



FACULDADE HORIZONTAL

DJONATAN EDUARDO MALDANER

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO
INDUSTRIAL**

HORIZONTALINA
2016
FACULDADE HORIZONTALINA
Curso de Engenharia Mecânica

DJONATAN EDUARDO MALDANER

DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO
INDUSTRIAL

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Rafael Luciano Dalcin, Mestre.

HORIZONTALINA-RS
2016



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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Dimensionamento de uma rede de ar comprimido industrial”

Elaborada por:

Djonatan Eduardo Maldaner

**Aprovado em: 28/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre. Rafael Luciano Dalcin
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Mestre. Marcelo Gonzalez Passos
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Mestre. Cristiano Rosa dos Santos
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTALINA- RS
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais José e Roseli Maldaner, ao meu irmão Djorges, e aos meus amigos que sempre estiveram junto comigo.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a minha família em especial aos meus pais, senhor José e Roseli, meu irmão Djorges, pelo convívio alegre durante todos esses anos de vida, além do incentivo e suporte financeiro, moral e psicológico para meu aperfeiçoamento pessoal e profissional ao longo dos anos.

Ao meu orientador Rafael Luciano Dalcin, por me conduzir na elaboração deste trabalho, pelos ensinamentos e dedicação concedida em todos os momentos solicitados.

Aos demais professores que fizeram parte da minha trajetória no curso de Engenharia Mecânica, os quais contribuíram com suas experiências, sabedoria e conhecimento para o aprimoramento das habilidades e competências.

Por fim, a Faculdade Horizontina - FAHOR que me acolheu e me oportunizou concluir este curso de graduação, realizando um grande sonho.

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

RESUMO

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

Palavras-chave: Ar comprimido. Compressor. Dimensionamento do sistema. Layout de distribuição.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Custo de propriedade de um sistema de ar comprimido em 10 anos.....	15
Figura 2 - Produção, distribuição e tratamento do ar comprimido.....	16
Figura 3 - Classificação dos compressores.....	17
Figura 4 - Vista em corte do compressor de parafuso.....	18
Figura 5 - Tipos de redes de distribuição.....	21
Figura 6 - Instalação da linha de alimentação.....	21
Figura 7 - Instalação da linha de alimentação.....	22
Figura 8 - Dimensões (mm) da rede de distribuição.....	26
Figura 9 - Dimensões (mm) da rede de alimentação.....	26
Figura 10 - Diagrama para seleção de compressores.....	30
Figura 11 - Layout da montagem completa.....	32
Figura 12 - Linha completa da distribuição.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Singulares selecionadas.....	27
Quadro 2: Equipamentos pneumáticos.....	28
Quadro 3: Vazão de ar.....	28
Quadro 4: Especificações da rede de distribuição.....	33
Quadro 5: Dimensões das singulares.....	34
Quadro 6: Vazão unitária de cada linha.....	35
Quadro 7: Especificações da rede de alimentação.....	35
Quadro 8: Singulares da rede de alimentação.....	36
Quadro 9: Unidades de vazão e pressão.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	11
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	11
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.4 JUSTIFICATIVA	12
1.5 OBJETIVO GERAL.....	12
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 AR COMPRIMIDO	14
2.2 UTILIZAÇÃO DO AR COMPRIMIDO	14
2.3 PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO	15
2.4 COMPRESSORES	16
2.4.1 Compressores de deslocamento volumétrico ou dinâmicos.....	17
2.5 FILTRO DE AR.....	18
2.6 SECADOR DE AR	19
2.7 REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	20
2.8 RESERVATÓRIO DE AR	22
2.9 DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES.....	23
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	24
3.2 COLETA DE DADOS	25
3.2.1 Dimensões da tubulação.....	25
3.2.2 Vazão do sistema.....	27
3.2.3 Queda de pressão admitida.....	29
3.2.4 Pressão de regime	29
3.2.5 Seleção do compressor	29
3.2.6 Parâmetros para calcular o volume do reservatório.....	29
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 LAYOUT DE DISTRIBUIÇÃO	31
4.2 DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO.....	33
4.2.1 Rede de distribuição	33

4.2.1 Rede de alimentação	34
4.3 TIPO DE COMPRESSOR SELECIONADO	36
4.4 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE AR.....	37
CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39
ANEXOS	40

1 INTRODUÇÃO

O uso do ar comprimido na indústria é justificado pelo fato dele ser um condutor de energia para variadas áreas de aplicações industriais. No caso, conduz-se energia pneumática que será transformada em energia mecânica na maior parte das operações. Segundo Bosch (2008), o ar comprimido vem sendo aplicado como meio de racionalização do trabalho na indústria, e vem ocupando cada vez mais espaço em aplicações industriais. Porém, somente na metade do século XIX que este recurso atingiu o uso industrial.

Fialho (2011) comenta que a difusão do ar comprimido no Brasil aconteceu na década de 60, com a expansão da indústria automobilística. O mesmo foi implantado pela necessidade de produzir peças em série, pois demandava-se um grande número de operações repetitivas e conseqüentemente redução de custos e tempo de produção.

O ar comprimido é bastante aplicado nas indústrias como condutor de energia, possuindo um excelente grau de eficiência, sendo insubstituível em diversas áreas, executando operações com flexibilidade, gerando racionalização do trabalho, economia, além de proporcionar segurança ao trabalho.

A partir de uma necessidade, o objeto de estudo vem a ser um dimensionamento do sistema de ar comprimido para uma empresa, localizada na cidade de Horizontina/RS. A mesma, não possui uma rede de distribuição para alguns equipamentos novos, limitando determinadas atividades de produção, como movimentação de chapas, acabamento e montagem de conjuntos. O dimensionamento do sistema irá aumentar a qualidade e a capacidade de produção da empresa?

1.1 TEMA

O tema do presente trabalho é o dimensionamento de uma rede de ar comprimido que atenda a necessidade dos equipamentos utilizados na linha de produção de uma metalúrgica de pequeno porte. O dimensionamento deve atender os equipamentos novos e as futuras ampliações da empresa.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Para obter conhecimento sobre o assunto, será realizado um estudo sobre o dimensionamento de uma rede de ar comprimido, com o modelamento do *layout* de distribuição, o cálculo do diâmetro da tubulação e a seleção do compressor e reservatório de

ar. No trabalho não será considerada a vazão dos equipamentos pela frequência de utilização. O valor utilizado será o total gerado pela soma dos equipamentos.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Atualmente a empresa possui uma unidade de produção, tendo em vista a aquisição de alguns equipamentos para atender maior gama de clientes e serviços. Para instalação das máquinas e equipamentos novos a empresa alugou mais um pavilhão anexo ao pavilhão atual. A empresa optou em fazer uma reforma com a finalidade de unir os dois pavilhões e melhorar o layout para acomodar a nova produção. O problema surgiu justamente pelo fato de que a empresa possui sistema de ar comprimido somente para uma máquina de corte laser, o qual não tem capacidade suficiente para atender as novas instalações.

1.4 JUSTIFICATIVA

O dimensionamento do sistema ar comprimido justifica-se pelo fato da empresa utilizar o ar comprimido nos novos equipamentos, como ventosa pneumática para movimentação de chapas, lixadeiras, entre outros.

A implantação de um sistema bem dimensionado para atender a demanda atual de ar comprimido das máquinas pneumáticas, assim como oportunizar futuras ampliações dos pontos de consumo o sistema de ar comprimido é fundamental para a empresa aumentar sua produção com a aquisição dos novos equipamentos.

1.5 OBJETIVO GERAL

Dimensionar uma rede de distribuição de ar comprimido, que atenda a demanda de pressão e vazão requeridas pela ampliação da instalação em uma metalúrgica localizada na cidade de Horizontina, RS.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Planejar um sistema que atenda às necessidades atuais e futuras;
- Selecionar os acessórios da tubulação;
- Dimensionar a rede de distribuição;

- Selecionar o compressor de acordo com o sistema;
- Criar um layout do sistema de distribuição.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AR COMPRIMIDO

A compressão do ar ambiente resulta em uma fonte de energia conhecida como ar comprimido, o ar é puro, incolor e sem cheiro, sua composição resulta de uma mistura de oxigênio (21%), nitrogênio (78%) e alguns gases raros (1%) (METALPLAN, 2010).

O ar comprimido é uma de energia armazenada, que é utilizado para operar equipamentos pneumáticos. O ar comprimido é empregado em processos de fabricação industriais, exercendo funções de acionamento mecânico, transporte de materiais e propulsão de ferramentas pneumáticas (KARMOUCHE, 2009).

2.2 UTILIZAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

Segundo Rollins (2004), existem várias possibilidades de aplicações do ar comprimido, devido a sua simplicidade, flexibilidade e segurança em uma unidade fabril de pequeno a grande porte. As principais aplicações do ar comprimido são:

- Atuação de ferramentas e motores pneumáticos;
- Sistemas de pintura;
- Jatos de areia;
- Componentes pneumáticos lubrificados e não lubrificados;
- Ar de instrumentação;
- Ar de respiração;
- Teares jato de ar;
- Aeração de tratamento de efluentes;
- Processamento de alimentos;
- Transporte pneumático.

