



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

RICARDO HENRIQUE DA SILVA

**PROJETO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO: ESTUDO
DE CASO DOS LABORATÓRIOS DE ENSINO NO CURSO DE ENGENHARIA
MECÂNICA**

TERESINA

2020

RICARDO HENRIQUE DA SILVA

PROJETO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO: ESTUDO DE
CASO DOS LABORATÓRIOS DE ENSINO NO CURSO DE ENGENHARIA
MECÂNICA

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Mecânica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí. Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Ms. Edilson Rocha de Sousa

TERESINA

2020

Silva, Ricardo Henrique da

S586p Projeto de uma rede de distribuição de ar comprimido : estudo de caso dos laboratórios de ensino no curso de Engenharia mecânica / Ricardo Henrique da Silva. - 2020.

59 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2020.

Orientador : Prof. Me. Edilson Rocha de Sousa.

Rede de ar comprimido. 2. Pneumática. 3. Laboratórios. I.Título.

CDD - 620

Aos pais, amigos e familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores e servidores do IFPI do Campus Teresina Central, pois todos participaram de forma coletiva para minha graduação.

Aos Professores Ms. Matias, Ms. Edilson e Esp. Marcos Mascarenhas que deram todo o apoio necessário para que eu chegasse até aqui. Não poderia me esquecer de meu irmão querido, Jorge que me deu forças e me ajudou bastante. E um agradecimento especial ao Meireles Neto, proprietário da RedeGás.

RESUMO

A presente monografia foi escrita com o interesse de desenvolver o projeto de uma rede de distribuição de ar comprimido para os laboratórios de Pneumática e Usinagem CNC do IFPI. Foram levantados os dados de consumo de todos os equipamentos pneumáticos em cada laboratório, as dimensões dos laboratórios e dos espaços comum para a instalação dos tubos de ar com auxílio da planta original do prédio do IFPI, e desenhado um *layout* de toda a rede pneumática utilizando os softwares de desenho SolidWorks® e AutoCad® com todos os acessórios necessários levantados, após a etapa do desenho. Em seguida foram dimensionadas as tubulações de acordo com o layout desenvolvido e seus acessórios seguindo todas as metodologias pesquisadas nas referencias teóricas e então escolhido um compressor adequado ao projeto que tenha disponibilidade comercial e um vazo de pressão que atendesse a demanda do projeto.

Palavras-chave: Rede de ar comprimido; Pneumática

ABSTRACT

The present monography was written with the interest of developing the design of a compressed air distribution network for the IFPI CNC Machining and Pneumatics laboratories. The consumption data of all pneumatic equipment in each laboratory were raised, the dimensions of the laboratories and common areas for the installation of the air tubes with the aid of the original plan of the IFPI building, and a layout of the entire pneumatic network was designed using the SolidWorks and AutoCad software with all the necessary accessories raised, after the drawing stage. Then, the pipes were dimensioned according to the developed layout and their accessories following all the researched methodologies in the theoretical references and then chosen a compressor suitable for the project that has commercial availability and a pressure vessel that would meet the project's demand.

Keywords: compressed air distribution network. Pneumatic

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01	Compressibilidade do ar.....	17
Figura 02	Elasticidade do ar.....	17
Figura 03	Produção, tratamento e distribuição de ar comprimido.....	19
Figura 04	Princípio de funcionamento do compressor alternativo simples vista em corte.....	20
Figura 05	Princípio de funcionamento do compressor alternativo simples em etapas.....	20
Figura 06	Princípio de funcionamento do compressor de palhetas.....	21
Figura 07	Princípio de funcionamento do compressor parafuso.....	22
Figura 08	Princípio de funcionamento do compressor de lóbulos.....	22
Figura 09	Detalhe do turbo compressor axial.....	23
Figura 10	Detalhe do compressor radial.....	23
Figura 11	Secagem por refrigeração.....	28
Figura 12	Secagem por absorção.....	29
Figura 13	Sistema aberto.....	31
Figura 14	Sistema fechado.....	31
Figura 15	Fixação dos tubos principais nas vigas usando pendurais.....	31
Figura 16	Fixação da tubulação principal usando grampo.....	32
Figura 17	Elementos componentes de uma rede pneumática.....	32
Figura 18	Delineamento da pesquisa.....	35
Figura 19	<i>Layout</i> das tubulações principais e secundárias da rede de ar comprimido.....	38
Figura 20	Vista isométrica do reservatório da rede pneumática.....	39
Figura 21	Reservatório da rede pneumática.....	39

Figura 22	Planta baixa do pavimento térreo.....	51
Figura 23	Planta baixa do pavimento 1º andar.....	51
Figura 24	Pontos de aplicação da linha de alimentação do laboratório de usinagem CNC e do laboratório de Pneumática em planta baixa.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do compressor	39
Tabela 2 – Equipamentos pneumáticos.....	40
Tabela 3 - Características das linhas principal e secundárias.....	41
Tabela 4 – Singularidades da linha principal.....	41
Tabela 5 – Singularidades das linhas secundárias do laboratório de pneumática.....	42
Tabela 6 – Singularidades das linhas secundárias do laboratório de usinagem CNC.....	42
Tabela 7 - Comprimento de tubo equivalente à perda de carga por singularidades.....	47
Tabela 8 – Tubos de aço padronizados pela norma ASTM A 120 vendidos no mercado atual.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
HP	<i>Horse Power</i>
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
NR	Norma Reguladora
PMTA	Pressão Máxima de Trabalho Admissível

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

® Marca registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
1.2	METODOLOGIA.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	16
2.2	AR COMPRIMIDO.....	16
2.2.1	Propriedades físicas do ar.....	17
2.2.2	Influência da umidade.....	18
2.2.3	Produção de ar comprimido.....	18
2.3	COMPRESSORES.....	19
2.3.1	Compressor alternativo.....	20
2.3.1.1	Simple ação.....	20
2.3.1.2	Dupla ação.....	21
2.3.2	Compressor rotativo.....	21
2.3.2.1	Compressor de palhetas.....	21
2.3.2.2	Compressor parafuso.....	22
2.3.2.3	Compressor de lóbulos.....	22
2.3.3	Dinâmicos.....	23
2.3.3.1	Turbo compressor ou compressor axial.....	23

2.3.3.2	Compressor centrífugo ou compressor radial.....	23
2.3.4	Características importantes na escolha de um compressor.....	24
2.4	RESFRIADOR PORTERIOR.....	26
2.5	RESERVATÓRIO DE AR COMPRIMIDO.....	27
2.6	SECADOR DE AR.....	28
2.6.1	Secagem por refrigeração.....	28
2.6.2	Secagem por absorção.....	29
2.6.3	Secagem por adsorção.....	29
2.7	FILTRO DE AR COMPRIMIDO.....	30
2.8	DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO.....	30
2.9	REFRIGERAÇÃO DA CENTRAL.....	30
2.10	IMPLANTAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	31
2.11	ELEMENTOS DE MONTAGEM E FIXAÇÃO DA REDE.....	31
2.12	DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	CAPACIDADE DE AR REQUERIDA.....	36
3.2	COMPRIMENTO DAS LINHAS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS.....	37
3.3	QUEDA DE PRESSÃO.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	LAYOUT.....	38
4.2	PRODUÇÃO E CONDICIONAMENTO.....	39
4.2.1	Condicionamento.....	39
4.2.2	Produção.....	39

4.3	DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS.....	40
4.3.1	Dimensionamento das tubulações principais.....	42
4.3.2	Dimensionamento das tubulações secundárias.....	43
4.3.3.1	Dimensionamento das tubulações secundárias do laboratório de pneumática.....	43
4.3.3.2	Dimensionamento das tubulações secundárias do laboratório de pneumática.....	44
5	CONCLUSÃO	46
6	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO A – TABELA DE SINGULARIDADES	48
	ANEXO B – TUBOS DE AÇO PADROZIDADOS PELA NORMA ASTM A 120 VENVIDOS NO MERCADO ATUAL.....	51
	ANEXO C – PLANTA BAIXA DO PRÉDIO A DO IFPI.....	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar um sistema de ar comprimido considerando as etapas de preparação, produção e distribuição de ar comprimido, e que atenda a demanda de pressão e vazão requeridas pelos laboratórios de Usinagem CNC e Pneumática localizados no prédio A do IFPI, para que seja fornecido ar comprimido para as máquinas em quantidade e condições suficientes para um ótimo funcionamento.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre dimensionamento de rede de ar comprimido;
- Dimensionar a rede de distribuição do ar comprimido;
- Selecionar para a rede pneumática os acessórios necessários;
- Escolher um reservatório assegurando uma reserva de ar para o sistema;
- Definir a partir da vazão e pressão requeridas um compressor;
- Elaborar um layout para a distribuição de ar comprimido.

1.2 METODOLOGIA

Inicialmente, tendo como base acervo bibliográfico como livros, trabalhos acadêmicos, entre outros, que serão utilizados para determinar o dimensionamento de maneira mais simples.

Seguido do levantamento de dados para o projeto, que consiste no consumo de ar dos equipamentos do laboratório, as necessidades de instalação de pontos de abastecimento da rede pneumática bem como a necessidade de ampliação.

Discriminar e relacionar materiais utilizados na rede pneumática para então fazer o correto cálculo do dimensionamento do circuito pneumático, definir o layout e assim desenhar o circuito pneumático com os softwares SolidWorks® e AutoCad®.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente os laboratórios do IFPI contemplados neste projeto são equipados com um compressor e um vaso de pressão de pequena potência, instalados dentro do ambiente de aprendizagem. Levando em consideração o ruído auditivo dos compressores quando acionados em horário de aula e o risco de sobrecarga ou falha dos vasos de pressão, então foi definida a necessidade de instalação de um compressor e um vaso de pressão que atendesse: as demandas de ar comprimido nos laboratórios, as normas vigentes e que ficasse do lado externo para melhor conforto auditivo e segurança das pessoas e do patrimônio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão da literatura deste trabalho foram abordados os conceitos referentes ao ar e sua compressibilidade e de forma mais abrangente na pneumática, os componentes que fazem parte da produção, tratamento, armazenagem, dimensionamento, instalação e distribuição do ar comprimido.

