifásicas**: teoria e exercícios. São Paulo: Érica, 2000.

SFINTERNATIONAL. Disponível em:
<<http://sfinternational.com.br/pt/produtos/purgadores>>. Acesso em: 01 de dez.2019.

STEWART, H. L. **Pneumática e hidráulica**. 3º ed. Curitiba: Hemus, 2002.

TOUZA, V. A. **Análise da performance de compressores pelo modelo de redlich/kwong**. 2015. Monografia apresentada a escola de engenharia mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ para a obtenção de bacharel em engenharia mecânica.

ANEXO A – DIÂMETRO COMERCIAL PARA TUBOS DE AÇO PRETO OU GALVANIZADO ASTM A 120 SCHEDULE 40

Diâmetro				Espessura de parede		Peso teórico do tubo preto		Pressão de ensaio
Nominal	Externo		Interno			Pontas lisas	Com roscas e luvas ¹⁷	
in	in	mm	mm	in	mm	kg/m	kg/m	kgf/cm ²
1/4	0,540	13,7	9,2	0,088	2,24	0,63	0,66	50
3/8	0,675	17,2	12,6	0,091	2,31	0,85	0,88	50
1/2	0,840	21,3	15,8	0,109	2,77	1,27	1,29	50
3/4	1,050	26,7	21,0	0,113	2,87	1,68	1,72	50
1	1,315	33,4	26,1	0,133	3,38	2,50	2,56	50
1.1/4	1,660	42,2	35,1	0,140	3,56	3,38	3,45	70
1.1/2	1,900	48,3	40,9	0,145	3,68	4,05	4,18	70
2	2,375	60,3	52,5	0,154	3,91	5,43	5,60	70
2.1/2	2,875	73,0	62,7	0,203	5,16	8,62	8,76	70
3	3,500	88,9	77,9	0,216	5,49	11,28	11,60	70
3.1/2	4,000	101,6	90,1	0,226	5,74	13,56	14,11	85
4	4,500	114,3	102,3	0,237	6,02	16,06	16,81	85
5	5,563	141,3	128,2	0,258	6,55	21,76	22,67	85
6	6,625	168,3	154,1	0,280	7,11	28,23	29,59	85
8	8,625	219,1	202,7	0,322	8,18	42,49	44,66	90
10	10,75	273,0	254,5	0,365	9,27	60,23	-	85

Fonte: Fialho (2011)

ANEXO B – COMPRIMENTO EQUIVALENTE DAS SINGULARIDADES

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

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

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

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

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

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

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

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

Fonte: Fialho (2011)

ANEXO C – LEITURA DO EQUIPAMENTO INSTALADO NA REDE ELETRICA DO COMPRESSOR

DATA DA MEDICÃO	MEDICÃO HORIMETRO	MEDICÃO DE KWh
25/02/2019	1.58	11.466
26/02/2019	1.33	9.915
27/02/2019	0.79	5.649
28/02/2019	0.91	6.69
01/03/2019	1.18	8.376
02/03/2019	1.04	7.335
04/03/2019	1.04	7.335
05/03/2019	1.04	7.335
06/03/2019	1.04	7.335
07/03/2019	1.04	7.36
08/03/2019	1.04	7.335
09/03/2019	1.25	9.075
11/03/2019	0.82	9.45
12/03/2019	0.55	8.1
13/03/2019	1.25	8.41
14/03/2019	0.58	9.04
15/03/2019	0.68	8.31
16/03/2019	0.96	8.98
18/03/2019	0.7	8.81
19/03/2019	0.93	8.99
20/03/2019	1.13	9.24
21/03/2019	0.54	9.29
22/03/2019	1.85	9.05
23/03/2019	0.85	8.19
25/03/2019	0.5	8.95
26/03/2019	0.92	9.91
27/03/2019	1.51	8.78
28/03/2019	1.34	8.96
29/03/2019	0.87	8.94
30/03/2019	1.86	8.99
01/04/2019	0.65	8.67
02/04/2019	0.54	8.92
03/04/2019	0.83	8.86
04/04/2019	1.48	9.74
05/04/2019	1.61	8.62
06/04/2019	0.92	9.26
08/04/2019	0.85	9.11
09/04/2019	1.18	9.11
10/04/2019	1.85	4.48
11/04/2019	1.36	5.11
12/04/2019	0.9	6.11
13/04/2019	1.09	10.35
15/04/2019	0.84	6.99
16/04/2019	0.67	3.67
17/04/2019	0.6	3.67
18/04/2019	1.65	5.22
20/04/2019	1.2	4.84
TOTAL	49,34	371,026

Fonte: Autor (2019)