Referente ao emprego de ar comprimido um fator muito importante está relacionado ao gasto energético necessário para sua obtenção, Figura 1. Estima-se que em um ano comprime-se em torno de cinco bilhões de toneladas de ar, levando a um gasto energético da ordem de 400.000 GWh. Para efeito de comparação, a usina hidrelétrica de Itaipu produziu, em 2010, 86.000 GWh. Já o consumo energético do Brasil no ano de 2010 foi de 420.000

GWh. O custo total com ar comprimido atingiu a ordem de 33 bilhões de reais (METALPLAN, 2010).

Figura 1 - Custo de propriedade de um sistema de ar comprimido em 10 anos.



Fonte: Adaptado de Metalplan, 2010.

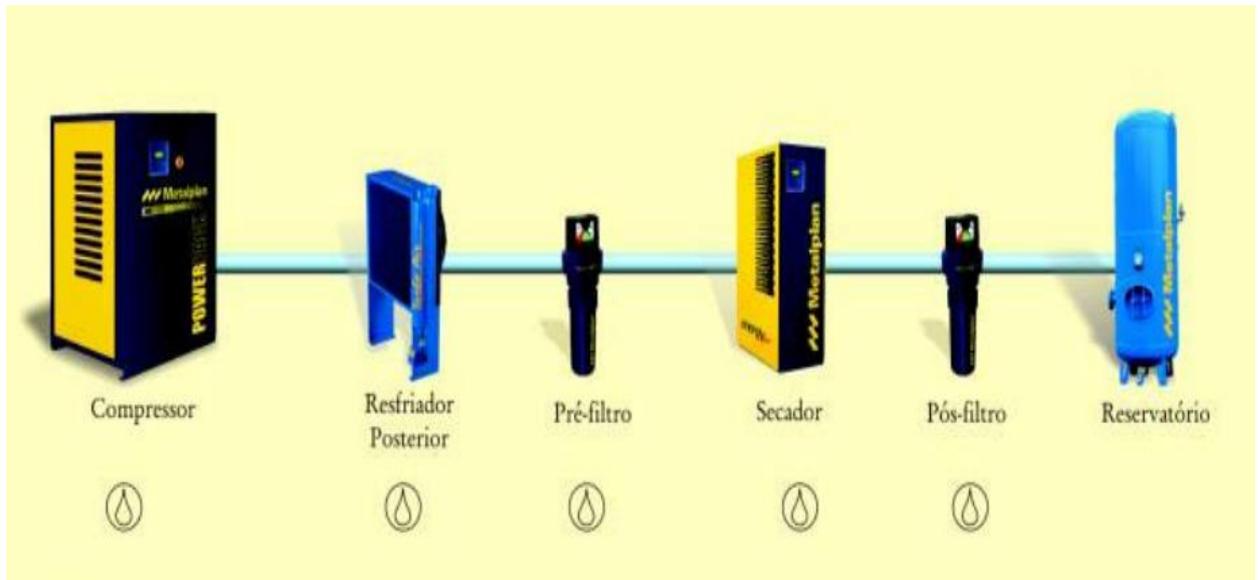
O ar comprimido é uma fonte de energia que possui uma demanda muito alta energia elétrica para sua produção, portanto sua aplicação pode custar de sete a dez vezes mais que a energia elétrica em uma aplicação similar. Segundo Metalplan (2010), no meio industrial 100 m³ de ar comprimido custa cerca de R\$ 0,85 apenas em energia elétrica. Os principais fatores que justificam o uso dessa forma de energia são flexibilidade, conveniência, segurança e relativa facilidade de armazenamento.

2.3 PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

De acordo com Jesus (2012) o ar comprimido passa por uma série de etapas antes de ser utilizado. Estas etapas são indispensáveis para o correto funcionamento dos equipamentos pneumáticos e o aumento da vida útil de seus componentes, a mesma está vinculada a produção e o tratamento do ar até ser distribuído nas máquinas. A Figura 2 apresenta um típico sistema de ar comprimido.

O sistema representado na Figura 2 abrange os equipamentos necessários para fornecer ar comprimido de qualidade. O ar comprimido é produzido na unidade de geração e distribuído na fábrica. Após a compressão, o ar sofre um tratamento envolvendo a remoção de impurezas e umidade a fim de atender as exigências de qualidade do sistema à que ele se destina (SILVA, 2002).

Figura 2 - Produção, distribuição e tratamento do ar comprimido.



Fonte: Silva, 2002, p. 25.

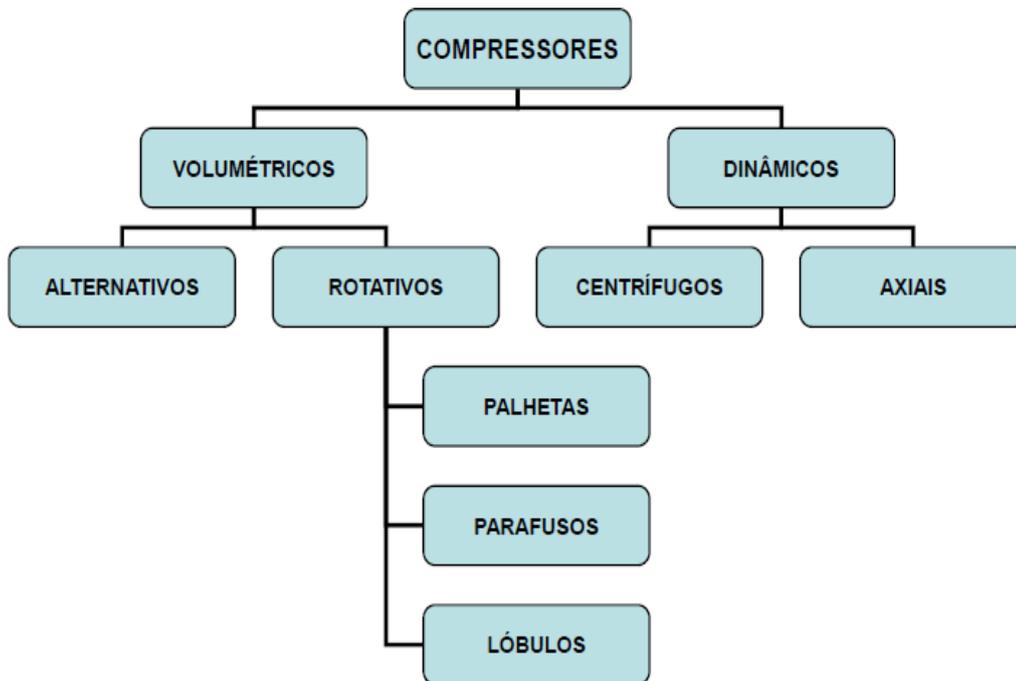
Conforme apresentado na Figura 2, o ar aspirado pelo compressor passa pelo filtro que tem a função de reter impurezas existentes no ar, com o objetivo de proteger o compressor. Após a filtragem, o ar é comprimido pelo compressor. Após o processo de compressão, a temperatura do ar se eleva, sendo necessário o processo de resfriamento com o auxílio de um resfriador. O próximo passo é o processo de secagem, que tem a finalidade de retirar a umidade presente no ar. Em seguida o ar é armazenado no reservatório, com o intuito de garantir uma reserva de ar, garantindo uma pressão constante na linha durante as flutuações, evitando o acionamento contínuo do compressor. A última etapa contempla a distribuição do ar pela rede, onde ele será ajustado de acordo com as necessidades de cada equipamento, com o auxílio de unidades de preparação de ar (JESUS, 2012).

2.4 COMPRESSORES

Jesus (2012) afirma que o compressor define-se como uma máquina de fluxo onde a energia mecânica ou elétrica é transformada em energia de pressão (ar comprimido), por meio da compressão do ar ambiente.

O compressor possui a função e aumentar a energia dos gases ocasionada pelo aumento da pressão. O compressor aspira ar atmosférico e o comprime, elevando sua pressão até um valor determinado à realização de trabalho (CORADI, 2011). A Figura 3 apresenta a classificação dos compressores.

Figura 3 - Classificação dos compressores.



Fonte: Adaptado de Parker Training, 2006, p. 12.

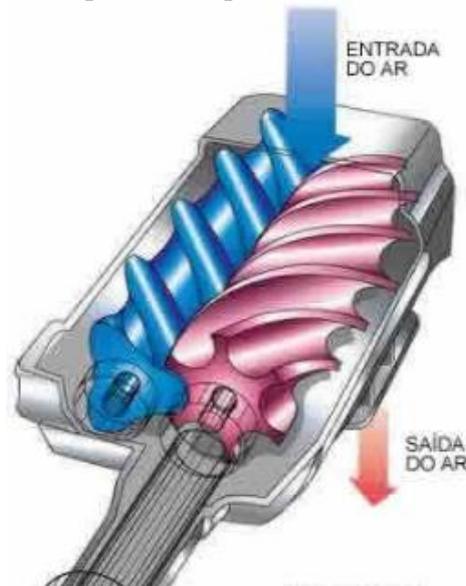
2.4.1 Compressores de deslocamento volumétrico ou dinâmicos

De acordo com Fialho (2011) nos compressores volumétricos, o ar é deslocado para uma ou mais câmaras de compressão. Aos poucos o volume da câmara diminui e o ar é comprimido internamente. Quando o ar atinge a pressão máxima a válvula é aberta e o ar é descarregado pelo sistema de saída.