2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A ação humana pode ser substituída por trabalho de máquinas, instrumentos ou processos de trabalho. Assim segundo Fialho (2011) chama-se automatismo esses meio de substituição, enquanto que automação pode-se entender como a forma dinâmica e organizada que os automatismos e as associações destes de forma otimizada é direcionada a consecução dos objetivos do progresso humano.

2.2 AR COMPRIMIDO

Alguns dos usos gerais que podem ser feito com a instalação do ar comprimido de acordo com Rollins (2004) é a utilização de estações automáticas de montagem e automatização para controle pneumáticos com integração de ferramentas e dispositivos auxiliares em uma única máquina.

A pneumática é a ciência que estuda o movimento dos gases e a parte que abrange a dinâmica e os fenômenos físicos ligados aos gases ou vácuo segundo Parker (2006). É largamente utilizado na indústria e conforme Fialho (2011) o ar comprimido não sofre oscilações de temperatura proporcionando um seguro funcionamento mesmo quando as condições forem extremas.

Segundo Bosch (2008) pode-se entender como uma vantagem a abundante existência de ar atmosférico para produção de ar comprimido e consequentemente pode imprimir uma vantagem de produção. Complementa ainda que por ter ar comprimido de forma armazenada em reservatórios dos mais variados tamanhos pode-se existir uma reserva de pressão disponível por algum tempo, permitindo que um trabalho seja executado mesmo com o compressor desligado.

Da forma que Fialho (2011) afirma que o ar comprimido é um meio de

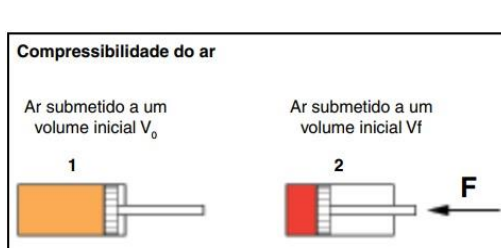
trabalho limpo e seguro pois não há poluição ambiental caso ocorram vazamentos e o risco de explosões por excesso de pressão é considerada muito baixa ao contrário da hidráulica que tem pressões de trabalho maiores.

Fialho (2011) afirma que o uso de ar comprimido como força de trabalho há desvantagens como custos, filtragem e vazamentos. Uma vez que os custos dessa operação ficam mais caro em relação à energia elétrica, e requer uma preparação do ar como filtragem para evitar impurezas e umidade, também os vazamentos são em uma parte não perceptíveis, e podem representar uma perda anual significativa, complementa.

2.2.1 Propriedades físicas do ar

Como pode ser observada na Figura 02 onde Parker (2006) salienta elasticidade como possibilidade do ar voltar ao seu volume que tinha inicialmente, uma vez cessado a força que atuava responsável pela redução do volume.

Figura 01- Compressibilidade do ar

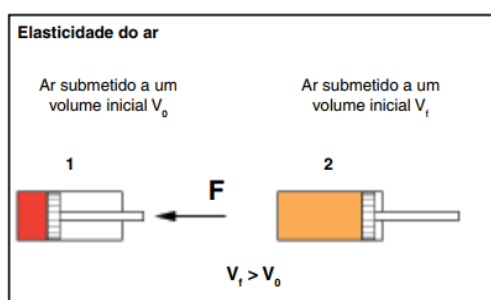


tem-se que eles ocupam a todo o volume disponível e produzem forças devido à pressão exercida pelas moléculas em constante movimento. A essa propriedade dos fluidos é conhecida como expansibilidade.

Fonte: Parker Training, 2006, p. 5

Compressibilidade é a capacidade que o ar atmosférico tem de ser comprimido, quando submetido a forças que comprimam o fluido em questão diminuindo assim seu volume (Fialho, 2011). Observe na Figura 01 a variação do volume. Com a diminuição do volume há um aumento na pressão.

Figura 02- Elasticidade do ar



Para poder medir a pressão de um fluido consoante com Bosch (2008), pode –se expressar o valor de pressão na mesma unidade de medida de três formas diferentes.

Fonte: Parker Training, 2006, p. 5

Pressão atmosférica (P_{atm}), que é o peso a atmosfera exerce sobre a

superfície e pode variar com a densidade e da altitude. Pressão manométrica (P_{man}), ou pressão medida que é a pressão medida sobre a pressão atmosférica. Pressão absoluta (P_{man}) que representa a somatória da pressão atmosférica e a pressão manométrica.

2.2.2 Influência da umidade

De acordo com Rollins (2004) em determinadas operações a presença de algum tipo de umidade pode causar complicações e ônus aos componentes, ocorrendo em componentes com pintura interna não aderência e perda de acabamento superficial, e em peças ferrosas não tratadas pode ocorrer oxidação, ou desgaste excessivo de peças de componentes, por causa da retirada de lubrificantes pela umidade.

2.2.3 Produção de ar-comprimido

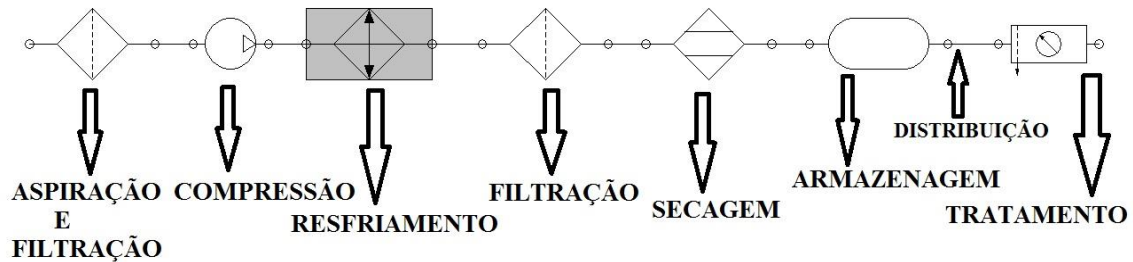
O ar comprimido necessita antes de ser utilizado passar por um conjunto de etapas. As etapas que compreendem são produção, tratamento de ar e distribuição nas máquinas. De acordo com Jesus (2012) o tratamento que é dado ao ar após ser comprimido tem a finalidade de chegar aos pontos de consumo com qualidade, de acordo com a Figura 3.

Na Figura 3 que representa o esquema de tratamento de ar comprimido feito no software FluidSIM versão 4.2. Representa as etapas necessárias para produção e preparação de ar comprimido segundo Fialho (2011).

Ainda de acordo com Jesus (2012) e a Figura 3, antes de o ar ser comprimido ele deve passar pelo filtro que tem a função de reter algumas partículas sólidas existentes no ar ambiente aspirado com o objetivo de proteger o compressor. Após a compressão o ar que sai do compressor tem a sua temperatura elevada sendo necessário resfriá-lo com ajuda de um resfriador, no processo seguinte então ocorre a filtração e secagem com o objetivo de retirar alguma umidade que esteja presente no ar comprimido para então seguir para o próximo passo que é o armazenamento do ar em um reservatório e então assegurando assim uma reserva de ar com uma linha de pressão constante. Em valores de pressão que estejam indicando uma pressão a superior de trabalho em um reservatório admite-se que

seja desligado o compressor diversas vezes assim de acordo com a necessidade de consumo. Por fim a distribuição de ar na fábrica auxiliado com as unidades de preparação de ar para tratamento e purgação de alguma partícula de água que tenha nas tubulações.

Figura 03 – Produção, tratamento e distribuição de ar comprimido



Fonte: Autoria própria, 2020

2.3 COMPRESSORES

Jesus (2012) define compressor como a máquina na qual energia mecânica ou elétrica é transformada em energia pneumática por meio da compressão do ar ambiente.

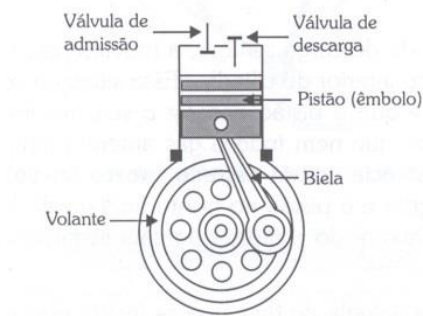
Então Fialho (2011) apresenta classificação de compressores usados no meio industrial atualmente em dois princípios conceptivos que são compressores volumétricos ou deslocamento positivo e dinâmico. Onde nos compressores volumétricos a principal característica para elevação de pressão ocorre com a diminuição do volume ocupado pelo gás. Os compressores dinâmicos efetuam a compressão continuamente portanto ocorre transferência de energia por aceleração de massa de forma ininterrupta não fazendo ciclos como os volumétricos.

Parker (2007) traz fundamentalmente a redução de volume gradual é um processo de compressão como deslocamento positivo. Então apresenta Fialho (2011) alguns exemplos de compressores de deslocamento positivos, apenas os mais empregados largamente na indústria.

2.3.1 Compressores alternativos

2.3.1.1 Simples ação

Figura 04 – Princípio de funcionamento do compressor alternativo simples vista em corte



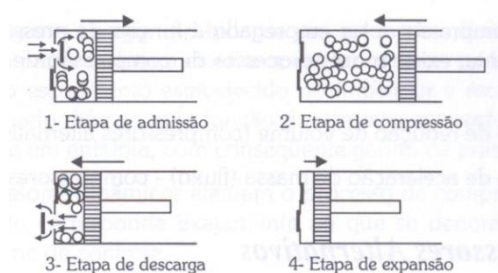
Essa máquina que se utiliza de um sistema biela-manivela onde converte o movimento rotativo de um eixo volante no movimento translacional de um pistão a cada rotação do acionador o pistão efetua um percurso de ida e outra de vida estabelecendo um ciclo de operação.

Fonte: Fialho 2011

Segundo Metalplan (2010) os compressores de pistão de simples ação são aplicados em sistemas de pequenas vazões.

Fazendo assim abertura da válvula de admissão com fechamento da descarga, e abertura da descarga após fechamento da admissão e término da compressão, como exposto nas Figuras 4 e 5.