Já nos compressores dinâmicos o ar é deslocado entre lâminas sobre um impulsor de compressão por rotação rápida e atinge uma velocidade elevada. Posteriormente o ar é descarregado através de um difusor, onde a energia cinética é transformada em pressão estática. Estes tipos de compressores ocupam a gama das grandes vazões e das grandes potências, em virtude de seu alto rendimento e suas dimensões moderadas (HENN, 2006).

Segundo Fialho (2011) o compressor de deslocamento volumétrico rotativo realiza a sucção e compressão do ar por meio de movimentos rotacionais até o ar atingir a pressão de utilização. O compressor rotativo de parafuso mostrado na Figura 4, é composto por dois rotores helicoidais em forma de parafusos que giram em sentidos opostos, portanto o ar é deslocado de forma contínua entre os parafusos com isso a partir do engrenamento de um determinado filete o espaço disponível para o gás vai diminuindo e provocando a compressão.

Figura 4 - Vista em corte do compressor de parafuso.



Fonte: Adaptado de Fialho, 2011, p. 49.

2.5 FILTRO DE AR

Filtros são sistemas utilizados na filtragem do ar, mantendo a quantidade de sujeira e materiais abrasivos dentro de limites aceitáveis para o bom funcionamento e vida útil do sistema de ar comprimido. Eles são capazes de reter umidade e partículas presentes no ar (CORADI, 2011). O filtro de ar é aplicado em três pontos diferentes no sistema de ar comprimido. Um filtro antes, um depois do secador de ar e outro no ponto de uso (METALPLAN, 2010).

Metalplan (2010) relata que a instalação do filtro antes do secador (pré-filtro) tem como função separar o restante do condensado e impurezas que não foram totalmente eliminadas no processo de resfriamento, aumentando assim a eficiência do secador de resfriar o ar comprimido. Já a instalação do filtro após o secador de ar (pós-filtro) exerce a função de eliminar a umidade residual e as partículas sólidas.

De acordo com Coradi (2011) o ar que circula na rede de distribuição pode conter umidade, impureza e contaminantes. A maior parte dessas impurezas é eliminada no processo de tratamento do ar, mas as partículas menores que não foram retidas nesse processo ficam no interior da canalização e são deslocadas pelo fluxo do ar comprimido, chegando até a alimentação das máquinas pneumáticas, agindo como abrasivos, prejudicando seu funcionamento. O filtro instalado no ponto de uso é empregado para minimizar esse problema, proporcionando uma melhor qualidade do ar.

É importante destacar o filtro de ar de admissão posicionado juntamente ao compressor, pois, durante o funcionamento, os compressores realizam a movimentação de volumes significativos de ar e, embora não seja perceptível, o ar apresenta impurezas que podem acumular em quantidades consideráveis se o ponto de entrada de ar não estiver em um local adequado (BUCK, 2004).

2.6 SECADOR DE AR

O ar possui vapor d'água que pode condensar devido à variação da pressão e temperatura ao longo da rede de distribuição do ar comprimido. Drenos e filtros separadores de água têm o papel de retirar esse condensado da linha pneumática. Porém, tais componentes não são capazes de retirar vapor d'água, por isso torna-se conveniente o uso de secadores de ar (SILVA, 2002).

Conforme Gresh *apud* Coradi (2011), a compra de um secador de ar comprimido é um alto investimento para a empresa. Um secador pode representar 25% do valor total da instalação do ar comprimido. No entanto, o custo da aquisição do secador é compensado pelos inúmeros benefícios que ele traz, minimizando os prejuízos causados pelo ar úmido, como por exemplo: substituição de componentes pneumáticos, impossibilidade de utilizar o ar em algumas operações e o refugo gerado na produção de produtos. Diante do exposto, pode-se concluir que o uso do secador torna-se benéfico ao sistema.

Conforme Coradi (2011) são múltiplos os meios de secagem do ar comprimido. Os três mais utilizados no mercado industrial e com melhores resultados finais são:

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

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

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

2.7 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

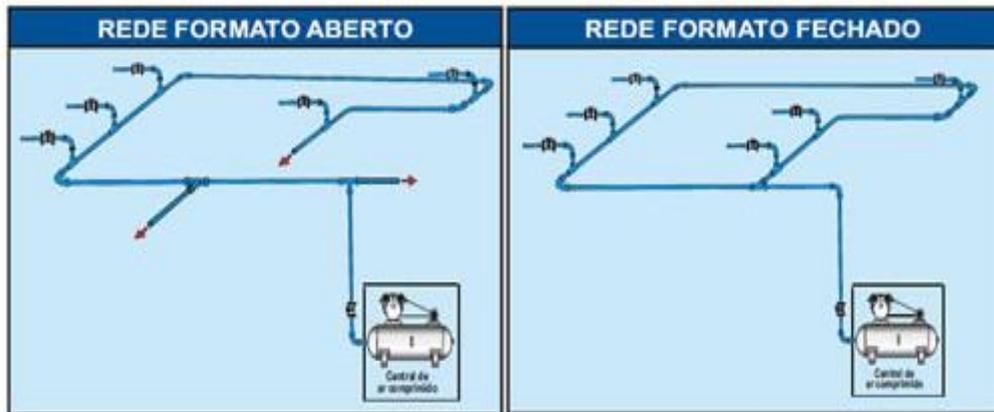
A rede de distribuição do ar comprimido é composta por tubulações que ligam o reservatório aos pontos de utilização. Para ter a eficiência máxima na distribuição do ar comprimido é importante a definição de um *layout* adequado que apresente a rede de distribuição principal, as ramificações e os pontos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

Jesus (2012) relata que a instalação das tubulações deve ser feita em locais adequados para facilitar o trabalho de manutenções periódicas, auxiliando a detecção de vazamentos de ar. Pequenos vazamentos podem parecer insignificantes, mas provocam expressivas perdas de pressão que conseqüentemente reduzem a eficiência do sistema. Existem dois tipos principais de redes de distribuição: rede em circuito aberto e a rede em circuito fechado, apresentadas na Figura 5.

Conforme Fialho (2011) a rede em circuito aberto é aplicada quando se deseja alimentar pontos isolados ou com maior distância da unidade de geração. Pelo fato do ar comprimido fluir em uma única direção nesta configuração de rede de distribuição, os pontos de consumo dificilmente serão alimentados uniformemente.

A configuração de rede mais aplicada no setor industrial é o sistema de rede em circuito fechado. Nesse sistema, a rede de distribuição ocupa toda a extensão da fábrica, fazendo com que ocorra uma distribuição uniforme de ar comprimido em todos os sentidos, pelo fato do ar fluir nos dois sentidos. Esse sistema tem com vantagem a instalação de novos pontos de consumo, que não foram previstos no projeto (FIALHO, 2011).

Figura 5 - Tipos de redes de distribuição.

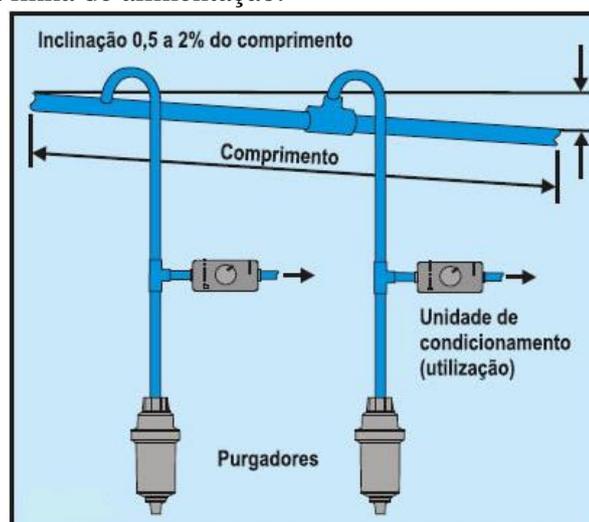


Fonte: Adaptado de Silva, 2002, p. 36 e p. 37.

Ao circular pela tubulação da rede o ar sofre o efeito da condensação, devido às variações de temperatura ambiente, que ocorrem ao longo do dia. Para que a condensação não prejudique o funcionamento dos equipamentos pneumáticos, ela é retirada do sistema através de purgadores instalados na extremidade final das linhas de alimentação (FIALHO, 2011).

A tubulação principal deve possuir uma inclinação de 0,5 a 2% do comprimento do tubo no sentido do fluxo, para que eventuais condensações e impurezas presentes ao longo da tubulação sejam recolhidas com maior facilidade, sendo eliminadas por meio de drenos (FARIA, 2007).

Figura 6 - Instalação da linha de alimentação.



Fonte: Parker Training, 2006, p. 53.