Figura 05 – Princípio de funcionamento do compressor alternativo simples em etapas



As válvulas têm um papel muito importante no funcionamento do compressor o obturador funciona como um diafragma comparando as pressões interna e externa do cilindro o obturador se abre para dentro quando a pressão supera a pressão interna e se mantém fechado em caso contrário.

Fonte: Fialho 2011

Na etapa de admissão estão se movimenta em sentido contrário ao cabeçote onde ocorre a sucção do gás. Quando fecha se a válvula de sucção o movimento do pistão contrário ao cabeçote faz com que o gás seja comprimido aumentando a pressão interna essa é a etapa de compressão, observado na Figura 5.

Então sendo o fluido comprimido a válvula de descarga se abre a movimentação do pistão faz com que o gás seja expulso do interior do cilindro e essa etapa corresponde à etapa de descarga que dura até o movimento final do pistão contra o cabeçote.

Após o gás ser expulso a válvula de admissão não se abre logo, permanecendo as duas fechadas enquanto o pistão tem um movimento afastamento do cabeçote criando uma zona de subpressão que fará com que o obturador tenha sob pressão suficiente para abrir a válvula de admissão e assim iniciar um novo ciclo.

2.3.1.2 Dupla ação

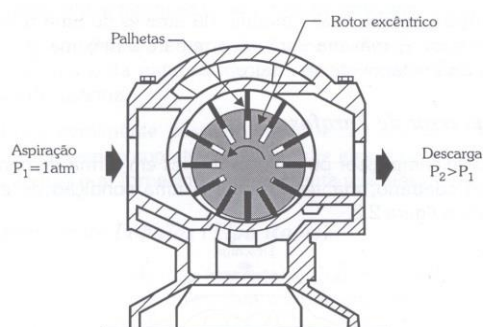
Compressor de dupla ação possibilita a compressão do ar em ambos os sentidos de deslocamento do embolo. Assim apresentam maior eficiência pois em um ciclo comprimem maior volume de água por unidade de tempo.

2.3.2 Compressores rotativos

Compressores que através de movimentos rotacionais de alguns elementos internos e promovem a sucção e compressão do ar de forma direta até que ele tenha pressão de utilização. São decomposto em três subtipos: compressores de palheta de parafuso e de lóbulos.

2.3.2.1 Compressor de palhetas

Figura 06 – Princípio de funcionamento do compressor de palhetas



Pode então observar pela Figura 6 que o compressor de palhetas possui um rotor central que gira excentricamente em relação à carcaça e ele possui alguns rasgos radiais que se prolongam por todo seu comprimento.

Fonte: Fialho 2011

Ao passo que quando o rotor gira as paletas deslocam-se radialmente sob a

ação da força centrífuga e o gás penetra pela abertura, os espaços definidos entre as paletas de modo que vão se reduzindo provocando a compressão do gás de modo progressiva. Ele possui em funcionamento contínuo e uniforme portanto livre de pulsação, entretanto como desvantagem pode continuar funcionando após o rotor desligar como um motor, recomenda-se a instalação de uma válvula de retenção na tubulação de descarga.

2.3.2.2 Compressor de parafuso

Figura 07 – Princípio de funcionamento do compressor parafuso

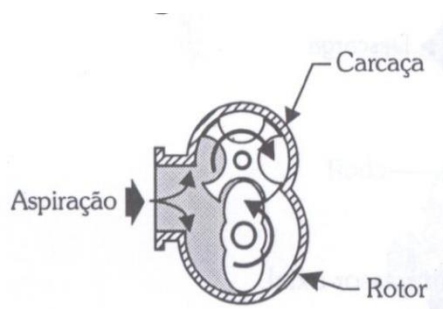


Esse compressor possui dois rotores helicoidais em forma de parafuso e em sentido contrário giram mantendo entre si condição de engrenamento, como pode ser analisado pela Figura 7. Um dos rotores possui lóbulos convexos enquanto que outra depressão côncavos são denominados respectivamente rotor macho e fêmea segundo (Parker, 2007).

Fonte: Fialho 2011

2.3.2.3 Compressor de lóbulos

Figura 08 – Princípio de funcionamento do compressor de lóbulos



Constituído por um cilindro carcaça e dois rotores descentrados devem ser constantemente tangentes ao cilindro e tangentes entre si por isso necessitam de alta precisão no desenho, a Figura 8 exemplifica de forma simples esse tipo de compressor.

Fonte: Fialho 2011

2.3.3 Compressores Dinâmicos

De acordo com Parker (2007) para se obter uma elevação de pressão

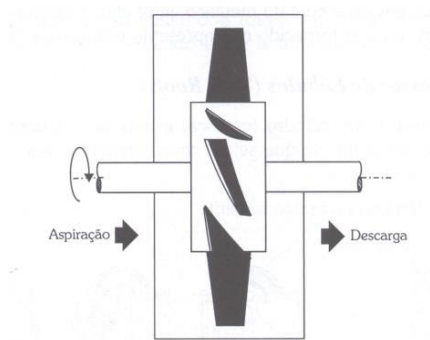
durante a passagem do ar através do compressor ocorre uma conversão de energia cinética em pressão. Quando admitido o ar e colocado em contato com rotor laminado dotado de alta velocidade.

Ainda explica que o ar acelerado em alta velocidade transmitida dos impulsores do rotor laminado e o escoamento retardado por meio de difusores obrigando a uma elevação na pressão. Difusor é uma espécie de duto que provoca a diminuição da velocidade no escoamento de um fluido causando aumento na pressão

Fialho (2011) afirma que compressores dinâmicos trabalham com processo de aceleração de massa e os classifica como.

2.3.3.1 Turbo compressor ou compressor axial

Figura 09 – Detalhe do turbo compressor axial

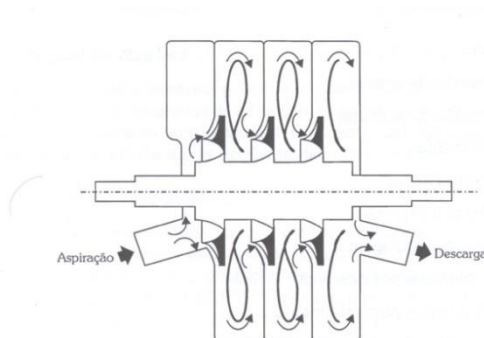


Nesse compressor a aceleração do ar em sentido axial ao longo do eixo ocorre por uma série de hélices rotativas. Como se pode observar na Figura 9 detalhe interno de um turbo compressor indicando o sentido de rotação do eixo o ar aspirado e a descarga do ar comprimido.

Fonte: Fialho 2011

2.3.3.2 Compressor centrífugo ou compressor Radial

Figura 10 – Detalhe do compressor radial



Ele é constituído por pás e rodas que sobre o mesmo eixo são colocadas em paralelo de forma sucessiva conforme a Figura 10.

Fonte: Fialho 2011

O ar que está entrando pela tubulação

de aspiração sai com alta velocidade após ter sido centrifugado pela primeira roda, para ter sua pressão aumentada entra pelo difusor onde tem sua velocidade reduzida. Saindo o difusor passa ao coletor e será submetido a uma nova centrifugação em uma segunda roda, dessa forma o ar é submetido as várias rodas entendendo a pressão progressivamente aumentada. E pode ser avaliado de acordo com a Figura 10.

2.3.4 Características importantes na escolha de um compressor

Devem ser levados em consideração quanto ao processo de escolha de um compressor como observado em Fialho (2011) os seguintes itens:

- a) Volume de ar fornecido;
 - Volume teórico
 - Volume efetivo
- b) Pressão;
 - Pressão de regime
 - Pressão de trabalho
- c) Acionamento;
 - Motor elétrico
 - Motor a explosão
- d) Sistema de regulagem;
 - Regulagem por descarga
 - Regulagem por fechamento
 - Regulagem por garras
 - Regulagem por rotação
 - Regulagem intermitente

Fialho (2011) apresenta apenas como critério de escolha as quatro características importantes que devem ser levadas em consideração para a escolha do compressor. Em complementação, diz Parker (2007) que para escolha de um compressor para um sistema eficiente de ar comprimido, com a vazão total do sistema definida deve-se estabelecer um fator entre 20 e 50% para futuras ampliações, e por medida de segurança, deve-se selecionar dois compressores que somados atendam essa vazão e ainda um terceiro para ficar em modo de espera para uma possível manutenção.

Segundo Fialho (2011) a definição de volume de ar fornecido como a quantidade total em metros cúbicos de ar que pelo compressor quando em atividade máxima pode ser fornecido, e pode ser apresentado como volume teórico ou volume efetivo. Volume teórico é o volume teoricamente calculado utilizando rotações e o volume do cilindro do motor equacionado por meio do produto entre ambos, cabe salientar que na prática o volume é menor. Então o volume teórico não é de grande importância como o efetivo é. Pois o volume efetivo é o valor em volume que realmente será utilizado e ele está em função da eficiência volumétrica ou rendimento dos compressores.

Para Fialho (2011) é a característica de extrema importância, a pressão, sendo ela responsável pela força desenvolvida dos atuadores. É classificada em dois níveis pressão de regime e pressão de trabalho. A pressão de regime pode-se entender como a pressão fornecida pelo compressor, na pressão que tem nos reservatórios e a pressão que tem nas linhas de distribuição alimentando os pontos de utilização.

Essa pressão é muito inconstante, ocorrem flutuações frequentes induzidas por mudanças de temperaturas. A pressão de trabalho pode ser entender como a pressão necessária para o funcionamento dos automatismos, e deve ser menor que a pressão de regime. Utilizando uma válvula redutora de pressão para manter sempre constantes forças e velocidades desenvolvidas pelos automatismos. LUBRIFIL é uma válvula redutora de pressão que atua em conjunto com manômetro e um lubrificador.

De acordo com Fialho (2011), a escolha do compressor pode ser feita utilizando acionamento de motor elétrico ou motor a explosão, em função do ambiente que será instalado. Atualmente utiliza-se acionamento por motor elétrico, pois cobrem uma grande faixa de potência que vão de compressores de uso domésticos ao uso industriais com grandes reservatórios. E em certas regiões pode ocorrer uma distribuição de energia elétrica deficiente não tendo potência suficiente na rede elétrica ou mesmo um valor muito alto em determinados horários o que favorece a escolha de um compressor acionado por um motor a explosão, este cobre uma faixa de valores de médias potências a altíssimas potências não sendo recomendado para uso doméstico.