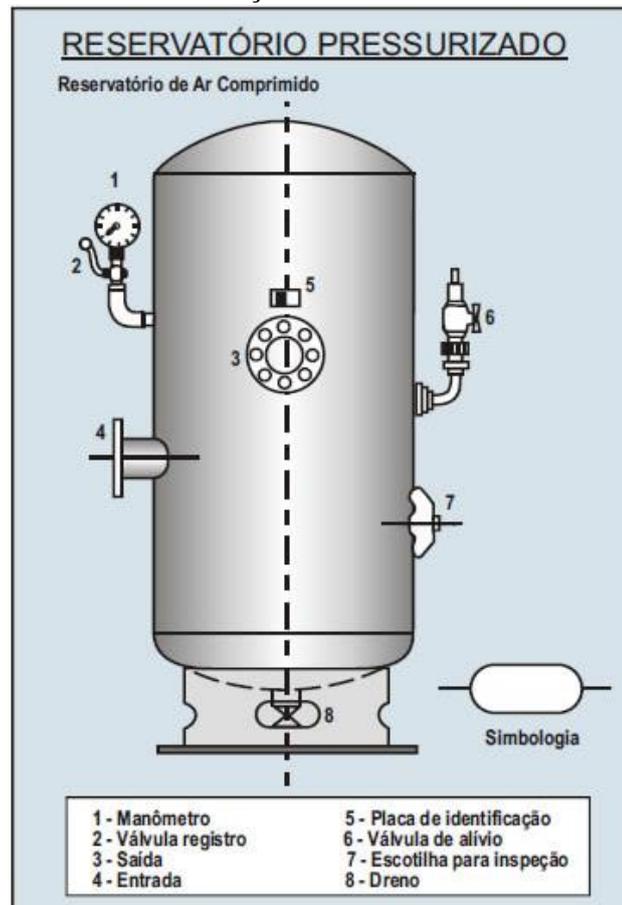
Coradi (2011) afirma que é importante à utilização de válvulas de fechamento na rede de distribuição de ar comprimido, permitindo que ela possa ser dividida por seções, ficando assim isoladas, possibilitando sua inspeção e manutenção. Dessa forma, evita-se a paralisação da linha produção da empresa.

2.8 RESERVATÓRIO DE AR

Para Parker (2006) é extremamente importante à utilização do reservatório, Figura 7, em uma rede de ar comprimido que possua capacidade para atender o consumo de ar do sistema. Em geral o reservatório exerce as seguintes funções:

- Armazenar o ar comprimido;
- Resfriar o ar auxiliando na eliminação do condensado;
- Compensar as flutuações de pressão em todo o sistema de distribuição;
- Estabilizar o fluxo de ar;
- Controlar as marchas dos compressores.

Figura 7 - Instalação da linha de alimentação.



Fonte: Parker Training, 2006, p. 20.

Na seleção de reservatórios de ar comprimido, deve-se ter atenção especial com relação à segurança. São inúmeros casos de acidentes fatais que envolvem reservatórios fora de normas técnicas e que não são inspecionados periodicamente, sendo tais inspeções obrigatórias pela legislação brasileira (METALPLAN, 2010).

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

2.9 DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

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. Mas, para isso, deve-se ajustar os valores das variáveis vazão e comprimento total.

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

Onde:

d = Diâmetro interno da tubulação, (mm);

Q = Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação, (m³/h);

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

ΔP = Queda de pressão admitida: Perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades, (kgf/cm²);

P = Pressão de regime: Pressão do ar armazenado no reservatório, (kgf/cm²).

3 METODOLOGIA

Este estudo surgiu da necessidade de ampliação dos processos de produção da empresa para atender maior diversidade de clientes resultou no dimensionamento de uma rede pneumática.

Neste sentido, a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento do trabalho, baseou-se em Gil (2008), que caracteriza a pesquisa como exploratória descritiva, por explorar a questão de pesquisa que trata de como o dimensionamento do sistema irá aumentar a qualidade e a capacidade de produção da empresa.

Desta forma, um sistema de ar comprimido bem dimensionado poderá proporcionar um menor custo de produção para a empresa, em virtude do menor consumo de energia, além de um melhor rendimento e maior vida útil dos equipamentos pneumáticos. Diante disso, procurou-se determinar da maneira mais simples possível, o melhor caminho para efetuar o dimensionamento do sistema de ar comprimido.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Utilizou-se a pesquisa aplicada para responder o objetivo geral que mostra o dimensionamento de uma rede de distribuição de ar comprimido que atenda a demanda de pressão e vazão requeridas pela ampliação da instalação em uma metalúrgica localizada na cidade de Horizontina, RS.

Para responder os objetivos específicos foi utilizada a pesquisa bibliográfica elaborada a partir de material já publicado, constituído por livros, manuais, internet, catálogos técnicos entre outros disponíveis ao público em geral.

Utilizou-se por meio do levantamento dos itens que foram utilizados para efetuar os cálculos da tubulação, volume do reservatório e definição do tipo de compressor com todo o embasamento teórico, buscou-se ainda o levantamento de informações para o dimensionamento da rede de distribuição, dentre elas:

- Verificou-se os equipamentos que possuem necessidade do uso de ar comprimido;
- Coletou-se as dimensões da fábrica para o desenvolvimento doo layout de distribuição;
- Com o modelamento da rede de distribuição, identificou-se o comprimento da linha principal e linhas secundárias;

- Levantou-se as singulares necessárias e dimensões para união das tubulações;
- Através do catálogo de fabricantes, coletou-se o volume de ar necessário de cada equipamento para o seu funcionamento;
- Com o volume total de ar identificado, definiu-se um acréscimo de 40% no volume para futuras ampliações da empresa;
- Determinou-se a pressão de regime do sistema;
- A partir dos dados necessários para o cálculo, dimensionou-se o diâmetro da tubulação da linha principal e secundárias;
- De acordo com as informações de vazão de ar, selecionou-se o compressor que atenda as necessidades;
- Conforme os parâmetros do compressor identificou-se o volume do reservatório de ar.

3.2 COLETA DE DADOS

3.2.1 Dimensões da tubulação

Pelo fato da unidade de produção não possuir desenho da planta utilizou-se uma trena para determinar as dimensões totais da fábrica. Através dos valores encontrados elaborou-se um desenho da planta baixa no Solid Works com o intuito de simular configuração de distribuição mais apropriada e simultaneamente extrair as medidas lineares da tubulação. As dimensões da rede de distribuição estão apresentadas na Figura 8.

A rede de distribuição conduz o ar comprimido do reservatório até as redes de alimentação. O detalhamento possibilitou determinar o comprimento linear da tubulação através da soma de todas as extremidades onde se obteve o comprimento de 82,8 m. Seguindo o mesmo conceito para rede de alimentação a qual exerce a função de distribuir o ar comprimido para os pontos de consumo dos equipamentos, o comprimento linear será de 3 m como pode-se verificar na Figura 9.

Conforme Parker (2006) a seleção da conexões utilizadas na rede é muito importante, e as mais adequadas são as de raio longo que proporcionam maior fluxo de ar assim evitando perdas de carga por turbulência. Durante essa avaliação foram definidas as singulares especificadas no Quadro 1, que tem a função de interligar ou em alguns casos bloquear as linhas.

Figura 8 - Dimensões (mm) da rede de distribuição.

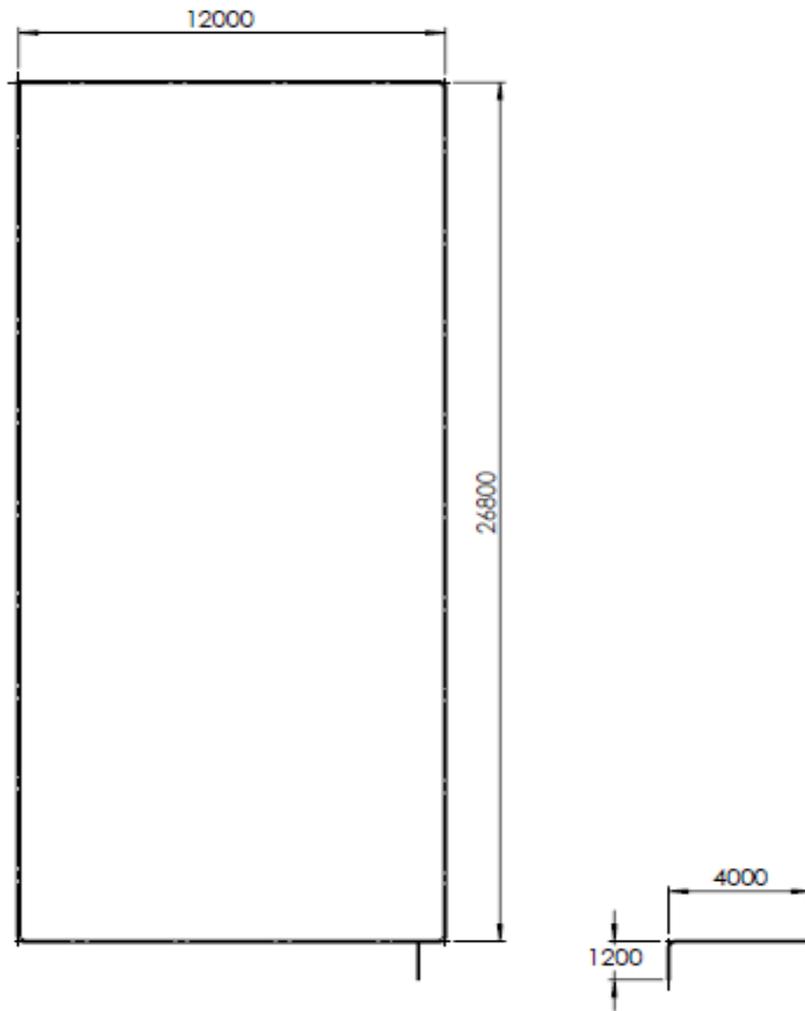
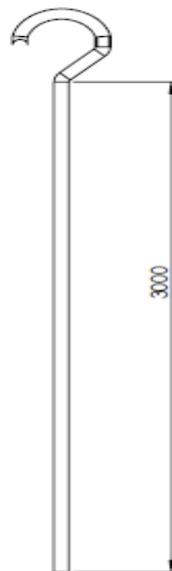


Figura 9 - Dimensões (mm) da rede de alimentação.