A escolha do tipo de compressor utilizando como base o sistema de regulação pode-se fazer necessário pois os automatismos nem sempre se faz uso

de forma constante. Os sistemas de regulação mais encontrados frequentemente regulação por descarga, regulação por fechamento, regulação por garras, regulação por rotação e regulação intermitente, conforme Fialho (2011).

Regulação por descarga, quando atingida a pressão máxima dentro do compressor em pleno funcionamento uma válvula reguladora de pressão do tipo alívio seja acionada descarregando ar comprimido que foi produzido para o ar atmosférico, sendo fechada quando a pressão mínima for restabelecida.

A regulação por fechamento é utilizada de modo semelhante a descarga porém ao invés de uma válvula reguladora de pressão é utilizada uma válvula uma via e duas posições com retorno por mola que é selecionada quando a pressão estiver baixa e quando a pressão estiver muito alta será interrompida a compressão mantendo assim a pressão no sistema dentro de uma faixa de valores de pressão.

Regulação por garras quando a pressão do ar comprimido atingir um valor pré-determinado mantém-se a válvula de admissão aberta durante a compressão o ar volta ao ambiente, quando o valor volta a um valor mínimo de pressão é que temos o reabastecimento normal do reservatório.

Regulação por rotação utilizado exclusivamente em compressores acionadas por motores de combustão quando se atinge uma pressão máxima pré-determinada é desacelerado o motor reduzindo os giros do motor fazendo com que consumo da rede de ar armazenado diminua a pressão até um nível mínimo predeterminado e o motor retome seu giro normal.

Regulação intermitente trata-se de um sistema de regulação aplicada ao acionamento exclusivo de compressores movidos por motor elétrico onde um pressostato ligado à rede de alimentação de ar e do motor ao ser atingido uma pressão máxima admissível ele promove o desligamento do compressor até a pressão da rede de ar cair aos valores mínimos predeterminados para então reativar novamente o compressor.

2.4 RESFRIADOR POSTERIOR

Resfriador posterior além de resfriar o ar comprimido elimina a umidade presente. Porém a umidade encontrada na descarga de um compressor está a uma temperatura de aproximadamente 130 °C. A tendência desse ar entrando em contato

com sistema de distribuição é a diminuição da sua temperatura e consequente precipitação da água no próprio sistema, causando assim segundo Parker (2007) problemas nas ferramentas e tubulações.

Parker (2007) ainda diz que uma solução para a umidade do sistema de ar eficaz é a utilização de um equipamento completo que é o resfriador posterior e fica localizado na saída do compressor e anteposto ao reservatório. Basicamente se trata de um trocador de calor utilizado para resfriar o ar comprimido, com um consequente resfriamento do ar, permitisse retirar cerca de 75 a 90% do vapor de água. Além de evitar a dilatação térmica das tubulações metálicas da linha de distribuição. Em contrapartida um sistema sem resfriamento pode ocasionar trincas nas uniões soldadas, por consequência a choques térmicos e contrações devido à presença de umidade, trazendo assim pontos de fuga de ar.

2.5 RESERVATÓRIO DE AR COMPRIMIDO

Para Parker (2007) em um sistema de ar comprimido geralmente tem um ou mais reservatórios. Uma das funções do reservatório além de armazenar o ar comprimido, é resfriar o ar auxiliando a eliminação de líquido condensado, estabilizar o fluxo de ar e compensar as flutuações que ocorrem com a pressão em todo sistema de distribuição.

A NR 13 (2014) é uma Norma regulamentadora de segurança da ABNT que acompanha a norma ASME. Ambas estabelecem requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de vasos de pressão e tubulações relacionadas a operação e manutenção visando a segurança e a saúde dos trabalhadores.

Segundo a NR 13 (2014) os vasos de pressão devem obrigatoriamente ser dotados dos seguintes itens, ocasionando isso grave e iminente a falta destes:

a) Válvula de segurança ou outro dispositivo com abertura ajustada sob pressão, com valor igual ou inferior a PMTA (pressão máxima de trabalho admissível) instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui.

b) Meios utilizados contra bloqueio inadvertido de dispositivo de segurança quando este não estiver instalado diretamente no vaso.

c) Instrumento que indique a pressão de operação instalada diretamente no vaso ou no sistema que o contenha.

Ainda conforme NR 13 (2014), indicadores de nível, de pressão e

temperatura sejam visualmente acessíveis para inspeções. Drenos, respiros e bocas de visita estejam acessíveis para manutenção. Todo vaso de pressão deve ser instalado em ambiente aberto ou fechado que tenha pelo menos duas saídas distintas, dispor de acesso seguro para manutenção, operação e inspeção. O ambiente deve dispor de iluminação principal e sistemas de iluminação de emergência. Deve ainda receber uma proteção anticorrosiva interna e externa de acordo com a sua exposição a oxidação.

2.6 SECADOR DE AR COMPRIMIDO

Segundo Parker (2007) a umidade presente no ar comprimido é muito prejudicial para automatização pneumática, é necessário eliminar ou reduzir impurezas de modo absoluto, o que é impossível. Então pode-se admitir valores muito pequenos de umidade onde tenha uma faixa de valores que se trabalhe em segurança.

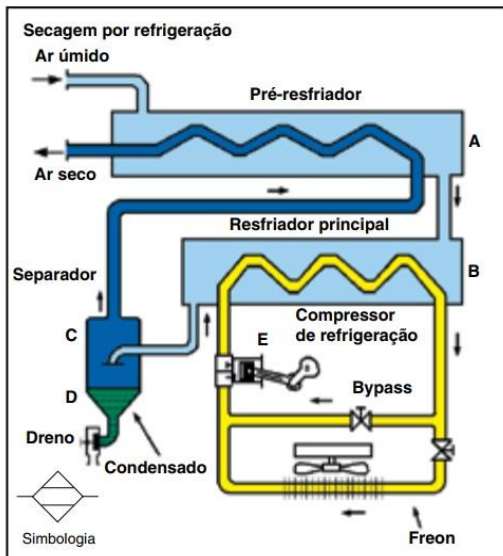
Valor de aquisição de um secador pode configurar um orçamento como alto investimento em alguns casos. Por consequência dos prejuízos causados pelo ar úmido a substituição de componentes pneumáticos, filtros, válvulas, cilindros, impossibilidade de aplicar o ar em determinadas operações como pintura, pulverizações e produção de produtos. O emprego de um secador torna-se lucrativo sendo pago em pouco tempo somente com as peças que não eram mais trocadas pela produção.

Parker (2007) define o ponto de orvalho como a temperatura na qual o vapor de água contido no ar comprimido inicia sua condensação. Um secador de calor deve ser apto a fornecer com um ponto de orvalho especificado, o ar comprimido.

2.6.1 Secagem por refrigeração

Parker (2007) relata que o método de desumidificação do ar comprimido por refrigeração como sendo um método de retirada de água saturada em ponto de orvalho, passando o ar comprimido a uma temperatura suficientemente baixa. O ciclo de resfriamento ocorre com o ar comprimido entrando em um pré-resfriador trocador de calor (a) tendo diminuição da temperatura causada pelo ar que sai do separador (c). Mas antes teve uma passagem pelo resfriador principal (b).

Figura 11 – Secagem por refrigeração

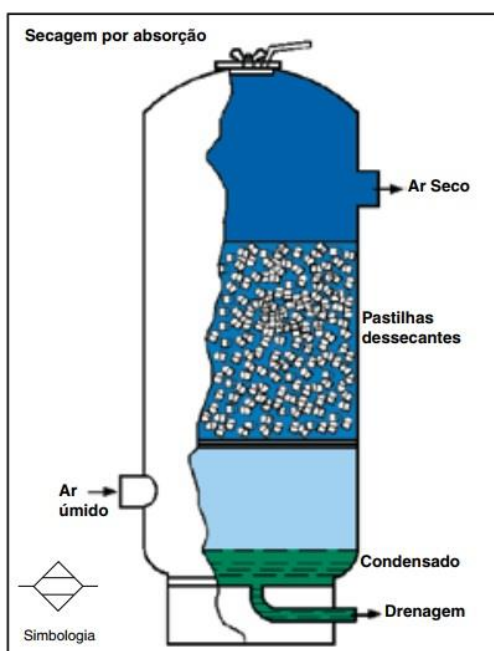


Fonte: Parker 2007

O ar comprimido seco volta ao pré resfriamento onde coleta parte do calor de entrada, pois se fosse lançado ao sistema ocorreria resfriamento por expansão que ocasionaria formação de gelo na rede de distribuição.

2.6.2 Secagem por absorção

Figura 12 – Secagem por absorção



Segundo Parker (2007) é um processo também chamado de processo químico de secagem o ar é conduzido no interior de um volume através de uma massa higroscópica insolúvel (em forma de pastilhas dessecantes) ou deliquescente que absorve a umidade do ar processando se uma reação química. substâncias higroscópicas são classificadas como insolúveis quando reagem quimicamente com vapor d'água sem liquefazermos. Pode ser observado esse processo na Figura 12.

Fonte: Parker 2007

2.6.3 Secagem por adsorção

Em harmonia com Parker (2007) que define adsorção como um processo de depositar moléculas de uma substância fluida na superfície de uma substância sólida porosa adsorvente.

Não o processo regenerativo a substância adsorvente estando saturada de umidade, quando submetido a um aquecimento entre 100 e 200 °C permite a liberação de água, devolvendo assim a capacidade de adsorção. É geralmente a substância sílica em gel SiO₂, utilizada neste processo.

2.7 FILTRO DE AR COMPRIMIDO

Parker (2007) indica que seu uso geralmente é de filtros de ar em três posições diferentes. Um filtro antes e outro depois do secador de ar e também um junto aos pontos de usos.

Complementa ainda que os pré-secadores têm a função de deter boa parte do óleo lubrificante que de modo aleatório sai do compressor de ar. para proteger os trocadores de calor contra o óleo que pode ser impregnado prejudicando o desempenho da troca térmica.

Os filtros secadores eliminam a umidade residual que não havia sido removido pelo separador de condensado do secador por refrigeração e também os sólidos não retirados no pré-filtro.

2.8 DISTRIBUIÇÃO DO AR COMPRIMIDO

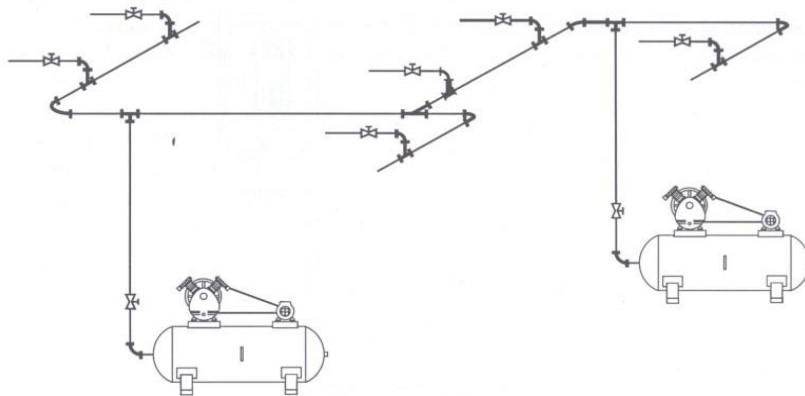
Fialho (2011) atesta que a instalação de uma rede de ar comprimido não exclusivamente em nível industrial requer cuidados especiais que são: localização da central geradora, sistema de arrefecimento, dimensionamento da rede, sistemas de montagem e fixação da rede, bem como tratamento do ar e identificação dos quesitos das normas vigentes para segurança do local.

2.9 REFRIGERAÇÃO DA CENTRAL

Fialho (2011) reitera que pequenas centrais de ar comprimido o aletamento existente no motor e compressor é suficiente para dissipar o calor originário do atrito do ar dentro da câmara de compressão. Para potências superiores a 40 HP Fialho (2011) recomenda a utilização de um sistema de ventilação forçado.

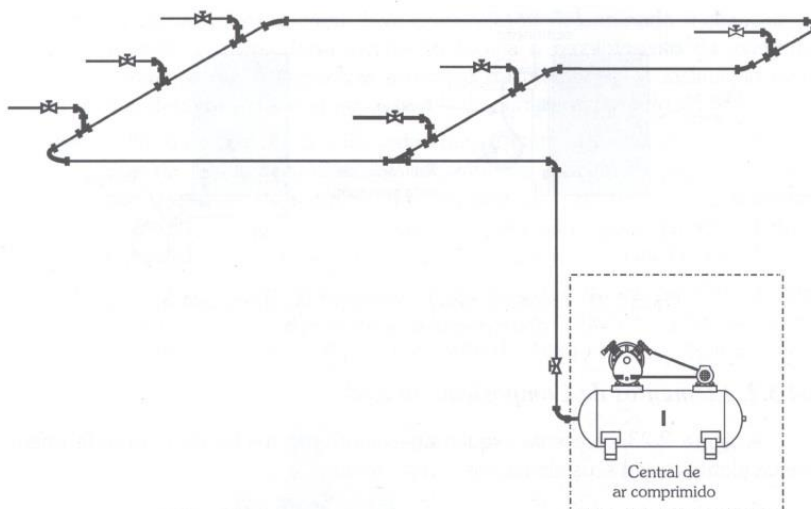
2.10 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Figura 13 – Sistema aberto



Fonte: Fialho 2011

Figura 14 – Sistema fechado



Fonte: Fialho 2011

Um sistema de rede de circuito fechado é apresentado na Figura 14 e é largamente utilizado pela maioria das instalações, onde se distribui por toda a

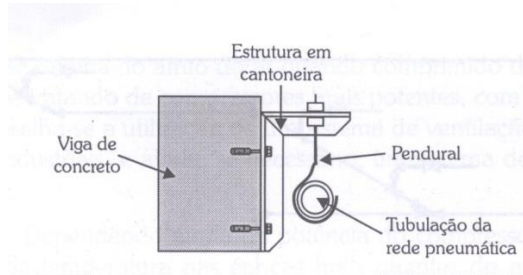
Fialho (2011) sustenta que é necessário estabelecer os pontos onde deverá passar a rede de distribuição de ar comprimido e quantos pontos deveriam existir.

Que pode ser uma rede de circuito aberto ou uma rede de circuito fechado. Uma rede de circuito aberto indicado na Figura 13 é usada na prática quando se tem a necessidade de abastecer pontos isolados ou distantes.

extensão da planta do local. Aconselha ainda que seja instalada uma válvula de registro em cada ponto de abastecimento permitindo a parada isolada para manutenção.

2.11 ELEMENTOS DE MONTAGEM E FIXAÇÃO DA REDE

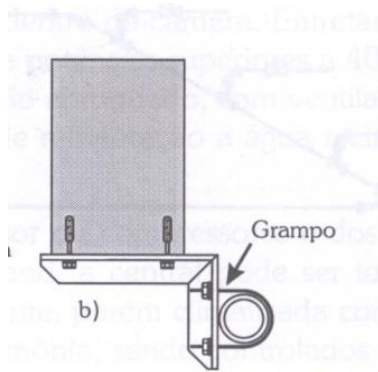
Figura 15 – Fixação dos tubos principais nas vigas usando pendurais



Fonte: Fialho 2011

A rede de distribuição pneumática é instalada em vias aéreas e são fixadas as paredes, vigas ou ao forro, com o auxílio de cantoneiras utilizando pendural ou tirantes como se observa na Figura 15 e 16.

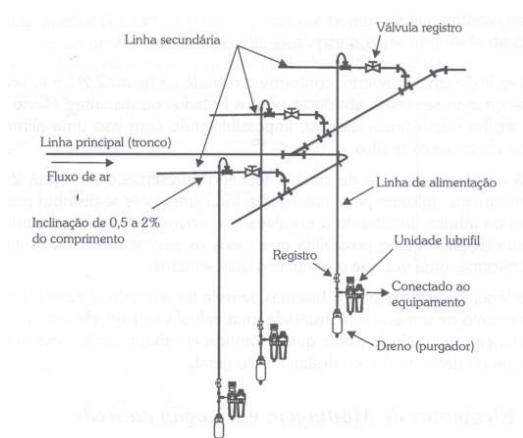
Figura 16 – Fixação da tubulação principal usando grampo



Fonte: Fialho 2011

Fialho (2011) apresenta esquematicamente um trecho de uma rede pneumática com seus elementos indicados de acordo com a Figura 17.

Figura 17 – Elementos componentes de uma rede pneumática



Fonte: Fialho 2011

Observando a Figura 17 a linha principal ou tronco, as tubulações secundárias linha de alimentação podem ser fabricadas utilizando tubo de metais diversos, o mais comum é aço galvanizado. As linhas secundárias devem possuir uma inclinação no sentido do fluxo que deve ser de 0,5 a 2% do comprimento, para facilitar o recolhimento impurezas e condensações.

Na configuração das linhas de alimentação que sai para cada equipamento deve sair a partir da parte superior da linha secundária, também deve conter registro para que seja feita manutenção do LUBRIFIL ou dreno sem precisar desligar toda a linha secundária. LUBRIFIL tem como objetivo filtrar e lubrificar o ar comprimido e possibilita regular a pressão de alimentação para as ferramentas. As linhas verticais necessitam de purgadores para recolher condensado das tubulações, a fim de que se evite a danificação dos automatismos.

2.12 DIMENSIONAMENTO DA LINHA PRINCIPAL E SECUNDÁRIAS.

De acordo com Fialho (2011) um procedimento de dimensionamento do diâmetro interno de uma linha principal e secundária deve levar em consideração uma possível expansão da demanda de ar comprimido, bem como outras variáveis como o volume de ar corrente, comprimento total da linha principal, a queda de pressão admissível para o sistema, número de pontos de estrangulamento e pressão de regime. De forma que atenda a vazão e pressão necessárias aos pontos de alimentação distribuídos na planta.

O volume de ar corrente(Q) para efeito de dimensionamento leva-se em conta a possibilidade de ampliação dos pontos de consumo somado com volume que será consumido pela rede supondo o funcionamento de todos os automatismos momentaneamente.

A queda de pressão admitida também chamada de perda de carga (ΔP) deve estar entre 0,3 e 0,5 bar, ela é decorrente do deslocamento de um fluido através da tubulação e a redução do diâmetro causando estrangulamento e jamais deve exceder o valor máximo.

O número de pontos de estrangulamentos, ou singularidades, são curvas, registro e tês, entre outros necessários para distribuição são transformados em comprimento equivalente (L_t). De acordo com a tabela 1 no anexo A. A pressão de regime(P) é a pressão na qual se encontra armazenado o ar no reservatório, pode variar de 7 a 12 bar. A equação do diâmetro mínimo interno, prevendo expansão futura, pode ser descrita conforme a equação 01.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] \quad 01$$

Para o dimensionamento das linhas secundárias e de alimentação temos

que dividir o volume de ar corrente ou a vazão(Q) pelo número de linhas(n), conforme a equação 02, deve também ser calculado o comprimento total equivalente, considerando as singularidades deste.

$$Q_s = \frac{Q}{n} \quad 02$$

Então se pode utilizar a equação 03 para calcular o diâmetro interno das tubulações secundárias, com auxílio das equações 02 e 04.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q_s^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] \quad 03$$

O comprimento total equivalente da linha tronco (L_t) é a soma do comprimento retilíneo linear na tubulação (L_1) com o comprimento equivalente originado dos pontos de estrangulamento (L_2), conforme a equação 04.