Quadro 1: Singulares selecionadas.

Rede de Distribuição		Rede de Alimentação	
	Curva 90° Raio longo roscada		Curva 180° raio longo roscada
	Tê fluxo dividido roscado		Curva 45° roscada
	Valvula gaveta roscada		Tê fluxo dividido roscado
			Valvula gaveta roscada

3.2.2 Vazão do sistema

Pode-se identificar como a capacidade de ar requerida pelo sistema para o funcionamento dos equipamentos que utilizam o ar comprimido como fonte de energia. Diante disso, buscou-se levantar os equipamentos pneumáticos da empresa e as especificações de consumo de ar e pressão de trabalho de cada equipamento de acordo com o fabricante.

Para obter informações técnicas, levantou-se os equipamentos que são alimentados pela rede de ar comprimido e a funcionalidade dos mesmos, como pode-se observar no Quadro 2.

Com o intuito de identificar a vazão de ar requerida para cada equipamento buscou-se informações dos fabricantes. Para obter-se o consumo de ar da máquina de corte laser consultou-se especificações do manual técnico do equipamento (anexo A), seguindo a mesma metodologia para o movimentador de chapas extraíu-se as informações do catálogo do fabricante (anexo B) e para os demais equipamentos os dados foram coletados do catálogo (anexo C).

As informações da vazão de ar total e unitária juntamente com a pressão de trabalho de cada equipamento podem ser analisadas no Quadro 3. Como pode-se observar a vazão total dos equipamentos é de 436,2 m³/h. Para o dimensionamento da tubulação a vazão total deve ser somada com o valor estipulado para futuras ampliações na empresa.

De acordo com a Parker (2006) após a vazão total dos equipamentos definida deve-se estabelecer um fator entre 20% e 50% para futuras ampliações da empresa. Seguindo este conceito analisou-se a possibilidade máxima de crescimento da empresa nas futuras

instalações, chegando a uma porcentagem de 40% . Realizou-se a soma com a vazão total dos equipamentos, o valor originado foi de 610,6 m³/h.

Quadro 2: Equipamentos pneumáticos.

EQUIPAMENTOS		UTILIZAÇÃO
	Máquina de corte laser	Cortar chapas de aço e inox
	Movimentador de chapas	Posicionar as chapas sobre a mesa da Laser
	Furadeira	Retrabalhar furos, fazer furação que não necessita precisão
	Esmerilhadeira	Remoção de rebarbas, acabamento do conjuntos soldados
	Chave de impacto 3/4"	Aperto de parafusos que necessitam maior torque
	Parafusadeira	Montagem de conjuntos
	Bico de limpeza	Remoção de impurezas nas peças

Quadro 3: Vazão de ar.

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	PRESSÃO (kgf/cm ²)	CONSUMO (m ³ /h)	CONSUMO TOTAL (m ³ /h)
Máquina de corte Laser	1	6	45	45
Esmerilhadeira	3	6	50,4	151,2
Furadeira	3	6	30,6	91,8
Bico de Limpeza	4	6	10,2	40,8
Movimentador de Chapas	1	6	3	3
Parafusadeira	2	6	30,6	61,2
Chave de impacto 3/4"	1	6	43,2	43,2
CONSUMO TORAL				436,2

3.2.3 Queda de pressão admitida

Para o dimensionamento da tubulação, dever-se considerar a queda de pressão, também conhecida como perda de carga que ocorre por atrito do ar com a tubulação durante o fluxo. Os valores variam de 0,3 kgf/cm² para tubulações menores e 0,5 kgf/cm² para tubulações acima de 500 m de comprimento (FIALHO, 2011).

Seguindo este embasamento utilizou-se a queda de pressão admitida de 0,3 kgf/cm² pelo fato do comprimento total da tubulação atingir 82,8m.

3.2.4 Pressão de regime

Para Fialho (2011) a pressão de regime é a pressão efetiva fornecida pelo compressor e conseqüentemente a pressão em que o ar se encontra armazenado no reservatório, a pressão de regime gira em torno de 7 a 12 kgf/cm².

Os equipamentos analisados na empresa operam na pressão de 6 kgf/cm², no entanto para que o ar atinga os pontos de alimentação com a pressão especificada pelos equipamentos deve-se considerar a pressão do reservatório, em consequencia das perdas de carga durante a distribuição do ar.

Com esse intuito, a pressão considerada para calculo do diâmetro das tubulações será de 10 kgf/cm².

3.2.5 Seleção do compressor

Para o correto dimensionamento de um compressor faz-se necessário levar em conta as especificações de volume de ar fornecido e pressão de trabalho (PARKER, 2006).

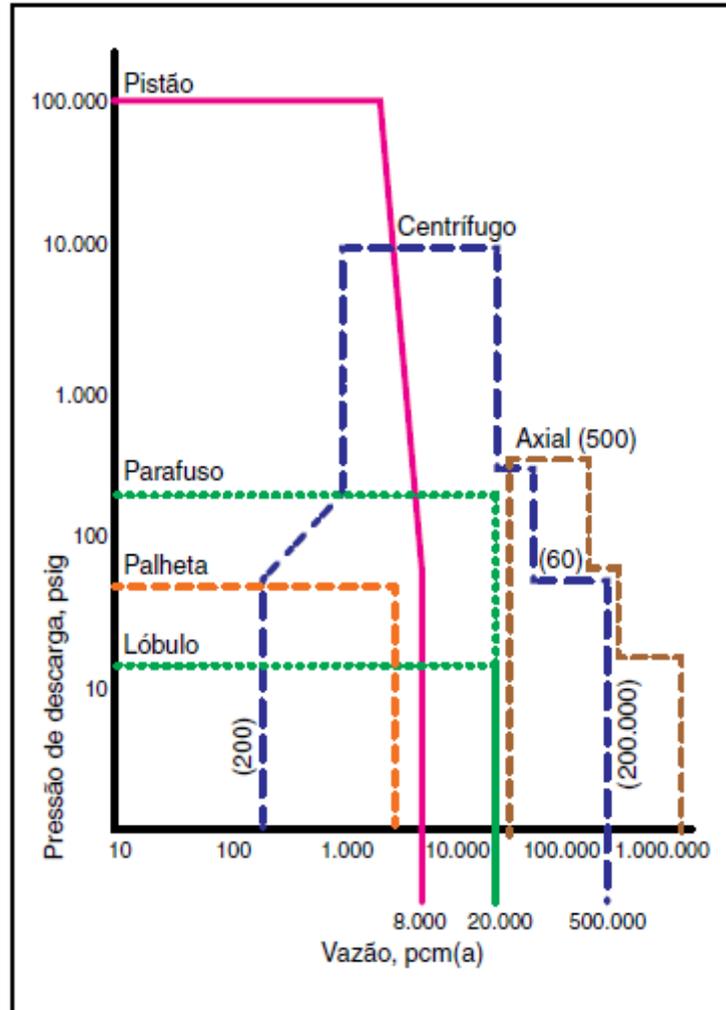
Para a escolha do compressor coletou-se os dados de pressão de trabalho e vazão do sistema através de manuais dos fabricantes, consultou-se o tipo de compressor a ser utilizado no diagrama de seleção de compressores Figura 10.

3.2.6 Parâmetros para calcular o volume do reservatório

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

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

Figura 10 - Diagrama para seleção de compressores.



Fonte: Parker Training, 2006, p. 19.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Na análise dos dados foi utilizado a análise quantitativa e qualitativa. Sendo que na análise quantitativa utilizou-se os cálculos para definir o diâmetro interno da tubulação, foi desenvolvido um *Layout* da rede de distribuição, selecionado o tipo de compressor e calculado o volume de reservatório de ar comprimido, elaborando quadros, gráficos, desenhos entre outros.

Na análise qualitativa descreveu-se os resultados dos dados obtidos por meio da análise descritiva dos cálculos efetuados para o diâmetro da tubulação e o volume do reservatório.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com o tema deste trabalho, o dimensionamento da rede está vinculado ao aumento de produtividade da empresa, o mesmo deve apresentar o dimensionamento e seleção dos equipamentos adequados para a rede de distribuição. Seguindo os objetivos específicos, conseqüentemente atingiu-se o objetivo principal, dimensionar uma rede de ar comprimido. A implantação da rede resultara na melhoria do processo em termos de tempo de produção, facilidade de manuseio dos equipamentos e segurança aos colaboradores, desta forma a empresa poderá atingir uma gama maior de clientes.

4.1 LAYOUT DE DISTRIBUIÇÃO

O desenvolvimento do layout possibilitou a distribuição da rede virtualmente, simulando a configuração mais adequada de circuito conforme a necessidade da empresa. Através das dimensões coletadas da unidade de produção desenvolveu-se o modelamento do layout, definindo a caminho percorrido pela rede de distribuição e os pontos de alimentação necessários para cada processo.

A exatidão do dimensionamento juntamente com determinação da configuração de circuito é essencial para que o ar comprimido chegue aos pontos de alimentação com a quantidade necessária requerida pelos equipamentos, além de resultar na redução da perda de carga do sistema diminuindo o custo de produção. Definiu-se a configuração de circuito fechado para o sistema, tendo em vista que o mesmo garante maior estabilidade no fluxo do ar com uniformidade em todos os sentidos. A simulação virtual da planta e da rede de distribuição foi desenvolvida em *software* de modelamento 3D. O layout de distribuição pode ser observado na Figura 11.