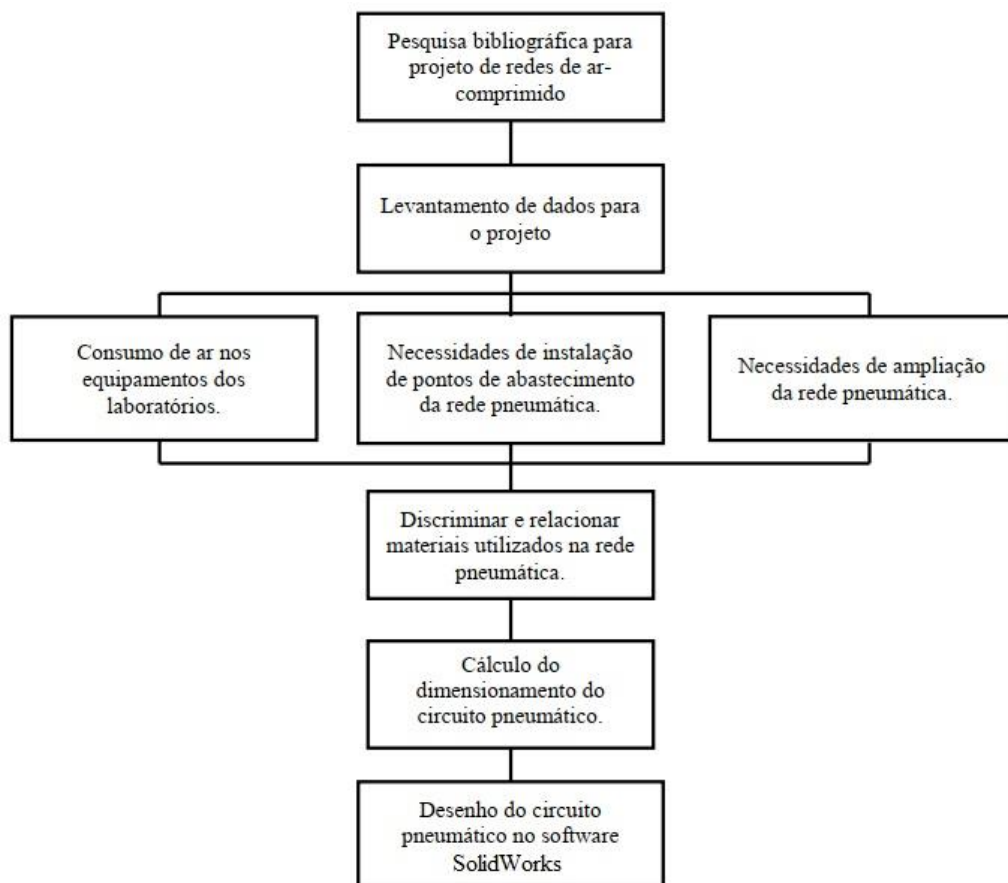
$$L_t = L_1 + L_2 \quad 04$$

Como descrito nesta seção conforme Fialho (2011) salienta o dimensionamento das tubulações da rede pneumática que será projetada e com posterior layout.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Mediante a uma pesquisa bibliográfica prévia, procurou-se de maneira mais simples possível determinar o melhor caminho para dimensionar o sistema de ar comprimido. Para desenvolver este trabalho foi elaborado o delineamento da pesquisa seguindo os passos de Taffarel (2015). De modo não sequencial, e como indicado na Figura 18. E utilizando-se o manual de dimensionamento de redes de ar comprimido Parker (2007) como um roteiro teórico-prático para desenvolver o sistema de forma econômica e eficiente, normas brasileiras de regulamentação NR13 para tubulações e vasos de pressão para garantir segurança do local, dos operadores, alunos e professores e os conhecimentos teóricos de Fialho (2011) para embasar o seguinte trabalho, e complementar com os demais autores.

Figura 18 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Taffarel 2015

Após esta etapa de revisão bibliográfica, ficou constatado que os laboratórios do instituto federal do Piauí IFPI, cada um tinha um compressor e um vaso de pressão de pequena potência, instalados dentro do ambiente de aprendizagem.

Levando em consideração o ruído auditivo dos compressores quando

acionados em horário de aula, foi definida a necessidade de instalação de um compressor e um vaso de pressão que atendesse: as demandas de ar comprimido nos laboratórios, as normas vigentes e que ficasse do lado externo para melhor conforto auditivo.

Em uma etapa inicial foi escolhido um local para o compressor e que atenda as normas. Foi feito o levantamento da vazão de ar das máquinas, ferramentas e equipamentos que farão uso do ar comprimido, bem como levantamento da pressão necessária que deve chegar a cada uma delas.

A etapa seguinte constituiu-se em determinar a localização da linha principal, dimensões dos comprimentos e singularidades. Foi feita de modo semelhante a etapa da linha principal a determinação das linhas secundárias, então foi constatado que seria uma rede aberta, por se tratar de distribuição em um prédio com vários pisos. E diferentes localizações dos ambientes das linhas de alimentação, estas que já existem nos ambientes e deverá ser adaptada a nova instalação.

Na sequência identificaram-se a escolha das conexões e acessórios que seria utilizado as linhas principais e secundárias. E então se levantaram as singularidades para dimensionamento do diâmetro interno e construção da estrutura de apoio das tubulações.

E então a escolha do material dos tubos, foi levada em consideração os materiais que apresentaram a melhor resistência mecânica e flexibilidade, em comparação do custo aquisitivo.

Na etapa final dimensiona o diâmetro interno dos tubos da rede pneumática e identifica a queda de pressão do sistema, por meio de uma tabela no apêndice A, utilizando as singularidades encontradas.

3.1 CAPACIDADE DE AR REQUERIDA

É de crucial importância conhecer a quantidade exata de ar consumida pela rede. Uma boa avaliação irá garantir uma capacidade apropriada de operação e para garantir futuras ampliações. Para determinar a vazão deve-se somar consumo total de ar comprimido em cada equipamento pneumático, além de identificar a pressão de trabalho de cada um. Foram realizadas visitas aos laboratórios para fazer o levantamento das informações. Os valores de consumos de ar comprimido encontrados, listados na tabela 1 foram obtidos em catálogo do fabricante dos

equipamentos ou similares.

Supondo que todos os equipamentos estejam em funcionamento ao mesmo tempo deve-se somar o consumo de cada equipamento. Todos os equipamentos já instalados atualmente nos laboratórios possuem uma pressão de trabalho de 6 bar.

Para o correto dimensionamento do diâmetro da tubulação, deve-se levar em conta uma futura ampliação, definida por Fialho (2011) como 60% da capacidade calculada.

O laboratório de CNC possui duas máquinas e utilizam em algumas operações ar comprimido sendo um torno CNC e uma fresadora CNC além de um bico de limpeza.

Laboratório de automação pneumática possui quatro bancadas pneumáticas, que podem ser utilizada por até quatro alunos simultaneamente, podem ser montados cilindros de simples e dupla ação, além de válvulas dos mais diversos tipos para controle dos cilindros e foi levado em consideração um circuito que utilize o máximo de válvulas e cilindros possíveis.

3.2 COMPRIMENTO DAS LINHAS PRINCIPAL E SECUNDÁRIAS E SINGULARIDADES.

Para as singularidades como curvas, registros, tês entre outros foram selecionadas nesta etapa, onde foram escolhidas as singularidades que apresentaram menor estrangulamento ou seja a menor perda de carga.

A linha principal de alimentação deve ter o comprimento mínimo de 36 m, para poder atender aos dois ambientes da planta. As linhas secundárias de alimentação devem ter o comprimento mínimo de 18m somadas, onde poderão atender a linha de alimentação já instalada.

3.3 QUEDA DE PRESSÃO

Todas as máquinas ferramentas e equipamentos presentes nos laboratórios foram identificados a pressão de trabalho de 6 bar. Como mencionado anteriormente a pressão de regime deve ficar entre 7 e 12 bar. A pressão de regime escolhida foi de 10 bar, 7 bar como a pressão mínima de acionamento dos compressores e 12 bar

com pressão máxima de desligamento do compressor. Utilizou-se 10 bar para o dimensionamento das tubulações.

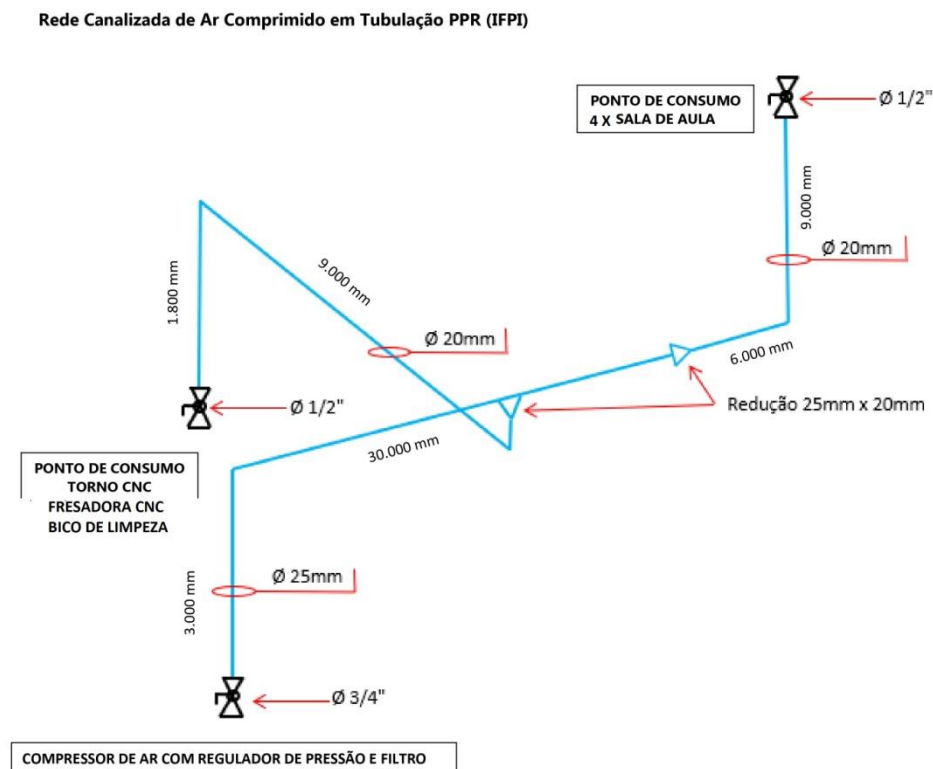
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 LAYOUT

As medições realizadas no ambiente junto com análise da planta do prédio A do Instituto Federal do Piauí no anexo C imagens 22 e 23, ajudaram a definir as características da linha principal e secundárias e são listadas na tabela 2.