Com o modelamento do sistema, obtiveram-se as dimensões das tubulações da linha de distribuição e de alimentação, as mesmas são utilizadas para o dimensionamento do diâmetro da tubulação a ser utilizada. Conforme a Figura 12 pode-se analisar o detalhamento do sistema, desde a geração até a alimentação.

Figura 11 - Layout da montagem completa.

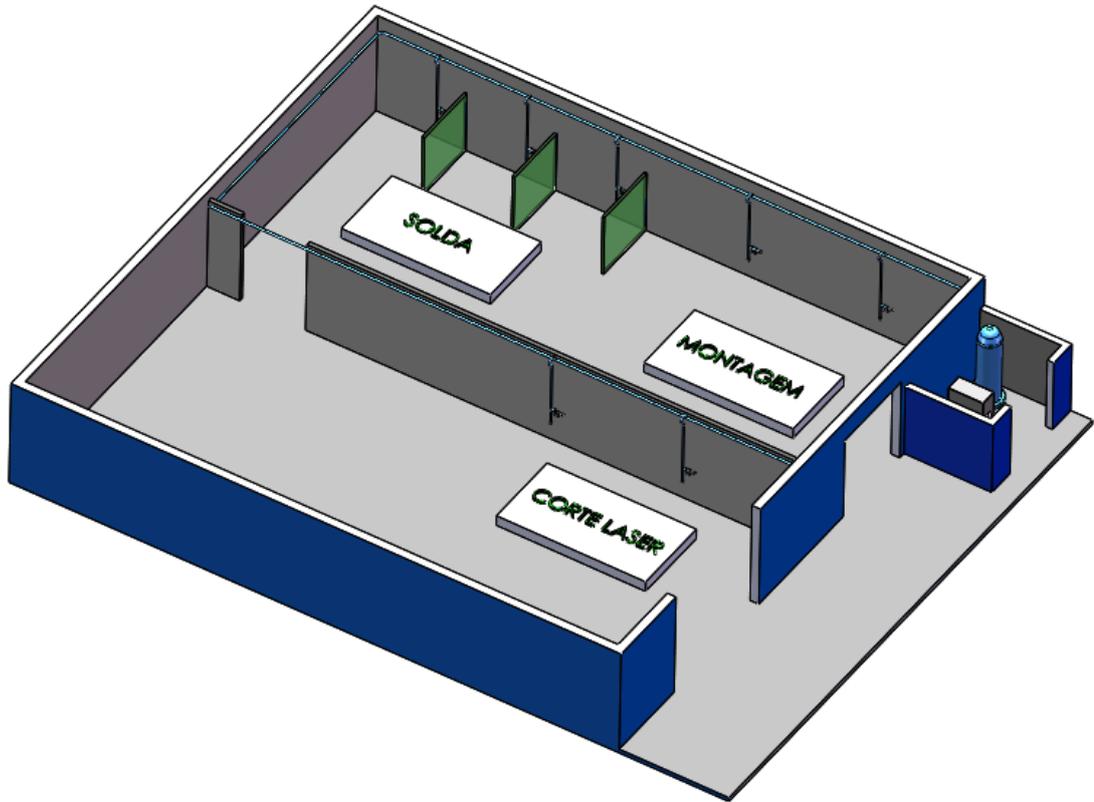
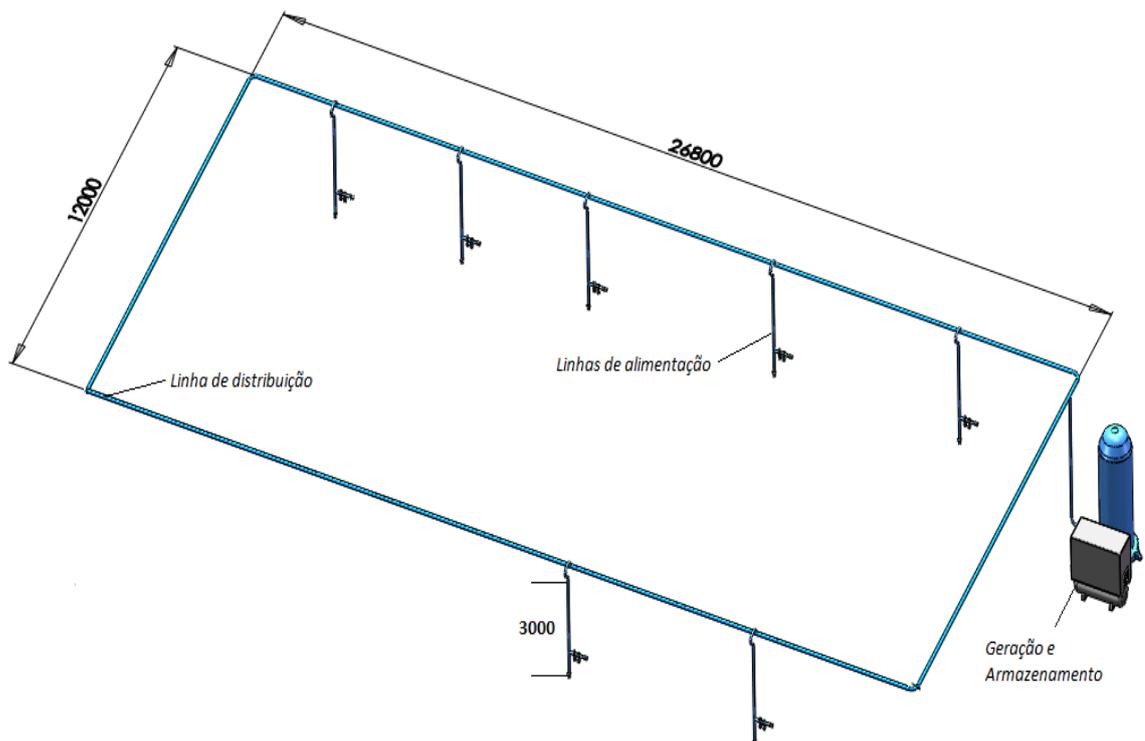


Figura 12 - Linha completa da distribuição.



4.2 DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO

O dimensionamento da tubulação foi subdividido em duas etapas. Conforme está especificado na Figura 9, a primeira abrange a rede de distribuição, a qual leva o ar do reservatório de armazenagem passando pela linha principal até a linha de alimentação, este que tem a função de levar o ar até as saídas de alimentação dos equipamentos pneumáticos, o qual será dimensionado na segunda etapa.

4.2.1 Rede de distribuição

Para o dimensionamento, obtiveram-se informações como vazão e pressão de trabalho dos equipamentos e dimensões da rede que foram extraídas do layout desenvolvido.

No primeiro momento desconsiderou-se o comprimento das singulares aplicadas ao sistema, apenas foi considerado o comprimento retilíneo da tubulação. A especificação do sistema será apresentado no Quadro 4.

Quadro 4: Especificações da rede de distribuição.

Comprimento da tubulação	82,8 m
Vazão de ar + 40%	610,6 m ³ /h
Pressão de regime	10 kgf/cm ²
Queda de pressão admitida	0,3 kgf/cm ²

Para determinação do diâmetro nominal, aplicou-se as informações na Equação 1.

$$d = 10 \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 610,6^{1,85} \cdot 82,8}{0,3 \cdot 10}}$$

$$d = 57,96 \text{ mm}$$

Através da aplicação obteve-se o diâmetro interno nominal de 57,96 mm, para verificar o diâmetro comercial mais aproximado deve-se considerar o valor maior ou igual ao diâmetro nominal. Consultando o (anexo D) para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A 120 SCHEDULE 40 foi possível identificar o diâmetro comercial de 62,7 mm o qual corresponde a 2.1/2 polegadas.

Com a especificação do diâmetro comercial é possível analisar o quadro (anexo E) e identificar o comprimento das singulares. As dimensões encontradas estão apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Dimensões das singulares.

SINGULARES	QUANTIDADE	COMPRIMENTO (m)	COMPRIMENTO TOTAL POR ITEM (m)
Curva 90° raio longo roscada	5	1,1	5,5
"T" fluxo dividido	8	3,9	31,2
válvula gaveta roscada	4	0,46	1,84
		Comprimento total (L2)	38,54

Conhecendo as dimensões das singulares redimensionou-se o comprimento total da linha somando o comprimento de singulares com o comprimento linear da tubulação.

$$L_t = L_1 + L_2$$

$$L_t = 82,8\text{m} + 38,54\text{m}$$

$$L_t = 121,34\text{m}$$

Para analisar a variação do diâmetro nominal aplicou-se novamente a Equação 1, utilizando o comprimento total encontrado.

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 610,6^{1,85} \cdot 121,34}{0,3 \cdot 10}} \right]$$

$$d = 62,56 \text{ mm}$$

Após o redimensionamento com o acréscimo do comprimento de singulares o valor do diâmetro nominal encontrado foi de 62,56 mm, o mesmo teve uma variação de 4,6mm em relação ao primeiro cálculo. Definiu-se que o valor encontrado está dentro dos requisitos, pois está abaixo do diâmetro comercial definido que foi de 62,7 mm referente a 2.1/2 polegadas.

4.2.1 Rede de alimentação

O dimensionamento das redes de alimentação segue a mesma premissa usada para os cálculos da rede de distribuição, através da aplicação da Equação 1.