O pé direito do prédio possui uma dimensão de 3,7 m, já existe no prédio a estrutura de sustentação das tubulações de outros gases, que ficam a 0,3 m do teto, teremos um decaimento de 0,6 m então ficando com 3 metros de altura a tubulação de ar comprimido. Mencionado anteriormente a NR13 que indica que as tubulações principais e secundárias devem possuir uma inclinação, foi escolhido $1,53^\circ$ ou 2% como a inclinação padrão do sistema.

Figura 19 – Layout das tubulações principais e secundárias da rede de ar comprimido



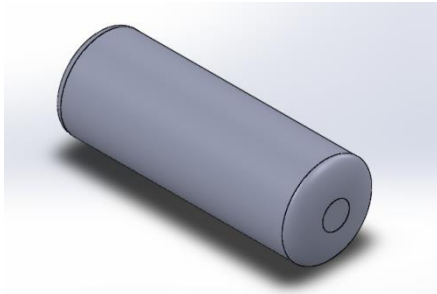
Fonte: Autoria própria

Na Figura 19 feita utilizando o auxílio do software AutoCad®, observa-se no layout da rede a saída do reservatório direto do compressor, a tubulação principal, com uma altura de 3 m, uma curva de 90° raio longo, a cor da tubulação em azul atende a norma NR13 em uma vista isométrica, os pontos de consumo e as reduções calculadas neste trabalho. No anexo C a Figura 24 tem os pontos de aplicação da linha de alimentação do laboratório de usinagem CNC e do laboratório de Pneumática em planta baixa sobreposto a planta baixa de térreo do prédio A do IFPI.

4.2 PRODUÇÃO E CONDICIONAMENTO

4.2.1 Condicionamento

Figura 20 – Vista isométrica do reservatório da rede pneumática



O Instituto Federal do Piauí possui um reservatório, ou vazo de pressão, com capacidade de 0,4 m³ como descrita no desenho de vista isométrica da Figura 20 com suas respectivas dimensões de 1570 mm de comprimento e 572,96 mm de diâmetro. Que atente as recomendações de um compressor que tenha pelo menos 20% da capacidade de ar consumida pela rede de ar comprimido.

Fonte: autoria própria

A Figura 21 é uma fotografia do reservatório de ar desmontado. Sem o motor e sem o compressor.

Figura 21 –Reservatório da rede pneumática



Os laboratórios de usinagem CNC e Pneumática possuem o compressor acionado por um motor de 2 HP de potência que disponibiliza 120 psi de pressão de saída e o reservatório de 100 L como mostrados na tabela 01, da marca Schulz e modelo CSL 10.

Fonte: autoria própria

Os dados mais relevantes dos compressores, que estão localizados nos laboratórios, listados na tabela 01, logo não atende a quantidade de ar que deve ser consumida pelos maquinários dos laboratórios mantendo a pressão de trabalho. Ora para o mesmo operar deve-se esperar a pressão no reservatório fique próxima a sua capacidade máxima para iniciar as atividades de usinagem, ou montagem dos circuitos pedagógicos.

Tabela 01 - Dados do compressor:

MARCA	SCHULZ
MODELO	CLS 10P
DESLOCAMENTO	283,43 l/min
Velocidade de Rotação	2185 rpm
Pressão máxima	120 psig (8,27 bar)
Potencia	1,5 kW (2 HP)
Volume do reservatório interno	100 l

Fonte: autoria própria

4.2.2 Produção

A instalação de uma rede de ar comprimido para os laboratórios do IFPI requer um compressor de maior capacidade, foi escolhido um compressor acionado por um motor elétrico de 7,5 kW (10 HP) da marca MOTOMIL, modelo CMV-40/350, com deslocamento de 1133 l/min, com pressão máxima de trabalho 9,7 bar, velocidade de rotação 1040 rpm e com dois pistões em V.

4.3 DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES PRINCIPAIS, SECUNDÁRIAS E ALIMENTAÇÃO

Os equipamentos listados na tabela 02 são dados obtidos a partir do catálogo dos fabricantes juntamente com o auxílio dos professores das disciplinas de cada laboratório que quantificaram cada equipamento, marca e modelo. Daí então foi observado onde devem ser instalados os pontos de consumo dos equipamentos para ter uma previsão da necessidade de ampliação da rede pneumática.

Para os equipamentos presentes nos laboratórios, chegou-se ao consumo total de ar na rede a partir da soma do consumo de ar comprimido considerando o uso simultâneo de todos eles.

Tabela 02 – Equipamentos pneumáticos

Equipamento	Consumo de ar da unidade			Quantidade	Consumo total de ar
	Descrição	Consumo	Quantidade		
Bancada de treinamento de automação pneumática	Cilindro simples ação	15,57	4	4	249,12
	Cilindro dupla ação	14,02	1		56,08
Torno CNC	150			1	150
Fresadora CNC	150			1	150
Bico de limpeza	170			1	170
TOTAL (l/min)					775,2

Fonte: autoria própria, 2019

O consumo total de ar comprimido 775,2 l/min que pode também ser expresso como 45,7 m³/h. Utilizando um fator de ampliação de 60%, para futuras ampliações dos laboratórios temos 73,1 m³/h, ou um fator de segurança contra erros de cálculo e/ou falhas 1,6.

Tabela 03 – Características das linhas principal e secundárias

Características	Valores
Comprimento retilíneo da tubulação linear principal	39m
Comprimento retilíneo da tubulação linear secundária do laboratório de usinagem CNC	9m
Comprimento retilíneo da tubulação linear secundária do laboratório de automação pneumática	9m
Queda de pressão admitida	0,3 bar
Pressão de regime	10 bar
Vazão de ar consumido	73,1 m³/h
Previsão de ampliação	60%

Fonte: autoria própria, 2019

Para a linha principal de alimentação de ar comprimido foram levantadas do layout as singularidades e calculados os dados de comprimento equivalente, conforme a tabela 04, tem o comprimento total equivalente levado em conta todas as singularidades presentes nesta linha.

Tabela 04 – Singularidades da linha principal

Singularidade	Quantidade	Comprimento(m)	Total(m)
Curvas de 90° raio longo	3	0,83	2,49
Tês com fluxo em linha	1	0,99	0,99
Válvula tipo gaveta	2	0,25	0,25
Comprimento equivalente total (L ₂)	-	-	3,73

Fonte: autoria própria, 2019

Para a linha secundária de alimentação de ar comprimido do laboratório de pneumática foram levantados os seguintes dados, conforme a tabela 05.

Tabela 05 – Singularidades das linhas secundárias do laboratório de pneumática

Singularidade	Quantidade	Comprimento(m)	Total(m)
Tês com fluxo pelo ramal	1	1,3	1,3
Válvula tipo gaveta	1	0,17	0,17
Comprimento equivalente total (L ₂)	-	-	1,47

Fonte: autoria própria, 2019

Para a linha secundária de alimentação de ar comprimido do laboratório de usinagem CNC foram levantados os seguintes dados, conforme a tabela 06.

Tabela 06 – Singularidades das linhas secundárias do laboratório de usinagem CNC

Singularidade	Quantidade	Comprimento(m)	Total(m)
Tês com fluxo pelo ramal	1	1,3	1,3
Válvula tipo gaveta	1	0,17	0,17
Comprimento equivalente total (L ₂)	-	-	1,47

Fonte: autoria própria, 2019

4.3.1 Dimensionamento das tubulações principais

Devemos utilizar a equação 01 desconsiderando as singularidades presentes nas tubulações principais, para encontrar o diâmetro nominal comercial utilizado como referência nas tabelas de singularidades. As variáveis utilizadas neste cálculo, listadas na tabela 02, incluem a vazão com aumento de 60%, para futuras ampliações, ou de outra forma 1,6 como fator de segurança para erros de cálculos, o comprimento retilíneo da tubulação linear principal 39 m, pressão de trabalho padrão de 10 bar (kgf/cm²) e a queda de pressão admitida 0,3 bar.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 73,1^{1,85} \times 39}{0,3 \times 10}} \right]$$

$$D = 22,73 \text{ mm}$$

Com base no valor do diâmetro encontrado no cálculo anterior e utilizando a tabela 08 no anexo B o diâmetro nominal comercial é 1 polegada. Este valor é usado para calcular as singularidades das tubulações principais na tabela 07 do anexo A e são exibidas na tabela 04.

O comprimento equivalente total equivale a soma dos comprimentos das singularidades das tubulações principais onde ocorre estrangulamento com o comprimento retilíneo linear, como descrito na equação 04 e observado no cálculo abaixo.

$$L_t = L_1 + L_2 = 39 + L_2 = 39 + 3,73 = 42,73 \text{ m}$$

Novamente utilizamos a equação 01, desta vez considerando as singularidades, encontraremos o diâmetro comercial das tubulações principais e utilizaremos as mesmas variáveis do cálculo do diâmetro anterior.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 73,1^{1,85} \times 42,73}{0,3 \times 10}} \right]$$

$$D = 23,15 \text{ mm}$$

Utilizando outra vez a tabela 08 no anexo B descobrimos que o diâmetro nominal comercial interno não se altera na linha principal, devemos utilizar o valor 1 polegadas para essas tubulações.

4.3.2 Dimensionamento das tubulações secundárias

As tubulações secundárias da linha de distribuição são duas linhas secundárias de comprimento iguais. O comprimento retilíneo da tubulação linear secundária do laboratório de usinagem CNC e o comprimento retilíneo da tubulação linear secundária do laboratório de pneumática são de 9m cada um.

$$Q_s = \frac{Q}{n} = \frac{73,1}{2} = 36,55 \text{ m}^3/\text{h}$$

Utilizando a equação 02, recomendada por Fialho 2011 para circuitos fechados e abertos com o mesmo número de linhas de alimentação com iguais consumos de ar, para calcular a vazão temos uma vazão de 36,55 m³/h em cada tubulação.