Para essa análise deve-se dividir a vazão do sistema pelo número de linhas existentes, Quadro 6, e o comprimento a ser utilizado refere-se à dimensão linear da linha.

Quadro 6: Vazão unitária de cada linha.

Vazão total (m ³ /h)	Nº de linhas	Vazão unitária da linha (m ³ /h)
610,6	7	87,2

As especificações para o dimensionamento da rede de alimentação estão apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7: Especificações da rede de alimentação.

Comprimento da tubulação	3 m
Vazão de ar + 40%	87,2 m ³ /h
Pressão de regime	10 kgf/cm ²
Queda de pressão admitida	0,3 kgf/cm ²

Aplicou-se as informações coletadas na equação 1 visando obter o diâmetro nominal da linha de alimentação.

$$d = 10 \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 87,2^{1,85} \cdot 3}{0,3 \cdot 10}}$$

$$d = 14,52 \text{ mm}$$

O diâmetro interno obtido foi de 14,52 mm, seguindo o mesmo conceito aplicado a rede de distribuição analisou-se o (anexo D) para verificar o diâmetro comercial aplicável ao dimensionamento. O tubo selecionado possui o diâmetro interno de 21 mm referente à ¾ polegadas.

A partir da especificação do tubo verificou-se no (anexo E) o comprimento das singulares contidas na rede de alimentação. As informações estão expostas no Quadro 8.

O comprimento de 3,66 m obtido das singulares será acrescentado ao comprimento linear do tubo, o resultado obtivo foi:

$$L_t = L_1 + L_2$$

$$L_t = 3\text{m} + 3,66\text{m}$$

$$L_t = 6,66 \text{ m}$$

Para verificar se o tubo comercial selecionado atende os requisitos aplicou-se novamente a Equação 1.

$$d = 10 \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 87,2^{1,85} \cdot 6,66}{0,3 \cdot 10}}$$

$$d = 17,04 \text{ mm}$$

Pode-se notar que o diâmetro nominal teve uma variação de 2,52 mm com o redimensionamento utilizando as dimensões de singulares. O valor de 17,04 mm ficou dentro dos requisitos para o tubo comercial de 21 mm que corresponde a ¾ polegadas.

Quadro 8: Singulares da rede de alimentação.

SINGULARES	QUANTIDADE	COMPRIMENTO (m)	COMPRIMENTO TOTAL POR ITEM (m)
Curva 180° raio longo roscada	1	1,3	1,3
Curva 45° roscada	2	0,28	0,56
Válvula gaveta roscada.	1	0,2	0,2
"T" fluxo dividido	1	1,6	1,6
		Comprimento total (L2)	3,66

4.3 TIPO DE COMPRESSOR SELECIONADO

Para selecionar o compressor utilizou-se os valores de vazão do sistema e pressão de regime já identificados. Para a análise a vazão foi convertida para pés cúbicos por minuto (pcm) e a pressão para libra por polegada quadrada (psi), conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9: Unidades de vazão e pressão.

Vazão	Pressão
610,6 m ³ /h	10 kgf/cm ²
359,4 pcm	142,2 psi

Com os valores identificados, analisou-se o compressor que atende as especificações pelo gráfico (anexo F).

Verificando o (anexo F), é possível analisar que existem duas possibilidades de uso, o compressor de pistão ou de parafuso. Portanto como visto, o compressor selecionado foi rotativo de parafuso pelo seu custo benefício e eficiência.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE AR

De acordo com a especificação temos a vazão total de 610,6 m³/h que equivale a 10,17 m³/min. Seguindo a aplicação temos:

$$VR = 10\% \times 10,17 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$VR = 1,01 \text{ m}^3$$

Conforme o dimensionamento o volume do reservatório será de 1,01 m³, armazenado a uma pressão de 10 kgf/cm² de acordo com a especificação anterior.

CONCLUSÃO

Em um cenário de alta competitividade, onde os clientes buscam cada vez mais qualidade nos produtos e serviços, além da eficiência de entrega dos mesmos. As empresas devem prosseguir constantemente na renovação e evolução em seus processos produtivos. Com este intuito o presente trabalho apresentou o dimensionamento de uma rede pneumática para uma metalúrgica por motivos de ampliação da unidade de produção.

O correto dimensionamento de uma rede de distribuição de ar comprimido exige conhecimento técnico de engenharia que seja capaz de analisar e interpretar cada caso em particular. As bibliografias possibilitaram o embasamento sobre o ar comprimido incluindo, desde a sua produção até a distribuição final. Sendo imprescindível o contato com os fabricantes para obter informações técnicas dos equipamentos, proporcionando assim um sistema que atenda as especificações desejadas.

O dimensionamento do sistema apresentado no trabalho foi focado na ampliação atual da empresa, incluindo também a possibilidade de futuras ampliações de até 40% utilizando o mesmo sistema de geração e distribuição, tendo apenas um acréscimo nas linhas de alimentação.

O *layout* da rede, através da configuração de distribuição por circuito fechado, aliado aos diâmetros das tubulações encontrados deve proporcionar ao sistema uma distribuição uniforme de ar chegando até os pontos de alimentações em quantidades suficientes para o funcionamento dos equipamentos. É válido relatar que a seleção do compressor e reservatório de ar deve contribuir para o fornecimento adequado do ar comprimido.

Possibilitou-se concluir que o dimensionamento da tubulação de forma correta poderá produzir ar comprimido de forma eficiente e com qualidade. A rede de distribuição do será capaz de fornecer pressão e vazão suficientes para atender as necessidades do sistema, proporcionando assim um bom desempenho e uma maior vida útil aos equipamentos pneumáticos.

Salienta-se, ainda, a importância deste trabalho na formação profissional e acadêmica do autor, pois foi abordado um tema extremamente pertinente ao campo de estudo da Engenharia Mecânica, além de muito difundido na indústria, que é o uso do ar comprimido como fonte de propulsão dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

- BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas: Bosch, 2008.
- BUCK, B. **Manual de ar comprimido e gases**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- CORADI, F. E. **Análise energética e econômica na rede de distribuição de ar de uma indústria de autopeças**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2011.
- ELETRÓBRÁS. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro, 2005.
- FARIA, R. R. D. **Elementos de pneumática e automação, classificação e dimensionamento de atuadores: Aplicação ao caso de plataformas de embarque de deficientes físicos em veículos do transporte urbano coletivo**. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- FIALHO, A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2011.
- GIL, A. C. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico: elaboração de trabalhos na graduação**. São Paulo: Altas, 2008.
- HENN, E. L. **Máquinas de fluido**. 2 ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2006.
- JESUS, C. S. A. D. **Otimização energética em uma unidade industrial – O caso da Cerutil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica / Energia e Automação Industrial) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, 2012.
- KARMOUCHE, A. R. **Análise da eficiência energética em compressores a pistão em sistemas de ar comprimido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.
- METALPLAN. **Manual de ar comprimido**. 4 ed. 2010.
- PARKER TRAINING. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Jacareí, 2006. Apostila M1004 BR.
- ROLLINS, J. P. **Manual de Ar Comprimido e Gases**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- SILVA, E. C. N. **Apostila de Pneumática**. São Paulo: Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da Poli (USP), 2002.

ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICAÇÃO DA MÁQUINA DE CORTE LASER

ANEXO B: ESPECIFICAÇÃO DO MOVIMENTADOR DE CHAPAS

ANEXO C: ESPECIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTOS

ANEXO D: DIÂMETRO COMERCIAL PARA TUBOS ASTM A 120 SCHEDULE 40

ANEXO E: COMPRIMENTO DAS SINGULARIDADES

ANEXO F: DIAGRAMA PARA SELEÇÃO DE COMPRESSOR

ANEXO A: ESPECIFICAÇÃO DA MÁQUINA DE CORTE LASER

<p>Machinery weights BYSPRINT 3015 approx.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pos 1 - Basic frame 4500 kg - Pos 2 - Bar 450 kg - Pos 4 - Driving motor 2000 kg - Pos 5 - Shuttle table 2x 480 kg - Pos 18 - Loader 1200 kg - Pos 19 - Sheet table 600 kg - Pos 24 - Resonator 1350 kg - Pos 32 - Fume exhaust 1400 kg - Pos 33 - Chiller 790kg - Pos 35/36 - SPC/CNC-Control 600 kg 	<table border="1"> <tbody> <tr> <td data-bbox="699 383 919 488">  laser gas </td> <td data-bbox="919 383 1426 488"> N2 : p : 7 bar by 12 l/h // He : p : 7 bar by 25 l/h CO2 : p : 5 bar by 12 l/h The diameter of the laser gas supply tubing has to be calculated by customers gas filter. Connection ø 6mm. </td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 488 919 640">  cutting gas </td> <td data-bbox="919 488 1426 640"> N2 : p dyn: 25 bar by 1000 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm O2 : p dyn: 18 bar by 500 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm high and low pressure cutting O2 : p dyn: 10 bar by 300 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm low pressure cutting The diameter of the cutting gas supply tubing has to be calculated by the customer's gas filter. (normally it is ø 21mm) </td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 640 919 763">  air supply </td> <td data-bbox="919 640 1426 763"> 1) p = 6 bar / 45 norm-m³/h / waterless & oilfree / 1/2" limit oil content max. 0.1 mg/m³ / dew-point 2-3 °C 2) p = 6 bar / waterless & oilfree / 1/2" average consumption 0.2 N m³/h </td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 763 919 808">  water connection </td> <td data-bbox="919 763 1426 808"> Tube water max. 6 bar connection 3/4" </td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 808 919 913">  power supply </td> <td data-bbox="919 808 1426 913"> 1) 3x380 V +PE +20%/-20%, 60 Hz, 50 kVA, cos 0.94, 125 AT, 4-pole 2) 110 V, 60 Hz, 10 AT </td> </tr> </tbody> </table>	 laser gas	N2 : p : 7 bar by 12 l/h // He : p : 7 bar by 25 l/h CO2 : p : 5 bar by 12 l/h The diameter of the laser gas supply tubing has to be calculated by customers gas filter. Connection ø 6mm.	 cutting gas	N2 : p dyn: 25 bar by 1000 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm O2 : p dyn: 18 bar by 500 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm high and low pressure cutting O2 : p dyn: 10 bar by 300 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm low pressure cutting The diameter of the cutting gas supply tubing has to be calculated by the customer's gas filter. (normally it is ø 21mm)	 air supply	1) p = 6 bar / 45 norm-m ³ /h / waterless & oilfree / 1/2" limit oil content max. 0.1 mg/m ³ / dew-point 2-3 °C 2) p = 6 bar / waterless & oilfree / 1/2" average consumption 0.2 N m ³ /h	 water connection	Tube water max. 6 bar connection 3/4"	 power supply	1) 3x380 V +PE +20%/-20%, 60 Hz, 50 kVA, cos 0.94, 125 AT, 4-pole 2) 110 V, 60 Hz, 10 AT
 laser gas	N2 : p : 7 bar by 12 l/h // He : p : 7 bar by 25 l/h CO2 : p : 5 bar by 12 l/h The diameter of the laser gas supply tubing has to be calculated by customers gas filter. Connection ø 6mm.										
 cutting gas	N2 : p dyn: 25 bar by 1000 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm O2 : p dyn: 18 bar by 500 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm high and low pressure cutting O2 : p dyn: 10 bar by 300 l/min, p stat. max: 30 bar, connection ø 12mm low pressure cutting The diameter of the cutting gas supply tubing has to be calculated by the customer's gas filter. (normally it is ø 21mm)										
 air supply	1) p = 6 bar / 45 norm-m ³ /h / waterless & oilfree / 1/2" limit oil content max. 0.1 mg/m ³ / dew-point 2-3 °C 2) p = 6 bar / waterless & oilfree / 1/2" average consumption 0.2 N m ³ /h										
 water connection	Tube water max. 6 bar connection 3/4"										
 power supply	1) 3x380 V +PE +20%/-20%, 60 Hz, 50 kVA, cos 0.94, 125 AT, 4-pole 2) 110 V, 60 Hz, 10 AT										
Place: BR-Panamibi Customer: Bruning Tecnometal Ltda. Com.nr.: K021130											
Layoutplan verified :											
Date : Sign :											
(Please return 1 specimen to Bystronic Laser AG)											

Fonte: Bistronic, 2007.

ANEXO B: ESPECIFICAÇÃO DO MOVIMENTADOR DE CHAPAS

SLIM 2 ELETRONIC	SLIM 2 PNEUMATIC	SLIM 4 ELETRONIC	SLIM 4 PNEUMATIC
CÓD: SL2EPL	CÓD: SL2PPL	CÓD: SL4EPL	CÓD: SL4PPL
			
Cap. de trabalho: 800 Kg	Cap. de trabalho: 800 Kg	Cap. de trabalho: 800 Kg	Cap. de trabalho: 800 Kg

DADOS TÉCNICOS	SLIM 2 ELETRONIC	SLIM 2 PNEUMATIC	SLIM 4 ELETRONIC	SLIM 4 PNEUMATIC
Largura	410 mm	410 mm	870 mm	870 mm
Comprimento	1710 mm	1710 mm	1710 mm	1710 mm
Capacidade de sucção	50 L/min	35 L/min	50 L/min ou 24 m³	35 L/min
Compressor indicado	--	5,2 pes/min - 70 L	--	5,2 pes/min - 70 L
Consumo de ar	--	1,8 pes³/min a 80 lbs	--	1,8 pes³/min a 80 lbs
Tensão de trabalho	220 V	--	220 V	--

Fonte: Ventowag, 2014, p. 2.

ANEXO C: ESPECIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTOS

Furadeira - 502



0 607 160 502

Características técnicas	
Mandril	3/8" (sem chave)
• máximo de furo (mm)	6 (aço)
Rotação sem carga (min-1)	2000
Potência disponível (watts)	320
Consumo de ar sob a carga (l/s)/(cfm)	8,5 / 18,0
Peso (kg)	0,72
Rotação (R=Direita L=Esquerda)	R
Rosca de conexão para ar	1/4" NPT

Lixadeiras / Esmerilhadeira - 112



0 607 352 112

Características técnicas	
• máximo abrasivo (mm)	125
Rotação sem carga (min-1)	7000
Potência disponível (watts)	550
Consumo de ar sob a carga (l/s)/(cfm)	14,0 / 29,7
Peso (kg)	1,3
Fixação do disco	M 14
Acionamento	liga/desliga
Rosca de conexão para ar	1/4" NPT

Chave de Impacto 3/4" P-Line - 616



0 607 450 616

Características técnicas Chave de Impacto 3/4" P-Line	
• máx do parafuso (mm)	M 27
Torque máx. recomendado	630
Torque máximo (Nm)	900
Rotação sem carga (min-1)	4.500
Rotação (R=Direita L=Esquerda)	R / L
Consumo de ar sob carga (l/s)/(cfm)	12,8 / 25,4
Peso (kg)	5,0
Quadrado de acionamento	3/4"
Rosca de conexão para ar	3/8" NPT



Descrição Equipamento	Consumo de ar efetivo pcm
Bicos de limpeza	6,0

Fonte: Adaptado de Bosch, 2016.

ANEXO D: DIÂMETRO COMERCIAL PARA TUBOS ASTM A 120 SCHEDULE 40

Tubo de aço para condução de fluidos e outros fins

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, p. 288 e 289.

ANEXO E: COMPRIMENTO DAS SINGULARIDADES

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	
 Tê fluxo em linha	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	

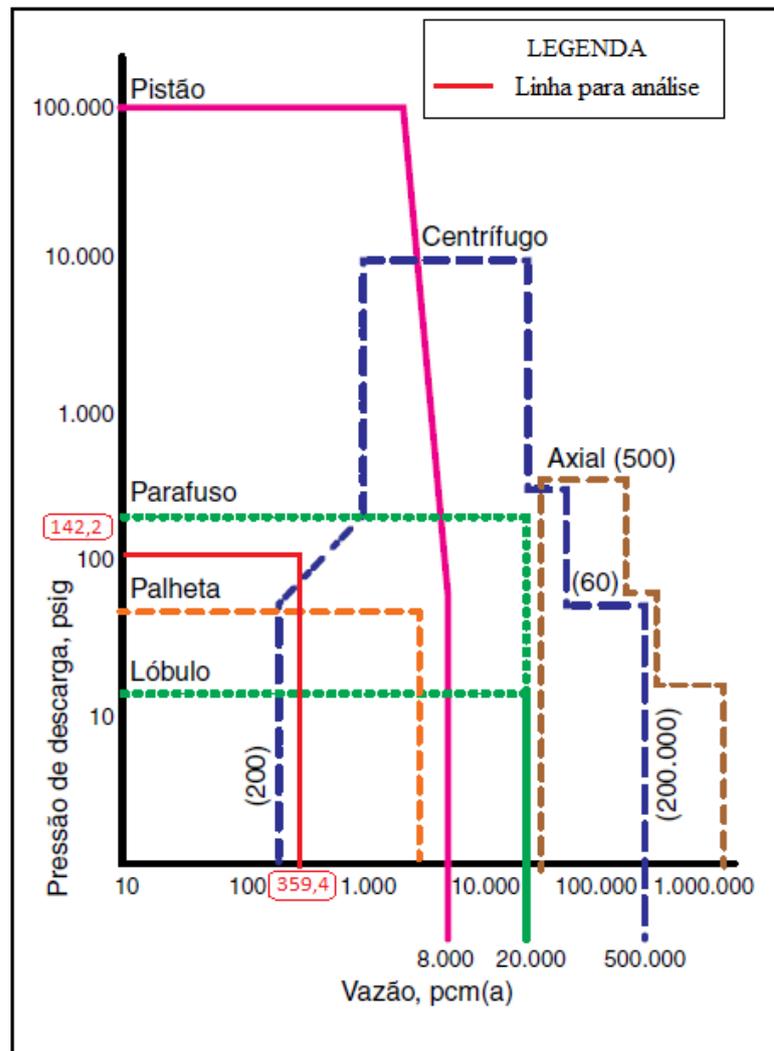
Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Tê fluxo pelo ramal	ROSQ.	1,3	1,6	2,0	2,7	3,0	3,7	3,9
	FLAN.	0,61	0,80	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	5,2	5,8	6,4	-	-	-	-	
FLAN.	2,9	3,3	3,7	4,6	5,5	7,3	9,1	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Válvula gaveta	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	
 Válvula globo	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, p. 290 e 291.

ANEXO F : DIAGRAMA PARA SELEÇÃO DE COMPRESSOR



Fonte: Adaptado de Parker, 2006.