A quantidade de instrumentos pneumáticos que se tem disponível no laboratório de CNC representa aproximadamente 60% do consumo da vazão total, podemos observar isto na tabela 01. Consequentemente se utilizarmos os valores obtidos na equação 02 as tubulações secundárias do laboratório de pneumática ficaria superdimensionadas e as tubulações secundárias do laboratório de usinagem CNC ficariam subdimensionadas, o que acarretaria em um projeto de baixa eficiência.

Como alternativa a este empecilho as duas tubulações secundárias serão calculadas de forma individual para melhor rendimento.

4.3.2.1 Dimensionamento das tubulações secundárias do laboratório de pneumática

Somando os valores de todos os equipamentos pneumáticos presentes no laboratório de pneumática ligados ao mesmo tempo e prevendo um aumento futuro de 60% obtemos aproximadamente 29,24 m³/h como a vazão secundária nesta linha, de acordo com a tabela 02 tem comprimento de 9m a pressão de regime e a perda de carga nesta linha são respectivamente 10 e 0,3 kgf/cm².

Utilizando a equação 01 desconsiderando as singularidades presentes para determinar o diâmetro nominal interno comercial de referência para a tabela de singularidades, temos.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 29,24^{1,85} \times 9}{0,3 \times 10}} \right]$$

$$D = 12,07 \text{ mm}$$

Baseado no valor do diâmetro encontrado no cálculo anterior e utilizando a tabela 08 no anexo B o diâmetro nominal comercial interno é 3/8 polegada. Este valor é usado para calcular as singularidades na tabela 07 do anexo A das tubulações secundárias do laboratório de pneumática e são exibidas na tabela 05.

O comprimento equivalente total equivale a soma dos comprimentos das singularidades das tubulações secundárias do laboratório de pneumática onde ocorre estrangulamento com o comprimento retilíneo linear, como descrito na equação 04 e observado abaixo no cálculo.

$$L_t = L_1 + L_2 = 9 + L_2 = 9 + 1,47 = 10,47 \text{ m}$$

Considerando as singularidades desta vez, utilizamos a equação 03, encontraremos o diâmetro comercial das tubulações secundárias do laboratório de pneumática e utilizaremos as mesmas variáveis do cálculo do diâmetro anterior.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q_{S^{1,85}} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 29,24^{1,85} \times 10,47}{0,3 \times 6}} \right]$$

$$D = 12,45 \text{ mm}$$

Utilizando agora a tabela no anexo B descobrimos que os diâmetros nominais comercial internos na linha secundária do laboratório de pneumática deveram utilizar o valor nominal comercial de 3/8 polegadas para essas tubulações, mantendo o mesmo valor do cálculo do diâmetro anterior.

4.3.2.2 Dimensionamento das tubulações secundárias do laboratório de usinagem CNC

Somando os valores de todos os equipamentos pneumáticos presentes no laboratório de usinagem CNC ligados ao mesmo tempo e prevendo um aumento futuro de 60% obtemos 43,86 m³/h como a vazão secundária nesta linha, de acordo com a tabela 02 temos comprimento de 9m, a pressão de regime e a perda de carga nesta linha são respectivamente 10 e 0,3 kgf/cm².

Utilizando a equação 01 desconsiderando as singularidades presentes para determinar o diâmetro nominal interno comercial de referência para a tabela de singularidades, temos.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 43,86^{1,85} \times 9}{0,3 \times 10}} \right]$$

$$D = 14,03 \text{ mm}$$

Baseado no valor do diâmetro encontrado no cálculo anterior e utilizando a tabela 08 no anexo B o diâmetro nominal comercial interno é 1/2 polegada. Este valor é usado para calcular as singularidades na tabela 07 do anexo A das tubulações secundárias do laboratório de usinagem CNC e são exibidas na tabela 06.

O comprimento equivalente total equivale a soma dos comprimentos das singularidades das tubulações secundárias do laboratório de pneumática onde ocorre estrangulamento com o comprimento retilíneo linear, como descrito na equação 04 e observado abaixo no cálculo.

$$L_t = L_1 + L_2 = 9 + L_2 = 9 + 1,47 = 10,47 \text{ m}$$

Considerando as singularidades desta vez, utilizamos a equação 03, encontraremos o diâmetro comercial das tubulações principais e utilizaremos as

mesmas variáveis do cálculo do diâmetro anterior.

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q_S^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right] = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 43,86^{1,85} \times 10,47}{0,3 \times 10}} \right]$$

$$D = 14,47 \text{ mm}$$

Utilizando agora a tabela 08 no anexo B descobrimos que o diâmetro nominal comercial interno na linha secundária do laboratório de pneumática não se altera, devemos continuar a utilizar o valor nominal comercial de 1/2 polegadas para essas tubulações.

5 CONCLUSÃO

Com os dados iniciais levantados e a realização do levantamento bibliográfico foi possível dimensionar a rede de distribuição de ar comprimido dos laboratórios de usinagem CNC e Pneumática. Com o dimensionamento dos diâmetros das tubulações em cada etapa, foi possível selecionar os acessórios necessários para uma rede de ar comprimido completa. O reservatório, ou vaso de pressão, existente no IFPI foi utilizado no projeto de forma que atende a vazão do sistema de forma eficiente e torna o projeto com o menor custo possível. Depois de escolhido um compressor que esteja disponível comercialmente foi desenhado o *layout* que foi especificado os pontos de consumo. O presente trabalho limitou-se apenas o dimensionamento da rede de distribuição de ar comprimido apenas para os laboratórios citados, e poderá em etapas posteriores futuras a instalação, execução e orçamentos deste projeto. Em projetos futuros poderão ser estudados e ampliado para o prédio inteiro o projeto e instalação de ar comprimido para outros laboratórios.

6 BIBLIOGRAFIA

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

FARIA, R. R. de. **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**. 2007. 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.

JESUS, C. S. A. de. **Otimização energética em uma unidade industrial – O caso da Cerutil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica / Energia e Automação Industrial) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, 2012.

METALPLAN. **Manual de ar comprimido**. 4ª ed. 2010.

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

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.

TAFFAREL, M. G. **Projeto de uma Linha de Distribuição de Ar Comprimido**. Monografia(Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Pampa, Bagé , 2015.

TAYLOR, Henry. <https://www.weforum.org/agenda/2018/12/globalization-4-0-have-your-say/> **Globalization 4.0: Have your say** Acessado em 22/12/2018.

VAN WYLEN, G. J. E. S. R. E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. 6ª Edição. ed. [S.l.]: Edgard Blucher Ltda., 2009.

ANEXO A- TABELAS DE SINGULARIDADES

Tabela 07 – Comprimento de tubo equivalente à perda de carga por singularidades

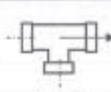
A.6. Comprimento de Tubo Equivalente à Perda de Carga por Singularidades - [m]

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

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

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

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

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

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

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

ANEXO B- DIÂMETOS DE TUBOS COMERCIAIS

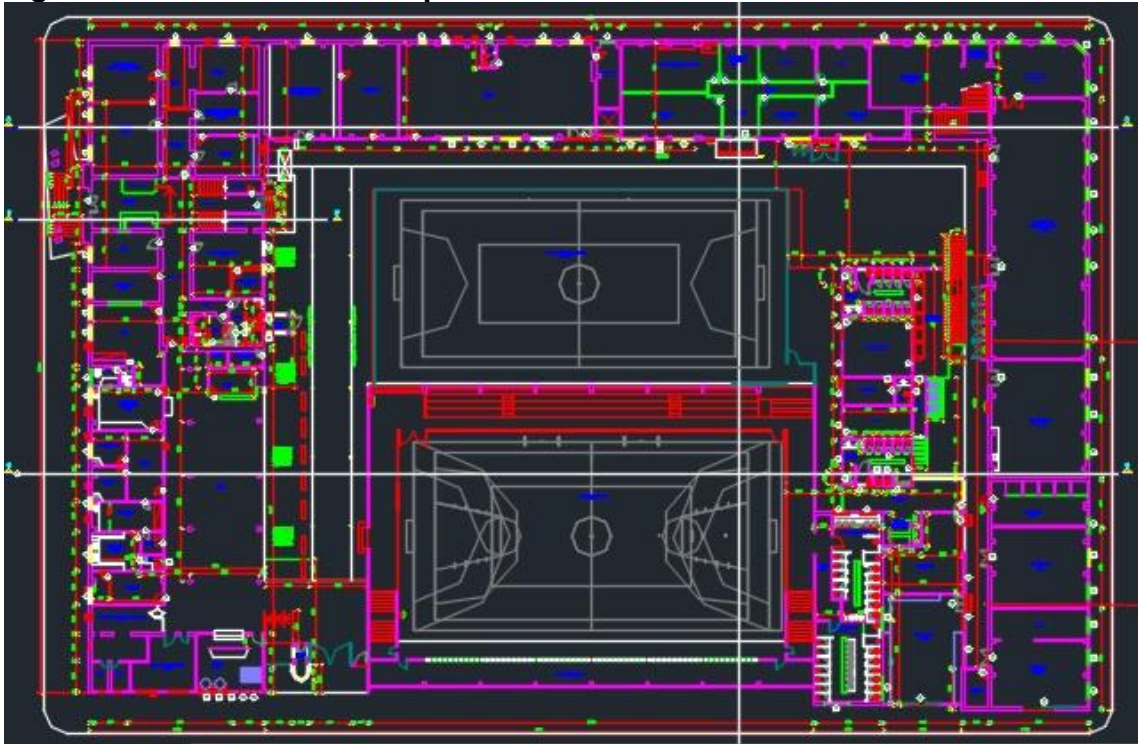
Tabela 08 – Tubos de aço padronizados pela norma ASTM A 120 vendidos no mercado atual

A.5. Norma 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

ANEXO C – PLANTA BAIXA DO PÉDIO A DO IFPI**Figura 22 – Planta baixa do pavimento téreo**

Fonte: setor de engenharia do IFPI

Figura 23 – Planta baixa do pavimento 1º andar

Fonte: setor de engenharia do IFPI

